

# ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ



УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭКОНОМИКИ И СЕРВИСА

УГУЭС

№ 1, т. 10, 2014

Журнал основан в 2005 году. Выходит 4 раза в год.

## Учредитель

Министерство образования и науки РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уфимский государственный университет экономики и сервиса»

Журнал включен в «Перечень рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций» (решение президиума Высшей аттестационной комиссии от 2 марта 2012 года).  
Международный стандартный серийный номер ISSN 1999-5458.

## Редакционная коллегия:

Главный редактор:

С.В. Шапиро – д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВПО

«Уфимский государственный университет экономики и сервиса» (Россия, г. Уфа)



Зам. главного редактора:

Ш.З. Валиев – канд. техн. наук, д-р экон. наук, проф.

ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный университет экономики и сервиса» (Россия, г. Уфа)



## Члены редакционной коллегии:

В.М. Артюшенко – д-р техн. наук, проф.

ГБОУ ВПО МО «Финансово-технологическая академия» (Россия, г. Москва)



Б.М. Горшков – д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВПО

«Поволжский государственный университет сервиса» (Россия, г. Тольятти)



М.Ю. Доломатов – д-р хим. наук, проф. ФГБОУ ВПО

«Уфимский государственный университет экономики и сервиса» (Россия, г. Уфа)



В.Г. Крымский – д-р техн. наук, проф.

ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный университет экономики и сервиса» (Россия, г. Уфа)



В.Г. Кушнир – д-р техн. наук, проф. Костанайского

государственного университета им. Ахмета Байтурсынова (Казахстан, г. Костанай)



С.В. Павлов – д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВПО

«Уфимский государственный авиационный технический университет» (Россия, г. Уфа)



Р.Р. Сафин – д-р техн. наук, проф.

ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный университет экономики и сервиса» (Россия, г. Уфа)



П.С. Серенков – д-р техн. наук, проф. Белорусского

национального технического университета



(Белоруссия, г. Минск)

А.Ф. Романченко – д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВПО

«Уфимский государственный

университет экономики и сервиса» (Россия, г. Уфа)



М.А. Ураксеев – д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВПО

«Уфимский государственный авиационный технический университет» (Россия, г. Уфа)



Н.А. Феоктистов – д-р техн. наук, проф. ФГБОУ

ВПО «Московский государственный университет

дизайна и технологии» (Россия, г. Москва)



Ф.Ф. Хизбуллин – д-р хим. наук, проф. ФГБОУ ВПО

«Уфимский государственный университет

экономики и сервиса» (Россия, г. Уфа)



П.И. Чердниченко – д-р техн. наук, проф.

Черниговского государственного технологического университета (Украина, г. Чернигов)



В.А. Шабанов – канд. техн. наук, проф. ФГБОУ ВПО

«Уфимский государственный нефтяной

технический университет» (Россия, г. Уфа)



Р.Б. Яруллин – д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВПО

«Уфимский государственный университет

экономики и сервиса» (Россия, г. Уфа)



И. Зицмане – д-р техн. наук, профессор Рижского

технического университета, эксперт научного совета Латвийской академии наук (Латвия, г. Рига)



Г.Д. Георгиев – д-р техн. наук, преподаватель

Технического университета (Болгария, г. Варна)



И.В. Пентегов – д-р техн. наук, профессор, вед. научный

сотр. Института электросварки им. Е.О. Патона

Национальной академии наук Украины (Украина, г. Киев)



Б. Брудник – д-р техн. наук, вед. научн. сотр. Тель-

Авивского университета (Израиль, г. Тель-Авив)



Ответственный секретарь: А.А. Мухамадиев

Технический редактор: С.С. Некрасова

Подписка во всех отделениях связи: индекс 91824 в объединенном каталоге «Пресса России».

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

Доступ и подписка на электронную версию журнала – на сайте [www.ugues.ru](http://www.ugues.ru)

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-56127 от 15.11.2013 г. выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

© Уфимский государственный университет экономики и сервиса, 2014

Адрес редакции: 450078, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Чернышевского, 145.

Тел.: +7 (347) 228-91-38.

Подписано в печать 28.03.2014 г. Формат 60×80 1/8. Печать офсетная. Усл. печ. л. 7,5. Тираж 1000 экз. Заказ № 17.

Перепечатка материалов, опубликованных в журнале «Электротехнические и информационные комплексы и системы», допускается только с письменного разрешения редакции.

Материалы приводятся в авторской редакции.

Точка зрения редакции не всегда совпадает с точкой зрения авторов публикуемых статей.

# ELECTRICAL AND DATA PROCESSING FACILITIES AND SYSTEMS

UFA STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND SERVICE



№ 1, v. 10, 2014

The journal was founded in 2005. Issued 4 times a year.

## Founder:

Ministry of Education and Science of the Russian Federation  
Federal government budgetary educational institution of higher professional education  
"Ufa state university of economics and service"

The journal is included in "The list of reviewed scientific journals and editions for publication of the main scientific results of theses" (decision of the Highest certification commission presidium of March 2, 2012).  
International standard serial number ISSN 1999-5458.

## Editorial board:

Editor-in-chief:

S.V. Shapiro – Dr. Sci.Tech., prof. of FSBEI HPE  
Ufa state university of economics and service  
(Russia, Ufa)



Deputy editor-in-chief:

Sh.Z. Valiev – Cand. Sci.Tech., Dr. Sci. Econ., prof. of  
FSBEI HPE Ufa state university of economics and service  
(Russia, Ufa)



## Members of an editorial board:

V.M. Artyushenko – Dr. Sci.Tech., prof. of SBEI  
HPE MR Financial and technological academy  
(Russia, Moscow)



B.M. Gorshkov – Dr. Sci.Tech., prof. of FSBEI  
HPE Volga region state university of service  
(Russia, Tolyatti)



M.Yu. Dolomatov – Dr. Sci.Chem., prof. of  
FSBEI HPE Ufa state university of economics  
and service (Russia, Ufa)



V.G. Krymsky – Dr. Sci.Tech., prof. of FSBEI HPE  
Ufa state university of economics and service  
(Russia, Ufa)



V.G. Kushnir – Dr. Sci.Tech., prof. of Kostanaysky  
state university of Ahmet Baytursynov  
(Kazakhstan, Kostanay)



S.V. Pavlov – Dr. Sci.Tech., prof. of FSBEI HPE  
Ufa state aviation technical university (Russia, Ufa)



R.R. Safin – Dr. Sci.Tech., prof. of FSBEI HPE Ufa  
state university of economics and service  
(Russia, Ufa)



P.S. Serenkov – Dr. Sci.Tech., prof. of Byelorussian  
national technical university (Byelorussia, Minsk)



A.F. Romanchenko – Dr. Sci.Tech., prof. of  
FSBEI HPE Ufa state university of economics  
and service (Russia, Ufa)



M.A. Urakseev – Dr. Sci.Tech., prof. of FSBEI HPE  
Ufa state aviation technical university (Russia, Ufa)



N.A. Feoktistov – Dr. Sci.Tech., prof. of FSBEI HPE  
Moscow state university of design and technology  
(Russia, Moscow)



F.F. Hizbullin – Dr. Sci.Chem., prof. of FSBEI HPE  
Ufa state university of economics and service  
(Russia, Ufa)



P.I. Cherednichenko – Dr. Sci.Tech., prof. of Chernigov  
state technological university (Ukraine, Chernigov)



V.A. Shabanov – Cand. Sci.Tech., prof. of  
FSBEI HPE Ufa state petroleum technological  
university (Russia, Ufa)



R.B. Yarullin – Dr. Sci.Tech., prof. of FSBEI HPE  
Ufa state university of economics and service  
(Russia, Ufa)



I. Zicmane – Dr. Sci.Tech., prof. Riga Technical  
University, expert the Latvian Council  
of Science (Latvia, Riga)



G.D. Georgiev – Dr. Sci.Tech., lecturer Technical  
university (Bulgaria, Varna)



I.V. Pentegov – Dr. Sci.Tech., prof., leading  
researcher the E.O.Paton Electric Welding Institute  
of the National Academy of Sciences of Ukraine  
(Ukraine, Kiev)



B. Brudnik – Dr. Sci.Tech., leading researcher  
of Tel Aviv University (Israel, Tel Aviv)



Assistant editor: A.A. Mukhamadiev  
Technical editor: S.S. Nekrasova

Subscription is available in all post offices: Postal code 91824 in the integrated catalog of the "Russian Press".

The journal is included in the Russian Index of Scientific Citing (RISC).

Access and subscription to the electronic version of the journal is available on the website [www.ugues.ru](http://www.ugues.ru).

Mass media registration certificate PI № PHS 77-56127 from 15.11.2013 given by Federal service of supervision in the scope of communication, information technologies and mass media.

© Ufa State University of Economics and Service, 2014

Publisher's address: 145 Chernishevskiy St., 145, Ufa, 450078.

Ph.: +7 (347) 228-91-38.

Signed for printing 28.03.2014. Format 60×80 1/8. Offset printing. 7,5 printed pages. Circulation is 1000 copies. Order №. 17.

The text of journal "Electrical and data processing facilities and systems" may be quoted with written permission of the publisher only.

Content is published as provided by authors.

Publisher's view may be different from that of the authors of the articles.

# СОДЕРЖАНИЕ

## Электротехнические комплексы и системы

<i>Саухатс А., Антонов Д., Жалостиба Д., Долгицер А., Биела-Даилидовича Э.</i> Применение программного обеспечения моделирования энергосистем в обучающих и научных целях .....	5
<i>Белов О.А., Парфенкин А.И.</i> Системная интеграция контроля электрооборудования .....	14
<i>Шабанов В.А., Пашкин В.В., Ивашкин О.Н.</i> Анализ потерь электроэнергии в электроприводе аппарата воздушного охлаждения газа .....	18
<i>Возмилов А.Г., Андреев Л.Н., Дмитриев А.А., Жеребцов Б.В.</i> Об основных задачах, решаемых при проектировании мокрых электрофильтров .....	24
<i>Линенко А.В., Акчурин С.В., Туктаров М.Ф.</i> Энергетические показатели линейного электропривода решетного стана зерноочистительной машины .....	28
<i>Семина И.А.</i> Имитационное моделирование трехмерной модели магнитной системы открытого типа в комплексе программ ANSYS .....	32
<i>Кушнир В.Г.</i> Получение нового класса стеклообразных материалов на основе электротехнических технологий...36	
<i>Козловский В.Н., Строганов В.И., Дебелов В.В., Пьянов М.А.</i> Комплекс электронных систем управления движением легкового автомобиля с комбинированной силовой установкой. Часть 1. ....	40
<i>Шапиро С.В., Саенко А.Г., Садыков М.А., Мичков Е.В.</i> Высокочастотный озонатор с охлаждаемым алюминиевым электродом .....	49

## Информационные комплексы и системы

<i>Артюшенко В.М., Корчагин В.А.</i> Расчет и моделирование вероятности появления внутриканальных и интермодуляционных помех беспроводных устройств с малым радиусом действия .....	57
<i>Павлов С.В., Ефремова О.А., Соколова А.В.</i> Формализованное описание пространственной информации в составе трехмерных моделей потенциально опасных объектов на основе теоретико-множественного подхода.....	66
<i>Воронин В.В., Давыдов О.А.</i> Система мониторинга технического состояния локальной вычислительной сети.....	73
<i>Крымский В.Г., Ахмеджанов Ф.М., Имильбаев Р.Р., Юнусов А.Р.</i> Выбор периодичности обновления информации о состоянии газораспределительной сети при использовании системы телеметрии.....	78

## Метрология и информационно-измерительные устройства

<i>Серенков П.С., Савкова Е.Н., Павлов К.А.</i> Концепция развития доказательной базы современной метрологии. Организационная составляющая процесса измерения.....	86
<i>Берг О.И., Ураксеев М.А.</i> Сопоставительная оценка по характеристикам различных типов преобразователей перемещений.....	92

## Нанoeлектроника и квантовые информационные системы

<i>Арасланов Т.Р., Доломатов М.Ю., Калайченко Н.В.</i> Особенности феноменологических квантовых параметров плазмы крови человека при доброкачественных и злокачественных опухолях головного мозга .....	101
<i>Шуляковская Д.О., Доломатов М.Ю., Доломатова М.М., Еремينا С.А.</i> Метод фотоизображений в информационной системе контроля физико-химических свойств многокомпонентных углеводородных систем.....	106

<b>Об авторах</b> .....	114
-------------------------	-----

# CONTENT

## Electrical facilities and systems

<i>Sauhats A., Antonovs D., Zalostiba D., Dolgicers A., Biela-Dailidovicha E.</i> Application of power system modelling software for educational and research purpose .....	5
<i>Belov O.A., Parfenkin A.I.</i> System integration of electrical equipment monitoring.....	14
<i>Shabanov V.A., Pashkin V.V., Ivashkin O.N.</i> Analysis of gas air-cooler electric motor energy loss .....	18
<i>Vozmilov A.G., Andreev L.N., Dmitriev A.A., Zherebtsov B.V.</i> About main problem solved in design wet electrostatic filters.....	24
<i>Linenko A.V., Akchurin S.V., Tuktarov M.F.</i> Energy indicators of the linear electric drive of the sieve pan grain-cleaning machine .....	28
<i>Semina I.A.</i> Simulation of three-dimensional model of magnetic open in complex program ANSYS .....	32
<i>Kushnir V.G.</i> Obtaining a new class of glassy materials on the basis of electrical technologies .....	36
<i>Kozlovskiy V.N., Stroganov V.I., Debelov V.V., Pianov M.A.</i> Complex electronic control systems passenger traffic hybrid car. Part 1.....	40
<i>Shapiro S.V., Saenko A.G., Sadykov M.A., Michkov E.V.</i> High frequency ozone generator with cooled aluminum electrode.....	49

## Data processing facilities and systems

<i>Artuschenko V.M., Korchagin V.A.</i> The calculation and modeling the probability of occurrence of co-channel and intermodulation interference wireless devices with small radius actions .....	57
<i>Pavlov S.V., Efremova O.A., Sokolova A.V.</i> Formalized description of the spatial information within three-dimensional models of potentially dangerous objectson the basis set-theoretic approach.....	66
<i>Voronin V.V., Davydov O.A.</i> Local area network technical state monitoring system .....	73
<i>Krymsky V.G., Akhmedzhanov F.M., Imilbaev R.R., Yunusov A.R.</i> Choice of time period of updating the information on performances of gas distribution network in case the telemetry system is used .....	78

## Metrology and information-measuring devices

<i>Serenkov P.S., Savkova E.N., Pavlov K.A.</i> Concept of development of evidential base of modern metrology. Organizational component of process of measurement .....	86
<i>Berg O.I., Urakseev M.A.</i> Comparative assessment characteristics of different types displacement transducers .....	92

## Nanoelectronics and quantum data systems

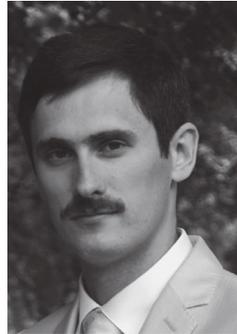
<i>Araslanov T.R., Dolomatov M.Yu., Kalashchenko N.V.</i> The features of phenomenological quantum parameters of human blood plasma in benign and malignant brain tumors .....	101
<i>Shulyakovskaya D.O., Dolomatov M.Yu., Dolomatova M.M., Eremina S.A.</i> Method of photographic images in information system of multi-component hydrocarbon systems physicochemical properties control.....	106

<b>About the authors</b> .....	117
--------------------------------	-----

# ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ ELECTRICAL FACILITIES AND SYSTEMS



**Антанс Саухатс**  
**Antans Sauhats**  
*Dr. habil. sc. ing, Professor*  
*Director of Power Engineering*  
*Institute Riga Technical University*  
*Riga, Latvia*



**Дмитрий Антонов**  
**Dmitrijs Antonovs**  
*Mg. sc. ing.*  
*Researcher, Power Engineering*  
*Institute Riga Technical University*  
*Riga, Latvia*



**Диана Жалостиба**  
**Diana Zalostiba**  
*Dr. sc. ing.*  
*Docent, Power Engineering Institute*  
*Riga Technical University*  
*Riga, Latvia*



**Александр Долгицер**  
**Aleksandrs Dolgicers**  
*Dr. sc. ing.*  
*Asoc.professor, Power Engineering*  
*Institute Riga Technical University*  
*Riga, Latvia*



**Эдите Биела-Даилдовича**  
**Edite Biela-Dailidovitcha**  
*Mg. sc. ing.*  
*Researcher Power Engineering Institute*  
*Riga Technical University*  
*Riga, Latvia*

УДК 621.313.2:537.6/8

## APPLICATION OF POWER SYSTEM MODELLING SOFTWARE FOR EDUCATIONAL AND RESEARCH PURPOSE

To ensure the success of the personnel of power systems are required not only deep theoretical knowledge, but also practical skills, the acquisition of which in modern universities is associated with considerable difficulties and problems. The paper provides an overview of opportunities to overcome part of these difficulties by creating automation and protective relaying testing educational and research scientific base. For generating of test signals, power system emergency processes records and simulation software are used. For research purposes special algorithm of terminal settings verification and evaluation is created and results are presented with corresponding examples of case study.

*Key words:* educational technologies, power engineering, modelling, out-of-step regime, testing, software, terminal setting, GPS synchronization.

## ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМ В ОБУЧАЮЩИХ И НАУЧНЫХ ЦЕЛЯХ

Для обеспечения успешной работы персонала необходимы не только глубокие теоретические знания об энергосистеме, но и практические навыки, получение которых в современных университетах связано с определенными трудностями и проблемами. Данная статья включает в себя обзор возможностей, которые позволяют преодолеть часть трудностей при помощи создания научной и исследовательской базы тестирования автоматики и релейной защиты. Для формирования тестовых сигналов используются записи аварийных процессов энергосистемы и программное обеспечение моделирования. Для исследовательских целей создан специальный алгоритм верификации и оценивания уставок терминалов, также представлены результаты с соответствующими примерами для конкретного случая.

*Ключевые слова:* технические средства обучения, энергетика, моделирование, асинхронный режим, тестирование, программное обеспечение, уставки терминала, GPS-синхронизация.

### I. Introduction

For hundreds of years, energy has been at the basis of the development of human society and technical progress. Electric energy, due to its characteristic features, has advantages in industrial, production, transport and communication applications. The rising welfare level and life standard stimulates the necessity for energy services. Energy consumption is steadily growing; this tendency is expected to persist in foreseeable future and to promote further development of electric power systems.

The world's growing population, the scarcity of energy resources and striving after the benefits offered by modern civilization have resulted in power systems of grandiose dimensions. Power systems are arguably among the most complicated artificial technical systems created as a result of human activities. They consist of thousands of generators, transformers, hundreds of thousands of kilometres of transmission lines and millions of consumers. The maintenance and development of a power system in any country requires significant investments and qualitative personnel. The consumers, independently from the generators, change their energy demand in accordance with their needs. All the elements of the power system function as a unified system. The operation of the power system is strongly influenced by a number of natural factors. Changes in the operating conditions also make it necessary to change the operating mode of power facilities.

The rise in energy consumption, the growing dimensions of power systems, their degree of complication and significance, the increase in the prices of energy carriers, the influence of occasional factors and uncertainty – all of the aforementioned has sharpened a number of serious energy-related problems [1].

Efficiency and availability of power supply is critically important in modern world. Unfortunately, the standards of living for different layers of population differ even in developed countries that are well provided with energy. Still larger are the differences in living standards between industrially developed countries and developing countries. Provision with energy resources is very inhomogeneous at various places of the world. As a result of this, one fourth of the world's population still has no access to electric energy sources and, consequently, to most of the benefits offered by modern civilisation. The main reason for this is the energy price, which is inaccessible to the poorer layers of population. The growth in the energy prices hampers the development of industrial production and consequently limits the opportunities to solve many social and environmental problems.

Power supply reliability is another important direction in power system. Humanity has gradually got accustomed to conditions that are unthinkable without guaranteed energy supply and has adapted its way of living accordingly. Even in case of short-term power cuts, modern-day cities, industrial enterprises and transportation systems suffer damage and large-scale economic loss, emergency and catastrophe threats arise, possibly even with large casualties.

Environmental impact is relatively new field of science, but not least important, that mentioned earlier. Energy production is practically impossible without influence on climate, the air and water basin, natural sceneries and, as a result, the human living environment.

Sustainability is included in different development strategies for achieving better results in future. This concept is linked to the limited amount of basic resources available to modern society. Although the

amount of energy produced from renewable sources has increased considerably over the last decade, yet it is expected that almost 85 % of the increase in the energy production amount will be related to an increase in the consumption of fossil fuel.

The acuity of the above problems has resulted in decisions on an international scale regarding the restructuring of power systems and the use of market conditions and mechanisms in the management of the development and operation of power systems. The power system is divided into a number of legally independent parts that compete with one another. Competition is the main factor that can ensure rational development of power systems.

Division of a system into a number of parts diminishes the dimensions of the objects to be managed. It seems that the models and algorithms for management and decision-making are simplified, yet at the same time, new problems emerge. To solve the problems described above are generally recognized two main ways:

- Distributed generation usage.
- The Smart Grids technologies application, which uses information and communications technology to gather and act on information about suppliers and consumers behaviours, in an automated fashion to improve the efficiency, reliability, economics, and sustainability of the production and distribution of electricity.

Nowadays tendency of necessity of skilled engineers persist. In summary it is possible to assert that the management and operation of modern power systems requires the use of a large number of well-trained engineers. It can be expected that the trend of growth of requirements for qualified personnel have to be continued in the future. Areas of personnel activity, management, operation and maintenance of energy supply process can be divided into the following groups:

1. Development of equipment and apparatus. Much of the effort in this group focused on the development of automation and control systems.
2. Designing of power system objects (development of new or reconstruction and modernization of existing power stations, substations, transmission lines).
3. Operational control of power plants, substations and network areas.
4. Operation of transmission and distribution grids, power plants and substations.
5. Management and operation of consumer's energy demand.

Activity in any of the above-mentioned areas is related to the complex and dangerous equipment state changes. Errors in making or implementing decisions can cause serious consequences. In some cases there are

enormous economic and social losses or even human victims [2-5]. The major blackouts in different parts of the world can serve as example of errors, which was made in different stages of process management or operation. The significant cost of possible errors determines the high demands on the staff, which ensures the development and operation of power systems. Much of the staff should have higher education and scientific degrees including doctoral level.

To ensure the success of the personnel are required not only deep theoretical knowledge but also practical skills, the acquisition of which in modern universities is associated with considerable difficulties. This statement may be explained by the variety of instruments and the conditions of their operation, by the high cost of equipment in the teaching and research laboratories. Encountered difficulties, the desire to reduce costs leads to the use of various simulators, allowing to obtain the necessary skills in conditions which are near to real [6].

Three types of simulators currently are used:

- Engineering software dedicated to the accurate simulation of the dynamics (including arc flash, load flow, short circuit, transient stability, relay coordination) of all electric power systems [7-9]. Even complete virtual laboratories can be created, like for example, Virtual laboratory based on LabView software package [10]. Such simulators can't be used for direct testing of real devices.
- The equipment, which can generate processes in real time and is specifically designed for basic testing of real protection and measurement devices [11].
- Real-time large power systems process simulators [12, 13], which can generate processes in real time.

It should be noted that the last two groups of equipment are expensive, while the first group of simulators, are not appropriate for obtaining the sufficient practical skills.

This paper is devoted to the description of one of the possible approaches to create algorithm with purposes of its use in teaching and research on the development of automation and protection areas.

## II. The Power System Processes Simulation System

The proposed power system processes simulation system scheme that takes the advantages of digital technology utilization is shown in Fig. 1 [6].

Presented in Fig. 1 structure has the following features and properties:

- Laboratory server forms the library of processes in two ways:
  - Applying special programs [7, 8] and user defined scenarios of accidents provides modelling and

recording of emergency processes (Section V).

- Collects records of real processes which were registered by power system automation devices.
- For automation and protection system algorithms and software testing purposes specialized micro-controller based terminals (see the description below) was developed. These terminals allow to record multiple automation devices operating software and they may be tested using both analog and a digital signals.

Here (Fig. 1), the currents and voltages are fed to the tested device by the Digital-Analog Converters (DAC) and power amplifiers [12]. Thus, for real time software and device hardware testing it becomes necessary and sufficient: to write in memory and hold there waveform data of the input signals; to ignore input signals in testing mode, instead using the stored in memory data; to compare the responses of the ideal and the tested device, using computer simulation of device performance as ideal characteristic.

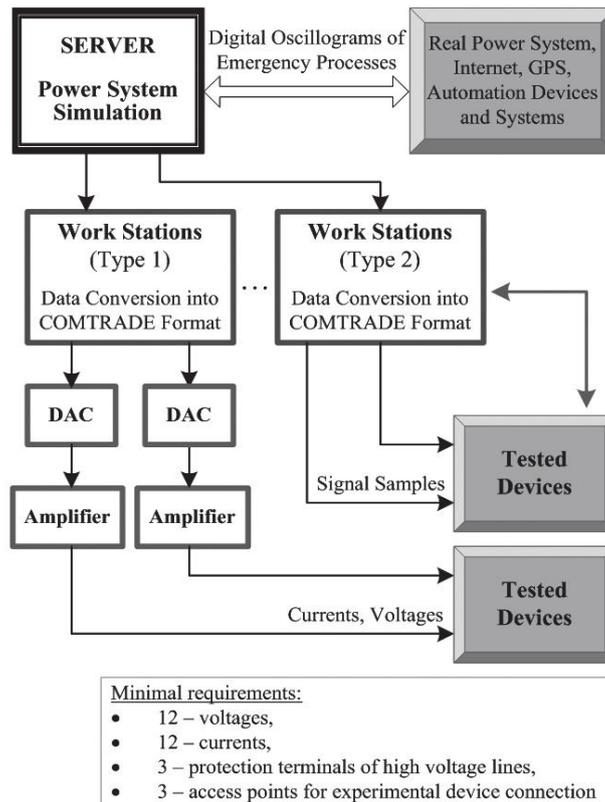


Fig. 1. Power Systems Simulator structure

For the new technology application, the automation devices should be designed to accept the digital format of testing waveform data and to support the ability to ignore the analog-digital conversion results in testing mode. For this purpose special software has been developed and installed both to computer and to micro-controller of the tested device.

In order to analyse and evaluate the operation of automation and relay protection testing signals are needed. These signals may be generated by following tree methods:

1. Performing power system numerical simulation.
2. Registering and applying for testing procedure a real power system emergency processes.
3. Describing processes in the form of a mathematical formula.

The modern software allows dynamic simulation of large power system [7-9]. Currents and voltages obtained during simulation can be saved in external file and can be used (after conversion into analog or digital form) for automation device testing. However, output signals of power system dynamic simulation software are represented with signal effective value and phase angle, but automation test system accept signals in COMTRADE format (instantaneous values), the converter program is required. Such conversion program has been made and it converts the EUROSTAG and ETAP output file into COMTRADE format. As soon as the COMTRADE data file is obtained it can be used by simulation system for setting verification, terminal (relay) operation evaluation, etc.

### III. Out-of-Step Protection Types and Algorithms

Normally out-of-step systems installed throughout the world monitor voltages and currents at PTLs' terminals. More recent technology incorporates Global Positioning System (GPS) receivers providing for synchronized phasor measurements [14] over multiple grid locations.

For local systems a number of algorithms are accepted as good practice in this field:

- Angle-based algorithms.
- $U \cos \varphi$  algorithm.
- Energy function-based methods.
- Incorporation into the differential protection technology.
- Distance algorithms, and others.

Wide-area systems with remote synchronized measurements may be realized using measurement of phasors [15]. Measurement of phasors (i.e. complex of fundamental frequency AC system voltages and currents) is a critical element of many computer based monitoring, protection and wide area control systems.

The configuration consists of two or more phasor measurement units (PMU), which provide synchronized real time information regarding the state of the system. Synchronization of measurements can be made on basis of the GPS or Navstar Satellite system. It permits accuracy of better than 1 microsecond. The data provided by the PMUs is sent to an appropriate control unit, where it is analysed. The platform is based on powerful digital processor, and is capable of receiving data from a large number of PMUs and verifying the data integrity.

In this paper is described the automation that uses elements of both the above mentioned methods. The implementation of algorithms for recognizing the asynchronous mode is carried out by local devices, but to increase their efficiency are used high-speed communication channels, synchronized measurements and information from remote substations.

A selection between two asynchronous operation (AO) detection algorithms is possible for currently used applications of AO protection A (AOP-A) to power systems [16]. The unstable power swings are detected based on continuous monitoring of angle  $\varphi$  between two simulated voltages  $U_1$  and  $U_2$  [17]. To simulate these voltages two-machine circuit - an equivalent of the real system - is used, as Fig. 2 and (1) show.

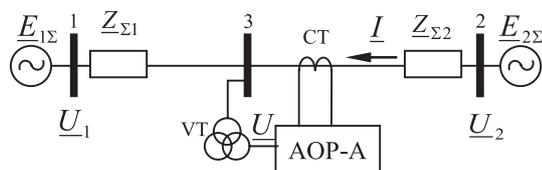


Fig. 2. Equivalent circuit of the power system

$$\begin{cases} \underline{U}_1 = \underline{U} \pm \underline{Z}_{\Sigma 1} \cdot \underline{I} \\ \underline{U}_2 = \underline{U} - \underline{Z}_{\Sigma 2} \cdot \underline{I} \end{cases} \quad (1)$$

where  $\underline{U}$  and  $\underline{I}$  are local voltage and current values measured by protection in the point of installation (an additional current input may be activated for improved precision),  $\underline{Z}_{\Sigma 1}$  and  $\underline{Z}_{\Sigma 2}$  are the settings chosen depending on the equivalent parameters of the power system.

Depending on the location of electric centre of swings (ECS), the modelled voltages  $\underline{U}_1$  and  $\underline{U}_2$  can be located either side of ECS (the angle  $\varphi$  does not exceed  $90^\circ$ ) or on the opposite sides of ECS (angle  $\varphi$  increases until it reaches  $180^\circ$ ).

The protection operates when the following requirements will be met:

- 1) angle  $\varphi$  has reached its limit value;
- 2) angle changes with a sufficiently high rate ( $d\varphi/dt$ );
- 3) currents and voltages are symmetrical.

Application and operation of the currently accepted AOP-A approach holds a number of drawbacks analysed below.

First, setting values are derived from system studies. As AO is a very un-common and rare event in system practice, its modelling considers extreme grid outage scenarios applied to an integrated and interconnected network. This type of modelling is a complex process and prediction of those scenarios plays a vital role in providing AOP-A efficiency. Any significant difference between pre-analysed and actual AO scenarios might lead to incorrect device response. The extensive system modelling phase would be eliminated.

Additionally, any significant amount of demand supplied from buses 1, 2 and 3 (Fig. 2) might influence particularities of the unstable swing processes. As a result, those modelling bus voltages might reproduce generator angles incorrectly. A new approach is introduced in the next section aiming to overcome drawbacks outlined above.

The new proposed solution is based on a combination of synchronised phasor measurements with local-based approaches, referred to as AOP-B. Its application would be beneficial for those power utilities that have limited PMU coverage currently as well as at interconnections between systems with different PMU application policies.

The real-time synchronised measurements of voltage phasors are compared between two key substations (Bus 1 and Bus 2 in Fig. 3) located within a transmission corridor in question. Additionally, two remote voltage phasors are simulated in the same timeframe reaching for relevant locations (Gen 1 and Gen 2 in Fig. 3) not covered by PMU and communication technology presently.

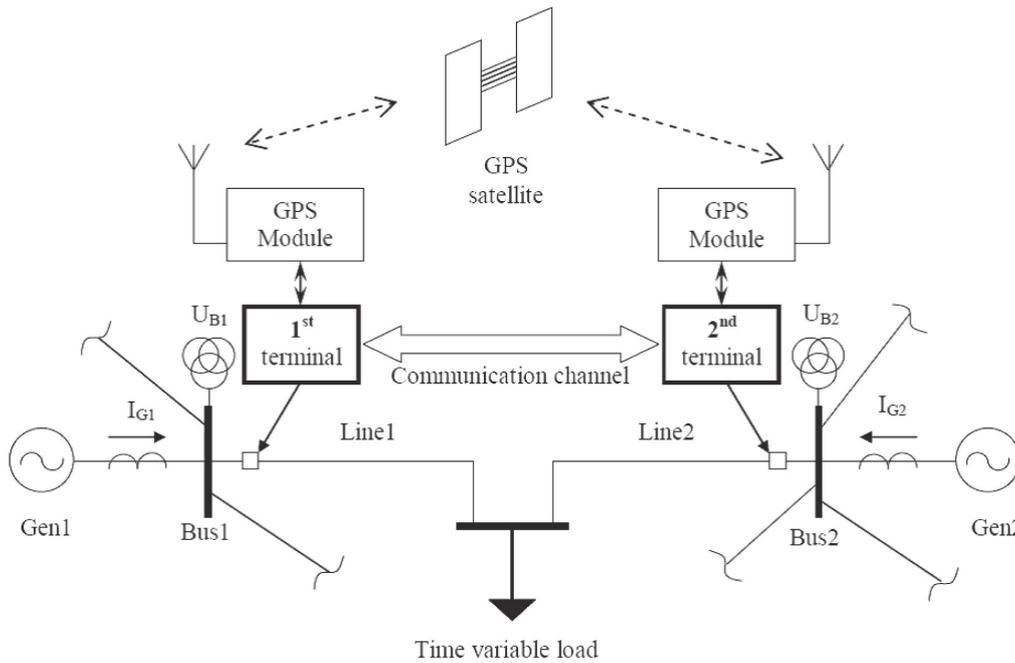


Fig. 3. Simplified diagram of terminals connection in power system

The proposed structure and associated modelling is free from the above mentioned drawback. The modelling phasors are processed in accordance with formulas (2) [18].

$$\begin{cases} \underline{E}_1 = \underline{U}_{B1} + \underline{I}_{G1} \cdot \underline{Z}_{G1} \\ \underline{E}_2 = \underline{U}_{B2} + \underline{I}_{G2} \cdot \underline{Z}_{G2} \end{cases}, \quad (2)$$

where  $\underline{I}_{G1}$  and  $\underline{I}_{G2}$  are currents of transmission branches linked to equivalent generators,  $\underline{E}_1$  and  $\underline{E}_2$  are voltage phasors associated with EMFs of equivalent generators,  $\underline{Z}_{G1}$  and  $\underline{Z}_{G2}$  are corresponding modelling impedances (settings),  $\underline{U}_1$  and  $\underline{U}_2$  are bus voltage phasors measured by two terminals at their locations in real time.

In case of AO in power system, the angle  $\delta$  between simulated voltages increases till  $180^\circ$  and voltage at the ECS is equal to zero. The terminal operates when the following requirements are met:

- 1) angle  $\delta$  has reached its limit value;
- 2) angle changes with a sufficiently high rate ( $d\delta/dt$ );
- 3) voltage circuits are in serviceable condition;
- 4) currents and voltages are symmetrical;
- 5) communication channels is in operation condition.

The communication channel plays an important role in the proposed structure and its arrangement is described in the next section.

Nowadays, the communication channels are more and more becoming a part of the power system operation. In regards to this, an important issue is any communication network time delays. Power systems widely use the Synchronous / Plesiosynchronous Digital

Hierarchy (SDH/PDH) telecommunication equipment both for dispatching information data transfer and for data exchange between remote terminals [19]. The PDH and SDH technologies uses time division multiplexed technique and allow the client to be connected to the network through the communication multiplexors.

The practical usage of fiber optic channels with multiplexors technology realization showed, that different types of glitches occurs during data transferring process [20]. Communication channels reliability becomes a crucial factor for a whole protection system correct operation.

#### IV. Study Case

The comparison of existing AO protection relays, namely AOP-A and the proposed two terminals methods based on synchronized measurements is presented and analysed.

The analysis was established based on the high-voltage transmission grid of the Latvian power system including all relevant power plants [21]. The power plant models are structured as per actual arrangement, e.g. Plavinu HPP consists of multiple hydro-generators with every two units sharing a single step-up transformer.

The Latvian power system is interconnected with neighbouring networks of Lithuania, Estonia and Russia. The Lithuanian power system representation is based on four external nodes. Both Estonian and Russian systems are modelled as power grids, i.e. two links with the Estonian system up to Tsirguliina and Tartu buses and a single Velikoreckaja bus in the Russian network.

Comparison between AOP-A and AOP-B devices is developed analysing a selected portion of the Latvian

system (Fig. 4) using the following assumptions. The AOP-A device monitors the angular difference between phasors associated with Plavīnu HPP generators (Bus 3) and the Russian power system (Bus 4) derived from the local measurements – line L2 at Bus 2.

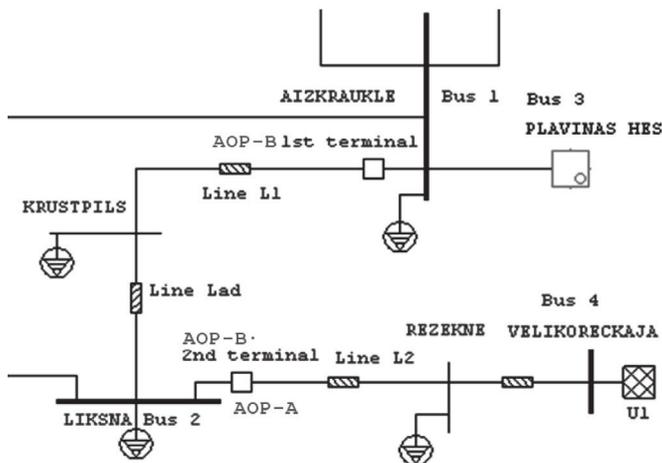


Fig. 4. Studied part of the Latvian power system

The AOP-B solution employs two terminals: the first one is installed at Bus 1 and additionally measures the current associated with the Plavīnu HPP generators. The second terminal is located identically with AOP-A. The examined system includes a number of concentrated demand nodes, for example Bus 1, etc.

The study employs comprehensive electrical engineering software ETAP covering design, simulation, operation, and automation of generation, transmission, distribution, and industrial power systems. Special attention is paid to the Transient Stability Analysis module dedicated to various types of disturbances and emergency scenarios.

For modelling purposes, the outcomes of the grid simulations were transferred and analysed using an external data base (DB). The next step was creation of a tool, which processes data and provides the required results for comparison of two approaches under analysis. For this task, the Mathcad 15 software was chosen as the most appropriate one. Thus all necessary modelling data sets were built including appropriate simulation parameters, e.g. U1, U2, E1 and E2, etc. Fig. 5 summarises the software in use.

It is well known that for stability considerations a three phase short circuit is the most severe single fault. In study scenarios a three-phase fault occurs at a transmission line connecting Viskali and Bisuciems buses at 95% of its length [21]. The short-circuit lasts for 0.53 seconds being longer than any relay protection operation time.

However, for the purpose of the study this fault

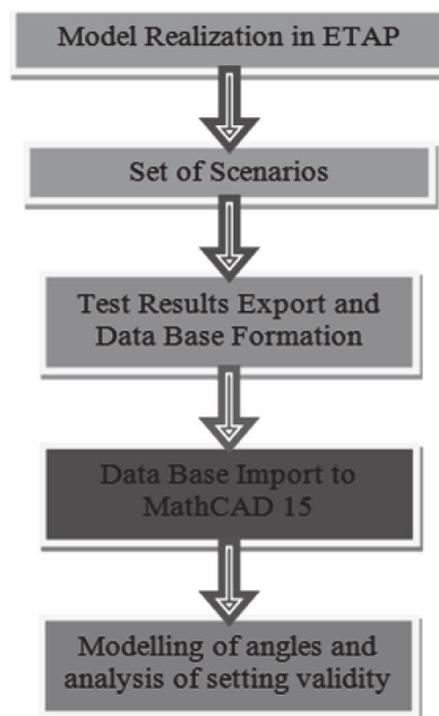


Fig. 5. Generalized algorithm of case study

is assumed to be a simplified representation of more complex cascading events within the grid. The complex unstable conditions are shown in Fig. 6.

Instability develops both between Latvian and external systems as well as within Latvian system itself. Generators connected to the grid lose their stability and various transient groups are formed. Each unstable group will require either controllable splitting of the grid or tripping of unstable machines. However, further analysis is concentrated on inter-system observations under this complex instability pattern, in particular Latvia to Russia connection – line L2.

Suitability of AOP-A settings under the observed case conditions is confirmed by a verification study performed in ETAP. Fig. 7 compares phasor angle values for corresponding system locations as modelled by AOP-A (changes in time during AO) versus ETAP simulation results for the same buses (generators). The comparison of presented graphs brings to the conclusion that settings are chosen properly. Similar results were obtained for AOP-B.

Generally, identification of correct settings for AO protection devices requires a difficult and extended calculation procedure involving significant expert and computational resources. This is due to the fact that the power system is a complex structure with its parameters being variable in time. For example, a comprehensive setting verification/validation would involve a range of scenarios for devices purely based on pre-selected settings.

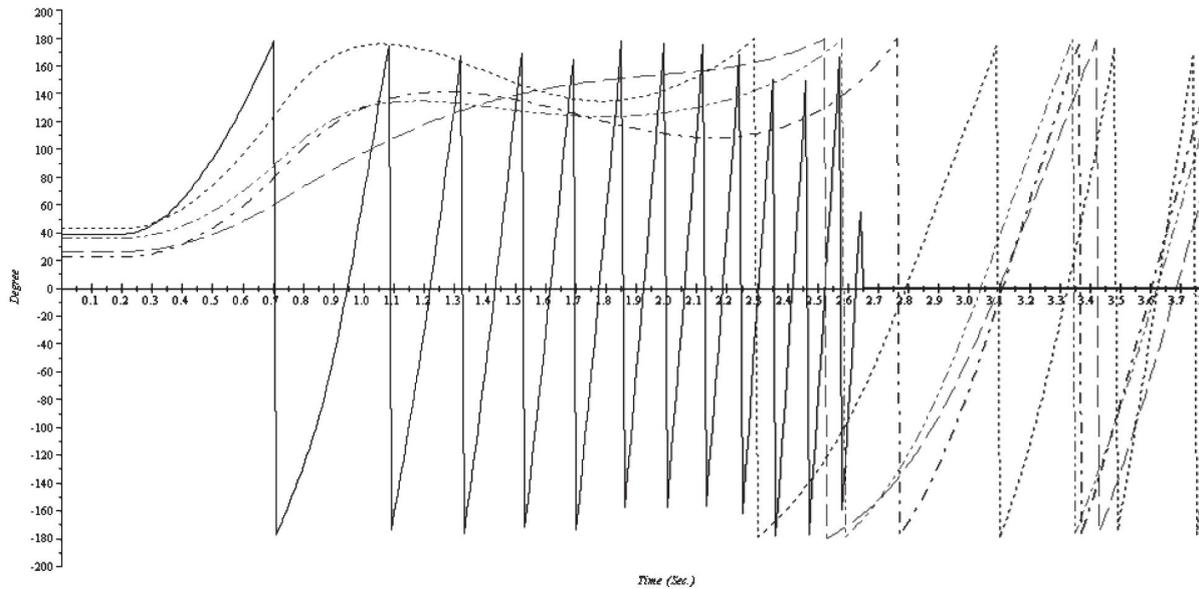


Fig. 6. Generator rotor angles (deg.) following three-phase fault

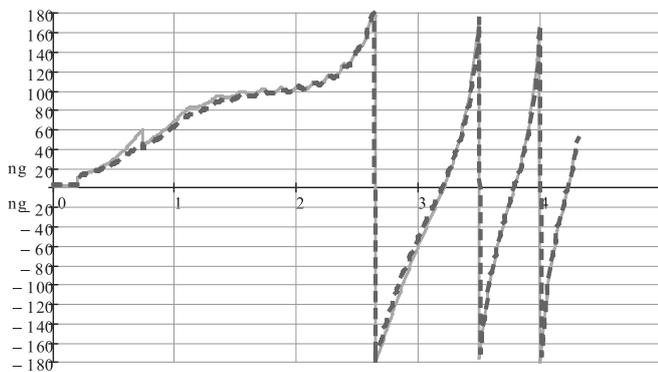


Fig. 7. AOP-A device modelled (solid) and ETAP calculated (dotted) phasor angles

Generally, identification of correct settings for AO protection devices requires a difficult and extended calculation procedure involving significant expert and computational resources. This is due to the fact that the power system is a complex structure with its parameters being variable in time. For example, a comprehensive setting verification/validation would involve a range of scenarios for devices purely based on pre-selected settings.

To compare operation of AOP-A and AOP-B devices, special attention was paid to the system parameters change influence on expected responses, i.e. used impedance settings didn't represent actual system parameters due to changes in power system structure.

Two specific cases were observed. The first one represents the night minimum conditions in the system with reduced amount of generation units in operation. For instance, only two Plavinas HPP units are in service. Assume, the impedance settings for AOP-A were changed based on a part of influencing factors only. In

that case, it would operate with a significant difference comparing to the actual stability performance. It means that AOP-A will respond incorrectly, and this can lead to more severe consequences (losses). Analysing AOP-B operation, it is possible to conclude that it will operate very close to real regime data.

Fig. 8. compares AOP-A (red-coloured curve) versus AOP-B (green-coloured curve) responses as well as shows the phasor angle difference between corresponding system locations (black-coloured curve).

The second case is related to the grid maintenance, when a power transmission line is being taken out of service and AOP-A settings must be updated properly when evaluating the corresponding network structure changes. Consider an outage of the “Salaspils – Valmiera” line was addressed incorrectly in AOP-A settings leading to its missed operation – non-operation, when required. The modelling results are depicted in Fig. 9 (colouring as above).

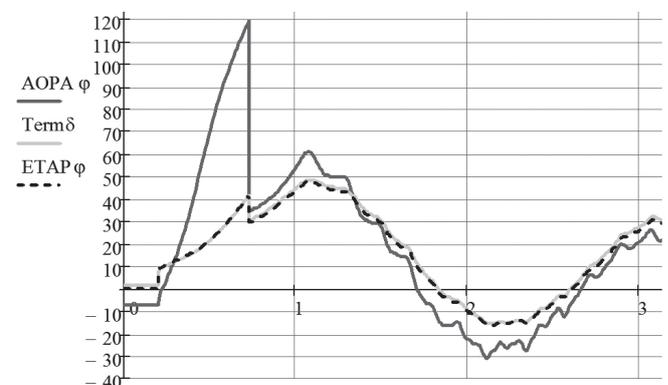


Fig. 8. AOP-A and AOP-B angles (deg.) in time (sec) – system night minimum case

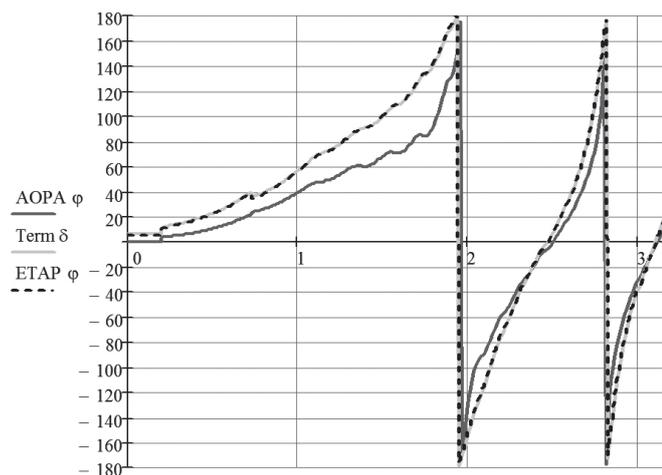


Fig. 9. AOP-A and AOP-B modelled angles (deg.) in comparison with system instability – grid maintenance case

As on comparison of AOP-A and AOP-B angle curves, it is possible to evaluate that AOP-A will not operate when required demonstrating potential unacceptable performance due to inadequately chosen settings. Performance of the new proposed AOP-B device is in line with requirements.

All calculations and modelling processes were made in specially designed simulator ("Analog-digital power system simulator" or VNPC) with remote connection possibility. This was very helpful and useful, because all necessary software was in one place and was available at any time. The simulator was realized within project "EVIIT" [22], what is directed to federal research centre foundation, and everyone can get access to this resources.

## V. Conclusions

Laboratory, that is able to ensure the testing and verification of automation and relay protection algorithms, software and hardware, can serve as the basis to get for students practical skills which is necessary for the development and operation of power automation systems and transient stability studies.

Specialized terminals that are able to use digital input signals, provide the opportunity for a wide class of experiments based on the use of power systems simulation software.

Changes in power system topology and structure may lead to associated changes in AO protection zones and result in significant influence on correct recognition of unstable conditions. This will cause consequences dangerous for both power plant equipment and system integrity, if addressed incorrectly.

## References

1. Daniel Sadi Kirschen and Goran Strbac. Fundamentals of Power System Economics, John Wiley

and Sons, May 2004. – 296 p.

2. Final Report on the August 14, 2003 Blackout in the United States and Canada. U.S.-Canada Power System Outage Task Force, April 2004.

3. RMS Special Report "The 1998 Ice Storm: 10-Year Retrospective".

4. Report to the President on the Power Failure in the Northeastern United States and the Province of Ontario on November 9–10, 1965. – 57 p.

5. Report on the New York City Blackout July 13, 1977. State of New York Investigation, January 1978. – 63 p.

6. Sauhats A., Žalostība D., Dolgicers A., Utāns A., Bočkarjova G., Bieļa-Dailidoviča E., Antonovs D. Power System Simulation Laboratory as a Modern Educational Tool. Recent Advances in Education & Modern Educational Technologies: Educational Technologies Series 9: The 2013 International Conference on Education and Modern Educational Technologies (EMET'13), Italy, Venice, 28–30 Sept., 2013. – P. 103–110.

7. Eurostag Software [Electronic resource]. – URL: www.eurostag.be

8. ETAP Software [Electronic resource]. – URL: www.etap.com

9. PowerWorld Software [Electronic resource]. – URL: www.powerworld.com.

10. R.A. JabbarKhan, A. Mohammed, M. Junaid, M.A. Masood, A. Iftkhar. LabVIEW based Electrical Machines Laboratory for Engineering Education. WSEAS Transactions on Advances in Engineering Education Issue 5, Volume 7, May, 2010. – P. 161–171.

11. Sauhats A., Bockarjova M., Dolgicers, A. Silarajs M. "New method for complicated automation systems simulation test," 8th IEEE International Conference on Developments in Power System Protection, April 2004. – P. 280–283.

12. Bose A., Clements K.A. "Real-Time Modelling of Power Networks," Proceedings of the IEEE, vol. 75, no. 12, Dec. 1987. – P. 1607–1622.

13. Real Time Digital Simulator – RTDS [Electronic resource]. – URL: www.rtds.com.

14. Phadke A.G., "Synchronized Phasor Measurements in Power Systems", IEEE Computer Applications in Power, vol. 6, no. 2, 1993. – P. 10–15.

15. Power Swing and Out-of-Step Considerations on Transmission Lines, IEEE PSRC WG D6, 2005.

16. AGNA technical description and operating manual [Electronic resource]. – URL: http://remi.eef.rtu.lv/.

17. Sauhats A., Svalov A., Statistical Optimisation of a Complex of Local Devices for Prevention of Out-of-Step Conditions, 14th PSCC, Sevilla, 24–28 June 2002, Session 22. – P. 5.

18. Antonovs D., Sauhats A., Utāns A., Bieļa E., "Out-of-Step Protection Terminal and Method", Latvia's

patent application Nr. P-13-91, July 5, 2013.

19. *Roland Kiefer*. Test Solutions for Digital Networks: Basic Principles & Measurement Techniques for Pdh, Sdh, Isdn & ATM, 1999.

20. *Utans A., Sauhats A., Leite L., Silarais M.* Experimental Testing of the Quality of Relay Protection Communication Channels // The 5th International

Conference on Electrical and Control Technologies, Lithuania, Kaunas, 6–7 May, 2010, P. 253–256.

21. *Grid Code of Latvia* [Electronic resource]. – URL: <http://likumi.lv/doc.php?id=257943>.

22. *ERAF project* [Electronic resource]. – URL: <http://www.rtu.lv/content/view/6834/2014/lang.lv/>.



**Белов О.А.**  
**Belov O.A.**

*кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Электрооборудование  
и радиооборудование судов» ФГБОУ ВПО «Камчатский государственный технический университет», Россия, г. Петропавловск-Камчатский*



**Парфенкин А.И.**  
**Parfenkin A.I.**

*доцент кафедры «Электрооборудование  
и радиооборудование судов» ФГБОУ ВПО  
«Камчатский государственный технический  
университет», Россия,  
г. Петропавловск-Камчатский*

УДК 621.311

## СИСТЕМНАЯ ИНТЕГРАЦИЯ КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Современный уровень электрификации и автоматизации производственных процессов диктует необходимость повышения надежности электрооборудования, входящего в состав технологических установок. Исходя из многообразия режимов использования электроустановок и сложности протекающих в них процессов требуется системный подход к решению данной задачи.

Функционирование электрооборудования в значительной степени имеет вероятностный характер. Поэтому, наряду с конструктивными мероприятиями повышения надежности и безотказности электрооборудования на стадии проектирования и монтажа электроустановок, в процессе эксплуатации также следует обеспечить поддержание основных показателей на заданном уровне. С этой целью предусмотрены определенные организационно-технические мероприятия. При этом совершенствование качества эксплуатации является актуальной задачей для всех типов электроустановок.

Одним из направлений повышения надежности и безотказности электрооборудования является внедрение интегрированных систем контроля, позволяющих через эксплуатационные показатели формировать диагностическую карту электротехнических устройств, прогнозировать возникновение и развитие дефектов, своевременно определять вид, объемы и сроки восстановительных мероприятий.

Эффективность реализации системами контроля решаемых задач зависит от ряда факторов, в том числе и от системной интеграции контроля электрооборудования. Поэтому разработка типовых схем интегрированных систем и их адаптация к конкретным производственным условиям является актуальной научной и технической задачей.

В данной статье определен состав типовой интегрированной системы. Рассмотрены структурные схемы использования интегрированных систем диагностирования в различных режимах работы. Приведено описание взаимодействия элементов интегрированной системы при определении технического состояния судового электрооборудования.

*Ключевые слова:* электрооборудование, техническая эксплуатация, интегрированная система, объект

диагностирования, информация, средство диагностирования, человек-оператор, динамический комплекс, структурная схема, надежность, безотказность, эффективность.

## SYSTEM INTEGRATION OF ELECTRICAL EQUIPMENT MONITORING

The contemporary state of electrification and manufacturing automation dictates the necessity of the electrical equipment reliability growth. The manifold of electrical installations usage modes and their operations difficulty determine the systems approach to the solution of the given problem.

Electrical equipment operation has a stochastic nature. Thus not only at the stage of development and assembling of the electrical equipment but also during the operational process the electrical equipment faultness and reliability maintenance is necessary. With that end in view definite technical-organizational procedures are provided. At the same time the improvement of service quality is an actual problem for all types of electrical equipment.

One way of the electrical equipment faultness and reliability growth is application of integrated systems of monitoring. The systems allow to form a diagnostic structure of electrical installations using field data. The systems also permit to forecast appearance and development of failures, promptly determine types, volumes and terms of works.

The efficiency of problem-solving by control systems depends on different factors, including the system integration of the electrical equipment monitoring. Thus the development of standard charts of integrated systems and their adaptation to the specific manufacturing conditions is an actual scientific and technical problem.

The article presents the structure of a standard integrated system. Structure charts of integrated diagnostic systems application in different modes are considered. Description of the elements interaction within the integrated system during the determination of the technical state of the ship electrical equipment is presented.

*Key words:* electrical equipment, technical maintenance, integrated system, diagnostic object, information, diagnostic device, human-operator (operator), dynamic complex, structure chart, dependability (reliability), faultness, efficiency.

Интегрированная система диагностирования состоит в общем случае из трех элементов:

- объекта диагностирования (ОД);
- технических средств диагностирования (ТСД);
- человека-оператора (ЧО).

Устойчивая упорядоченность в пространстве и во времени элементов и связей образует структуру интегрированной системы. В зависимости от назначения, специфики использования и расположения на судне объекта структуры системы диагностирования бывают различными, однако все структуры можно свести к небольшому числу типовых [3].

На рис. 1 приведена одна из типовых структур. Диагностирование в этом случае осуществляют в период выполнения объектом его рабочих функций, т. е. оно является функциональным. ТСД играют пассивную роль в процессе диагностирования. Они только воспринимают и перерабатывают информацию, характеризующую качество выполнения ОД рабочих функций. ЧО непосредственно не контактирует с объектом, только взаимодействует с ТСД, воспринимая информацию, управляя процессом диагностирования и принимая решения об использовании объекта.

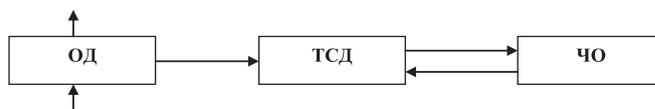


Рис. 1. Структурная схема системы функционального диагностирования

Такова структура системы диагностирования в тех случаях, когда по характеру использования прерывать функционирование объекта для диагностирования невозможно, объект расположен в труднодоступных местах или введение в объект стимулирующих воздействий в целях диагностирования недопустимо.

Судовое электрооборудование, используемое периодически, а также работающее в повторно-кратковременном или кратковременном режимах (электроприводы различного назначения и др.), диагностируют, как правило, в специальном режиме: обычно перед или после использования объекта по назначению. Кроме того, подобное диагностирование можно выполнять в отрезок времени между использованием объекта (рис. 2). В данном случае ТСД выполняют те же функции, что и ранее: принимают от объекта и перерабатывают информацию о его состоянии, ЧО имеет доступ к объекту для включения, выключения, а при необходимости для

соответствующих переключений его в процессе диагностирования, что отличает эту структуру от предыдущей.

Как и в первом случае, ЧО воспринимает информацию и управляет процессом диагностирования. В отличие от предыдущей для подобной структуры системы диагностирования характерно, что в процессе диагностирования объект не работает.



Рис. 2. Структурная схема системы диагностирования в специальном режиме

Структура интегрированной системы диагностирования при тестовом диагностировании объекта существенно видоизменяется, так как ТСД разделяют на две характерные части: ТСД-1 – это активные средства, представляющие собой генераторы стимулирующих воздействий, которые по команде оператора или по заданной оператором программе вырабатывают специальные сигналы, поступающие в объект и вызывающие его реакцию. Стимулирующие воздействия могут копировать рабочие сигналы, обычно поступающие в объект при его функционировании, или быть специфическими, предназначенными только для диагностирования объекта. ТСД-2 – это пассивные средства, которые выполняют функции восприятия и переработки информации о состоянии объекта, заключенной в его реакции на стимулирующие воздействия.

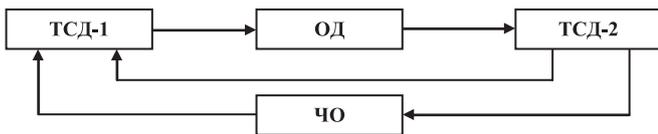


Рис. 3. Структурная схема системы тестового диагностирования

Как видно из рис. 3, ТСД-1 и ТСД-2 связаны между собой для согласования режимов их работы. Согласованию могут подлежать времена включения и выключения, параметры стимулирующих сигналов, пороги срабатывания оценивающих элементов и т. п. В этом случае оператор не имеет контакта с объектом, он управляет активными ТСД-1 и принимает информацию о состоянии объекта с пассивных ТСД-2. Такая структура характерна для систем диагностирования объектов, расположенных на судне в местах, труднодоступных для оператора и допускающих перевод в специальный режим диагностирования.

На рис. 4 приведена разновидность структуры интегрированной системы при тестовом диагностировании судового оборудования. Оператор может непосредственно управлять объектом в процессе диагностирования. Возможность непосредственного управления позволяет устранить непосредственную связь между ТСД-1 и ТСД-2. Естественно, подобную структуру системы диагностирования используют тогда, когда объект размещен на судне в доступном для свободного наблюдения месте.

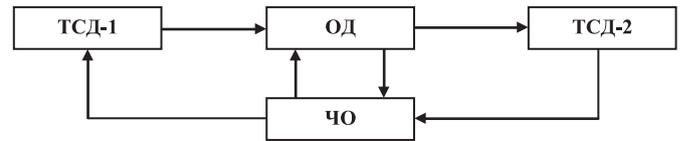


Рис. 4. Структурная схема системы тестового диагностирования при наличии связи ОД-ЧО

Рассмотренные структуры интегрированных систем диагностирования применяют практически во всех случаях, когда ОД рассматривают как единое целое. Однако иногда объект разделяют на части, которые диагностируют различными ТСД и в различное время. На рис. 5 приведена схема системы диагностирования объекта, состоящего из отдельных частей.

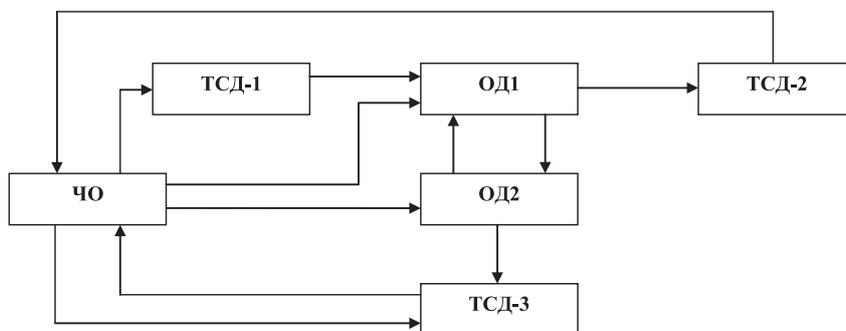


Рис. 5. Структурная схема системы тестового диагностирования объекта, состоящего из отдельных частей

ОД1 представляет собой часть, которую диагностируют тестовым способом достаточно часто с помощью ТСД-1 – активных технических средств, вырабатывающих стимулирующие тестовые последовательности, и ТСД-2 – средств обработки выходной последовательности. ОД2 обладает значительно большей безотказностью, поэтому его диагностируют значительно реже функциональным способом с помощью ТСД-3, которые обрабатывают информацию о состоянии ОД2 и выдают диагноз оператору. В частности, ОД1 может представлять собой вычислительное управляющее устройство, а ОД2 – радиолокационную станцию. Функции оператора в подобной системе достаточно сложны и разнообразны и работает он с большой нагрузкой. Во-первых, управляет и наблюдает за функционированием ОД2, включает ТСД-3 и воспринимает информацию с этих технических средств о состоянии ОД2. Во-вторых, оператор выводит в специальный контрольный режим ОД1, управляет (включает и выключает) ТСД-1 и воспринимает информацию с ТСД-2 о состоянии ОД1. Если степень автоматизации повысить, то функции оператора изменятся и соответственно изменится структура системы диагностирования [1, 2, 4, 5].

Элементы интегрированной системы диагностирования взаимодействуют в процессе оценки состояния технических объектов, обеспечивая требуемую достоверность диагноза. Для того чтобы можно было сравнивать различные системы диагностирования между собой и оценивать эффект, достигаемый ими, используют различные показатели, основные из которых строго определены. Поскольку система диагностирования предназначена для оценки состояния объекта, то качество диагностирования, в первую очередь, определяется вероятностью правильного диагностирования, значение которой зависит от ошибок, допускаемых в процессе диагностирования.

Судовое оборудование в основном представляет собой сложные ОД, состояние которых характеризуется совокупностью независимых показателей. Кроме того, системы диагностирования претерпевают изменения в зависимости от характера исполь-

зования объекта. При этом ОД используют непрерывно или периодически, причем периодическое использование может иметь постоянный период (регулярно-периодическое использование) или случайное значение периода (случайно-периодическое использование).

Таким образом, интегрированные системы технической диагностики являются динамическими комплексами, обеспечивающими выбор соответствующего оптимального режима диагностирования в зависимости от внешних и внутренних факторов, воздействующих на электроустановку.

#### Список литературы

1. *Гельфандбейн Я.А.* Методы кибернетической диагностики динамических систем [Текст]/ Я.А. Гельфандбейн. – Рига: Зинатне, 1987. – 124 с.
2. *Глазунов Л.П.* Проектирование технических систем диагностирования [Текст] / Л.П. Глазунов, А.Н. Смирнов. – Л.: Энергоатомиздат, 1982. – 263 с.
3. *Калявин В.П.* Технические средства диагностирования [Текст]/ В.П. Калявин, А.В. Мозгалевский. – Л.: Судостроение, 1984. –186 с.
4. *Климов Е.Н.* Основы технической диагностики судовых энергетических установок [Текст] / Е.Н. Климов. – М.: Транспорт, 1997. – 190 с.
5. *Пархоменко П.П.* Основы технической диагностики [Текст] / П.П. Пархоменко, Е.С. Согомонян. – М.: Энергоиздат, 1981. – 454 с.

#### References

1. *Gel'fandbejn Ja.A.* Metody kiberneticheskoj diagnostiki dinamicheskikh sistem [Tekst]/ Ja.A. Gel'fandbejn. – Riga: Zinatne, 1987. – 124 s.
2. *Glazunov L.P.* Proektirovanie tehniceskikh sistem diagnostirovanija [Tekst]/ L.P. Glazunov, A.N. Smirnov. – L.: Jenergoatomizdat, 1982. – 263 s.
3. *Kaljavin V.P.* Tehniceskie sredstva diagnostirovanija [Tekst]/ V.P. Kaljavin, A.V. Mozgalevskij. – L.: Sudostroenie, 1984. –186 s.
4. *Klimov E.N.* Osnovy tehniceskoi diagnostiki sudovyh jenergeticheskikh ustanovok [Tekst] / E.N. Klimov. – M.: Transport, 1997. – 190 s.
5. *Parhomenko P.P.* Osnovy tehniceskoi diagnostiki [Tekst] / P.P. Parhomenko, E.S. Sogomonjan. – M.: Jenergoizdat, 1981. – 454 s.



**Шабанов В.А.**  
**Shabanov V.A.**

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Электротехника и электрооборудование предприятий» ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Россия, г. Уфа



**Пашкин В.В.**  
**Pashkin V.V.**

аспирант кафедры «Электротехника и электрооборудование предприятий» ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Россия, г. Уфа



**Ивашкин О.Н.**  
**Ivashkin O.N.**

магистрант кафедры «Электротехника и электрооборудование предприятий» ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Россия, г. Уфа

УДК 621.31; 62-83

## АНАЛИЗ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ АППАРАТА ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗА

В статье рассматриваются потери электроэнергии в процессе прямого и плавного (частотного) пуска асинхронного электродвигателя вентилятора аппарата воздушного охлаждения (АВО) газа. Показано, что пуск двигателя АВО газа в режиме противовключения приводит к увеличению времени пуска и увеличению потерь электроэнергии по сравнению с пуском из состояния покоя. Исследовано влияние величины начального скольжения на увеличение времени пуска электродвигателя и потерь электроэнергии в процессе пуска. С помощью исследований на виртуальной модели найдено критическое значение начального скольжения, при котором прямой пуск электродвигателя становится невозможным. Предложены и исследованы на виртуальной модели два способа исключения режима противовключения электродвигателя, проведен анализ предложенных способов с точки зрения времени пуска и величины потерь электроэнергии.

*Ключевые слова:* асинхронный двигатель, потери электроэнергии, время пуска, прямой пуск, частотный пуск, вентилятор.

## ANALYSIS OF GAS AIR-COOLER ELECTRIC MOTOR ENERGY LOSS

This article consider the energy loss the direct and variable-frequency start-up asynchronous fan drive in the air cooler gas. The article shows that the engine start in the mode of opposition increases the time of start-up and increase losses of electricity during start-up, compared with the launch of the state of rest. In article influence of the value of the initial slip on increase in time of start of the motor, and electric power losses in the process of starting. Using a virtual model of the found value of the critical sliding in which the electric motor start-impossible. Proposed and investigated on the virtual model of two ways mode exception of opposition motor, the analysis of the methods from the point of view of the starting time and the value of losses of the electric power.

*Key words:* asynchronous engine, energy loss, start-up time, direct start-up, variable-frequency start-up, fan.

Вентилятор аппарата воздушного охлаждения газа перед его пуском может иметь обратное вращение, в результате чего приводной электродвигатель в начальный момент пуска оказывается в режи-

ме противовключения с начальным скольжением больше единицы ( $s > 1$ ) [1, 2]. Такой режим может быть опасным для электродвигателя в тепловом отношении как из-за увеличения времени пуска, так

и увеличения пускового тока [3, 4]. К нагреванию двигателя приводят потери мощности в электродвигателе. Величина потерь мощности зависит от способа пуска и от длительности режима противовключения при пуске. В настоящее время применяется прямой пуск аппаратов АВО газа. Ввиду сравнительно небольшой мощности приводных электродвигателей напряжение питания при их пуске практически не снижается. При этом прямой пуск протекает при номинальном напряжении, что, с одной стороны, приводит к снижению времени пуска, а с другой стороны – к более интенсивному нагреву двигателя. В связи с разработкой частотно-регулируемых электроприводов АВО газа представляет интерес исследование частотного пуска и его сравнение с прямым пуском в режимах с противовключением. В статье проводится исследование

способов торможения двигателя в режиме противовключения и оценка потерь мощности в асинхронном двигателе в процессе его разгона.

Для исследований тепловых режимов электродвигателей широко используется моделирование в пакете Matlab и его приложение Simulink [5]. Разработанная имитационная модель для исследования пусковых процессов АВО газа приведена на рисунке 1. Модель содержит источник питания (блок «Three-Phase Source»), преобразователь частоты (блок «Frequency Converter»), асинхронный двигатель (блок «Asynchronous Machine BACO16–14–24» для двигателя типа BACO16–14–24) и модель нагрузки двигателя (блок «Mechanical Part ABO») [2]. Расчет потерь мощности и электроэнергии выполняется в блоке «dP BACO16–14–24».

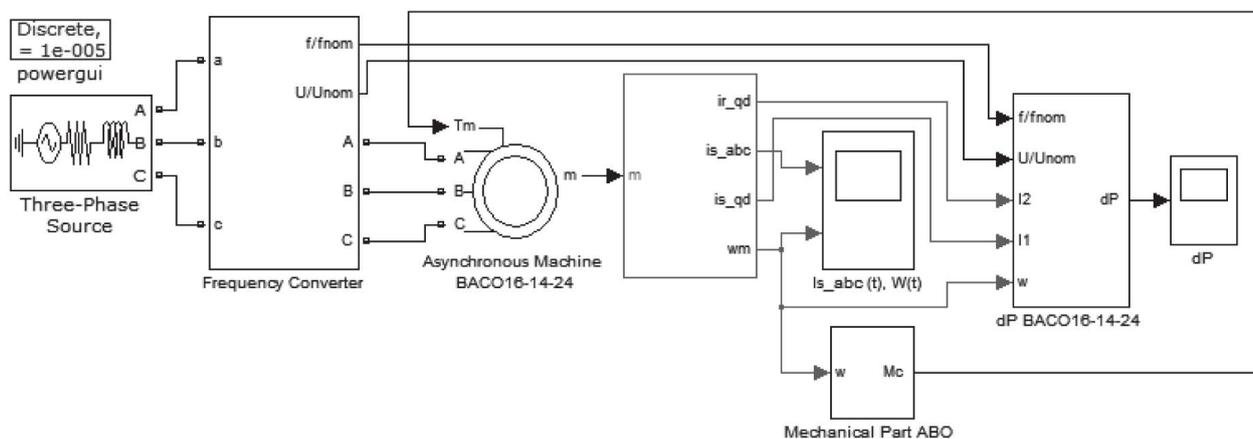


Рис. 1. Модель электропривода АВО газа

Рассмотрим потери мощности и электроэнергии в электродвигателе BACO16–14–24 для двух способов прямого пуска и трех способов частотного пуска:

- 1) прямой пуск при номинальном напряжении из состояния покоя;
- 2) прямой пуск при номинальном напряжении при наличии начального скольжения;
- 3) частотный пуск из состояния покоя;
- 4) применение плавного останова электродвигателя с помощью преобразователя частоты (ПЧ) при наличии начального скольжения и последую-

щий частотный пуск;

- 5) применение динамического торможения электродвигателя при наличии начального скольжения и последующий частотный пуск.

Критерием сравнения является величина потерь мощности в электродвигателе при прямом пуске при номинальном напряжении из состояния покоя.

Расчетные потери мощности в электродвигателе BACO16–14–24 при номинальном режиме работы представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Расчетные потери мощности в номинальном режиме**

Наименование потерь	Значение, Вт	Значение в % от расчетной суммы потерь
Потери в обмотке статора, $\Delta P_{эл.1 ном.}$	3183,7	64,3

Наименование потерь	Значение, Вт	Значение в % от расчетной суммы потерь
Потери в обмотке ротора, $\Delta P_{эл.2 ном.}$	593,8	12,0
Потери в стали, $\Delta P_{ст. ном.}$	900,3	18,2
Механические потери, $\Delta P_{мех. ном.}$	247,5	5,0
Добавочные потери, $\Delta P_{доб. ном.}$	24,8	0,5
Сумма расчетных потерь, $\Delta P_{ном.}$	4950,1	100,0
Потери по каталожному КПД, $\Delta P_{ном.}$	4950,1	100,0

При исследовании на модели в случае нерегулируемого электропривода блок «Frequency Converter» отключается и электродвигатель подключается к источнику «Three-Phase Source» напрямую, что соответствует прямому пуску при номинальном напряжении. Рассмотрим подробнее блок для оценки потерь мощности в электродвигателе «dP ВАСО16–14–24».

При работе с номинальной нагрузкой на валу при номинальном напряжении потери мощности в электродвигателе равны номинальным  $\Delta P_{ном.}$  и складываются из номинальных потерь в обмотке статора  $\Delta P_{эл.1 ном.}$ , номинальных потерь в обмотке ротора  $\Delta P_{эл.2 ном.}$ , номинальных потерь в стали  $\Delta P_{ст. ном.}$ , номи-

нальных механических потерь  $\Delta P_{мех. ном.}$  и номинальных добавочных потерь  $\Delta P_{доб. ном.}$  (таблица 1). В режимах, отличных от номинального, потери в обмотке статора и добавочные потери пропорциональны квадрату тока статора, потери в обмотке ротора пропорциональны квадрату тока ротора, а механические потери пропорциональны квадрату угловой скорости [3]. При нерегулируемом электроприводе при постоянных значениях частоты и напряжения питания потери в стали в процессе пуска не изменяются. Тогда для нерегулируемого электропривода для суммарных потерь электроэнергии при номинальном напряжении получаем:

$$\Delta P = \Delta P_{эл.1 ном.} \cdot \left(\frac{I_1}{I_{1 ном.}}\right)^2 + \Delta P_{ст. ном.} + \Delta P_{эл.2 ном.} \cdot \left(\frac{I_2}{I_{2 ном.}}\right)^2 + \Delta P_{мех. ном.} \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{ном.}}\right)^2 + \Delta P_{доб. ном.} \cdot \left(\frac{I_1}{I_{1 ном.}}\right)^2,$$

где  $I_1, I_{1 ном.}$  – текущее и номинальное значения тока статора;  $I_2, I_{2 ном.}$  – текущее и номинальное значения тока ротора;  $\omega, \omega_{ном.}$  – текущее и номинальное значения угловой скорости.

При частотном регулировании потери в стали не остаются постоянными, а изменяются по сложному закону в функции частоты и напряжения [6, 7, 8].

$$\Delta P = \Delta P_{эл.1 ном.} \cdot \left(\frac{I_1}{I_{1 ном.}}\right)^2 + \Delta P_{ст. ном.} \cdot \left(\frac{U_1}{U_{1 ном.}}\right)^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1 ном.}}\right)^3 + \Delta P_{эл.2 ном.} \cdot \left(\frac{I_2}{I_{2 ном.}}\right)^2 + \Delta P_{мех. ном.} \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{ном.}}\right)^2 + \Delta P_{доб. ном.} \cdot \left(\frac{I_1}{I_{1 ном.}}\right)^2,$$

где  $U_1, U_{1 ном.}$  – текущее и номинальное значения напряжения статора;  $f_1, f_{1 ном.}$  – текущее и номинальное значения частоты питающего напряжения.

Полученные на модели осциллограммы токов статора, временные характеристики угловой скорости и суммарных потерь электроэнергии при прямом пуске при номинальном напряжении из состояния покоя и при наличии начального скольжения  $s = 1,2$  представлены на рисунках 2, 3 и 4 соответственно.

Из представленных осциллограмм видно, что при наличии начального скольжения  $s = 1,2$  увели-

чивается время прямого пуска при номинальном напряжении с 11,5 до 16 секунд по сравнению с прямым пуском из состояния покоя. Согласно эксплуатационной документации АВО газа [9] рабочее колесо вентилятора в момент включения (подачи напряжения) не должно иметь вращения в обратную сторону. Для выполнения этого требования при наличии начального скольжения  $s > 1$  необходимо ротор двигателя затормозить. Рассмотрим два способа пуска вентилятора с использованием торможения до нулевой скорости, перечисленные выше под номерами 4 и 5: плавный останов венти-

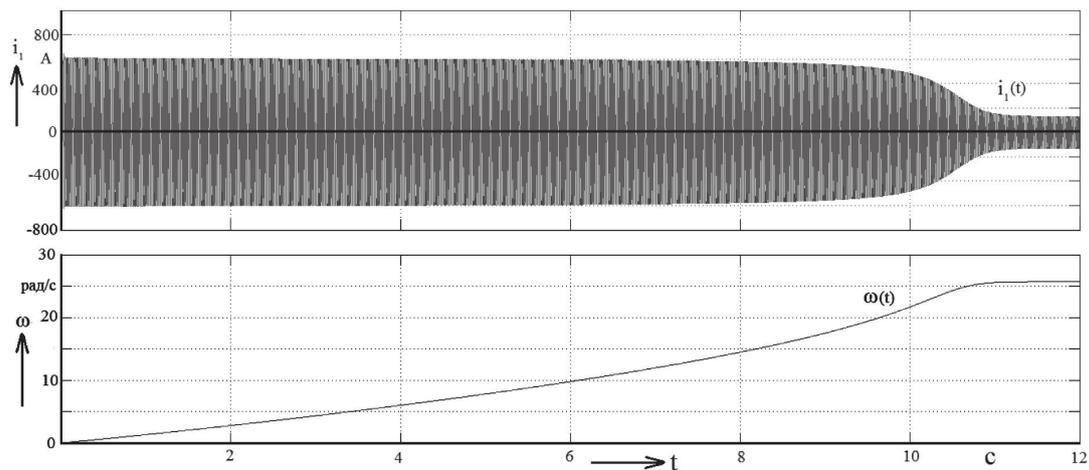


Рис. 2. Осциллограммы токов статора и временная характеристика угловой скорости при прямом пуске вентилятора АВО газа из состояния покоя

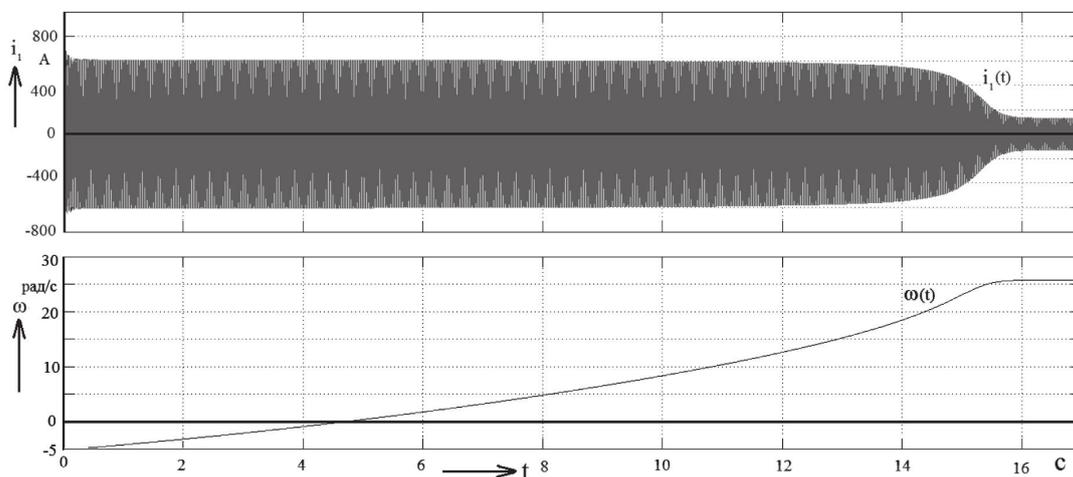


Рис. 3. Осциллограммы токов статора и временная характеристика угловой скорости при прямом пуске вентилятора АВО газа при наличии начального скольжения  $s = 1,2$

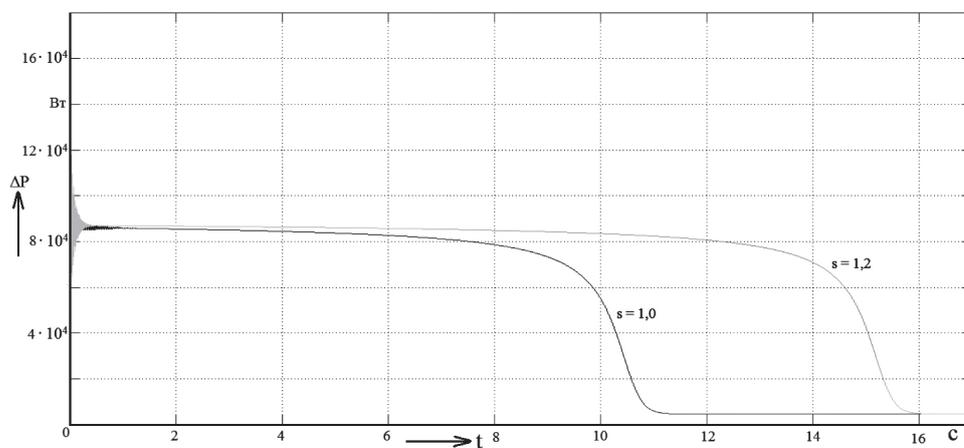


Рис. 4. Временные характеристики потерь электроэнергии при прямом пуске из состояния покоя и при начальном скольжении  $s = 1,2$

лятора с помощью ПЧ с последующим частотным разгоном (способ 4) и динамическое торможение с последующим частотным разгоном (способ 5). Для пояснения на рисунке 5 представлены временные характеристики частоты и амплитуды напряжения в относительных единицах в процессе плавной остановки и последующего частотного разгона.

На отрезке времени 0–4 секунды частота питающего напряжения изменяется от – 0,4 до 0 в от-

носительных единицах, что соответствует плавной остановке двигателя до нулевой скорости. После остановки рабочего колеса в момент времени 4 секунды производится частотный разгон вентилятора.

Временные характеристики суммарных потерь электроэнергии при частотном пуске из состояния покоя, при применении плавного останова с помощью ПЧ и динамического торможения при наличии начального скольжения  $s = 1,2$  представлены на рисунке 6.

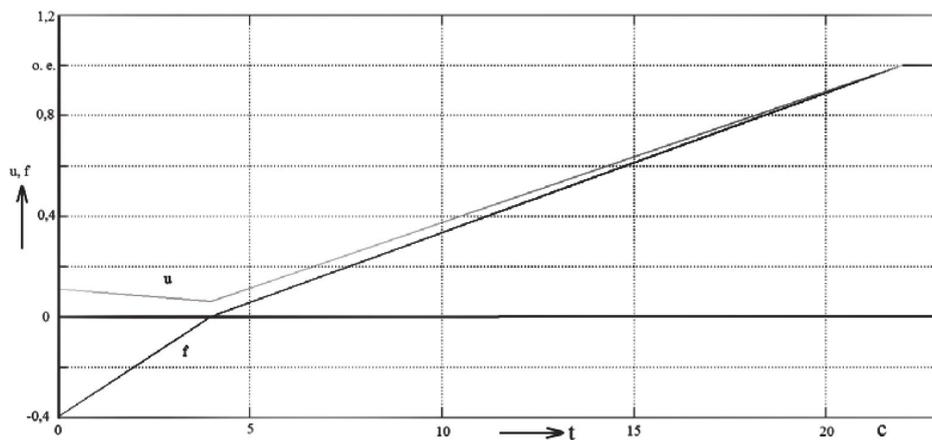


Рис. 5. Временные характеристики частоты и амплитуды напряжения в относительных единицах

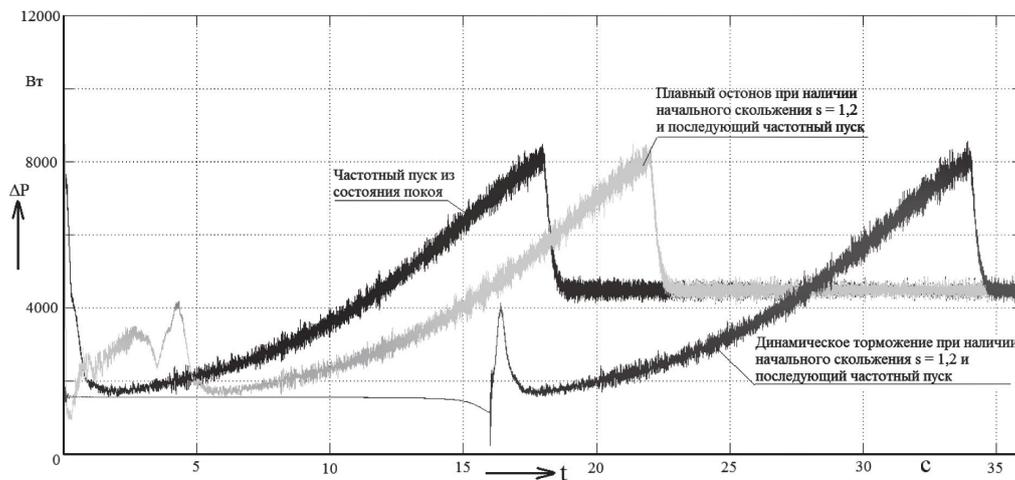


Рис. 6. Временные характеристики потерь электроэнергии при частотном пуске из состояния покоя, плавном останове и динамическом торможении при наличии начального скольжения  $s = 1,2$

Для получения численного значения потерь электроэнергии полученные временные характеристики суммарных потерь интегрируются имеющимся в библиотеке Simulink интегратором. С помощью виртуальной модели проведены исследования влияния величины начального скольжения на длительность пуска и на потери электроэнергии в процессе пуска. Результаты моделирования сведены в таблицу 2. Результаты моделирования показывают, что пуску вентилятора, имеющего начальное скольжение, сопутствует увеличение потерь электроэнергии и времени запуска. При начальном

скольжении  $s > 1,5$  прямой пуск электродвигателя становится невозможным, т. к. пусковой момент электродвигателя оказывается меньше момента сопротивления механизма (строка  $s=1,6$  в таблице 2).

Применение плавного останова с помощью ПЧ по сравнению с использованием динамического торможения примерно равноценно с точки зрения величины потерь электроэнергии, но является более эффективным с точки зрения времени пуска электродвигателя: время пуска снижается с 35 с при использовании динамического торможения до 23 с при применении плавного останова.

Время пуска и потери электроэнергии за время пуска

Способ пуска		Прямой пуск	Плавный останов и частотный пуск	Динамическое торможение и частотный пуск
s=1	Время, с	11,5	19	19
	Потери, Вт	$8,4 \cdot 10^5$	$0,8 \cdot 10^5$	$0,8 \cdot 10^5$
s=1,2	Время, с	16	23 (4+19)	35 (16+19)
	Потери, Вт	$12,5 \cdot 10^5$	$0,9 \cdot 10^5$	$1,0 \cdot 10^5$
s=1,4	Время, с	25	35 (16+19)	79 (60+19)
	Потери, Вт	$19,9 \cdot 10^5$	$1,2 \cdot 10^5$	$2,0 \cdot 10^5$
s=1,5	Время, с	37	59 (40+19)	-
	Потери, Вт	$30,4 \cdot 10^5$	$1,9 \cdot 10^5$	-
s=1,6	Время, с	Запуск невозможен	79 (60+19)	-
	Потери, Вт		$2,5 \cdot 10^5$	-

Для реализации динамического торможения необходимо применение тормозного резистора и коммутационных аппаратов для подключения выпрямителя ПЧ к обмоткам статора. Наличие дополнительных электротехнических элементов снижает надежность устройства в целом. Регулирование динамического торможения является сложным процессом вследствие того, что выпрямитель в составе ПЧ, как правило, неуправляемый. Для частотного торможения достаточно только наличия функции «подхвата» в ПЧ с последующим плавным снижением частоты питающего напряжения до нуля.

Таким образом, наиболее эффективным способом исключения пуска электродвигателя в режиме противовключения является частотное торможение с последующим частотным разгоном.

#### Выводы

1. Применение частотно-регулируемого электропривода АВО газа позволяет не только уменьшить потери электроэнергии в электродвигателе в пусковых режимах, но и путем торможения устранить обратное вращение рабочего колеса, а также запускать вентилятор в соответствии с требованиями эксплуатационной документации из состояния покоя.

2. При частотно-регулируемом электроприводе, в отличие от прямого пуска, обеспечивается пуск АВО газа при любом значении скорости обратного вращения.

#### Список литературы

1. Шабанов В.А. Анализ пуска электроприводов автоматического охлаждения газа в режиме противовключения [Текст] / В.А. Шабанов, В.В. Пашкин // Нефтегазовое дело. – № 1. – 2013. – С. 27–36.

2. Ивашкин О.Н. Моделирование процесса пуска электропривода АВО в режиме противо-

включения [Текст] / О.Н. Ивашкин, В.В. Пашкин, В.А. Шабанов // Сборник научных трудов I Международной (IV Всероссийской) научно-технической конференции «Электропривод, электротехнологии и электрооборудование предприятий». – Уфа: Нефтегазовое дело, 2013. – С. 127–133.

3. Вольдек А.И. Электрические машины. Машины переменного тока: учебник для вузов [Текст] / А.И. Вольдек, В.В. Попов. – СПб.: Питер, 2008. – С. 359.

4. Малиновский А.К. Автоматизированный электропривод машин и установок шахт и рудников: учебник для вузов [Текст] / А.К. Малиновский – М.: Недра, 1987. – С. 275.

5. Браславский И.Я. Использование приложения Simulink для оценки потребления электроэнергии асинхронным электроприводом [Текст] / И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, Ю.В. Плотников // Труды Второй Всероссийской научной конференции «Проектирование инженерных и научных приложений в среде MATLAB». – М.: ИПУ РАН, 2004. – С. 1387–1394.

6. Фираго Б.И. Регулируемые электроприводы переменного тока [Текст] / Б.И. Фираго, Л.Б. Павлячик. – Минск: Техноперспектива, 2006. – С. 585.

7. Аппараты воздушного охлаждения природного газа типа АВГ – 75С: инструкция по монтажу и эксплуатации 712.1 ИЭ. Екатеринбург, ОАО «Урал-ХимМаш», 1994. – С. 16.

8. Шабанов В.А. Алгоритм оценки эффективности частотно-регулируемого электропривода магистральных насосов эксплуатируемых нефтепроводов по критерию снижения расхода электроэнергии [Текст] / В.А. Шабанов, Э.Ф. Хакимов, С.Ф. Шарипова // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2013. – № 2 (9). – С. 34–42.

9. Казаков Ю.Б. Зависимость потерь в асинхронных двигателях от параметров широтно-импульсного регулирования напряжения [Текст] / Ю.Б. Казаков, А.А. Шумин, В.А. Андреев // Вестник ИГЭУ. – 2007. – Выпуск 3. – С. 1–4.

References

1. Shabanov V.A. Analiz puska jelektrorivodov avtomaticheskogo ohlazhdenija gaza v rezhime protivokljuchenija [Tekst] / V.A. Shabanov, V.V. Pashkin // Neftegazovoe delo. – № 1. – 2013. – S. 27–36.  
 2. Ivashkin O.N. Modelirovanie processa puska jelektrorivoda AVO v rezhime protivokljuchenija [Tekst] / O.N. Ivashkin, V.V. Pashkin, V.A. Shabanov // Sbornik nauchnyh trudov I Mezhdunarodnoj (IV Vserossijskoj) nauchno-tehnicheskoi konferencii «Jelektroprivod, jelektrorivodologii i jelektrorivodovanie predpriyatij». – Ufa: Neftegazovoe delo, 2013. – S. 127–133.  
 3. Vol'dek A.I. Jelektricheskie mashiny. Mashiny peremennogo toka: uchebnik dlja vuzov [Tekst] / A.I. Vol'dek, V.V. Popov. – Spb.: Piter, 2008. – S. 359.  
 4. Malinovskij A.K. Avtomatizirovannyj jelektrorivod mashin i ustanovok shaft i rudnikov: uchebnik dlja vuzov [Tekst] / A.K.

Malinovskij – M.: Nedra, 1987. – S. 275.

5. Braslavskij I.Ja. Ispol'zovanie prilozhenija Simulink dlja ocenki potreblenija jelektrorivodologii asinhronnym jelektrorivodom [Tekst] / I.Ja. Braslavskij, Z.Sh. Ishmatov, Ju.V. Plotnikov // Trudy Vtoroj Vserossijskoj nauchnoj konferencii «Proektirovanie inzhenernyh i nauchnyh prilozhenij v srede MATLAB». – M.: IPU RAN, 2004. – S. 1387–1394.  
 6. Firago B.I. Reguliruemye jelektrorivody peremennogo toka [Tekst] / B.I. Firago, L.B. Pavljachik. – Minsk: Tehnoperspektiva, 2006. – S. 585.  
 7. Apparaty vozdušnogo ohlazhdenija prirodno gaza tipa AVG – 75S: instrukcija po montazhu i jekspluatacii 712.1 IJe. Ekaterinburg, OAO «UralHimMash», 1994. – S. 16.  
 8. Shabanov V.A. Algoritm ocenki jeffektivnosti chastotno-reguliruemogo jelektrorivoda magistral'nyh nasosov jekspluatiruemyh nefteprovodov po kriteriju snizhenija rashoda jelektrorivodologii [Tekst] / V.A. Shabanov, Je.F. Hakimov, S.F. Sharipova // Jelektrotehnicheskie i informacionnye komplekсы i sistemy. – 2013. – № 2 (9). – S. 34–42.  
 9. Kazakov Yu.B. Zavisimost' poter' v asinhronnyh dvigateljah ot parametrov shirotno-impul'snogo regulirovanija naprjazhenija [Tekst] / Yu.B. Kazakov, A.A. Shumin, V.A. Andreev // Vestnik IGJeU. – 2007. – Vypusk 3. – S. 1–4.



**Возмилов А.Г.**  
**Vozmilov A.G.**

доктор технических наук, профессор кафедры «Энергообеспечение сельского хозяйства» ФГБОУ ВПО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», Россия, г. Тюмень



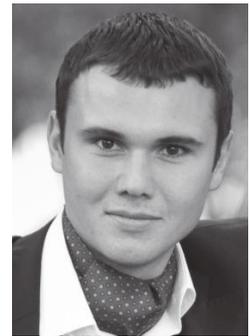
**Андреев Л.Н.**  
**Andreev L.N.**

кандидат технических наук, доцент кафедры «Энергообеспечение сельского хозяйства» ФГБОУ ВПО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», Россия, г. Тюмень



**Дмитриев А.А.**  
**Dmitriev A.A.**

аспирант кафедры «Энергообеспечение сельского хозяйства» ФГБОУ ВПО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», Россия, г. Тюмень



**Жеребцов Б.В.**  
**Zherebtsov B.V.**

преподаватель кафедры «Энергообеспечение сельского хозяйства» ФГБОУ ВПО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», Россия, г. Тюмень

УДК 621.356.48:622.794.7

## ОБ ОСНОВНЫХ ЗАДАЧАХ, РЕШАЕМЫХ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МОКРЫХ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРОВ

В статье описаны задачи, решаемые при проектировании мокрых электрофильтров: расчет эффективности очистки воздуха по исходным параметрам существующей установки и наоборот; расчет параметров электрофильтра при известности эффективности очистки. Для решения задачи первого типа в данной статье приведены методики расчета основных конструктивных и технологических параметров мокрого электро-

фильтра, таких как активная длина осадительных электродов, скорость воздушного потока, межэлектродное расстояние, напряженность поля коронного разряда, напряжение питания при известной эффективности очистки. Приведены формулы, используемые при решении задачи второго типа. На основании данных предыдущих исследований определена зависимость между активной длиной и радиусом осадительных электродов мокрого электрофильтра. Получена зависимость скорости воздушного потока и количества каналов мокрого электрофильтра от заданной эффективности системы очистки рециркуляционного воздуха.

*Ключевые слова:* мокрый электрофильтр, эмпирическое выражение, активная длина, межэлектродное расстояние, скорость воздуха.

## ABOUT MAIN PROBLEM SOLVED IN DESIGN WET ELECTROSTATIC FILTERS

The article describes the tasks involved in designing wet electrostatic filters: calculation of the efficiency of air purification, according to the initial parameters of the existing installation and vice versa: calculation of the electrostatic filter at the notoriety of the efficiency of treatment. To solve the problems of the first type of this article are methods of calculating the basic structural and technological parameters of wet electrostatic filter, such as active length collecting electrodes, air flow velocity, interelectrode distance, the field strength of a corona discharge power supply and the known efficacy of the treatment. The formulas used in solving the problem of the second type. On the basis of the data of previous studies determined the dependence between the active length and radius of collecting electrodes wet electrostatic filter. Dependence of the speed of the air flow and the number of channels wet electrostatic filter from certain efficiency of the system of the purification of recirculating air.

*Key words:* wet electrostatic filter, the empirical expression, active length, electrode spacing, the air velocity.

При проектировании систем электрофильтрации воздуха, как правило, решаются задачи двух типов. Задача первого типа состоит в следующем: при наличии конкретной установки по электрофильтрации воздуха и исходных параметров по загрязнениям в воздушной среде необходимо определить эффективность данной установки по очистке воздушной среды от соответствующих вредностей.

Задача второго типа состоит в том, чтобы при известных параметрах загрязнителей воздушной среды (концентрация пыли, микроорганизмов, вредных газов и т. д.) рассчитать основные геометрические и технологические параметры фильтра, который бы очищал воздушную среду от вредностей с заданной эффективностью.

Рассмотрим задачу первого типа: исходные дан-

ные воздушной среды содержат значения концентраций пыли ( $C_{\text{пыль}}$ ), микроорганизмов ( $C_{\text{мкр}}$ ) и вредных газов ( $C_{\text{газ}}$ ). Также известны конструктивные и технологические параметры мокрого электрофильтра (рис. 1), такие как активная длина электрофильтра  $l$ , межэлектродное расстояние  $h$ , рекомендуемая скорость воздушного потока  $u$ , напряженность поля коронного разряда  $E$  и напряжение питания  $U$ . Общий вид мокрого электрофильтра представлен на рис. 1.

Требуется определить эффективность мокрого электрофильтра по очистке от фиксированного размера пылевых частиц, микроорганизмов и  $i$ -го газа.

Эффективность очистки воздуха от пыли определяется по формуле Дейча:

$$\eta = 1 - e^{\left(-\frac{wl}{hu}\right)}, \quad (1)$$

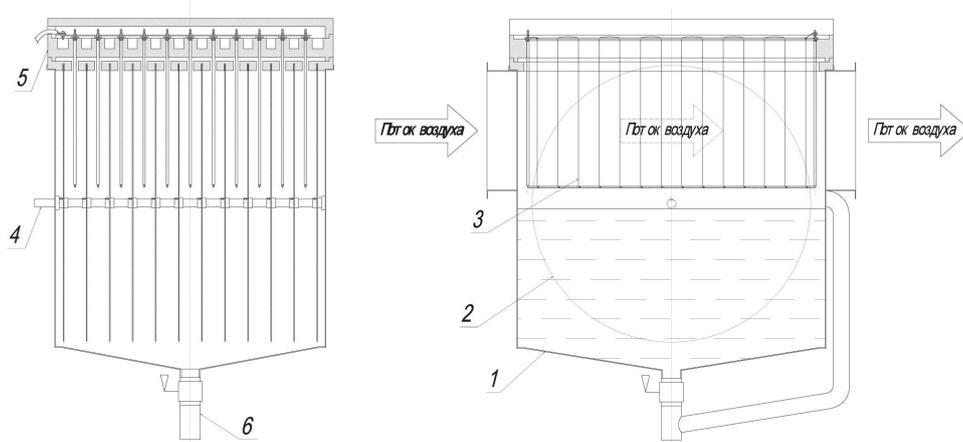


Рис. 1. Конструкция мокрого электрофильтра: 1 – корпус; 2 – осадительные электроды; 3 – коронирующие электроды; 4 – вал электрофильтра; 5 – изоляционная плита; 6 – сливной клапан

где  $w$  – скорость дрейфа частиц, м/с;  $l$  – длина активной части электрофильтра, м;  $h$  – межэлектродное расстояние, м;  $u$  – скорость воздуха, м/с.

В требованиях к системам очистки рециркуляционного воздуха [1] указано, что очистка должна производиться от пылевых частиц размером 1 мкм и более, для которых скорость дрейфа рассчитывается по формуле:

$$w = 0,118 \cdot 10^{-10} \frac{E^2 \cdot d_{\text{част}}}{2\mu}, \quad (2)$$

где  $E$  – напряженность поля коронного разряда, В/м;  $d_{\text{част}}$  – размер улавливаемых частиц, мкм;  $\mu$  – динамическая вязкость воздуха, Па·с.

Если учесть, что динамическая вязкость воздуха составляет  $18 \cdot 10^{-6}$  Па·с, а напряженность поля коронного разряда мокрого электрофильтра – 6,8 кВ/см, то скорость дрейфа частиц размером 1 мкм и более будет более 0,15 м/с.

Активная длина осадительных электродов  $l$  мокрого электрофильтра находится по формуле [1]:

$$l = \frac{\frac{1}{2} \sqrt{2Rb - b^2} \cdot \sqrt{R^2 - \frac{2Rb - b^2}{4}} + 2\pi R^2 \frac{90 - \arccos \frac{R-b}{R}}{360}}{R-b}, \quad (3)$$

где  $R = 0,4$  м – радиус осадительного электрода, м;  $b = 0,005$  м – глубина фиксации осадительного электрода в верхнюю изоляционную плиту, м [2].

Подставляя в формулу (3) значения  $R$  и  $b$ , получаем активную длину осадительного электрода, равную 0,29 м.

Подставив значения скорости дрейфа частиц, активной длины осадительных электродов, межэлектродного расстояния и рекомендуемой скорости воздушного потока, равной 0,55 м/с, в формулу (1), получаем значение эффективности мокрого электрофильтра по очистке воздуха от пыли равно 0,94.

Зная эффективность мокрого электрофильтра по очистке воздуха от пыли, можно вычислить его эффективность очистки от микроорганизмов. Для этого воспользуемся известным выражением [2]:

$$\eta_{\text{микр}} = 1 - (1 - \eta_{\text{пыль}})^{0,66}. \quad (4)$$

При эффективности фильтра по очистке от пыли равной 0,94 эффективность мокрого электрофильтра по очистке воздуха от микроорганизмов будет равна 0,85.

Для определения эффективности мокрого электрофильтра по очистке от  $i$ -го газа воспользуемся формулой:

$$\eta_i = 1 - \exp \left[ - \frac{(k_i + 2k_{H_2O}) \cdot l}{u} \right], \quad (5)$$

где  $k_i$  – коэффициент скорости окисления  $i$ -го газа

озоном;  $k_{H_2O}$  – коэффициент скорости поглощения  $i$ -го газа водой.

Коэффициенты скорости окисления и поглощения являются табличными значениями для каждого газа [5]. В случае отсутствия коэффициента в таблице он определяется экспериментально.

Рассмотрим задачу второго типа. Исходные данные воздушной среды содержат значения концентраций пыли ( $C_{\text{пыль}}$ ), микроорганизмов ( $C_{\text{микр}}$ ) и вредных газов ( $C_{\text{газ}}$ ), также известна необходимая эффективность очистки воздуха мокрым электрофильтром.

Требуется рассчитать конструктивные и технологические параметры мокрого электрофильтра, такие как активная длина электрофильтра  $l$ , межэлектродное расстояние  $h$ , скорость воздушного потока  $u$ , напряженность поля коронного разряда  $E$  и напряжение питания  $U$ .

Согласно требованиям [1], предъявляемым к системам очистки рециркуляционного воздуха от пыли, эффективность не должна быть менее 90%. Связь эффективности очистки воздуха электрофильтром с его основными конструктивными и технологическими параметрами отобрана в формуле Дейча (1).

На основе требований [1] к системам очистки рециркуляционного воздуха принимаем эффективность очистки воздуха мокрым электрофильтром от пыли = 0,9, подставив данное значение в формулу Дейча, получим:

$$0,9 = 1 - e^{\left( - \frac{wl}{hu} \right)}. \quad (6)$$

Проведя ряд преобразований с выражением (6), получаем:

$$e^{\left( \frac{wl}{hu} \right)} = 10. \quad (7)$$

На основе понятия о логарифме ( $y = \log_a x \Rightarrow \Rightarrow x = a^y$ ) можно выражение (3) представить в виде:

$$\frac{wl}{hu} = \log_e 10. \quad (8)$$

В свою очередь, натуральный логарифм 10 равен:

$$\log_e 10 = \ln 10 = 2,3. \quad (9)$$

В итоге получаем:

$$\frac{wl}{hu} = 2,3. \quad (10)$$

Таким образом, задавая эффективность очистки воздуха от пыли, мы определили соотношение основных конструктивных и технологических параметров мокрого электрофильтра.

Рассмотрим более подробно составляющие полученной формулы (10).

В известных исследованиях [3] было доказано, что рациональное соотношение между межэлектродным расстоянием  $h$  и расстоянием между коро-

нирующими электродами  $d$  составляет:

$$\frac{d}{h} = 1,9 \dots 2,1. \quad (11)$$

В свою очередь, оптимальное значение  $d$  равно 52 мм [3]. Таким образом, приняв по формуле (11) отношение  $d$  к  $h$  равным 2, определяем оптимальное значение межэлектродного расстояния  $h$ , которое составит 26 мм.

Подставив значение скорости дрейфа и межэлектродного расстояния в формулу (10), получим эмпирическое выражение, связывающее активную длину и скорость воздушного потока в мокром электрофильтре:

$$\frac{0,1 l}{0,026 u} = 2,3. \quad (12)$$

Так как осадительные электроды мокрого электрофильтра выполнены в виде дисков, пользоваться значением их активной длины неудобно, поэтому, используя выражение (3), определим соотношение активной длины  $l$  и радиуса осадительных электродов  $R$ , которое будет равно:

$$l = 1,45R. \quad (13)$$

Подставив (13) в (12) и решив его относительно  $R$ , получим следующее эмпирическое соотношение между радиусом осадительного электрода и скоростью воздушного потока в мокром электрофильтре:

$$R = 0,41u. \quad (14)$$

Выражение (14) показывает, что между скоростью воздушного потока, проходящего через мокрый электрофильтр, и радиусом его осадительных электродов имеется прямо пропорциональная зависимость.

Исходными данными для расчета системы электрофильтрации воздуха является воздухопроизводительность, которая показывает, какой максимальный объем воздуха может пропустить через себя электрофильтр в единицу времени без снижения качества очистки воздуха ниже установленных нормативов.

Для мокрого электрофильтра воздухопроизводительность определяется по формуле:

$$L_{MЭФ} = L_{\kappa} \cdot n, \quad (15)$$

где  $L_{\kappa}$  – воздухопроизводительность одного канала мокрого электрофильтра, м<sup>3</sup>/с;  $n$  – количество каналов, шт.

Воздухопроизводительность одного канала находится как произведение площади живого сечения одного канала  $S_{\kappa}$  и скорости воздушного потока  $u$ :

$$L_{\kappa} = S_{\kappa} \cdot u. \quad (16)$$

Учитывая глубину фиксации осадительных электродов в изоляционную плиту  $b$ , выразим площадь живого сечения канала (рис. 2):

$$S_{\kappa} = 2h \cdot (R - b) = 0,052 (R - b). \quad (17)$$

Подставив (17), (16) и (14) в (15), получим:

$$L_{MЭФ} = 0,022lu^2n - 0,052bun. \quad (18)$$

Если пренебречь глубиной фиксации осадительных электродов в изоляционную плиту  $b$ , то выражение (18) примет вид:

$$L_{MЭФ} = 0,022lu^2n. \quad (19)$$

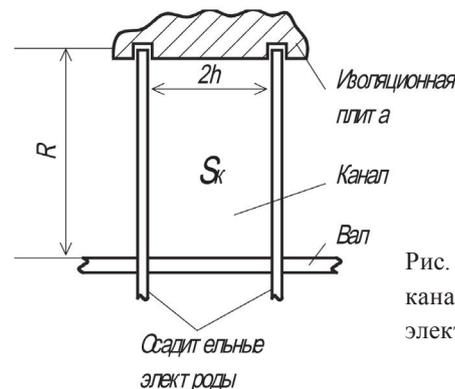


Рис. 2. Живое сечение канала мокрого электрофильтра

Эмпирическое выражение (19) позволяет, подбирая необходимые скорость воздушного потока и количество каналов мокрого электрофильтра, обеспечивать необходимую воздухопроизводительность системы очистки рециркуляционного воздуха с заданной эффективностью, созданной на основе мокрого электрофильтра.

#### Выводы

Полученные аналитические выражения (7), (12) и (19) позволяют рассчитать основные конструктивные и технологические параметры мокрого одноозонного электрофильтра при проектировании систем очистки рециркуляционного воздуха в животноводстве.

#### Список литературы

1. Рекомендации по расчету и проектированию систем обеспечения микроклимата животноводческих помещений с утилизацией теплоты выхлопного воздуха [Текст]. – М.: Секция технологического проектирования Научно-технического совета Минсельхоза России 8 апреля 2004 г. – Протокол № 22.
2. Андреев Л.Н. Методика определения эффективности систем очистки воздуха от микроорганизмов [Текст] / Л.Н. Андреев, В.Н. Мишагин, И.Е. Сыромятов, С.Д. Матвеев // МЭСХ. – 2008. – № 5.
3. Астафьев Д.В. Оптимизация параметров озонатора на основе коронного разряда [Текст] / Д.В. Астафьев // Список трудов Международной научно-практической конференции «Роль молодых ученых в реализации национального проекта «Развитие АПК». – М.: МГАУ, 2007. – С. 212–218.
4. Возмилов А.Г. К определению активной длины осадительного электрода мокрого электрофильтра [Текст] / А.Г. Возмилов, Н.И. Смолин, Л.Н. Андреев, Б.В. Жеребцов // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – № 12. – С. 64–65.
5. Кондратенков В.Н. Константы скорости газозонозных реакций. Справочник [Текст] / В.Н. Кондратенков. – М.: Наука. 1970. – 351 с.

## References

1. *Rekomendacii* po raschjotu i proektirovaniju sistem obespechenija mikroklimata zhivotnovodcheskih pomeshhenij s utilizacijej teploty vybrosnogo vozduhu [Tekst]. – M.: Cekcija tehnologicheskogo proektirovanija Nauchno - tehničeskogo soveta Minsel'hoza Rossii 8 aprelja 2004 g. – Protokol № 22.
2. *Andreev L.N.* Metodika opredelenija jeffektivnosti sistem ochistki vozduha ot mikroorganizmov [Tekst] / L.N. Andreev, V.N. Mishagin, I.E. Syromjatov, S.D. Matveev // MJeSH. – 2008. – № 5.
3. *Astaf'ev D.V.* Optimizacija parametrov ozonatora na

osnove koronnogo razrjada [Tekst] / D.V. Astaf'ev // Spisok trudov Mezhdunarodnoj nauchno-praktičeskoj konferencii «Rol' molodyh učenyh v realizacii nacional'nogo proekta «Razvitie APK». – M.: MGAU, 2007. – s. 212-218.

4. *Vozmilov A.G.* K opredeleniju aktivnoj dliny osaditel'nogo jelektroda mokrogo jelektrofil'tra [Tekst] / A.G. Vozmilov, N.I. Smolin, L.N. Andreev, B.V. Zherebcov // Dostizhenija nauki i tehniki APK. – 2012. – №12. – s.64-65.

5. *Kondratenkov V.N.* Konstanty skorosti gazofaznyh reakcij. Spravochnik. [Tekst] / V.N. Kondratenkov. – M.: Nauka. 1970. – 351 s.



**Линенко А.В.**  
**Linenko A.V.**

кандидат технических наук,  
доцент, декан энергетического  
факультета ФГБОУ ВПО «Баши-  
кирский государственный аграр-  
ный университет», Россия, г. Уфа



**Акчурин С.В.**  
**Akchurin S.V.**

кандидат технических наук,  
ассистент кафедры «Электрические  
машины и электрооборудование»  
ФГБОУ ВПО «Башикирский государ-  
ственный аграрный университет»,  
Россия, г. Уфа



**Туктаров М.Ф.**  
**Tuktarov M.F.**

кандидат технических наук,  
ассистент кафедры «Электри-  
ческие машины и электрообору-  
дование» ФГБОУ ВПО «Башикир-  
ский государственный аграрный  
университет», Россия, г. Уфа

УДК 621-133.33

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЛИНЕЙНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА РЕШЕТНОГО СТАНА ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

В настоящее время очень мало научных исследований, посвященных замене традиционных прямолинейных колебаний решетного стана зерноочистительной машины на продольно-поперечные (сложные) колебания. При этом отмечено, что данный тип колебаний повышает ориентацию частиц зерновой смеси относительно отверстий решетных полотен и увеличивает суммарную траекторию движения зернового материала.

Статья посвящена исследованию возможности создания плоским линейным асинхронным двигателем (ЛАД) сложного вида движения рабочего органа (решетного стана) зерноочистительной машины с одновременным повышением эффективности сепарации зернового материала и уменьшением энергетических затрат.

Для анализа работы предложенной конструкции линейного электропривода создана его математическая модель в среде объектно-визуального моделирования Matlab (Simulink) и разработан экспериментальный образец зерноочистительной машины с использованием в электроприводе решетного стана плоского ЛАД, который при включении одновременно развивает силу тяги  $F_x$ , совпадающую с направлением схода зернового материала, и силу притяжения  $F_y$ , направленную перпендикулярно (в поперечном направлении) к силе тяги  $F_x$ . Таким образом, линейный электропривод (ЛЭП), работающий в режиме «включения-выключения», будет обеспечивать сложные колебания рабочего органа.

Проведенные исследования также показали, что использование зерноочистительных установок с ЛЭП является энергетически эффективным решением.

**Ключевые слова:** энергетическая эффективность, линейный асинхронный двигатель, математическая модель, продольно-поперечное движение.

## ENERGY INDICATORS OF THE LINEAR ELECTRIC DRIVE OF THE SIEVE PAN GRAIN-CLEANING MACHINE

Currently, there are very little scientific research on the replacement of traditional rectilinear oscillations of the sieve pan grain cleaning machine on the longitudinal-transverse (complex) oscillations. At the same time noted that this type of oscillation increases the orientation of the particles of the grain mixture with the holes sieve cloths and increases the total trajectory of movement of the grain material.

The article investigates the possibility of creating a flat linear induction motor (LIM) longitudinal-transverse motion of the working body of the form (sieve pan) grain-cleaning machine with simultaneous increase of the separation efficiency of the grain material and decrease energy costs.

Mathematical model of linear actuator created in an environment of object-visual simulation Matlab (Simulink) for the analysis of the proposed design. An experimental model using flat linear induction motor in the linear electric drive of the sieve pan was developed. Starting, the flat linear induction motor simultaneously developed moving and attractive forces. Moving force  $F_x$  coincides with the vanishing grain material. Attractive force  $F_y$  is directed perpendicular (in transverse direction) to the moving force  $F_x$ . Thus, linear actuator, working in the "on-off" duty type, will provide the complex oscillations of the working body.

Our experiments also showed that using of grain cleaning systems with linear actuator is energy-efficient solution.

*Key words:* energy performance, linear induction motor (LIM), mathematical model, longitudinal-transverse motion.

В настоящее время очень мало научных исследований, посвященных замене традиционных прямолинейных колебаний решетчатого стана зерноочистительной машины на продольно-поперечные колебания. При этом отмечено, что данный тип колебаний повышает ориентацию частиц зерновой смеси относительно отверстий решетчатых полотен и увеличивает суммарную траекторию движения зернового материала [1]. Поэтому разработка электропривода решетчатого стана, обеспечивающего сложное колебательное движение последнего и отличающегося простотой, надежностью и низкой стоимостью, является актуальной задачей.

Одним из способов повышения эффективности работы зерноочистительной машины за счет создания продольно-поперечных колебаний является применение в электроприводе решетчатого стана плоского линейного асинхронного двигателя (ЛАД) [1]. Последний позволяет преобразовать электрическую энергию непосредственно в поступательное движение, исключив механический преобразователь вращательного движения.

Разработана и изготовлена экспериментальная зерноочистительная установка с использованием в электроприводе решетчатого стана плоского ЛАД, который при включении одновременно развивает силу тяги  $F_x$ , совпадающую с направлением схода зернового материала, и силу притяжения  $F_y$ , направленную перпендикулярно (в поперечном направлении) к силе тяги  $F_x$ . Таким образом, линейный электропривод (ЛЭП), работающий в режиме «включения-выключения», будет обеспечивать продольно-поперечные колебания решетчатого стана. В среде объектно-визуального моделирования Matlab (Simulink) создана математическая модель

разработанного ЛЭП решетчатого стана, позволившая сравнить результаты теоретических и экспериментальных исследований и оценить эффективность работы опытной установки, более подробно описанной в опубликованных ранее работах [2, 3, 4, 5].

Согласно работам исследователей [6] функциональные схемы энергетически эффективного колебательного ЛЭП зерноочистительной машины относятся к виду, показанному на рисунке 1.

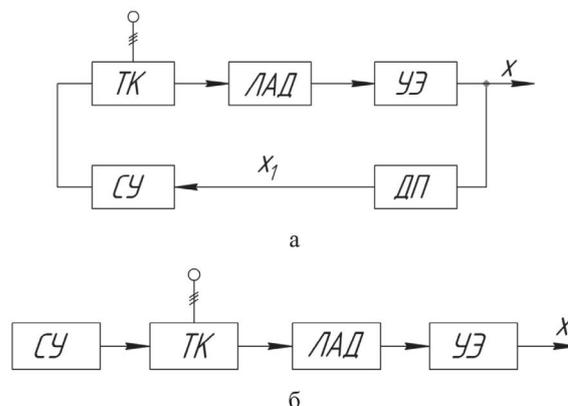


Рис. 1. Функциональные схемы колебательного ЛЭП с упругими элементами: а – автоколебательный режим работы; б – режим вынужденных колебаний: СУ – система управления; ТК – тиристорный коммутатор; УЭ – упругий элемент; ДП – датчик положения

Схемы содержат, кроме ЛАД, накопитель потенциальной энергии – упругий элемент, который вместе с накопителем кинетической энергии – массой (вторичный элемент) – образует колебательную пару. Функции упругого элемента обычно выполняют цилиндрические винтовые пружины. Они имеют небольшие габаритные размеры и массу,

обеспечивают стабильность настройки и долговечны при эксплуатации. ЛАД с упругими накопителями энергии имеет большое количество кинематических схем, отличающихся количеством двигателей, упругих элементов, датчиков положения, программной работой систем управления [6].

Энергетические характеристики ЛЭП решетного стана зерноочистительной машины получены в среде Matlab (Simulink). Рассмотрено влияние очищаемой культуры и удельной нагрузки на траекторию сложного движения решетного стана, работающего в автоколебательном режиме, и установлены оптимальные параметры технологического процесса работы зерноочистительной машины, при которых определялись энергетические показатели разработанного ЛЭП. Известно, что в зависимости от очищаемой культуры объемные массы (натуры) зернового материала отличаются между собой. По данным ФГУ «Государственная семенная инспекция по Республике Башкортостан» в 2013 г. объемная масса семян пшеницы составила 700...800 г/л, озимой ржи 640...740 г/л, ячменя 600...700 г/л. С учетом этого, подача зернового материала осуществляется по объемной массе.

На рисунке 2 показан график влияния начальной удельной нагрузки  $q$  зернового материала на траекторию движения решетного стана. Полученные траектории свидетельствуют о том, что решетный стан осуществляет продольно-поперечное колебательное движение. Определено, что при повышении удельной нагрузки от значения  $q = 0,34$  кг/с·м на 0,14 кг/с·м амплитуда продольных колебаний  $A_{\text{прод}} = 14,5$  мм (при данной амплитуде наблюдался наиболее эффективный процесс очистки) изменилась на 5,5 %, и потребляемая мощность ЛАД возросла на 7,8 %.

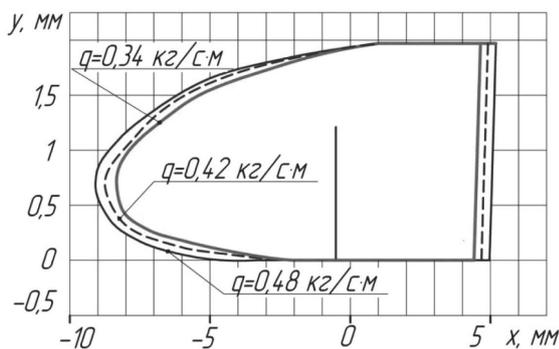


Рис. 2. Траектория движения решетного стана при изменении удельной нагрузки  $q$  ( $x$  – амплитуда продольных колебаний;  $y$  – амплитуда поперечных колебаний)

Для оценки энергетических показателей электропривода решетного стана построены: зависимость мощности ЛАД  $P$  от коэффициента жесткости  $P = f(C)$  при неизменных амплитуде

продольного  $A_{\text{прод}}$  и поперечного  $A_{\text{попер}}$  колебаний, частоте колебаний и сохранении траектории сложного движения; зависимость мощности ЛАД  $P$  от производительности  $Q$  зерноочистительной машины  $P = f(Q)$ ; зависимость энергетического КПД линейного двигателя  $\eta_{\text{энерг}}$  от удельной нагрузки  $q$  при разных значениях коэффициента жесткости упругих элементов  $\eta_{\text{энерг}} = f(q, C)$ .

Расчетный КПД привода для существующей серийной зерноочистительной машины Petkus K531A, конструкция и производительность которой аналогичны экспериментальной установке, составляет  $\eta_2 = 0,41$ . КПД разработанного ЛЭП экспериментальной зерноочистительной установки составляет  $\eta_1 = 0,45$ , соответственно КПД привода повысился на 4 %.

Максимальная производительность по пшенице для Petkus K531A составляет 1,5 т/ч при среднем энергопотреблении 1,9 кВт. Анализ полученных зависимостей (рисунки 3 и 4) показывает, что требуемая для сравнения производительность экспериментальной установки (1,5 т/ч) достигается при значении коэффициента жесткости  $C = 3000$  Н/м и потребляемой мощности  $P = 1470$  Вт, что существенно ниже чем у Petkus K531A. Построенная теоретическая зависимость  $P = f(Q)$  позволяет оценить требуемую мощность ЛАД, необходимую для проектируемого электропривода решетного стана зерноочистительной машины.

Энергетический КПД – это произведение  $\cos\varphi$  и КПД линейного двигателя. На рисунке 5 показана зависимость энергетического КПД линейного двигателя  $\eta_{\text{энерг}}$  от удельной нагрузки  $q$  при разных значениях коэффициента жесткости  $\eta_{\text{энерг}} = f(q, C)$ . Учитывая, что  $\cos\varphi$  для ЛАД составляет 0,2...0,3, использована компенсация реактивной мощности с помощью косинусных конденсаторов, позволивших повысить  $\cos\varphi$  до 0,75. По полученной зависимости можно оценить максимальный энергетический КПД ( $\eta_{\text{энерг}} = 0,42$ ) разработанного электропривода, т. к. ЛАД – это его основной конструктивный элемент, при этом нет возможности сравнить его с существующими электроприводами зерноочистительных машин ввиду отсутствия такого понятия у последних.

Важным показателем для оценки энергетической эффективности зерноочистительной машины является коэффициент удельной энергетической эффективности  $\mathcal{E}_{\text{уд}}$ , который находят согласно формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{уд}} = \frac{P}{Q}, \quad (1)$$

где  $P$  – потребляемая мощность, кВт;  $Q$  – средняя производительность, т/ч.

При расчете данного коэффициента необходимо учитывать, что сравнивать необходимо решет-

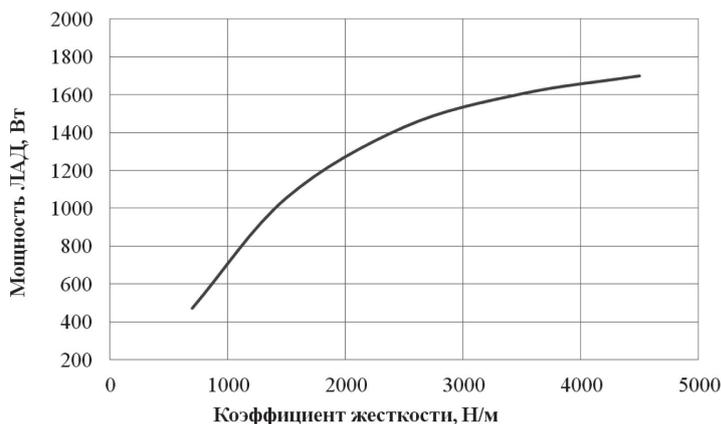


Рис. 3. Расчетная зависимость мощности ЛАД от коэффициента жесткости упругих элементов  $P = f(C)$

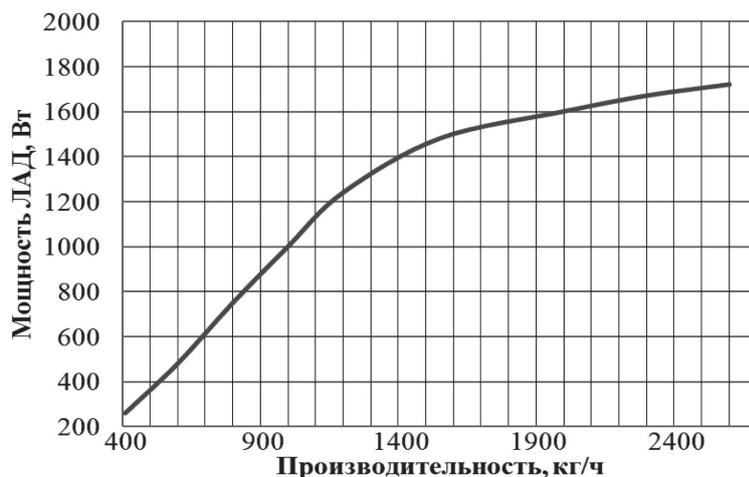


Рис. 4. Расчетная зависимость мощности ЛАД от производительности зерноочистительной установки  $P = f(Q)$

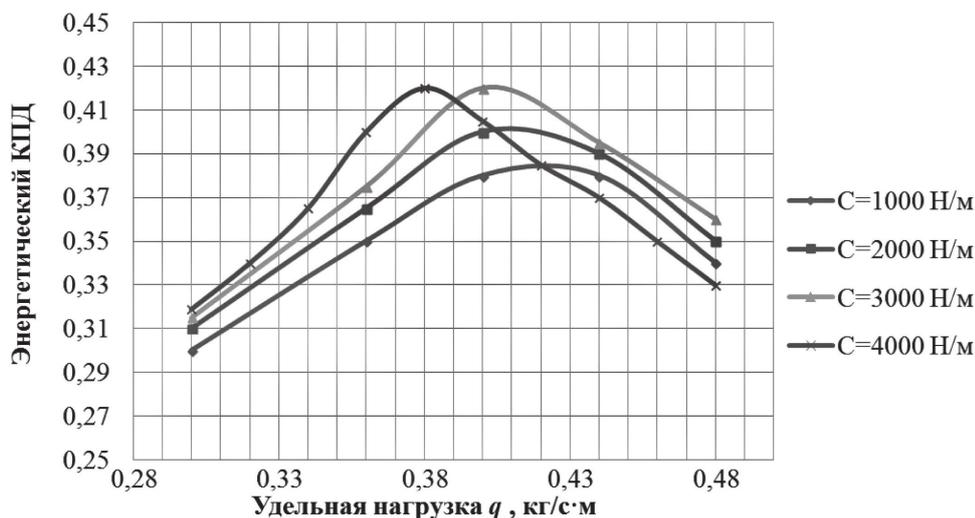


Рис. 5. Расчетная зависимость энергетического КПД от удельной нагрузки при разных значениях коэффициента жесткости  $\eta_{энерг} = f(q, C)$

ные зерноочистительные машины с соразмерными площадями решетных станков, т. к. с увеличением рабочей поверхности решет производительность прямопропорционально возрастает.

В результате проведенных экспериментов получены следующие данные:  $\mathcal{E}_{\text{эп1}} = 0,93 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{т}}$  (для

Petkus K531A) и  $\mathcal{E}_{\text{эп2}} = 0,6 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{т}}$  (для экспериментальной установки), т. е. коэффициент энергетической эффективности  $\mathcal{E}_{\text{эп}}$  повысился на 33%.

Проведенные исследования показали, что использование зерноочистительных установок с ЛЭП является энергетически эффективным решением.

## Список литературы

1. *Лапшин И.П.* Расчет и конструирование зерноочистительных машин [Текст] / И.П. Лапшин, Н.И. Косилов. – Курган : ГИПП «Зауралье», 2002. – 168 с.
2. *Акчурина С.В.* Математическая модель инерционного движения материала в установках с линейным электроприводом [Текст] / С.В. Акчурина, А.В. Линенко, М.Ф. Туктаров // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2013. – № 1 (25). – С. 83–86.
3. *Туктаров М.Ф.* Электропривод решетчатого стана зерноочистительной машины на базе плоского линейного асинхронного электродвигателя: Автореферат дисс...канд. техн. наук [Текст] / М.Ф. Туктаров. – Челябинск, 2013. – 24 с.
4. *Акчурина С.В.* Анализ работы привода решетчатого стана экспериментальной зерноочистительной установки с использованием линейного электродвигателя [Текст] / С.В. Акчурина, А.В. Линенко, М.Ф. Туктаров // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – № 2 (18). – С. 97–101.
5. *Патент № 2446669* Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> A01F12/44 Сепарирующая машина [Текст] / Р.С. Аипов, С.В. Акчурина, А.В. Линенко, М.Ф. Туктаров; заявители и патентообладатели Р.С. Аипов, С.В. Акчурина, А.В. Линенко, М.Ф. Туктаров. – № 2010150378/13; заявл. 07.12.2010; опублик. 10.04.2012.

– Бюл. № 10. – 7 с.

6. *Аипов Р.С.* Основы построения и теории линейных асинхронных приводов с упругими накопителями энергии: учебное пособие [Текст] / Р.С. Аипов. – Уфа: БГАУ, 2006. – 294 с.

## References

1. *Lapshin I.P.* Raschet i konstruirovaniye zernoochistitel'nykh mashin [Tekst] / I.P. Lapshin, N.I. Kosilov. – Kurgan : GIPP «Zaural'e», 2002. – 168 s.
2. *Akchurin S.V., Linenko A.V., Tuktarov M.F.* Matematicheskaja model' inercionnogo dvizhenija materiala v ustanovkakh s linejnym jelektroprivodom [Tekst] / S.V. Akchurin, A.V. Linenko, M.F. Tuktarov // Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2013. – № 1(25). – S. 83–86.
3. *Tuktarov M.F.* Jelektroprivod reshetnogo stana zernoochistitel'noj mashiny na baze ploskogo linejnogo asinhronnogo jelektrodvigatelja: Avtoreferat diss...kand. tehn. nauk [Tekst] / M.F. Tuktarov. – Cheljabinsk, 2013. – 24 s.
4. *Akchurin S.V., Linenko A.V., Tuktarov M.F.* Analiz raboty privoda reshetnogo stana jeksperimental'noj zernoochistitel'noj ustanovki s ispol'zovaniem linejnogo jelektrodvigatelja [Tekst] / S.V. Akchurin, A.V. Linenko, M.F. Tuktarov // Vestnik Ul'janovskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii. – 2012. – № 2 (18). – S. 97–101.
5. *Patent № 2446669* Rossijskaja Federacija, MPK<sup>7</sup> A01F12/44 Separirujushhaja mashina [Tekst] / R.S. Aipov, S.V. Akchurin, A.V. Linenko, M.F. Tuktarov; zjaviteli i patentoobladateli R.S. Aipov, S.V. Akchurin, A.V. Linenko, M.F. Tuktarov. – № 2010150378/13; zjavl. 07.12.2010; opubl. 10.04.2012. – Bjul. № 10. – 7 s.
6. *Aipov R.S.* Osnovy postroeniya i teorii linejnykh asinhronnykh privodov s uprugimi nakopiteljami jenerгии: uchebnoe posobie [Tekst] / R.S. Aipov. – Ufa: BGAU, 2006. – 294 s.



**Семина И.А.**

**Semina I.A.**

старший преподаватель кафедры  
«Электрическая техника» ФГБОУ ВПО  
«Омский государственный технический  
университет», Россия, г. Омск

УДК 621.313.2:537.6/8

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ ОТКРЫТОГО ТИПА В КОМПЛЕКСЕ ПРОГРАММ ANSYS

Имитационное моделирование – это распространенная разновидность аналогового моделирования, реализуемого с помощью набора математических инструментальных средств, специальных имитирующих компьютерных программ и технологий программирования, позволяющих посредством процессорных аналогов провести целенаправленное исследование структуры и функций реального сложного процесса в памяти компьютера в режиме «имитации», выполнить оптимизацию некоторых его параметров.

Имитационной моделью называется специальный программный комплекс, который позволяет имитировать деятельность какого-либо сложного объекта. Он запускает в компьютере параллельные взаимодействующие вычислительные процессы, которые являются по своим временным параметрам (с точностью до масштабов времени и пространства) аналогами исследуемых процессов. Имитационная математиче-

ская модель – математическая модель, описывающая алгоритм функционирования исследуемой сложной системы как совокупности отдельных, относительно простых процессов и явлений в системе с указанием их последовательности, взаимосвязи, условий возникновения, протекания и окончания.

Имитационную модель нужно создавать. Для этого необходимо специальное программное обеспечение – система моделирования. Специфика такой системы определяется технологией работы, набором языковых средств, сервисных программ и приемов моделирования. Имитационная модель должна отражать большое число параметров, логику и закономерности поведения моделируемого объекта во времени (временная динамика) и в пространстве (пространственная динамика). Имитационное моделирование контролируемого процесса или управляемого объекта – это высокоуровневая информационная технология, которая обеспечивает два вида действий, выполняемых с помощью компьютера.

Наиболее современное программное обеспечение для исследования магнитных полей трехмерных моделей магнитных систем открытого типа – комплекс программ ANSYS. Комплекс программ ANSYS – это ведущее программное обеспечение для моделирования электромагнитных полей, используемое для проектирования и исследования двумерных и трехмерных моделей, типов двигателей, датчиков, трансформаторов и других электрических и электромеханических устройств различного применения, базируется на методе конечных элементов и численно рассчитывает статические, гармонические электромагнитные и электрические поля, а также переходные процессы в полевых задачах [1].

*Ключевые слова:* имитационное моделирование, имитационная модель, система моделирования, ANSYS, краевая задача, магнитные системы открытого типа, математические модели, магнитное поле, магнитная индукция, уравнение Лапласа – Пуансона.

## SIMULATION OF THREE-DIMENSIONAL MODEL OF MAGNETIC OPEN IN COMPLEX PROGRAM ANSYS

Simulation modeling is a common type of analog simulation, implemented through a set of mathematical tools that simulate special computer programs and software technologies that enable processes by peers spend purposeful study of the structure and functions of a real complicated process in the computer memory in the "imitation", perform an optimization some of its parameters.

Simulation model is called a special program which allows you to simulate the activity of a complex object. He launches into a parallel computer interacting computational processes that are in their time parameters (up to a time scale and space nor) analogs investigated processes simulation mathematical model – a mathematical model describing the operation algorithm of the study of a complex system as a set of separate, relatively simple processes and phenomena in the system with their sequence relationship, conditions of occurrence, course and closure.

Need to create a simulation model. This requires specially software – system modeling. The specifics of such a system is determined by technology, a set of language tools, service programs and techniques of modeling. Simulation model should reflect the large number of parameters, and the logic of the behavior of the simulated object in time (temporal dynamics) and space (spatial dynamics). Simulation modeling of the process being controlled or managed object – a high-level information technology, which provides two types of actions to be performed using computer.

The most advanced software for the study of magnetic fields of three-dimensional models of magnetic systems open – a set of programs ANSYS. Complex programs ANSYS – is the leading software for simulation of electromagnetic fields used for the design and study of two-dimensional and three-dimensional models, engine types, sensors, transformers and other electrical and electromechanical devices for various applications, based on the finite element method and numerically calculates the static, harmonic electromagnetic and electric fields, as well as transients in field problems.

*Key words:* simulation, simulation model, system simulation, ANSYS, boundary value problem, magnetic system open, mathematical models, the magnetic field, the magnetic induction, equation Laplace – Poisson.

В настоящее время магнитные системы с незамкнутым магнитопроводом, в частности магнитные системы открытого типа, используются как многополюсные системы магнитных сепараторов барабанного типа, в качестве магнитных ловителей для удаления из нефтескважин посторонних ферро-

магнитных предметов и деталей, а также в медицине в качестве концентраторов магнитной энергии [2].

Наиболее современное программное обеспечение для исследования магнитных полей трехмерных моделей магнитных систем открытого типа – комплекс программ ANSYS. Комплекс программ

ANSYS – это ведущее программное обеспечение для моделирования электромагнитных полей, используемое для проектирования и исследования двумерных и трехмерных моделей, типов двигателей, датчиков, трансформаторов и других электрических и электромеханических устройств различного применения, базируется на методе конечных элементов (Finite Element Method – FEM) и численно рассчитывает статические, гармонические электромагнитные и электрические поля, а также переходные процессы в полевых задачах [2].

Внешний вид и эскиз магнитной системы открытого типа представлены на рисунке 1. При моделировании магнитных систем открытого типа приняты основные допущения:

- относительная магнитная проницаемость стали является величиной постоянной;
- с учетом геометрии магнитной системы поле считается трехмерным;
- плотность тока в сечении обмотки распределяется равномерно.

Геометрия исследуемой модели построена в программе SolidWorks.

Исходные уравнения магнитоэлектростатического поля:

$$\operatorname{rot} \bar{H} = \bar{J}, \quad (1)$$

$$\operatorname{div} \bar{B} = 0, \quad (2)$$

$$\bar{B} = \mu \mu_0 \bar{H}, \quad (3)$$

где  $\bar{H}$  – вектор напряженности магнитного поля,  $\bar{B}$  – вектор магнитной индукции,  $\bar{J}$  – вектор плотности тока,  $\mu$  – относительная магнитная проницаемость материала,  $\mu_0$  – магнитная постоянная [1, 5, 6].

Для линейных и изотропных сред ( $\mu = \text{const}$ ) уравнения (1)–(3) с учетом выражений  $\operatorname{rot} \bar{A} = \bar{B}$  и  $\operatorname{div} \bar{A} = 0$  преобразуются к уравнению Лапласа – Пуассона относительно магнитного векторного потенциала  $\bar{A}$ :

$$\frac{1}{\mu} \nabla^2 \bar{A} = -\mu_0 \bar{J}. \quad (4)$$

В трехмерной системе координат (xyz) магнитное поле имеет три составляющих вектора магнитного потенциала  $A = A_x$ ,  $A = A_y$ ,  $A = A_z$  [1, 2], и уравнение (4) примет вид:

$$\frac{1}{\mu} \nabla^2 A_x = -\mu_0 J_x. \quad (5)$$

$$\frac{1}{\mu} \nabla^2 A_y = -\mu_0 J_y. \quad (6)$$

$$\frac{1}{\mu} \nabla^2 A_z = -\mu_0 J_z. \quad (7)$$

Модель дополняется нулевыми граничными условиями [2, 3].

Решение системы уравнений (5)–(7) получено с помощью пакета в комплексе программ ANSYS 10.0. В ходе решения построены: картина магнитного поля магнитной системы открытого типа, график составляющей магнитной индукции трехмерной модели в зависимости от расстояния до насадки [2, 4].

Картина магнитного поля магнитной системы открытого типа с ножевидной насадкой, а также распределение модуля вектора магнитной индукции в пакете ANSYS [2, 4] приведены на рисунках 2 и 3.

Для подтверждения правильности постановки краевой задачи для магнитной системы открытого типа и решения ее в комплексе программ ANSYS (профессиональная версия) проведен натурный эксперимент на экспериментальном стенде, приведенном на рисунке 4, с помощью тесламетра типа ЭМ 4305 (класс точности 2,5), приведенном на рисунке 5. По результатам эксперимента построен график составляющей индукции магнитного поля магнитной системы открытого типа с ножевидной насадкой, приведенный на рисунке 3.

Анализ результатов расчета и эксперимента магнитной системы открытого типа с ножевидной насадкой позволяет сделать следующие выводы:

1) ножевидная насадка переменного поперечного сечения позволяет существенно усилить магнитное поле на значительном удалении от обмотки возбуждения, то есть является концентратором магнитной энергии в заданной области;

2) по результатам имитационного моделирования в ANSYS трехмерной модели магнитной системы открытого типа с ножевидной насадкой значение магнитной индукции  $B = 1,6$  мТл, по результатам натурального эксперимента, проведенного на экспериментальном стенде с помощью тесламетра ЭМ 4305, значение магнитной индукции  $B = 1,5$  мТл. Эксперимент подтвердил правильность постановки задачи и решения в комплексе программ ANSYS (профессиональная версия).

Пакет ANSYS позволяет моделировать и получать решения трехмерных задач для магнитных систем открытого типа, что невозможно с помощью комплекса программ Elcut 5.6 (профессиональная версия).

#### Список литературы

1. Андреева Е.Г. Конечно-элементный анализ стационарных магнитных полей с помощью программного пакета ANSYS: учеб. пособие / Е.Г. Андреева, С.П. Шамец, Д.В. Колмогоров. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2002. – 92 с.

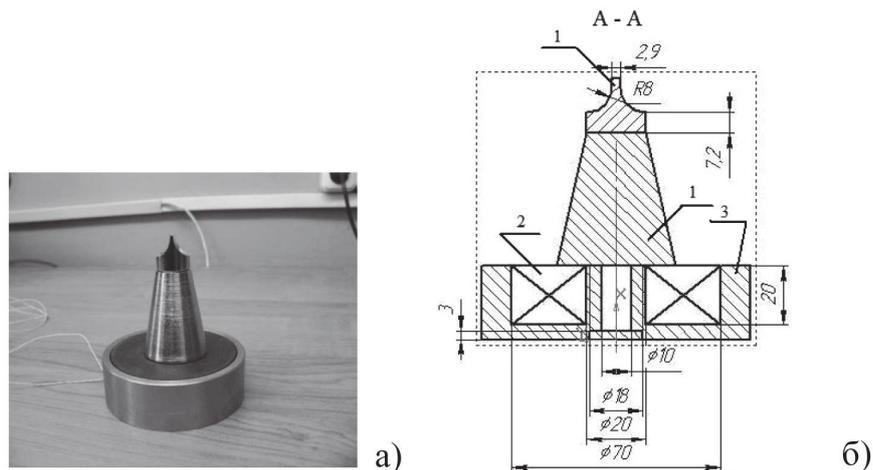


Рис. 1. Внешний вид (а) и эскиз (б) магнитной системы открытого типа:  
1 – насадка, 2 – обмотка, 3 – магнитопровод

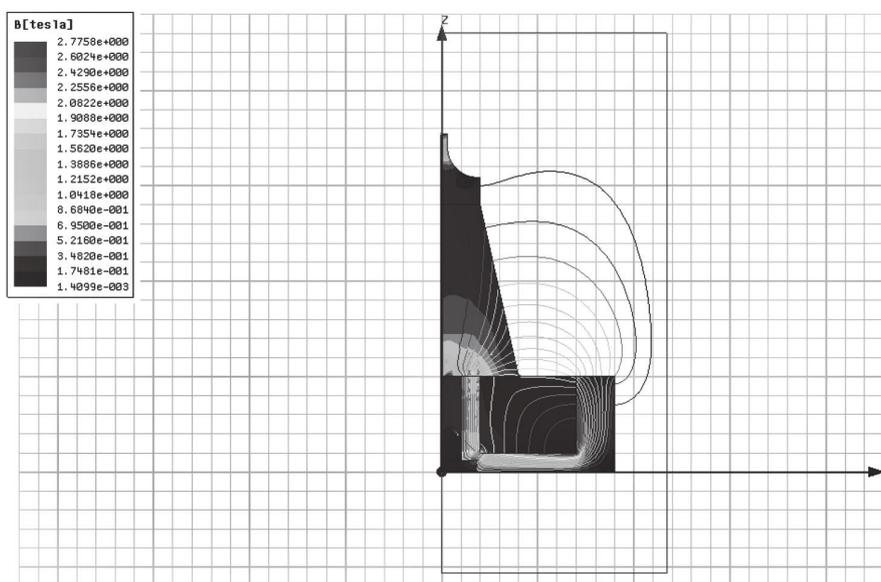


Рис. 2. Картина магнитного поля магнитной системы открытого типа с ножевидной насадкой

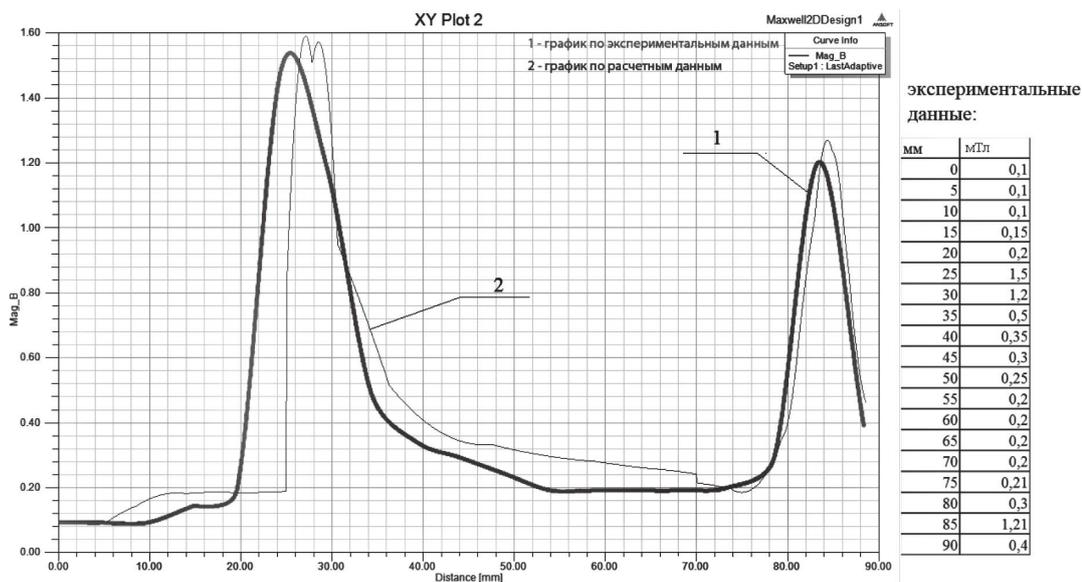


Рис. 3. Графики составляющих индукции магнитного поля магнитной системы открытого типа с ножевидной насадкой: 1 – численный расчет; 2 – натурный эксперимент

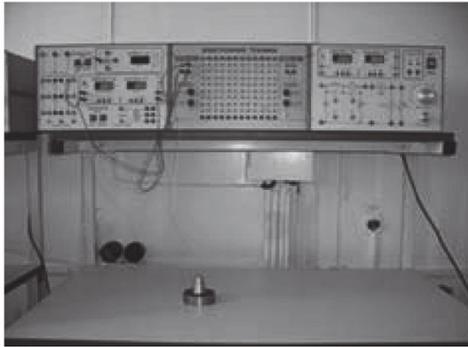


Рис. 4. Экспериментальный стенд



Рис. 5. Миллитесламетр ЭМ 4305

2. *Ковалев Ю.З.* Расчет электротехнических устройств с использованием программного пакета ANSYS : учеб. пособие / Ю.З. Ковалев, Е.Г. Андреева, А.А. Татевосян, Д.В. Колмогоров, И.А. Семина. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2013. – 84 с.

3. *Бессонов Л.А.* Теоретические основы электротехники: Электромагнитное поле / Л.А. Бессонов. – М.: Высш. школа, 2001. – 231 с.

4. *Бинс К.* Анализ и расчет электрических и магнитных полей / К. Бинс, П. Лауренсон; пер. с англ. – М.: Энергия, 1970. – 376 с.

5. *Assous F.* Theoretical tools to solve the axisymmetric Maxwell equations [Text] / F. Assous, C. (Jr.) Ciarlet, S. Labrunie // Math. Meth. Appl. Sci. – 25 (2002). – P. 49–78.

6. *Finite element methods for Maxwell equations.* Encyclopedia of Computational Mechanics [Text] / eds. E.

Stein, R. de Borst, T.J.R. Hughes. – Wiley and Sons, 2004.

*References*

1. *Andreeva E.G.* Konechno-jelementnyj analiz stacionarnyh magnitnyh polej s pomoshh'ju programmogo paketa ANSYS : ucheb. posobie / E.G. Andreeva, S.P. Shamec, D.V. Kolmogorov. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2002. – 92 с.

2. *Kovalev Yu.Z.* Raschet jelektrotehnicheskikh ustrojstv s ispol'zovaniem programmogo paketa ANSYS : ucheb. posobie / Yu.Z. Kovalev, E.G. Andreeva, A.A. Tatevosjan, D.V. Kolmogorov, I.A. Semina. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2013. – 84 с.

3. *Bessonov L.A.* Teoreticheskie osnovy jelektrotehniki: Jelektromagnitnoe pole / L.A. Bessonov. – М.: Vyssh. shkola, 2001. – 231 с.

4. *Bins K.* Analiz i raschet jelektricheskikh i magnitnyh polej / K. Bins, P. Laurensen; per. s angl. – М.: Jenergija, 1970. – 376 с.

5. *Assous F.* Theoretical tools to solve the axisymmetric Maxwell equations [Text] / F. Assous, C. (Jr.) Ciarlet, S Labrunie // Math. Meth. Appl. Sci. – 25 (2002). – P. 49–78.

6. *Finite element methods for Maxwell equations.* Encyclopedia of Computational Mechanics [Text] / eds. E. Stein, R. de Borst, T.J.R. Hughes. – Wiley and Sons, 2004.



**Кушнир В.Г.**  
**Kushnir V.G.**

*доктор технических наук, профессор,  
заведующая кафедрой «Машины, тракторы и автомобили»  
Костанайского государственного университета  
имени А. Байтурсынова,  
Республика Казахстан, г. Костанай*

УДК 539.21

## ПОЛУЧЕНИЕ НОВОГО КЛАССА СТЕКЛООБРАЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Представляется уместным обратиться к свойствам стеклообразных материалов. Например, обыкновенного технического стекла, которое состоит из окиси кремния, и в нем присутствуют натрий, кальций, а возможно, и литий. При комнатной температуре это хороший диэлектрик. Но стоит стекло нагреть до определенной температуры, как оно начинает проявлять свойства суперионного проводника (электролита). Разделение же зарядов можно осуществить в устройстве, аналогичном автомобильному аккумулятору, путем пропускания через электроды и электролит электрического тока. Однако в данном случае речь не идет о самостоятельном процессе. В расплаве, проявляющем свойства электролита, имеют место две составные части: сетка стекла, являющаяся относительно неподвижной его основой; вторая часть структурного соединения активная и под-

вижная относительно первой части. Группы катионов, будучи в стекле, ухудшают основные свойства стекла. В процессе научных исследований были проведены эксперименты, подтвердившие возможность получения нового класса стеклообразных материалов. Общее количество стеклообразующих минералов, в основе которых кремний, составляет более 50 % земной коры. Организация необходимых физических и химических процессов производится в среде инертного газа электрическим полем объема расплава. Проведенный эксперимент подтвердил возможность генерирования электрической энергии в реакторе.

*Ключевые слова:* материалы, процесс, электрический ток, стекло, продукция, технология, экспериментальные данные, свойства.

## OBTAINING A NEW CLASS OF GLASSY MATERIALS ON THE BASIS OF ELECTRICAL TECHNOLOGIES

It seems appropriate to refer to the properties of glassy materials. For example, a common commercial glass, which consists of silica and it contains sodium, calcium and possibly lithium. It is a good insulator at room temperature. But when the glass is heated to a certain temperature, it begins to exhibit the properties of the superionic conductor (the electrolyte). The separation of charges can also be carried out in apparatus similar to a car battery, by passing through the electrodes and electrolyte of the electric current. However, in this case we are not talking about the independent process. There are two components in the melt, showing the properties of the electrolyte : a grid of glass which is a relatively fixed basis and the second part of the structural connections which is an active and movable relative to the first part. Groups of cations in the glass impairs the main properties of glass. Experiments were conducted in the process of research confirmed the possibility of a new class of glassy materials. Total number of glass-forming minerals based silicon is more than 50% of the crust. Organize the necessary physical and chemical processes carried out in an inert gas by the electric field of the melt volume. This experiment confirmed the possibility of generating electric power in the reactor.

*Key words:* materials, process, electric current, glass, products, technology, experimental data, properties.

Для лучшего представления механизмов физико-химических явлений, имеющих место в селективном электрохимическом процессе, и понимания сути расчета количества электрической энергии, выделяемой в этом процессе, обратимся к сложившемуся представлению стеклообразного состояния вещества [1].

Стеклообразное состояние – это аморфное состояние вещества, формирующееся при затвердевании переохлажденного расплава и характеризующееся обратимостью перехода из стеклообразного состояния в расплав и из расплава в стеклообразное состояние, что и отличает стеклообразное состояние от других аморфных состояний. Важным является тот факт, что постепенное возрастание вязкости расплава препятствует кристаллизации вещества, то есть переходу к термодинамически более устойчивому кристаллическому состоянию с меньшей свободной энергией. Фактически имеют место физические макроскопические системы в неопределяемом метастабильном состоянии, которое предопределяет возникновение носителей энергии в расплавах при фазовых переходах первого рода, представляющих собой переход вещества из стеклообразного состояния в кристаллическое. В стеклообразном состоянии могут находиться окислы  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{GeO}_2$ ,  $\text{FeO}_2$ ,  $\text{V}_2\text{O}_5$  и др.

В расплаве, проявляющем свойства электролита, имеют место две составные части.

Первая – сетка стекла, являющаяся относительно неподвижной его основой, определяющая его свойства и представляющая собой трехмерную, практически непрерывную моноструктуру в виде сетки, которая характеризуется отрицательным зарядом (рисунок 1).

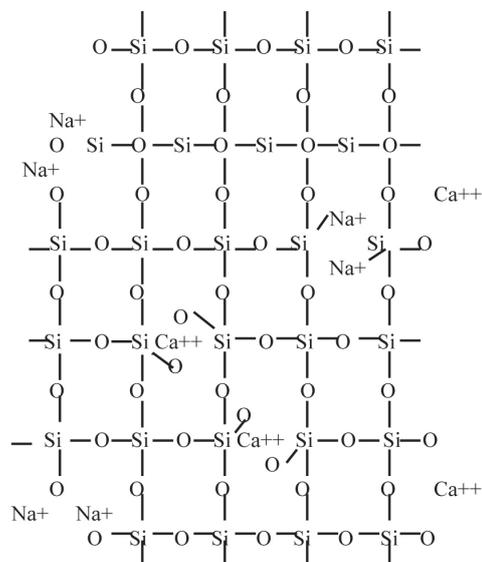


Рис. 1. Плоскостная схема структурного скелета стекла стехиометрического состава

Вторая часть структурного соединения, активная и подвижная относительно первой части. Она состоит из хаотично распределенных ионов металлов (Li, Na, K, Ca, Sr, Cd, Zn и им подобные), которые, перемещаясь под действием теплового поля, создают группы или ассоциации. Каждый ион, имеющий положительный заряд, имеет отдельную ионную связь относительно неподвижной части. Химические элементы, являющиеся подвижными катионами, не образуют с кислородом структурных групп.

Группы катионов, будучи в стекле, ухудшают основные свойства стекла и вводятся в него в силу необходимости получения стекла с приемлемыми свойствами и минимальными затратами. На рисунке 2 дана структура продукта процесса.

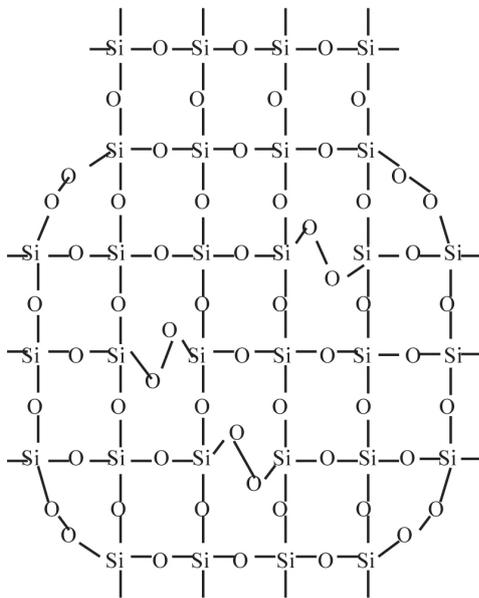


Рис. 2. Плоскостная схема возможных состояний структурного скелета стекла нестехиометрического состава

В процессе научных исследований были проведены эксперименты, подтвердившие возможность получения нового класса однофазовых стеклообразных материалов нестехиометрического состава конструкционного и декоративного назначения, особо чистого металлического натрия и электрической энергии из расплава химического состава  $9\text{SiO}_2\cdot 3\text{Na}_2\text{O}$ .

Исходное сырье – смесь  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Выбор смеси продиктован распространенностью этих веществ на планете.

В земной коре содержится 27,6 % кремния по массе. Количество Na в земной коре 2,64 % по массе, но он в данной технологии не расходуется, а является одним из «доноров», формирующих на атомном и молекулярном уровне расплав требуемого состава, из которого в дальнейшем получают нужное изделие. Общее количество стеклообразующих

минералов, в основе которых кремний, составляет более 50 % земной коры. Это именно то основное сырье, которое позволяет разрешить проблемы экологически чистого промышленного получения материалов и энергии. Причем количество производимой энергии единицей сырья в 10–100 раз больше, чем при сжигании такого же количества нефти.

Для сравнения: углерода, входящего в состав растений и горючих ископаемых – уголь, торф, сланцы, нефть, газ в земной коре всего 0,1% по массе. Данное сравнение сделано для того, чтобы акцентировать внимание на значимость технологии.

Эксперимент проводился в электрохимической колонке (рисунок 3).

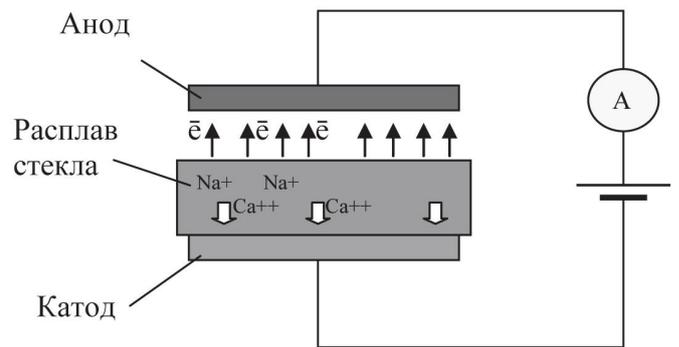


Рис. 3. Условная схема электрохимической колонки для проведения

Технология предполагает следующие операции:

1. Подготовка однофазового расплава, в котором имеются подвижные катионы из стеклообразной питающей смеси.
2. Размещение расплава в верхней и нижней частях реактора.

3. Наложение электрического поля анода на верхний объем расплава для формирования объемного электрического заряда, способного вырвать электроны у натрия нижнего объема расплава.

Организация необходимых физических и химических процессов производится в среде инертного газа электрическим полем объема расплава, ограниченного твердыми стенками, из кварцевого стекла и электрическим полем анода, помещенного в расплав, составляющий с анодом систему с регулируемым напряжением. Электрическая цепь анода соединена с источником напряжения, катод которого заземлен. Кварцевое стекло не препятствует прохождению электрического поля, а также газопроницаемо [2].

Электрическое поле верхнего объема расплава накладывается на расплав многокомпонентной смеси, что и приводит к вырыву электронов натрия этого расплава. В свою очередь поток электронов замыкает электрическую цепь, включающую на-

званную систему, проводник первого рода, расплав, что приводит к образованию в этой электрической цепи постоянного тока.

Приобретенный расплавом положительный объемный заряд индуцирует в проводнике первого рода отрицательный заряд и таким образом создается разность потенциалов, действием которой подвижные катионы удаляются из расплава на (в) проводник первого рода. Концентрацию ионов в расплаве обедняют до заданной величины. При этом на проводнике первого рода выделяется металл, сорта подвижных катионов в присутствии инертных газов. Расплав при этом приобретает сочетание химических элементов, характеризуемое не стехиометрией химического состава ( $Si_n O_{2n+3}$ ) с выделением на (в) проводнике первого рода металлов, сорта подвижных катионов.

Возможность получения электрического тока порядка  $I = 10^3$  А и более объяснена в работах Г.А. Месяца по изучению разрядов в сильных электрических полях.

Проведенный эксперимент подтвердил возможность генерирования электрической энергии в реакторе. Объем расплавов составлял 20 и 40 см<sup>3</sup> соответственно. Зарегистрированное значение ЭДС в основной цепи – это количество выделившихся ионов натрия в нижнем объеме лабораторного реактора, что и определяет расчетную мощность 6 кВт в течение 10 часов. Спектральный анализ материала подтвердил выделение натрия, о чем свидетельствует желтый цвет стримеров (рисунок 4).

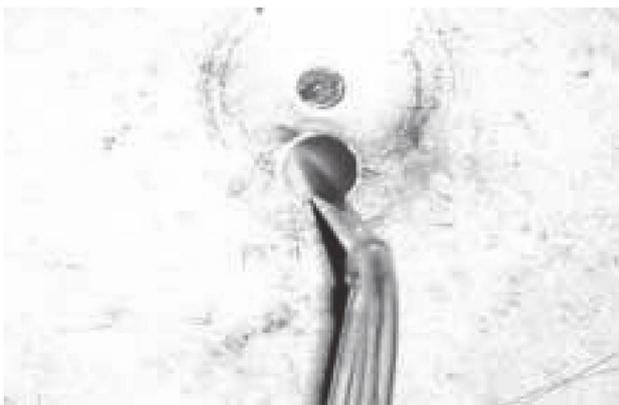


Рис. 4. Процесс вырыва электронов

В настоящее время экспериментально выявлены следующие технологические свойства новых материалов на основе кремния:

1. Прочностные характеристики новых конструкционных материалов превосходят характеристики используемых сегодня материалов в 10 и более раз, при их удельном весе 2,3–2,6 г/см<sup>3</sup>.
2. Материалы могут выпускаться в виде:

пленки толщиной от 0,003 мм и более, шириной 1000 мм, длиной до нескольких км; нити диаметром от 0,003 мм и более, длиной до десятка км; листа толщиной от 0,1 мм до десятков мм.

Из перечисленного набора по уже имеющимся технологиям могут изготавливаться практически любые детали, например, коленчатый вал двигателя внутреннего сгорания. При необходимости термостойкость изделия, теплостойкость может быть доведена до 3500 °С.

Изделия из новых материалов могут быть получены литьем, ковкой, обработкой лезвийным и абразивным инструментом и др. способами. Сварка деталей из этих материалов лазерная и экологически чистая.

Материалы, получаемые по новой технологии, могут быть реализованы в изделия конструкционного и электротехнического назначения: автомобильное, ветровое стекло; внутренние камеры, шины; хозяйственные товары; пищевая упаковка; стеклянные емкости для напитков; специальные контейнеры; ценные бумаги; трубы диаметром до и более трех метров; торговые знаки в виде наклеек; конденсаторы, диоды, аккумуляторы, корпуса самолетов, ракет и многое другое. При минимуме экспериментальных данных по стеклообразующим соединениям на основе железа, титана и алюминия, но с учетом их известных полиморфных свойств, просматривается возможность изготовления кузовов и деталей автомобилей, самолетов и т. д., что будет экологически, технологически и экономически более выгодно.

Есть техническая возможность производства коммерческой продукции: материалы конструкционного и декоративного назначения, особо чистые металлы (литий, натрий, калий, кальций, магний и др.), тепловая и электрическая энергия. Предприятие не потребляет энергию со стороны, но является источником электрической энергии. Технология экологически чистая. Себестоимость каждого вида продукции меньше получаемых по традиционным технологиям в 10–50 раз.

#### Список литературы

1. Иванов-Шиц А.К. Материалы ионизирующего твердого тела [Текст] / А.К. Иванов-Шиц, Л.Н. Демьянец // ПРИРОДА. – 2003. – № 12.
2. Физика. Большой энциклопедический словарь [Текст] / гл. ред. А.М. Прохоров – 4-е изд. – М., 1998.

#### References

1. Ivanov-Shic A.K. Materialy ioniki tverdogo tela [Tekst] / A.K. Ivanov-Shic, L.N. Dem'janec // PRIRODA. – 2003. – № 12.
2. Fizika. Bol'shoj jenciklopedicheskij slovar' / gl. red. Prohorov A.M. – 4-e izd. – M., 1998.



**Козловский В.Н.**  
**Kozlovskiy V.N.**

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Современное естествознание» ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный университет сервиса», Россия, г. Тольятти



**Строганов В.И.**  
**Stroganov V.I.**

кандидат технических наук, проректор по социальным вопросам ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет», Россия, г. Москва



**Дебелов В.В.**  
**Debelov V.V.**

аспирант кафедры «Современное естествознание» ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный университет сервиса», Россия, г. Тольятти



**Пьянов М.А.**  
**Pjanov M.A.**

кандидат технических наук, доцент кафедры «Современное естествознание» ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный университет сервиса», Россия, г. Тольятти

УДК 629.113

## КОМПЛЕКС ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ С КОМБИНИРОВАННОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ. ЧАСТЬ 1

В работе представлены результаты разработки комплекса электронных систем управления движением автомобиля с комбинированной силовой установкой (АКСУ). Целью первой части работы является проектирование и исследование имитационной модели электронной системы регулирования скорости движения АКСУ в различных режимах эксплуатации. В качестве критериев оптимальности работы электронной системы рассматриваются показатели обеспечения динамических характеристик, экологичности и топливной экономичности работы двигателя. В результате первой части работы определены оптимальные моделирующие характеристики работы электронной системы регулирования скорости движения автомобилей, которые с использованием современного аппарата математического программного комплекса Mathlab можно интерпретировать в программный код языка программирования высокого уровня C++, используемого для программирования контроллера электронной системы управления двигателем автомобиля. Полученные в результате имитационного моделирования комплексы имеют высокий уровень соответствия реальным автомобильным системам и пригодны для использования в процессах разработки соответствующих электронных систем как для автомобилей с традиционным силовым агрегатом, так и для автомобилей с комбинированной силовой установкой.

*Ключевые слова:* качество, надежность, автомобиль с комбинированной силовой установкой, электронные системы оптимизации работы двигателя внутреннего сгорания.

## COMPLEX ELECTRONIC CONTROL SYSTEMS PASSENGER TRAFFIC HYBRID CAR. PART 1

The paper presents the results of a complex electronic control systems for the hybrid vehicle. The aim of the first part of the study is the design and simulation model electronic speed control system of a hybrid vehicle, in various modes of operation. The criteria of optimality of the electronic system, are considered indicators provide dynamic characteristics, environmental friendliness and fuel efficiency of the engine. As a result, the first part of this paper, the optimal model the characteristics of the electronic system to control the speed of movement of cars that using modern apparatus of mathematical software system can be interpreted in Mathlab code high level programming language C + +, used for

programming the electronic engine control system of the vehicle. The resulting simulation systems have a high level of compliance with the real road systems and are suitable for use in the development of related electronic systems for vehicles with conventional power unit, and for vehicles with hybrid power plant.

*Key words:* quality, reliability, hybrid vehicles, electronic systems optimize combustion engine.

В настоящее время, перспективы развития автомобилестроения во многом определяются показателями качества и надежности функционирования автомобилей. Автопроизводители неизменно повышают технические характеристики продукции с учетом известных ограничений в области безопасности и охраны окружающей среды.

Качество функционирования автомобиля с комбинированной силовой установкой (АКСУ) определяется рядом технических параметров, существенная часть из которых обеспечивает эффективность работы двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Потребитель весьма требователен к вопросам топливной экономичности и вредным выбросам. Но при этом автомобиль не должен терять динамические характеристики и гарантировать высокий уровень комфорта [5].

В представленной работе проводится разработка, исследование и реализация комплекса математических имитационных компьютерных моделей, определяющих алгоритмы работы перспективных электронных систем оптимизации работы ДВС АКСУ: регулирования скорости движения автомобиля, изменения фаз газораспределения, «Старт – Стоп».

#### **Общие положения о системе регулирования скорости**

Система регулирования скорости определяет механизм управления дроссельной заслонкой в режимах поддержания и ограничения скорости. Сущность реализации соответствующей системы заключается в том, чтобы регулировать угол открытия дроссельной заслонки и тем самым изменять величину наполнения воздухом в цилиндрах двигателя, что позволяет менять крутящий момент двигателя и как следствие осуществлять регулирование скорости транспортного средства. При этом происходит имитация действий водителя при нажатии педали акселератора [6].

В режиме поддержания скорости система осуществляет регулирование открытия дроссельной заслонки и частоты вращения коленчатого вала для поддержания заданной скорости движения на ровном участке дороги. При езде на подъем происходит открытие заслонки на некоторую величину для достижения заданной скорости. При движении на спуск система прикрывает дроссельную заслонку, чтобы избежать чрезмерного ускорения. Поми-

мо этого существуют подсистемы, отвечающие за безопасность и ограничивающие пределы регулирования. При этом у водителя имеется возможность осуществить обгон, а после вернуться к заданной скорости. Система также позволяет водителю произвести переключение передачи и автоматически продолжить движение с заданной скоростью.

В режиме ограничения скорости система активна, но осуществляет регулирование скорости только при достижении заданного порога ограничения. При достижении порога скорости, при полном нажатии на педаль акселератора, система поддержания скорости перехватывает управление дроссельной заслонкой. При отпуске педали скорость снижается и уже не поддерживается функцией регулирования.

Процесс регулирования скорости базируется на нескольких основных функциях, отвечающих за быстроту и плавность движения. В составе системы регулирования присутствуют подсистемы, которые отвечают за управление и безопасность. При структурировании модели регулирования скорости необходимо учесть обязательные компоненты, обеспечивающие полноту реализации процесса: фильтр скорости второго порядка; компоненты определения режима регулирования и управления уставкой и типом функции регулирования; компонент управления ускорением и замедлением автомобиля; компонент регулирования положения дроссельной заслонки; интегрирующее звено; компонент приостановки процесса регулирования скорости при изменении номера передачи трансмиссии; компонент расчета длительности отклонения от заданной скорости; компонент деактивации при резком изменении ускорения и реакции на ускорение.

**Фильтр скорости второго порядка.** Фильтр позволяет выполнить сглаживание входного сигнала скорости и тем самым осуществляет плавную регулировку выходного коэффициента, определяющего процент открытия дроссельной заслонки, за счет чего устраняются хлопки и резкие изменения положения дросселя, обеспечивается плавная регулировка скорости транспортного средства. Для регулирования скорости движения автомобиля наиболее подходящим является всепропускающий фильтр второго порядка, имитационная математическая модель которого, выполненная в среде Mathlab Simulink [1, 2], представлена на рис. 1.

К входу фильтра (рис. 1) подключен источник входного сигнала единичного ступенчатого импульса Step signal.

Константы C1, C2, C3 определяют работу фильтра и выбираются из соотношений:

$$C4 = C1 + C2 + C3, \tag{1}$$

$$C4 = 1, \tag{2}$$

$$C1 = C2 = 1/20 \tag{3}$$

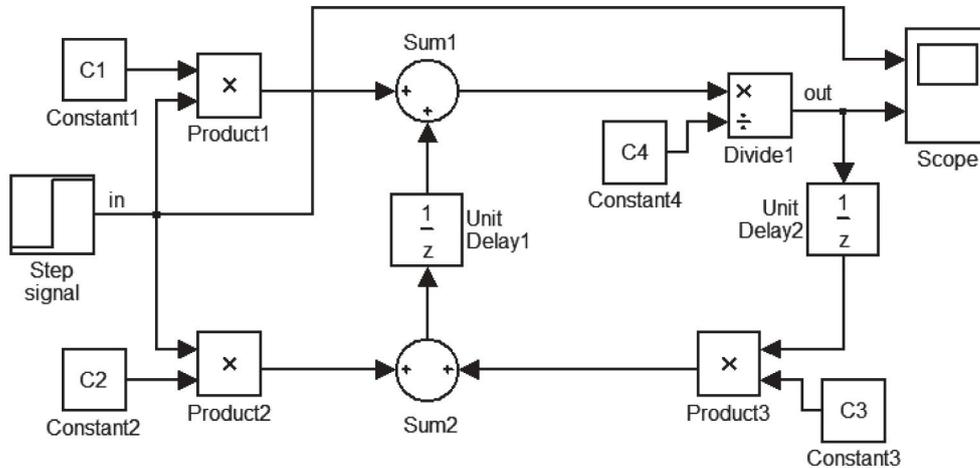


Рис. 1. Имитационная математическая модель фильтра скорости второго порядка

При разработке имитационной модели регулятора скорости использовалась бинарная система исчисления, при этом все переменные представляют собой восьми- и шестнадцатитбитные числа. Таким образом, за единицу принимается максимальное значение восьми или шестнадцати бит, т. е. 255 или 65535.

На вход фильтра подается импульс с амплитудой равной 50 км/ч, что позволяет имитировать изменение скорости (рис. 2). В реальных условиях скорость не может измениться скачком из-за инерции транспортного средства. При изменении шага дискретизации, опытным путем определяем опти-

мальную частоту цикла дискретизации на уровне 100 мс.

**Определение режима регулирования.** С учетом того, что в процессе движения автомобиля возникают условия скоростной неравномерности, изменения динамических характеристик и нагрузки, процесс регулирования скорости должен осуществляться в соответствии с текущим состоянием движения. Поэтому существует три режима работы системы регулирования скорости: режим регулирования при постоянном движении; режим регулирования во время ускорения (спуск с горы); режим регулирования во время замедления (подъем в гору).

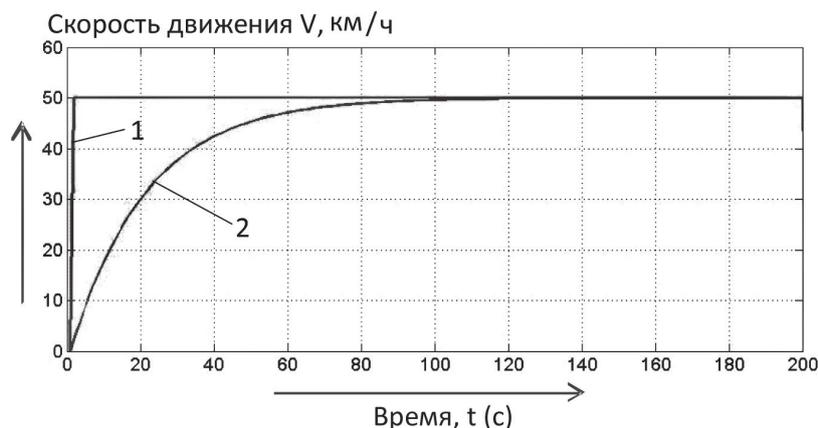


Рис. 2. График фильтрации скорости автомобиля, промоделированный в среде Matlab: 1 – входной ступенчатый импульс скорости; 2 – значение скорости на выходе фильтра

Иллюстрацией выбора режима регулирования является график (рис. 3), на котором представлены зависимости дифференциальной скорости

(VSdiffraw) от ее предварительного значения.

Режим постоянного движения расположен в пределах:

$$C\_VSdiffneg \text{ (замедление)} < VSdiffraw < C\_VSdiffpos \text{ (ускорение)}$$

Константы  $C\_VSdiffneg$  и  $C\_VSdiffpos$  определяют пределы, при которых считается, что автомобиль движется с постоянной скоростью, ускоряется или замедляется. Значения констант принимаются равными:

$$C\_VSdiffneg \text{ (замедление)} = -2 \text{ км/ч};$$

$$C\_VSdiffpos \text{ (ускорение)} = +2 \text{ км/ч}.$$

В постоянном режиме движения происходит регулировка угла открытия дроссельной заслонки в небольших пределах. Величина добавки при отклонении скорости и изменении числа оборотов в данном режиме небольшая. В этом режиме предполагается равномерное движение автомобиля по ровной поверхности в пределах отклонения скорости, ограничиваемого калибровочными константами.

В режиме ускорения или замедления осуществляется быстрое регулирование скорости. Величина открытия дроссельной заслонки зависит от следующих факторов: отклонение скорости от уставки, изменение оборотов двигателя, градиент ускорения, номер передачи коробки переключения передач (КПП) и ее тип.

Уставка скорости определяет величину скорости, которую необходимо поддерживать в режиме поддержания и которую следует ограничивать в режиме ограничителя. Уставка хранится в памяти микроконтроллера на протяжении работы функции.

Характеристикой режима является то, что регулирование скорости происходит быстро, но вместе с тем плавно.

При переходе от одного режима движения к другому меняются коэффициенты регулирования дроссельной заслонкой, при этом исключаются ее хлопки и дребезг, приводящие к заклиниванию или износу.

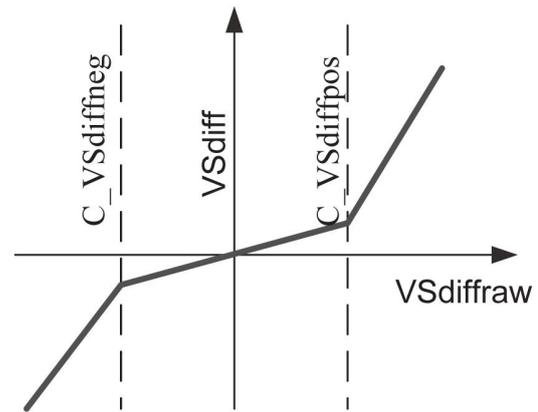


Рис. 3. Определение режима регулирования скорости

Для всех трех режимов имеется один общий параметр, называемый уставкой скорости.

**Управление уставкой и типом функции регулирования.** Уставка  $VSPconst$  (Vehicle setpoint const) является целевым параметром для поддержания скорости транспортного средства, а уставка  $VSPlimit$  (Vehicle setpoint limit) служит для ее ограничения. Обе уставки имеют размерность, соответствующую значению скорости автомобиля после прохождения фильтра скорости второго порядка.

Процесс выбора алгоритма регулирования (рис. 4) осуществляется в зависимости от соотношения параметров поддержания и предела скорости и реализуется через управляющий бит  $B\_cl$  (constant or limitation – постоянное или ограничивающее). По умолчанию выбирается процесс поддержания заданной скорости.

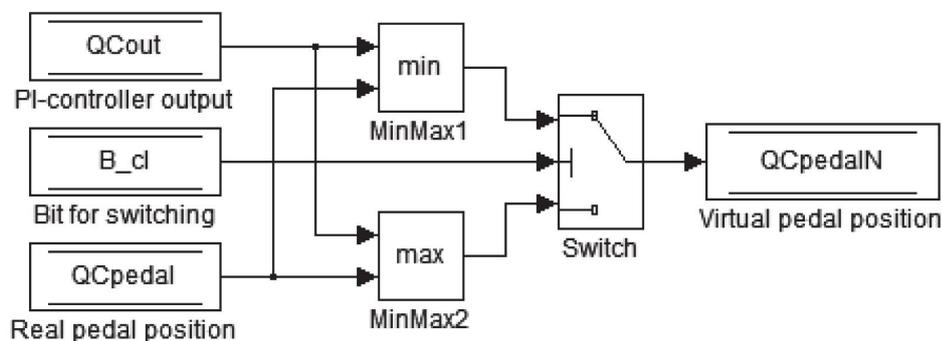


Рис. 4. Имитационная математическая модель выбора типа функции регулирования

Для данного случая соответствует нижнее положение переключателя Switch (рис. 4). При выбранном, но неактивном процессе поддержания

скорости величина  $QCout$  (Quantify Control out – контролируемое значение выходного сигнала) равняется нулю, а величина положения педали,

зависящая от водителя, передается в основную модель управления электронной педалью в качестве выходной величины QCpedalN (Quantify Control of pedal demand – виртуальная модель, определяющая алгоритм взаимодействия электронной педали и механизма открывания дроссельной заслонки), которая впоследствии определяет угол открытия дроссельной заслонки.

В случае если функция ограничения скорости

выбрана и активна, то переключатель Switch (рис. 4) находится в верхнем положении и регулировка дроссельной заслонки осуществляется исходя из условий минимума. При достижении заданной скорости автомобиля будет осуществляться перехват управления процессом регулирования скорости, и происходит стабилизация по заданному пределу скорости в функции времени (рис. 5).

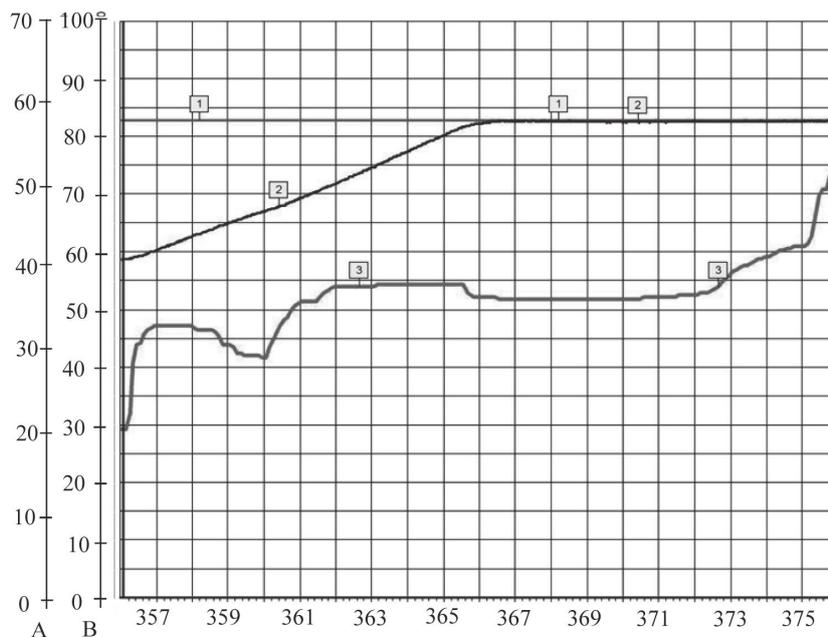


Рис. 5. Регулирование скорости в режиме ограничения, функции времени (с):

- 1 – уставка VSPlimit скорости, км/ч (шкала А);
- 2 – кривая реальной скорости автомобиля, км/ч (шкала А);
- 3 – величина нажатия на электронную педаль акселератора, % (шкала В)

**Запись уставки скорости и активация функции в режиме поддержания скорости.** Для режима поддержания скорости запись уставки и активация производится копированием текущего значения скорости в ячейку памяти, в которой она впоследствии хранится на протяжении времени работы процесса. При этом обязательно производится инициализация компонента интегратора начальными значениями, соответствующими текущему углу открытия дроссельной заслонки. В момент активации разрешается работа базовой функции ПИ регулирования положения дроссельной заслонки, в переменную QCpedalN (рис. 4) попадает значение, соответствующее текущей величине нажатия на педаль акселератора.

**Запись уставки скорости и активация функции в режиме ограничения скорости.** Для режима ограничения скорости нет необходимости производить инициализацию интегратора, поскольку активация может производиться как на неподвижном, так и на движущемся автомобиле. Инициализация

интегратора может привести к ложному открытию дроссельной заслонки, что приведет к броску оборотов двигателя. При этом производится копирование уставки скорости из памяти постоянного запоминающего устройства (ПЗУ) в переменную VSPlimit и последующая активация функции путем включения разрешающего бита базовой функции поддержания скорости.

**Прибавление и убавление уставки.** При добавлении уставки производится добавление числового значения одновременно к двум переменным. Первая отвечает за текущее значение уставки, а вторая хранится для режима восстановления скорости из памяти микроконтроллера. Переменные имеют одинаковую размерность. В текущий момент времени они определяются как целевые VSPlimit и VSPconst, а те, что хранятся в памяти для режима восстановления заданного значения скорости, называются референсные VSPlimit0 и VSPconst0 (через ПЗУ или флеш карту).

Для обеспечения плавной регулировки скоро-

сти на момент добавления уставки необходимо осуществлять фильтрацию значения уставки скорости фильтром второго порядка для случаев, когда величина добавки составляет более чем 3 км/ч. В противном случае резкая добавка приведет к резкому ускорению и некомфортным ощущениям водителя.

Процесс пошагового добавления уставки осуществляется прибавлением числа к текущему целевому значению, а затем копированием этого значения в референсную переменную. При этом максимальное и минимальное возможное значение уставки ограничивается калибровочными константами и должны быть целыми положительными числами.

Убавка уставки осуществляется отниманием

калибруемой константы от переменных  $VSP_{limit}$  и  $VSP_{const}$  и одновременным копированием значений в референсные переменные  $VSP_{limit0}$  и  $VSP_{const0}$ .

На рис. 6, в качестве примера, показан процесс добавления уставки скорости на движущемся автомобиле в режиме поддержания скорости, в функции времени. При увеличении или уменьшении уставки на некоторую величину функция регулирования меняет положение дроссельной заслонки, что приводит к изменению количества воздуха в цилиндрах и в последующем увеличению или уменьшению оборотов двигателя и как следствие скорости автомобиля.

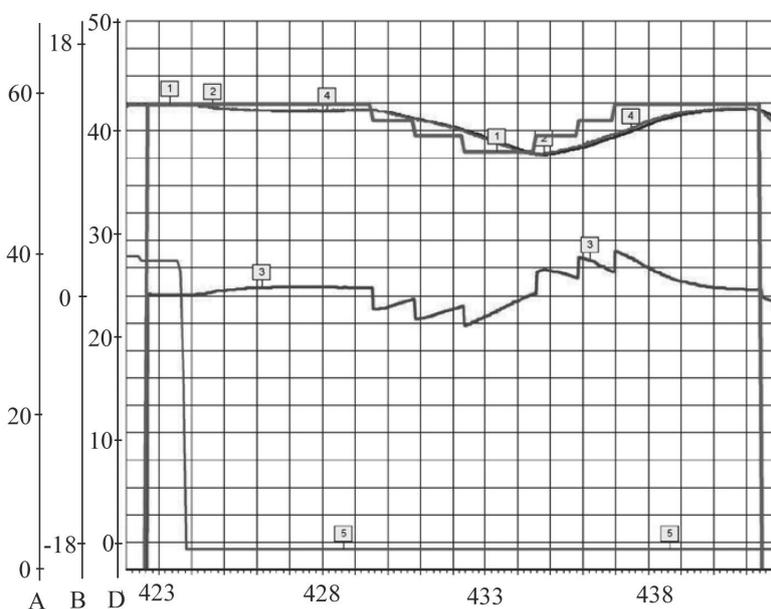


Рис. 6. Режим поддержания скорости в функции времени:

1 – величина уставки для режима поддержания скорости, км/ч (шкала A); 2 – кривая реальной скорости автомобиля, км/ч (шкала D); 3 – дифференциальная скорость автомобиля, км/ч (величина рассогласования скорости, шкала B); 4 – фильтрованная скорость, км/ч (шкала D); 5 – процент нажатия на педаль, % (шкала D)

**Управление ускорением и замедлением автомобиля.** В случае если необходимо увеличить или уменьшить скорость автомобиля относительно действующей уставки, используют функцию ускорения и замедления. Процесс изменения скорости может достигаться различными способами. Первый способ, путем воздействия на уставку. Вторым – путем изменения угла открытия дроссельной заслонки. Отличие данных методов заключается в том, что при непосредственном воздействии на дроссельную заслонку скорость автомобиля изменяется в зависимости от желания водителя. Данный метод применяется, но его использование сопряжено с рядом проблем, в числе которых безопасность работы процесса регулирования скорости и вероятность

выхода из строя механизма управления дроссельной заслонкой. В свою очередь реализация метода увеличения скорости за счет воздействия на уставку занимает больше времени, но при этом является безопасной, так как не требует введения новых связей, отвечающих за базовые функции безопасности системы управления двигателем. Повышение скорости за счет повышения уставки может достигаться различными способами. Здесь возможно линейное и нелинейное изменение уставки.

**Интегрирующее звено.** При регулировании скорости движения транспортного средства в составе функции поддержания и ограничения скорости присутствует интегратор. Интегратор является общим компонентом для трех режимов регулирова-

ния: постоянного, при ускорении и при замедлении. Имитационная математическая модель интегратора представлена на рис. 7.

На вход интегратора попадает величина рассогласования скорости VSdiff и табличный коэффициент FacIntegr (корректирующий коэффициент интегратора), зависящий от числа оборотов двигателя. После перемножения данных коэффициентов производится проверка условия разрешения работы интегратора EnIntegr (Enable of Integrator – разрешение сигнала работы интегратора, запуск основного алгоритма поддержания работы дроссельной заслонки). Если условие выполняется, то в интегратор попадает значение перемноженных коэффициентов, но если это условие не выполняется, то в нем находится величина инициализации ResV (Reset Value – уровень сигнала инициализации интегратора). Данный прием необходим для того, чтобы на момент активации функции в ней уже было значение соответствующее реальному положению дроссельной заслонки. На следующем этапе происходит ограничение выходной величины интегратора максимальным MaxIntegr (максимальная граница интегрирования) и минимальным MinIntegr (минимальная граница интегрирования) пределом. Значение с выхода интегратора суммируется с пропорциональ-

ной составляющей, и в результате получается величина QScout, определяющая величину регулирующего воздействия на виртуальную педаль.

**Базовый компонент регулирования положения дроссельной заслонки.** Предварительно в составе базовой функции регулирования необходимо рассчитать величину рассогласования уставки выбранной скорости и величины параметра скорости после прохождения фильтра второго порядка (рис. 8).

Величина рассогласования определяется разницей между фильтрованной скоростью и уставкой. Данное значение рассогласования является неточным, предварительным и в последующем будет скорректировано при помощи регулировочных констант.

После определения рассогласования скорости и уставки происходит определение процесса регулирования. В соответствии с этим, выбирается одна или несколько элементов модели (рис. 8). При переходе в подмодель происходит пересчет VSdiffraw и приведение ее к формату VSdiff. При этом константы C\_VSdiff\_fac и C\_VSdiff позволяют осуществить оптимальные калибровки величины отклонения.

Для трех режимов пересчет VSdiff заключается в следующем:

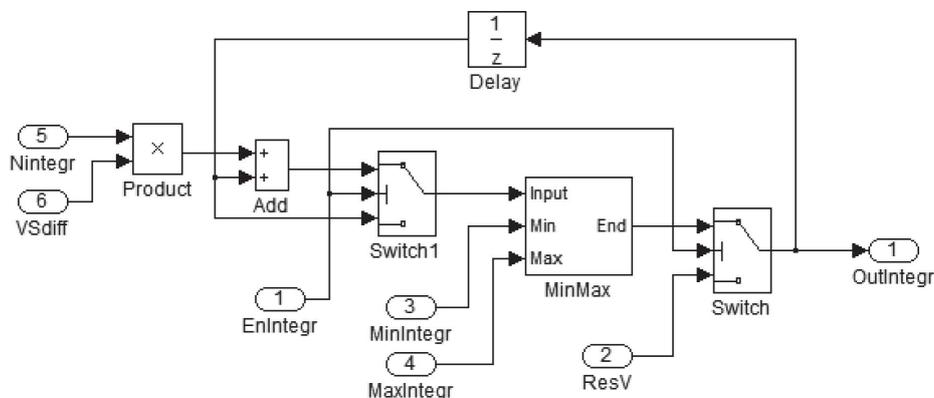


Рис. 7. Интегрирующий компонент

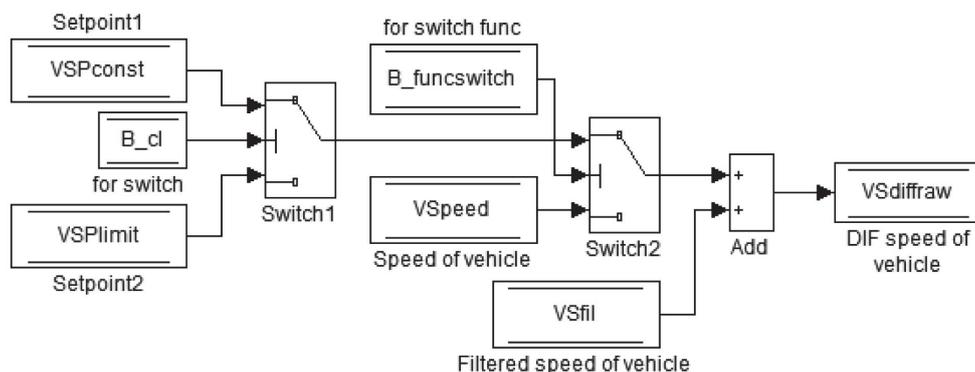


Рис. 8. Расчет рассогласования скорости и уставки

– 1 режим постоянного движения:

$$VSdiff = VSdiffraw \times C\_VSdiff\_fac, \quad (5)$$

– 2 режим ускорения

$$VSdiff = VSdiffraw \times C\_VSdiff\_fac + C\_VSdiff, \quad (6)$$

– 3 режим замедления

$$VSdiff = VSdiffraw \times C\_VSdiff\_fac - C\_VSdiff. \quad (7)$$

В составе базового компонента ПИ регулирования имеется функция инициализация интегратора, которая позволяет принимать начальное значение в соответствии с типом коробки переключения передач (механическая, автоматическая или роботизированная). Тип КПП определяется переменной *Typegear* [3, 4].

Таким образом, определяющими факторами в инициализации интегратора являются: тип КПП, текущий номер передачи (отношение оборотов к

скорости) и частота оборотов ДВС. После инициализации компонент выполняет основные действия по регулированию скорости (рис. 9, 10). На рис. 9 и 10 номера характеристик и определяющих их шкал соответствуют, поэтому приведем необходимое описание один раз.

Функция приостановки регулирования скорости на момент изменения номера передачи трансмиссии. При изменении переключения передачи необходима временная деактивация функции с последующим возобновлением. Данная необходимость возникает из-за того, что на момент отсоединения диска сцепления происходит неверное определение номера передачи, что может привести к тому, что функция произвольно деактивируется.

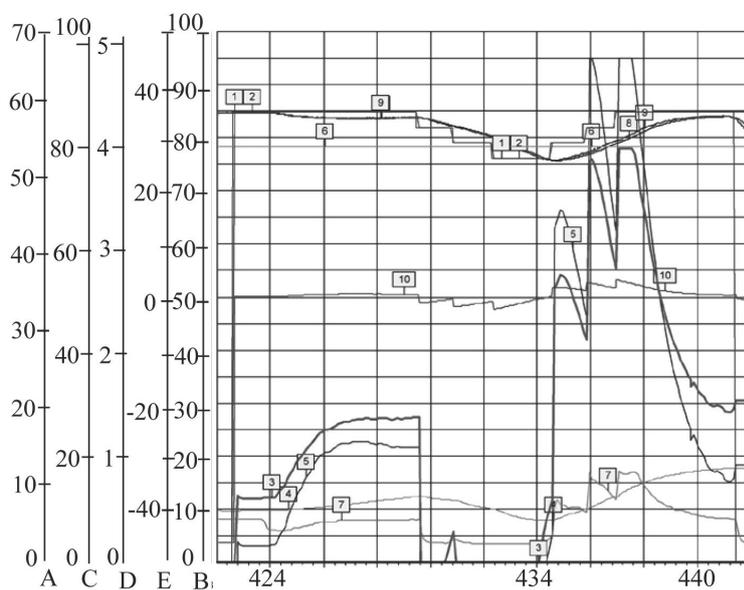


Рис. 9. Регулирование в режиме поддержания скорости, в функции времени (с):

- 1 – уставка для поддержания скорости, км/ч (шкала А); 2 – референсная уставка поддержания скорости, км/ч (шкала D); 3 – величина результирующего регулирующего воздействия, % (имитация нажатия на педаль акселератора, (шкала С); 4 – значение на выходе интегральной составляющей регулирующего воздействия (шкала С); 5 – значение на выходе пропорциональной части регулирующего воздействия (шкала С); 6 – номер передачи (dec, шкала D); 7 – величина открытия дроссельной заслонки, % (шкала В); 8 – фильтрованная скорость, км/ч (шкала С); 9 – реальная скорость, км/ч (шкала В); 10 – величина рассогласования уставки и скорости, км/ч (шкала Е)

Также это может привести к тому, что в момент переключения передачи КПП дроссельная заслонка полностью откроется и резко возрастут обороты двигателя. Поэтому в момент переключения передачи КПП в модели производятся действия: удаляется уставка из памяти переменной *VSPconst* или *VSPlimit*, но остается храниться в переменной *VSPlimit0* и *VSPconst0*; запускается таймер для определения длительности переключения передачи. Если значение таймера достигло калибруемой константы *C\_timGear* (время переключения передачи

КПП), то функция деактивируется. После отпущения педали сцепления производится запуск другого таймера, который считает в сторону уменьшения от калибруемого значения *C\_timClutch* (время синхронизации работы системы сцепления и ДВС), после которого производится сравнение номера передачи и принятие решения о деактивации функции или не деактивации. В момент, когда педаль сцепления отпущена производится возврат уставки из памяти переменных *VSPlimit0* и *VSPconst0* в память переменных *VSPlimit* и *VSPconst*.

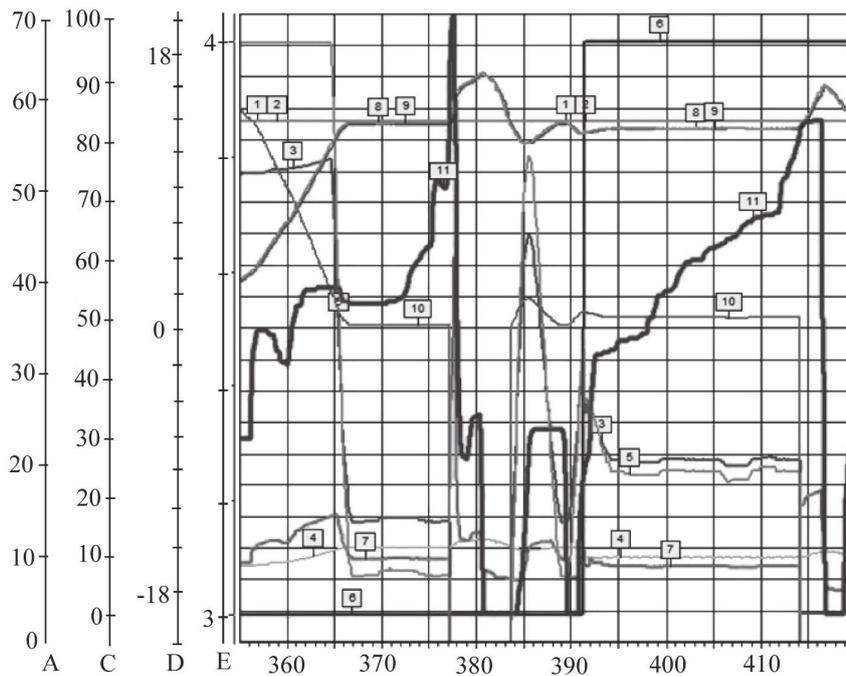


Рис. 10. Регулирование в режиме ограничения скорости в функции времени

Таким образом, данная реализация алгоритма переключения позволяет исключить ложные деактивации функции и дает возможность правильно определить номер передачи при движении на подъем или на спуск.

**Компонент расчета длительности отклонения от заданной скорости.** Компонент необходим для безопасного регулирования скорости транспортного средства. Предполагается, что при крутом подъеме, когда функция не способна поддерживать заданную скорость, или наоборот при быстром спуске, необходимо передать управление дросселем водителю и при этом произвести деактивацию компонента. Вторым назначением функции является помощь водителю в достижении заданной скорости движения в зависимости от длительности отклонения от уставки. Предполагается, что при большом отклонении от уставки недопустимо резкое увеличение скорости, а необходимо постепенно возвращаться к заданной скорости путем плавного приоткрытия дросселя на необходимую величину и в последующем возвращать его в оптимальное положение для дальнейшего поддержания заданной скорости. Третье назначение – это функция безопасности. Если ускорение или замедление с отклонением от уставки по длительности превышает заданную константу, тогда производится деактивация функции поддержания или ограничения скорости.

**Ограничение и деактивация процесса регулирования.** Ограничение и деактивация процесса регулирования скорости необходимы при условиях,

когда процесс работает в недопустимых режимах. При этом необходимо обеспечить его немедленную деактивацию. Различают два типа компонентов деактивации и ограничений: ограничение процесса поддержания скорости, отключение компонента ограничителя скорости.

Вопросы реализации электронной системы регулирования скорости движения автомобиля, а также решение задач по моделированию и компонентному обеспечению системы изменения фаз газораспределения (VVT) автомобилей и системы повышения эффективности двигателя внутреннего сгорания «Старт – Стоп» решаются во второй части работы.

#### Список литературы

1. Козловский В.Н. Моделирование электрооборудования автомобилей в процессах проектирования и производства: монография [Текст] / В.Н. Козловский. – Тольятти: ГОУ ВПО «ТГУ», 2009. – 227 с.
2. Козловский В.Н. Комплекс обеспечения качества системы электрооборудования автомобилей: монография [Текст] / В.Н. Козловский, Д.И. Панюков. – Palmarium Academic Publishing, AV Akademikerverland GmbH&Co. – Deutschland, 2014.
3. Строганов В.И. Итоги и перспективы развития электромобилей и автомобилей с гибридными силовыми установками [Текст] / В.И. Строганов, В.Н. Козловский // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2012. – № 2.
4. Строганов В.И. Инновационные методы ис-

следования качества и надежности электромобилей и автомобилей с гибридной силовой установкой: монография [Текст] / В.И. Строганов, В.Н. Козловский. – М.: МАДИ, 2012.

5. *Козловский В.Н.* Аналитические исследования качества автомобилей в эксплуатации: монография [Текст] / В.Н. Козловский, В.И. Строганов. Palmarium Academic Publishing, AV Akademikerverland GmbH&Co. – Deutschland, 2013.

6. *Дебелов В.В.* Электронная система регулирования скорости движения автомобиля в режимах поддержания и ограничения скорости [Текст] / В.В. Дебелов, В.В. Иванов, В.Н. Козловский, В.Е. Ютт // Грузовик. – 2013. – № 12.

#### References

1. *Kozlovskij V.N.* Modelirovanie jelektroroborudovanija avtomobilej v processah proektirovanija i proizvodstva: monografija

[Tekst]/ V.N. Kozlovskij. – Tol'jatti: GOU VPO «TGU», 2009. – 227 s.

2. *Kozlovskij V.N.* Kompleks obespechenija kachestva sistemy jelektroroborudovanija avtomobilej: monografija [Tekst]/ V.N. Kozlovskij, D.I. Panjukov. – Palmarium Academic Publishing, AV Akademikerverland GmbH&Co. – Deutschland, 2014.

3. *Stroganov V.I.* Itogi i perspektivy razvitija jelektrorobilej i avtomobilej s gibridnymi silovymi ustanovkami [Tekst]/ V.I. Stroganov, V.N. Kozlovskij // Jelektronika i jelektroroborudovanie transporta. – 2012. – № 2.

4. *Stroganov V.I.* Innovacionnye metody issledovanija kachestva i nadezhnosti jelektrorobilej i avtomobilej s gibridnoj silovoj ustanovkoj: monografija [Tekst] / V.I. Stroganov, V.N. Kozlovskij. – М.: МАДИ, 2012.

5. *Kozlovskij V.N.* Analiticheskie issledovanija kachestva avtomobilej v jekspluatacii: monografija [Tekst]/ V.N. Kozlovskij, V.I. Stroganov. Palmarium Academic Publishing, AV Akademikerverland GmbH&Co. – Deutschland, 2013.

6. *Debelov V.V.* Jelektronnaja sistema regulirovanija skorosti dvizenija avtomobilja v rezhimah podderzhanija i ogranichenija skorosti [Tekst]/ V.V. Debelov, V.V. Ivanov, V.N. Kozlovskij, V.E. Jutt //Gruzovik. – 2013. – № 12.



**Шapiro С.В.**  
**Shapiro S.V.**

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Физика» ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный университет экономики и сервиса», Россия, г. Уфа



**Саенко А.Г.**  
**Saenko A.G.**

кандидат технических наук, доцент кафедры «Физика» ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный университет экономики и сервиса», Россия, г. Уфа



**Садыков М.А.**  
**Sadykov M.A.**

директор ООО «Политех», Россия, г. Уфа



**Мичков Е.В.**  
**Michkov E.V.**

студент ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный университет экономики и сервиса», Россия, г. Уфа

УДК 628.314

## ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ ОЗОНАТОР С ОХЛАЖДАЕМЫМ АЛЮМИНИЕВЫМ ЭЛЕКТРОДОМ

В статье дается описание устройства, принципа действия и некоторых результатов опытно-промышленных испытаний нового, разработанного в научно-исследовательской лаборатории физики электронных процессов и наноматериалов УГУЭС совместно с ООО «Политех» высокочастотного озонатора с алюминиевым электродом. Дается обоснование целесообразности применения алюминиевого низковольтного электрода с целью охлаждения активной зоны газоразрядных реакторов с керамическим барьером. Приводятся основные соотношения, позволяющие рассчитать параметры озонатора и составить

его электрическую модель. Результаты испытаний показали его высокую производительность и удельные показатели. В статье излагается устройство и принцип действия полупроводникового инвертора, используемого для питания озонатора. Его основное отличие от уже разработанных – применение современных транзисторов, выпрямительного блока, конденсаторов, резисторов и драйвера.

## HIGH FREQUENCY OZONE GENERATOR WITH COOLED ALUMINUM ELECTRODE

The paper contains the description of the device, the principle actions and some of the results of pilot tests of the new developed in the research laboratory of Physics of electronic processes and nanomaterials UGUÈS together with «Polytech» high frequency ozone generator with an aluminum electrode. Provides a rationale for the use of the low-voltage aluminum electrode to cool down the reactor discharge reactors with ceramic barrier. The basic ratio to calculate the parameters of ozone generator and the electric model. Test results showed its high performance and unit indicators. The article sets out the principle of operation of the device and semiconductor inverter power supply for ozone generator. Its main difference from the already developed-using modern transistors, Rectifier unit, capacitors, resistors and the driver.

В научно-исследовательской лаборатории физики электронных процессов и наноматериалов Уфимского государственного университета экономики и сервиса совместно с ООО «Политех» разработан, изготовлен и запущен в производственную эксплуатацию опытно-промышленный озонатор частотой 7 кГц с алюминиевым охлаждаемым низковольтным электродом. Удельная производительность озонатора – 70 г озона в час.

Как известно, [1] удельная производительность озонатора, основанного на тлеющем переменном разряде, существенно возрастает с ростом частоты. Как показано в [2], количество вырабатываемого озона на единицу объема активной зоны разрядной камеры с ростом частоты в пределах до 10 кГц возрастает прямо пропорционально. Отсюда естественно вытекает стремление максимально повысить частоту питающего тока. При этом одновременно практически в той же пропорции уменьшаются массо-габаритные размеры высоко-

частотного трансформатора, питающего озонатор.

Современные транзисторы серии IGBT позволяют получить ток подобной частоты силой до 190 А при напряжении до 1200 В.

Единственным серьезным препятствием на пути создания высокочастотного озонатора оказалась проблема охлаждения газоразрядного промежутка. Дело в том, что для преобразования



необходимо затратить электроэнергию, как показали опытные исследования, мощностью

$$P = 0,22f[\text{Вт/моль } O_3] \quad (2)$$

При этом часть энергии 1440 кДж/моль расходуется на эндотермическую реакцию (1) [1].

Следовательно, если пропускать через активную зону озонатора 5 м<sup>3</sup>/час осушенного воздуха, чтобы получить 1 моль озона (48 ч) и не охлаждать его, то температура этого воздуха при частоте 7000 Гц повысится на величину

$$\Delta T = \frac{2}{i} \cdot \frac{Q \cdot \mu}{R \cdot m} = \frac{2}{5} \cdot \frac{29 \cdot (1540 \cdot 3600 - 1440 \cdot 10^3)}{8,31 \cdot 10^3 \cdot 1,3 \cdot 5} = 880 [K],$$

здесь  $i$  – число степеней свободы молекул воздуха ( $i = 5$ );  $R$  – универсальная газовая постоянная, равная  $8,31 \cdot 10^3$  Дж/Ккмоль,  $Q$  – тепловая энергия, выделяемая электрическим током для создания тлеющего разряда,  $m$  – масса проходящего через озонатор воздуха, равная  $1,3 \text{ кг} \times 5 \text{ м}^3$ ,  $\mu$  – молекулярный вес воздуха, определяемый по формуле:

$$\mu = 0,8 \cdot 28 + 0,2 \cdot 32 \cong 29,$$

(28 – молекулярный вес азота, 32 – молекулярный вес кислорода, 0,8 и 0,2 – долевое содержание азота и кислорода в воздухе).

Таким образом, если на входе озонатора воздух

имеет температуру 20 °С (293 °К), то на выходе его температура без охлаждения поднимется до 1073 °К (800 °С).

При такой температуре озон, даже сформировавшись, сразу разложится, снова превратившись в кислород  $O_2$ .

(Для сравнения – при частоте 50 Гц температура воздуха после прохождения зоны тлеющего разряда поднимется всего на 6,3 °С при длине активной зоны 0,4 м).

Таким образом, главной проблемой высокочастотного озонатора является проблема отвода тепла

из активной зоны – зоны генерирования озона тлеющим разрядом.

В [3] предложено осуществлять такое охлаждение путем изготовления низковольтного электрода в виде алюминиевой конструкции с цилиндрическими отверстиями для керамических трубок, изолирующих активную зону от проводящей среды этого электрода.

В традиционных озонаторах [4] охлаждение низковольтных электродов осуществляется водой. Однако, у высокочастотных озонаторов использование воды непосредственно в зоне высоковольтного промежутка часто приводило к авариям, так как она представляет собой проводник высокой текучести.

#### *Устройство и принцип действия озонатора.*

На рис. 1а приведена конструкция алюминиевого электрода. Как видим, он имеет продольные каналы, предназначенные для установки газоразрядных трубок. В нашем озонаторе они имеют диаметр 36 мм и расположены друг от друга на расстоянии 50 мм между центрами. Всего их 12 отверстий. Кроме того, электрод на рис. 1а имеет 20 поперечных отверстий диаметром 7 мм, предназначенных для

протекания охлаждающей жидкости. Этот электрод является одновременно конструктивным каркасом, на котором базируется вся конструкция озонатора.

Газоразрядные трубки – рис. 1б – состоят из цилиндрического керамического барьера, внутри которого симметрично расположены высоковольтные электроды, состоящие из натянутых струн нержавеющей стальной проволоки, расположенных симметрично в виде направляющих виртуального цилиндра, коаксиального керамическому барьеру (рис. 3). Эти электроды закреплены с торцов керамического цилиндра втулками из изоляционного материала.

Все высоковольтные электроды (а их в нашем озонаторе по 8 на каждую газоразрядную трубку) электрически соединены между собой.

Выступающие из алюминиевого каркаса концы газоразрядных трубок входят с двух сторон в воздухохоборник (рис. 1в), выполненный из твердого диэлектрика. В один из этих воздухохоборников подается воздух (или другой кислородсодержащий газ), а из другого выводится озono-воздушная смесь.

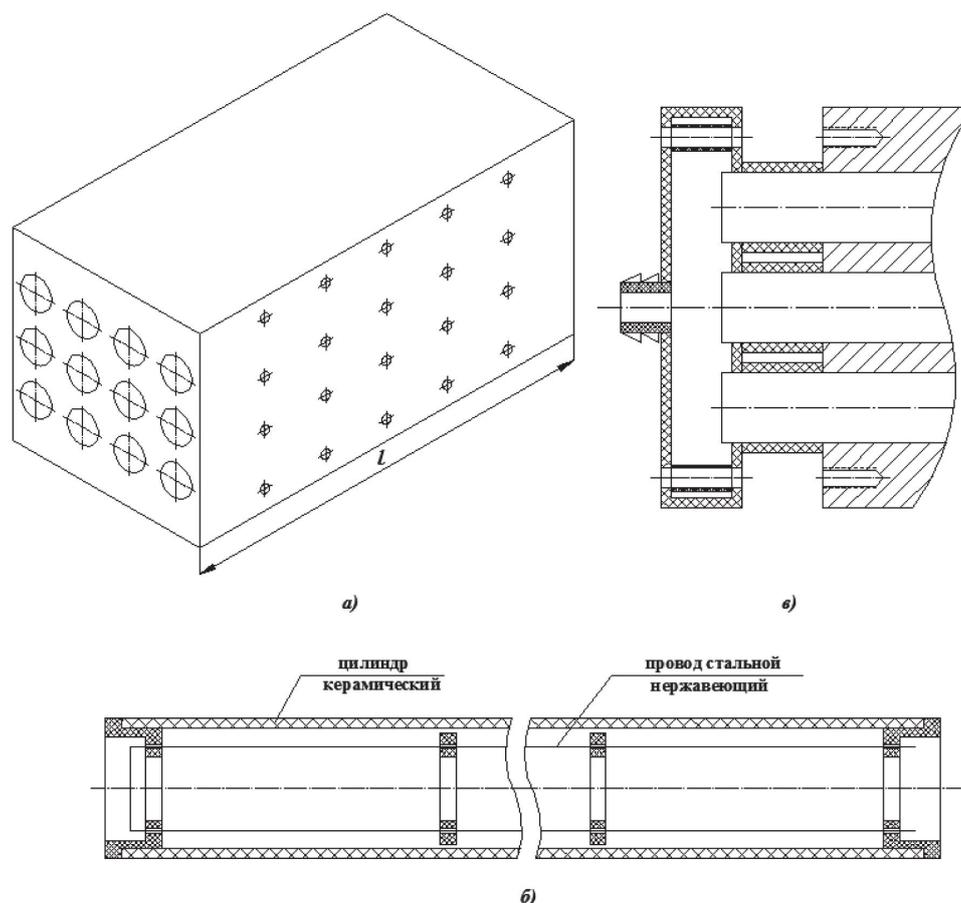


Рис. 1. Элементы конструкции озонатора с алюминиевым электродом: а) алюминиевый электрод со вставленными в него газоразрядными трубками; б) газоразрядная трубка с высоковольтными электродами; в) воздухохоборник со вставленными в него концами газоразрядных трубок

На алюминиевый каркас и высоковольтные электроды подается переменное напряжение от высокочастотного высоковольтного трансформатора (рис. 2).

Трансформатор состоит из ферритового сер-

дечника – 1, стянутого сверху и снизу текстолитовыми платами 2. Первичная обмотка  $w_1$  выполнена цилиндрической из лицендрата марки ЛЭПШД, вторичная обмотка  $w_2$  выполнена в виде секций (галет), соединенных друг с другом последовательно.

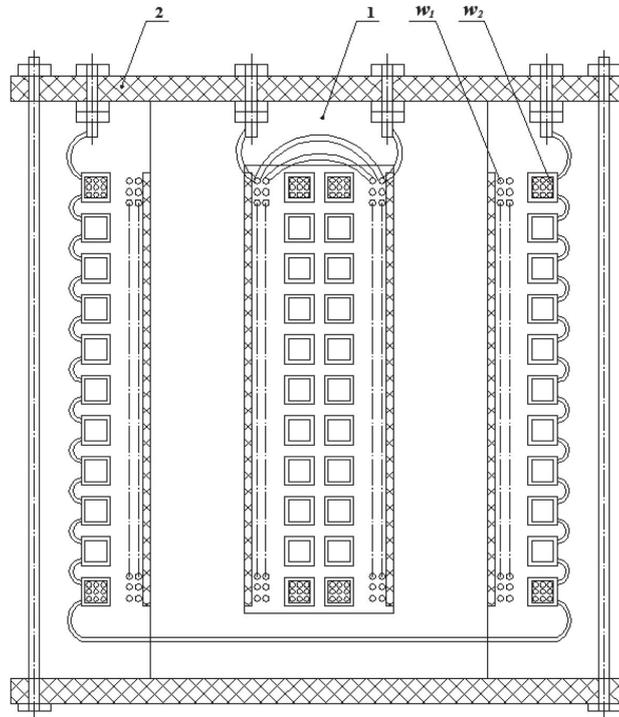


Рис. 2. Высоковольтный трансформатор: 1 – ферритовый сердечник; 2 – текстолитовая плата;  $w_1$  и  $w_2$  – первичная и вторичная обмотки

Первичная обмотка трансформатора питается от полупроводникового полумостового инвертора, описание которого дается ниже. Во входной воздухоборник поступает от компрессора предварительно осушенный и охлажденный воздух (или другой кислородсодержащий газ). В газоразрядных трубках благодаря высокому напряжению вокруг всех струнных электродов возникает тлеющий разряд. Внутри пространства, охваченного этим разрядом, происходит диссоциация молекул кислорода  $O_2$  на атомарный кислород  $2O$ . Эти атомы соединяются с недиссоциированными молекулами кислорода – ( $O_2+O$ ) и образуют молекулы озона.

Напряжение на межэлектродном промежутке переменное, а воздух перемещается по газоразрядной камере достаточно быстро, поэтому процесс ионизации этого воздуха вблизи высоковольтного электрода длится только в тот интервал времени, когда напряженность электрического поля больше пробивного. После его спадания до нуля газ перестает ионизироваться. Через полпериода изменения напряжения все вновь повторяется.

Пройдя газоразрядные трубки, образовавшаяся озono-воздушная смесь попадает в выходной воз-

духосборник и оттуда в барботажную камеру [1] – реактор, где происходит реакция взаимодействия озона с окисляемым веществом.

*Элементы расчета и моделирования озонатора.*

Разработанный в нашей лаборатории озонатор электрически представляет собой конденсатор, емкость которого складывается из двух последовательных емкостей – диэлектрического барьера  $C_б$  и активной зоны (между высоковольтными электродами и внутренней цилиндрической поверхностью этого барьера) –  $C_a$  (рис. 3):

$$C_{O_3} = \frac{C_б C_a}{C_б + C_a} \quad (4)$$

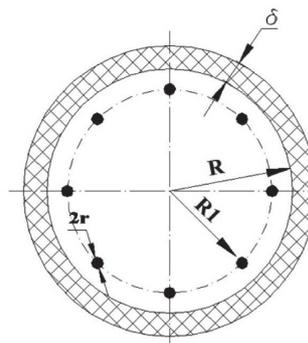


Рис. 3. Поперечный разрез газоразрядной трубки:  $R$  – радиус внутренней поверхности диэлектрического цилиндрического барьера;  $\delta$  – его толщина,  $R_l$  – расстояние от высоковольтного электрода до оси цилиндра

В [5] приводится расчетная модель электрического поля разрядной трубки озонатора, основанная на использовании метода зеркальных отображений. Согласно этой модели емкости  $C_6$  и  $C_a$  равны:

$$C_6 = N \frac{\varepsilon' \varepsilon_0 \pi d l}{\sigma}, \quad (5)$$

$$C_a = N \cdot n \sum_{k=1}^n \frac{\pi \varepsilon_0 l}{2 \ln R_k l z}, \quad (6)$$

где  $N$  – число газоразрядных трубок (в нашем случае  $N = 12$ );  $\varepsilon'$  – относительная диэлектрическая проницаемость материала диэлектрического барьера (у беспористой кремнеземной керамики, использованной для изготовления примененных в озонаторе трубок  $\varepsilon' \approx 10$ );  $\varepsilon_0$  – диэлектрическая постоянная, равная  $8,85 \cdot 10^{-12}$  [Ф/м],  $l$  – длина участка газоразрядной трубки, заключенной в алюминиевый каркас, – длина этого каркаса, в нашем случае  $l = 0,4$  м);  $d$  – внутренний диаметр диэлектрического барьера,

$$l_k = \sqrt{R_1^2 + R_2^2 - 2R_1 R_2 \cos \frac{2\pi}{n} k} = \frac{1}{R_1} \sqrt{R_1^4 + R^4 - 2R^2 R_1^2 \cos \frac{2\pi}{n} k}, \quad (7)$$

где  $R_1$  – радиус цилиндра, на боковой поверхности которого расположены высоковольтные электроды,  $R$  – радиус внутренней поверхности диэлектрического барьера,  $R_2$  – расстояние от зеркального образа высоковольтного электрода до оси внутренней поверхности барьера:

$$R_2 = R^2 / R_1 \quad (8)$$

согласно теории зеркальных отображений [5].

Радиус  $r$  цилиндрической поверхности, охватывающей зону тлеющего разряда определяется следующим образом:

$$r = \frac{\tau}{2\pi \varepsilon_0 E_{пр}}, \quad (9a)$$

где  $\tau$  – линейная плотность электрического заряда на высоковольтном электроде,  $E_{пр}$  – электрическая прочность кислородсодержащего газа (для воздуха  $E_{пр} = 2 \cdot 10^3$  кВ/м). Величина  $\tau$  определяется мгновенным значением напряжения на высоковольтном электроде:

$$\tau = u_{03} \cdot c_{03} \quad (9б)$$

где  $u_{03}$  – напряжение на электродах озонатора.

Но  $C_{03}$  согласно (4) и (6) зависит от  $r$ . Поэтому после установки (4), (6), (9б) в (9a) получаем следующее уравнение для определения  $r$ :

$$Ar - Br \ln r = \frac{u}{E_{пр}}, \quad (9в)$$

где

$$A = \frac{2\pi \varepsilon_0}{C_6} + \frac{4}{lN} \sum_{k=1}^n \ln R_k n \quad (9е)$$

$$B = \frac{4\pi}{lN}$$

$d = 0,03$  м;  $\delta$  – толщина диэлектрического барьера (см. рис. 3);  $\delta = 2$  мм;  $r$  – радиус высоковольтного электрода (при отсутствии тлеющего разряда  $r$  – радиус стальной проволоки, при наличии разряда  $r$  – радиус цилиндрического ионизированного участка кислородсодержащего газа вокруг проволоки, в котором и протекает реакция синтеза озона);  $l_k$  – расстояние между отдельным высоковольтным электродом в плоскости поперечного сечения газоразрядной трубки и зеркальным образом  $k$  – того высоковольтного электрода (всего таких электродов  $n$ , в нашем случае  $n = 8$ ).

Величина  $l_k$  определяется из расчета треугольника, образованного в плоскости поперечного сечения разрядника высоковольтным электродом, центром внутренней цилиндрической поверхности диэлектрического барьера и зеркальным образом  $k$  – того электрода:

Из этой формулы следует, что в интервал периода роста абсолютной величины напряжения на озонаторе радиус зоны тлеющего разряда пропорционально увеличивается. Поэтому такой разряд назван в [6] бегущим. При этом, как следует из формулы (6), возрастает емкость активной зоны  $C_a$ . Напряжение на этой зоне  $u_a$  также растет по формуле

$$u_a = E_{пр} \frac{4r \left[ \sum_{k=1}^n \ln R_k - n \ln r \right]}{lN}. \quad (10)$$

Нелинейную зависимость  $C_a(u_a)$ , вытекающую из формул (6) и (10) удобно представить кусочно-линейной, разбив интервал от  $r_{np}$  до  $r_{max}$  (здесь:  $r_{np}$  – радиус стального провода,  $r_{max}$  – радиус максимальной цилиндрической поверхности, охватывающей зону тлеющего разряда в пределах полупериода).

На рис. 4 дана электрическая схема замещения озонатора [7], соответствующая разделению интервала ( $r_{max} - r_{np}$ ) на три части. ЭДС,  $u_{21}$ ,  $u_{22}$ ,  $u_{23}$ , включенные в выпрямительные мосты этой схемы, рассчитываются по формуле (10), а емкости  $C_{нк}$  по формуле

$$\frac{1}{C_{нк}} = \frac{1}{C_{ак}} - \frac{1}{C_{ак+1}} \quad (11)$$

где  $C_{ак+1}$  и  $C_{ак}$  рассчитываются по формуле (6) для значений  $r_{r+1}$  и  $r_k$ , на которые разбит интервал ( $r_{max} - r_{np}$ ).

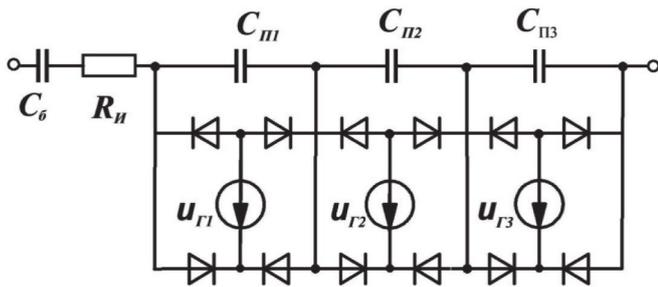


Рис. 4. Дискретная модель озонатора с бегущим барьерным разрядом:  $C_6$  – конденсатор, емкость которого равна емкости диэлектрического барьера;  $R_n$  – резистор, сопротивление которого представляет собой эквивалентное сопротивление ионизированной зоны;  $C_{III}$ ,  $C_{II2}$ ,  $C_{II3}$  – конденсаторы, емкость которых равна емкости активной зоны озонатора до того, как в ней произошла ионизация ( $C_{III} < C_{II2} < C_{II3}$ );  $u_{Г1}$ ,  $u_{Г2}$ ,  $u_{Г3}$  – напряжения между высоковольтным и низковольтным электродами, при которых происходит сначала пробой участка вблизи высоковольтного электрода –  $u_{Г1}$ , затем в средней части  $u_{Г2} > u_{Г1}$ , и, наконец, всей активной зоны –  $u_{Г3} > u_{Г2}$

*Источник питания высокочастотного озонатора.*

Источник питания озоногенирующей установки состоит из выпрямителя VD1...4, преобразователя частоты, высоковольтного высокочастотного

трансформатора  $T_1$ . Схема представлена на рис. 5. Преобразователь частоты реализован по полумостовой схеме, включающей в себя электролитические конденсаторы  $C_1$  и  $C_2$  и ключевые элементы  $VT1$  и  $VT2$ . В качестве ключевых элементов использованы IGBT транзисторы с интегрированными встречно-параллельными ультрабыстрыми диодами. Управление ключами реализовано с помощью высоковольтных самотактируемых полумостовых драйверов IR215X, предназначенных для MOSFET и IGBT транзисторов. Переменное напряжение повышенной частотой подается на первичную обмотку высоковольтного трансформатора  $T_1$ , последовательно соединенную с катушкой индуктивности  $L_2$ .

Выпрямитель питается от сети 220 В, 50 Гц. В его входную цепь включен фильтр радиопомех  $FU$  и катушка индуктивности  $L_1$ . Драйвер по стандартной схеме, включающей в себя резистор  $R_3$ , конденсаторы  $C_4$  и  $C_5$ , диод  $VD5$  подключен к выходу выпрямителя параллельно инвертору. Для регулирования частоты коммутации транзисторов используются цепочка  $R_4 - C_3$ , в которой сопротивление резистора  $R_4$  может меняться. С уменьшением  $R_4$  постоянная времени коммутации  $\tau = R_4 C_3$  уменьшается и частота увеличивается. В нашем озонаторе, как уже указывалось, эта частота выбрана равной 7 кГц.

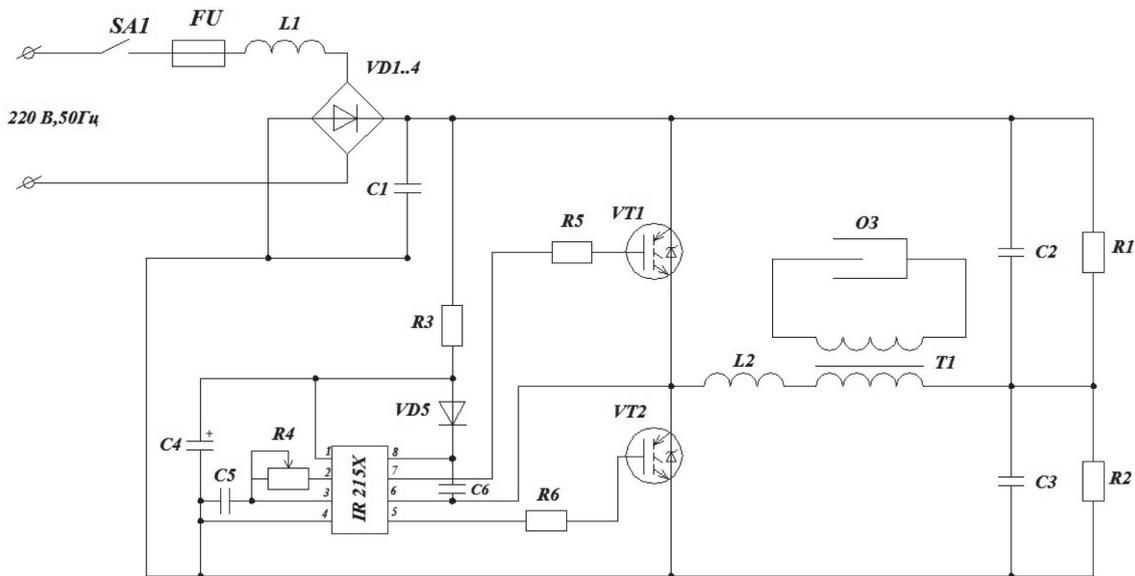


Рис. 5. Схема транзисторного источника питания высокочастотного озонатора:  $SA1$  – выключатель;  $FU$  – фильтр радиотехнических помех;  $L_1$  – входная катушка индуктивности;  $VD1...4$  – выпрямительный блок;  $C_1$  – входной конденсатор – фильтр;  $R_3$ ,  $C_4$ ,  $R_4$ ,  $C_5$ ,  $VD5$ ,  $C_6$  – элементы блока питания драйвера IR 215X;  $R_5$ ,  $R_6$  – входные резисторы баз силовых транзисторов  $VT1$  и  $VT2$ ;  $C_2$ ,  $C_3$  – конденсаторы моста;  $R_1$ ,  $R_2$  – выравнивающие резисторы;  $L_2$  – выходная катушка индуктивности;  $T_1$  – высоковольтный высокочастотный трансформатор;  $O_3$  – озонатор

Сигналы выходных клемм драйвера 5 и 7 подаются поочередно на базы транзисторов  $VT1$  и  $VT2$  через резисторы  $R_5$  и  $R_6$ .

*Экспериментальное исследование опытно-промышленного озонатора.*

На рис. 6а дана фотография опытно-промышленного озонатора, а на рис. 6б дана фотогра-

фия этого озонатора вместе с блоком источника питания. Как видим, для охлаждения блока питания установлен дополнительный вентилятор обдува.

Производительность этого озонатора при питании охлажденным воздухом 70 г/час, а кислородом – 100 г/час.

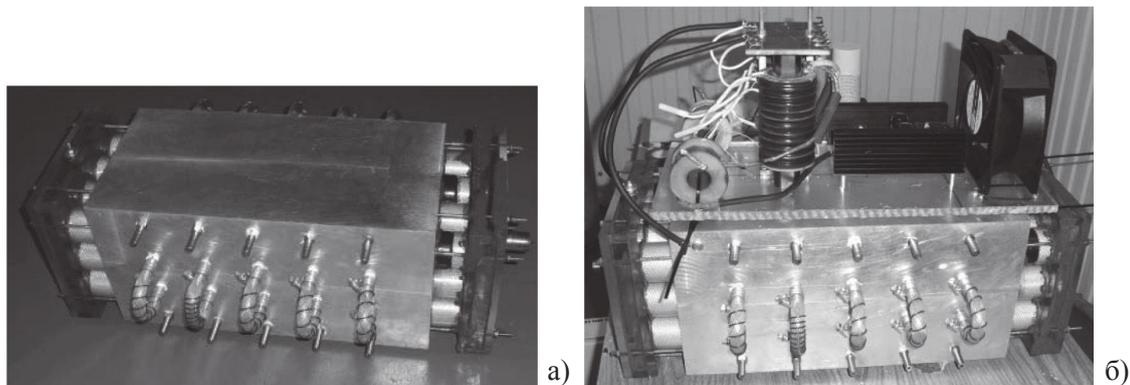


Рис. 6. Фотографии опытно-промышленного озонатора: а – без блока питания; б – вместе с блоком питания

Потребляемая из сети мощность 1,54 кВт (напряжение сети 220 В, ток 7 А). На рис. 7 даны осциллограммы напряжения на выходе инверторного моста, напряжения управления (база – эмиттер) одного из транзисторов этого моста и напряжения на первичной обмотке высокочастотного трансформатора. Наблюдающиеся на последней осциллограмме коммутационные кратковременные выбросы напряжения обусловлены межвитковыми емкостями высоковольтной обмотки трансформатора и существенного влияния на работу озонатора не оказывают.

Озонатор обеспечивал непрерывное питание химического реактора в течение нескольких меся-

цев. При этом его производительность менялась путем расхода подачи воздуха.

При расходе воздуха в 11 м<sup>3</sup>/час концентрация озона на выходе составляла 4,4 г/м<sup>3</sup> воздуха (производительность 11·4,4 ≈ 49 г/час) при расходе 1 м<sup>3</sup>/час – 27 г/м<sup>3</sup> (27 г/час), при расходе 6 м<sup>3</sup>/час 10,5 г/м<sup>3</sup> (производительность 63 г/час).

Воздухоподготовка включает в себя компрессор, силикагелевый осушитель и охладитель. Воздух подается с избыточным давлением 0,5 атм температурой не выше 15 °С.

Озонно-воздушная смесь, выходящая из озонатора, имеет температуру не выше 30 °С.

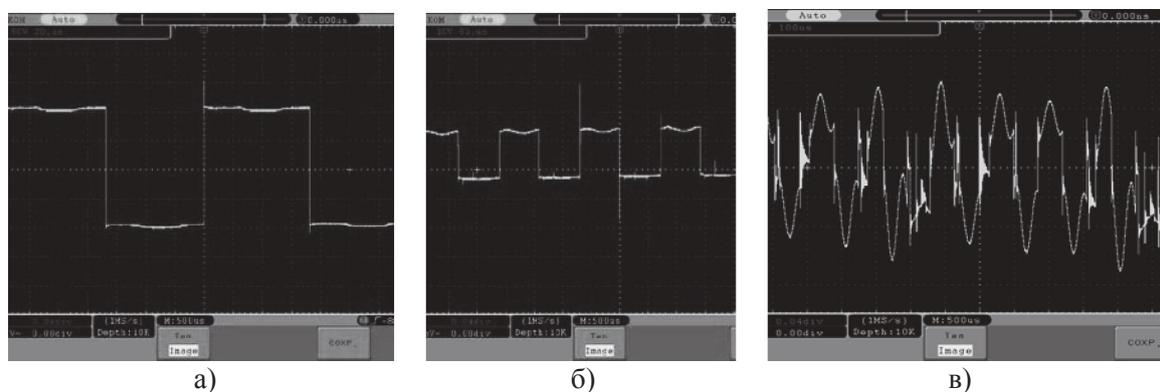


Рис. 7. Осциллограммы озонатора: а – выходного напряжения инверторного моста; б – управляющего сигнала транзистора  $VT_1$  (напряжение база – эмиттер этого транзистора); в – напряжения на первичной обмотке трансформатора

*Выводы.*

Разработан и испытан в опытно-производственных условиях новый озонатор производительностью до 100 г  $O_3$  в час, имеющий габариты (вместе со шкафом, блоком питания, измерительными приборами и коммутационной аппаратурой)  $0,8 \times 0,65 \times 0,7$  м<sup>3</sup>, потребляющий 1,5 кВт электроэнергии от сети 220 В. Озонатор показал надежную долговременную работу в производственных условиях.

*Список литературы*

1. Лунин В.В. Физическая химия озона [Текст] / В.В. Лунин, В.В. Попович, С.Н. Ткаченко. – М.: Изд-во МГУ. – 1998.
2. Емельянов Ю.М., Филиппов Ю.В. // Журнал физической химии. – 1957. – Т. 31. – № 4, 5, 7, 8, 10, 12.
3. Патент № 2075433 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> С01В Высокочастотный озонатор [Текст] / С.В. Шапиро, Б.А. Воронов; патентообладатель С.В. Шапиро. – 5064705/26; заявл. 15.04.1992; опубл. 20.03.1997.
4. Филиппов Ю.В. Электросинтез озона [Текст] / Ю.В. Филиппов, В.А. Вобликова, В.И. Пантелеев. – М.: Изд-во МГУ, 1987. – 236 с.
5. Шапиро С.В. Исполнительные органы систем управления технологическими установками плазмохимической модификации поверхности полиолефиновых материалов [Текст] / С.В. Шапиро, А.Г. Саенко // Вестник УГАТУ, 2003. – Т. 4. – № 1.

6. Шапиро С.В. Элементы теории высокочастотного озонатора с бегущим барьерным разрядом [Текст] / С.В. Шапиро // Межвузовский научный сборник «Электротехнические комплексы и системы». – Уфа: УГАТУ, 2005 г.

7. Шапиро С.В. Трехфазный непосредственный инвертор для питания высокочастотного озонатора [Текст] / С.В. Шапиро, В.В. Жидков, Ю.М. Зинин // Электричество, 2013. – № 3.

*References*

1. Lunin V.V. Fizicheskaja himija ozona [Tekst] / V.V. Lunin, V.V. Popovich, S.N. Tkachenko. – M.: Izd-vo MGU. 1998.
2. Emel'janov Ju.M., Filippov Ju.V. // Zhurnal fizicheskoj himii. – 1957. – T. 31. – № 4, 5, 7, 8, 10, 12.
3. Patent № 2075433 Rossyskaya Federatsiya, MPK<sup>7</sup> S01V Vysokochastotny ozonator [Tekst] / S.V. Shapiro, B.A. Voronov; patentoobladatel S.V. Shapiro. – 5064705/26; zayavl. 15.04.1992; opubl. 20.03.1997.
4. Filippov Ju.V. Jelektrosintez ozona [Tekst] / Ju.V. Filippov, V.A. Voblikova, V.I. Panteleev. – M. – Izd-vo MGU: 1987. – 236 s.
5. Shapiro S.V. Ispolnitel'nye organy sistem upravlenija tehnologicheskimi ustanovkami plazmohimicheskoj modifikacii poverhnosti poliolefinovyh materialov [Tekst] / S.V. Shapiro, A.G. Saenko // Vestnik UGATU. – t. 4. – № 1. – 2003 g.
6. Shapiro S.V. Jelementy teorii vysokochastotnogo ozonatora s begushhim bar'ernym razrjadom [Tekst] / S.V. Shapiro // Mezhvuzovskij nauchnyj sbornik «Jelektrotehnicheskie komplekсы i sistemy». – Ufa: UGATU, 2005 g.
7. Shapiro S.V. Trehfaznyj neposredstvennyj invertor dlja pitanija vysokochastotnogo ozonatora [Tekst] / S.V. Shapiro, V.V. Zhidkov, Yu.M. Zinin // Jelektrichestvo. – № 3. – 2013 g.

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ DATA PROCESSING FACILITIES AND SYSTEMS



**Артюшенко В.М.**  
**Artuschenko V.M.**

*доктор технических наук,  
профессор, заведующий кафедрой «Информационные технологии и управляющие системы»  
ГБОУ ВПО МО «Финансово-технологическая академия», Россия, г. Королев*



**Корчагин В.А.**  
**Korchagin V.A.**

*магистрант кафедры «Информационные технологии и управляющие системы»  
ГБОУ ВПО МО «Финансово-технологическая академия», Россия, г. Королев*

УДК 621.391.827

### РАСЧЕТ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ ПОЯВЛЕНИЯ ВНУТРИКАНАЛЬНЫХ И ИНТЕРМОДУЛЯЦИОННЫХ ПОМЕХ БЕСПРОВОДНЫХ УСТРОЙСТВ С МАЛЫМ РАДИУСОМ ДЕЙСТВИЯ

В статье рассматриваются вопросы, связанные с расчетом и моделированием вероятности появления внутриканальных и интермодуляционных помех устройств малого радиуса действия при одновременной работе в зоне их действия радиоэлектронных систем и устройств, работающих с ними в одном частотном диапазоне.

Получены зависимости вероятности внутриканальной помехи от величины рабочего цикла и числа источников помех FHSS-устройств. Показано, что вероятность внутриканальной помехи приемных Bluetooth-устройств увеличивается не только с ростом численности FHSS-устройств, но и с увеличением величины их рабочего цикла.

Получена методика расчета защитного расстояния от воздействующих помех, приводящих к блокированию приемных Bluetooth-устройств. Показано, что с увеличением величины рабочего цикла FHSS-устройств для недопущения блокировки приемных Bluetooth-устройств должны возрастать не только значения отношения сигнал/шум, но и защитные расстояния.

Показано, что при совместном функционировании радиоэлектронного оборудования FHSS и Bluetooth-устройств необходимо учитывать не только направление главного лепестка диаграммы направленности приемопередающих антенн FHSS-устройств, но и их боковых лепестков. Так, для бокового лепестка FHSS-устройств со 100%-ным рабочим циклом защитный интервал от помех, воздействующих на Bluetooth-устройства внутри канала при одной и той же мощности мешающего сигнала, может быть уменьшен в три раза, при полном блокировании – более чем в пять раз.

Осуществлен расчет и моделирование вероятности появления интермодуляционных помех от FHSS-устройств в рабочей полосе частот Bluetooth-устройств. Показано, что в общем случае с увеличением плотности радиоэлектронного оборудования диапазона 2,45 ГГц вероятность суммарных помех, создаваемых как самими Bluetooth-устройствами, так и FHSS-устройствами, возрастает. Причем данная вероятность зависит прямо пропорционально от мощности передающих устройств, создающих эти помехи, и обратно

пропорционально от мощности устройств, которым эти помехи создаются.

Кроме того, вероятность суммарных интермодуляционных помех напрямую зависит как от величины рабочего цикла передающего оборудования, создающего помехи, так и от величины рабочего цикла устройств, принимающих эти помехи. Чем меньше величина рабочего цикла передающего и приемного оборудования, тем меньше вероятность суммарных интермодуляционных помех.

*Ключевые слова:* устройства малого радиуса действия, внутриканальные и интермодуляционные помехи.

## THE CALCULATION AND MODELING THE PROBABILITY OF OCCURRENCE OF CO-CHANNEL AND INTERMODULATION INTERFERENCE WIRELESS DEVICES WITH SMALL RADIUS ACTIONS

This article considers issues related to calculation and modeling of short-range devices in-channel and intermodulation interference probability when electronic systems and devices are concurrently operating in their coverage area in the same frequency range.

The dependence of in-channel interference probability on the value of the operating cycle and the number of FHSS-devices noise sources are obtained. It is shown that the probability of receiving Bluetooth devices in-channel interference increases not only with the increase of FHSS-devices number, but also when operating cycle value goes up.

Calculation method of the distance safe from interference blocking the receiving Bluetooth devices is obtained. It is shown that with the increasing value of the FHSS-devices operating cycle to prevent blocking of the receiving Bluetooth devices not only the signal / noise ratio values should increase, but also safe distances.

It is shown that with FHSS electronic equipment and Bluetooth devices co-functioning, not only the direction of the transmitting and receiving antenna FHSS-devices main directional lobe should be taken into account, but their side lobes as well. Thus, for FHSS-devices side lobe with a 100% duty cycle the guard interval of interference having impact on Bluetooth devices within the channel with the same interfering signal power can be reduced by three times, when fully blocked – by more than five times.

Calculation and modeling of probability of intermodulation interference from FHSS-devices operating in the Bluetooth devices frequency band were done. It is shown that for the general case when density of 2.45 GHz range electronic equipment increases the probability of overall interference caused both by Bluetooth devices and FHSS-devices increases. Moreover, this probability is directly-proportional to the power of transmitting devices creating the disturbances, and inversely-proportional to the power of devices to which the disturbances are created.

Furthermore, the probability of overall intermodulation interference directly depends on the interference-creating transmitting equipment duty cycle value as well as on the duty cycle value of the interference-receiving devices. The smaller the duty cycle of transmitting and receiving equipment, the smaller probability of the overall intermodulation interference.

*Key words:* device small radius of action, co-channel and intermodulation interference.

Одними из ключевых технологий в современной концепции построения и развития сетевых телекоммуникационных инфраструктур являются технологии беспроводного доступа с малым радиусом действия SRD (Short Range Devices). Наиболее перспективными областями их применения являются те области, где требуется сбор и обработка большого количества одновременно измеряемых параметров. Внедрение технологий SRD в эти области позволит не только упростить взаимодействие между различным оборудованием и устройствами, но и заменить традиционные проводные соединения – на беспроводные каналы.

Учитывая высокую плотность размещения устройств SRD в ограниченном пространстве, важнейшей проблемой является обеспечение их электромагнитной совместимости (ЭМС) с другими

радиоэлектронными средствами (РЭС), работающими с ними в одном частотном диапазоне, в зоне их действия [1–6].

Проанализируем проблемы электромагнитной совместимости радиоэлектронного оборудования SRD на примере устройств, выполненных по технологии Bluetooth и работающих в диапазоне частот 2,45 ГГц.

Пусть в зоне действия SRD работает радиоэлектронное оборудование, использующее, так же как и Bluetooth-устройства, скачкообразную перестройку частоты FHSS (Frequency Hop Spread Spectrum). В дальнейшем данное радиоэлектронное оборудование будем обозначать как FHSS-устройство.

### 1. Расчет защитного расстояния от внутриканальных помех

Если предположить, что перестройка частоты

приостановлена, то на основе традиционной модели распространения радиоволн можно рассчитать защитные расстояния  $L_{защ}$  между мешающим радиоэлектронным оборудованием и Bluetooth-приемником, как в случае возникновения помех в совпадающем канале (внутриканальные помехи), так и в случае его блокирования (уменьшение усиления полезного сигнала во входном тракте приемника, вызванное действием интенсивного мешающего сигнала, частота которого находится вне основного канала приема).

В открытых технических источниках [6], приводятся некоторые защитные расстояния для устройств Bluetooth при воздействии на них различных источников помех, например от: SRD – Short Range Devices; CATV – Community Antenna TeleVision; RLAN – Radio Local Area Network; ENG/OB – Electronic News Gathering/Outside Broadcasting;

RFID – Radio frequency identification devices. Однако, необходимо отметить, что в расчетах, приведенных в этих источниках, предполагался наихудший случай, когда рабочий цикл источников помех равнялся 100%. То есть источники помех воздействовали на Bluetooth-устройства в течение 24 часов в сутки. Однако проведенные исследования показали, что обычно рабочий цикл SRD составляет всего 15% [7].

Вероятность внутриканальной помехи  $P_{вн.л}$  для канала Bluetooth от одного источника помех (FHSS-устройства) может быть найдена из выражения [8]:

$$P_{вн.л} = DN^{-l},$$

где:  $D$  – рабочий цикл FHSS-устройства;  $N$  – число скачков частоты устройств технологии Bluetooth.

Зависимость вероятности внутриканальной помехи пикосети Bluetooth от величины рабочего цикла FHSS-устройств представлена на рис. 1.

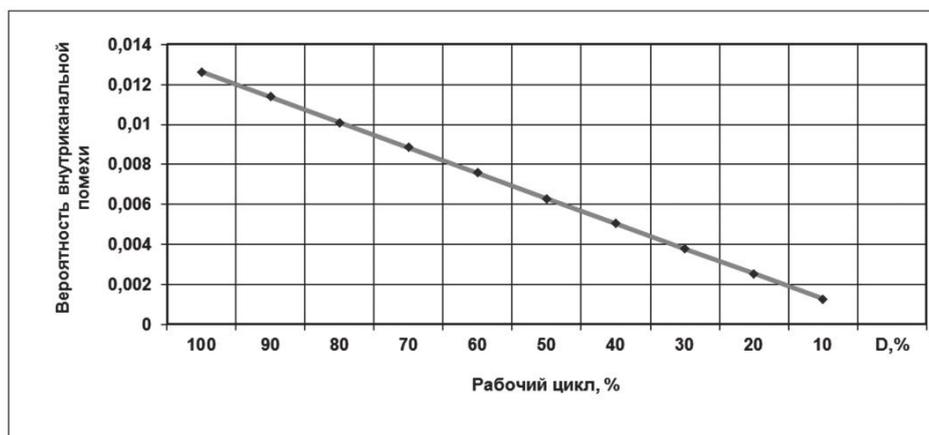


Рис. 1. Зависимость вероятности внутриканальной помехи от рабочего цикла

Из представленной зависимости видно, что с уменьшением величины рабочего цикла мешающих устройств вероятность внутриканальной помехи также уменьшается.

С ростом числа источников помех  $m$  вероятность внутриканальной помехи в пикосети Bluetooth увеличивается и может быть найдена из выражения:

$$P_{вн.л} = D(1 - [(N - 1)N^{-l}]^m).$$

Зависимость вероятности внутриканальной помехи в пикосети Bluetooth от количества источников помех, вызванных FHSS-устройствами, для различных значений величины рабочего цикла представлена на рис. 2.

Исследования показывают, что величина рабочего цикла мешающего устройства оказывает влияние не только на вероятность появления внутриканальной помехи, но и на значение защитного расстояния.

В результате моделирования были получены зависимости защитного расстояния Bluetooth-

устройств (при недопущении появления внутриканальной помехи) от рабочего цикла различных мешающих устройств, представленные на рис. 3.

Заметим, что в рассмотренных случаях внутриканальная помеха не приводила к снижению пропускной способности ниже 90%, так как более 90% спектра оставалось свободным от помех [9].

## 2. Расчет защитного расстояния от блокирования.

Определим величину защитного расстояния, позволяющего избежать блокировки Bluetooth-устройств помехами, вызванными работой различных FHSS-устройств, мощность которых, как правило, значительно больше, чем мощность Bluetooth-устройств. Например, к таким устройствам можно отнести устройства радиочастотной идентификации RFID, мощность передатчика которого может составлять 4 Вт.

Согласно проведенным в [6] расчетам, при по-

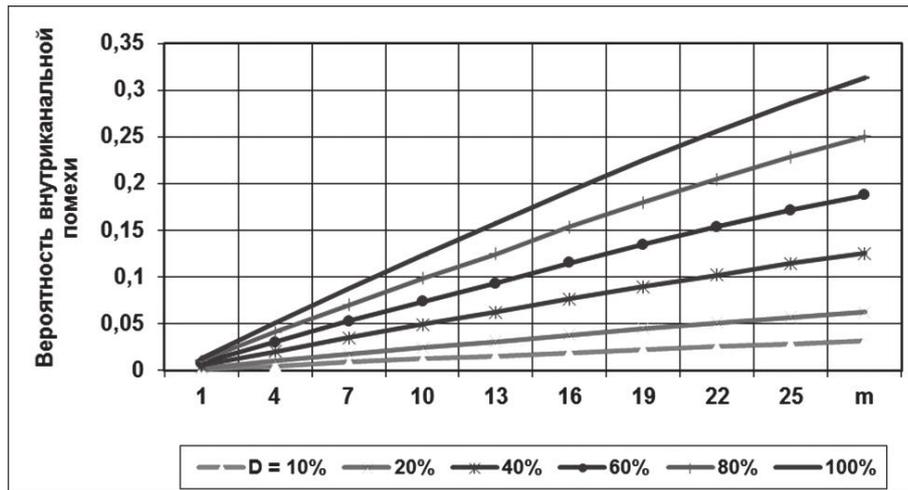


Рис. 2. Зависимость вероятности внутриканальной помехи от числа источников помех

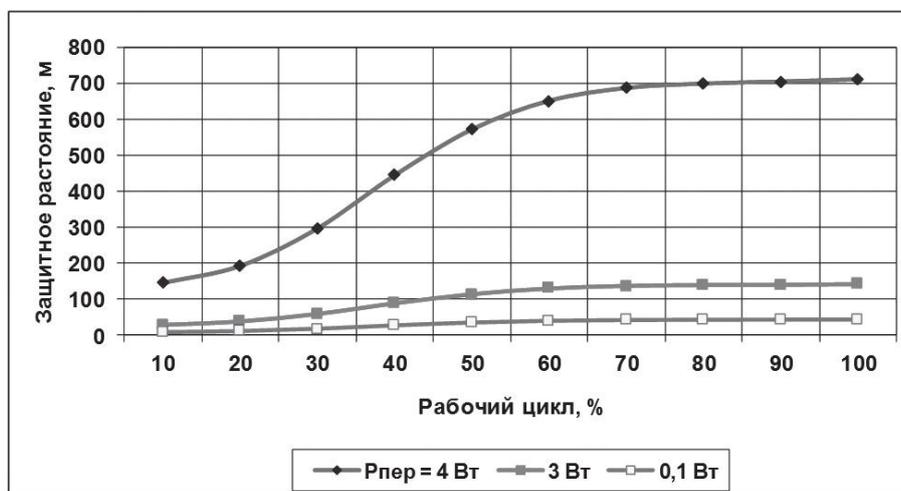


Рис. 3. Зависимость защитного расстояния от величины рабочего цикла мешающего устройства при различных значениях мощности его передатчика

стоянной работе RFID и Bluetooth-устройств защитное расстояние от блокирования приемника Bluetooth-устройствами RFID составляет около 24 м, при отношении сигнал/шум (ОСШ) не менее – 33 дБ. Однако проведенные исследования показали, что в зависимости от величины рабочего цикла, минимальные значения ОСШ для различных типов передатчиков RFID, создающих помехи блокирующие работу Bluetooth-устройств, меняются, что в свою очередь ведет к изменению величины защитного расстояния. При уменьшении рабочего цикла источников помех защитное расстояние обеспечивается при более низких значениях величины ОСШ.

На рис. 4 а, б приведены зависимости, соответственно, минимальных значений ОСШ и защитных расстояний для Bluetooth-устройств, рассчитанных с помощью модели распространения для наихудшего случая, от величины рабочего цикла мешающих устройств RFID с мощностью передатчика 4 Вт [4, 9].

Из приведенных на рис. 4 графиков видно, что для

15%-ного рабочего цикла защитный интервал обеспечивается при более низких значениях ОСШ, при этом уменьшение величины ОСШ может достигать 15 дБ.

В результате моделирования были получены зависимости минимально допустимых значений ОСШ и защитного расстояния для Bluetooth-устройств от величины рабочего цикла мешающих FHSS-устройств, при различных значениях мощности их передатчиков  $P_{пер}$ , для наихудшего случая, когда на пути мешающего сигнала отсутствуют препятствия для его распространения, представленные на рис. 5 а, б.

Из представленных зависимостей видно, что с увеличением рабочего цикла FHSS-устройств, для недопущения блокировки Bluetooth-устройств должны возрастать как значения ОСШ, так и защитные расстояния.

Кроме того, величина защитного расстояния существенно зависит от мощности передатчика мешающего FHSS-устройства  $P_{пер}$ , влияющей на ОСШ. Зависимости защитного расстояния от мощ-

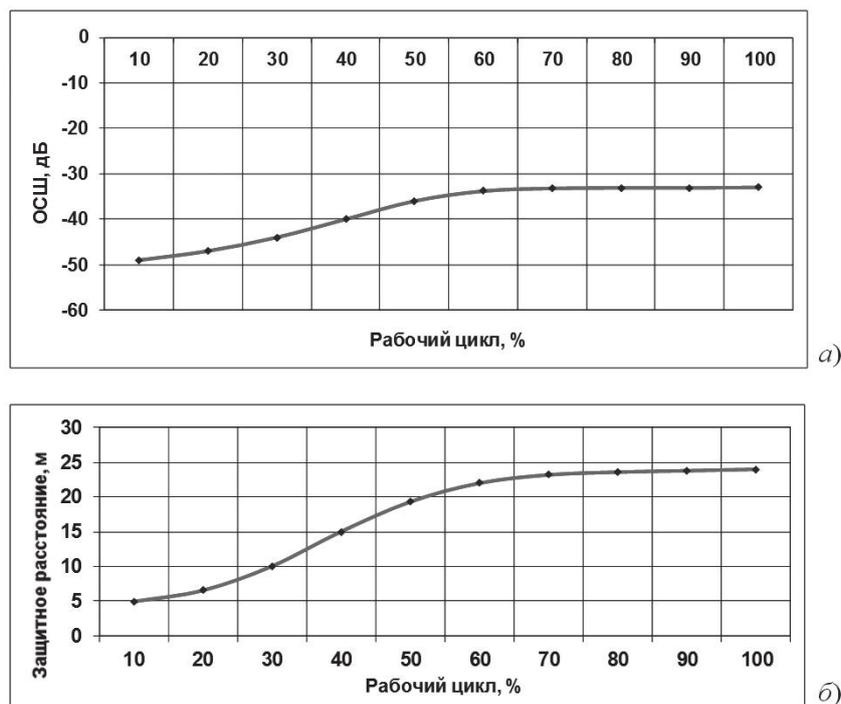


Рис. 4. Зависимость: а – минимальных значений ОСШ; б – защитного расстояния – от величины рабочего цикла устройства RFID с мощностью передатчика 4 Вт

ности мешающего передатчика FHSS-устройства, при различных значениях величины рабочего цикла Bluetooth-устройств, представлены на рис. 6 [4].

Из представленных зависимостей видно, что чем выше мощность мешающего FHSS-устройства, тем больше должна быть величина защитного расстояния  $L_{защ}$ , при одних и тех же значениях рабочего цикла  $D$ .

Экспериментальные исследования показывают, что при совместном размещении FHSS и Bluetooth-устройств внутри помещений необходимо учитывать не только направление главного лепестка диаграммы направленности приемопередающих антенн FHSS-устройств, но и их боковых лепестков. При воздействии источников помех на Bluetooth-устройства через боковые лепестки диаграммы направленности антенны FHSS-устройства защитные расстояния, при одной и той же мощности мешающего сигнала, могут быть значительно уменьшены. Так, предельно допустимое расстояние для борьбы с возникновением внутриканальных помех может быть уменьшено более чем в три раза, для борьбы с блокированием Bluetooth-устройств – более чем в пять раз. Кроме того, если учесть, что рабочий цикл составляет 15%, – защитные расстояния могут быть уменьшены еще почти в четыре раза.

### 3. Расчет вероятности появления интермодуляционных помех

Так как в передающем оборудовании FHSS используют скачкообразную перестройку частоты,

то существует вероятность того, что при определенной разности частот появится интермодуляционная составляющая помехи на частоте приемника Bluetooth-устройства.

В соответствии со спецификациями Bluetooth два передатчика могут создавать интермодуляционные помехи для Bluetooth-устройств, если каждый из них имеет уровень помех (–39) дБм [6]. В этом случае, используя модель потерь уровня сигнала при распространении, можно определить как защитное расстояние  $L_{защ}$ , так и защитную область  $S_{защ}$  от интермодуляционных помех, которые будут составлять:  $L_{защ} = 35$  м и  $S_{защ} = 3848$  м<sup>2</sup>.

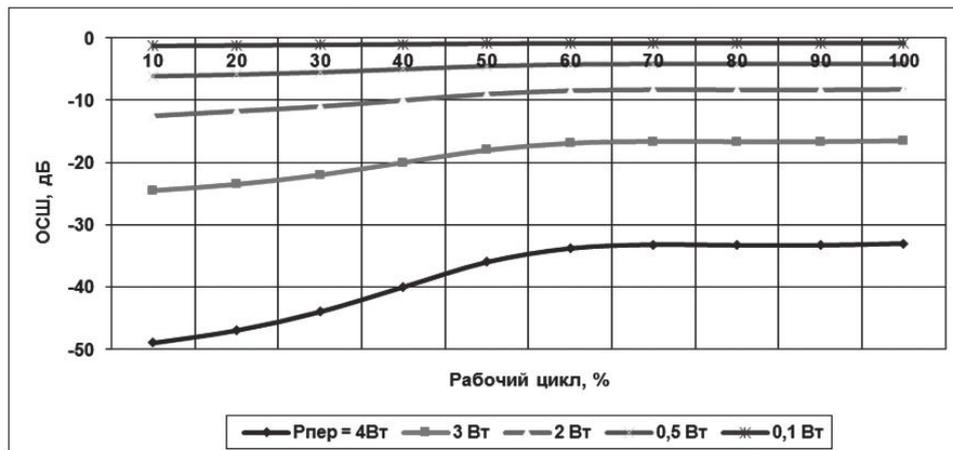
Вероятность появления интермодуляционных помех 2-го порядка  $P_{B2}$  от двух FHSS-устройств, работающих на частотах внутри двух полос, находящихся выше и ниже полосы приемника Bluetooth-устройства, может быть найдена как:

$$P_{B2} = 2 N^{-1} = 2/79 = 2,53 \times 10^{-2}.$$

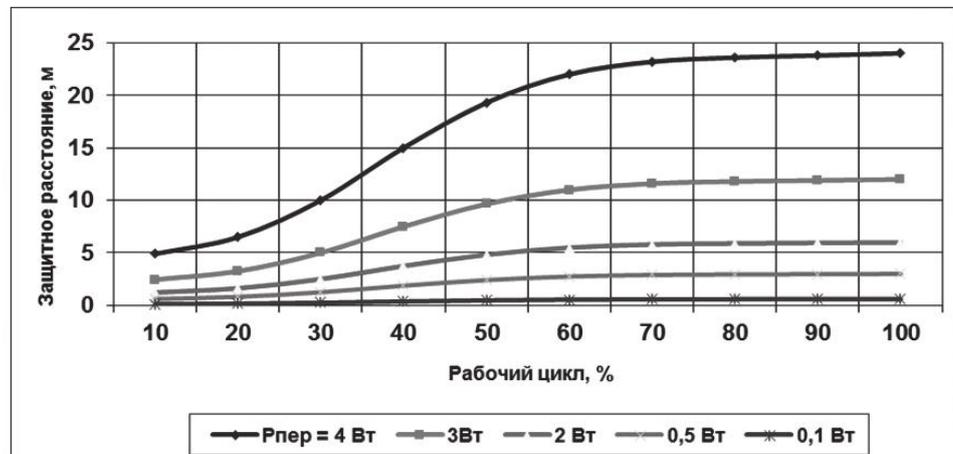
Вероятность совпадения главного луча диаграммы направленности передающей антенны источника помех FHSS-устройства с диаграммой приемника помех Bluetooth-устройства может быть найдена из соотношения:

$$P_{FHSS} = \alpha_{FHSS} / \alpha_{Bluetooth}$$

где:  $\alpha_{FHSS}$  и  $\alpha_{Bluetooth}$  – угол диаграммы направленности антенны передающего FHSS-устройства и приемника помех Bluetooth-устройства,  $\alpha_{Bluetooth} = 360^\circ$ .



а)



б)

Рис. 5. Зависимости: а – минимальных значений ОСШ; б – защитного расстояния – для Bluetooth-устройства от величины рабочего цикла устройства RFID, при различных значениях мощности его передатчика

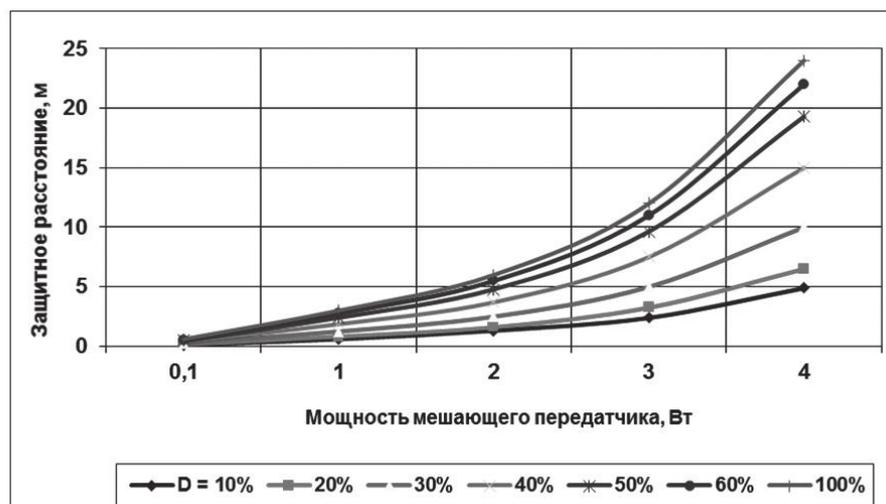


Рис. 6. Зависимости защитного интервала от мощности передатчика FHSS-устройства при различных значениях величины рабочего цикла

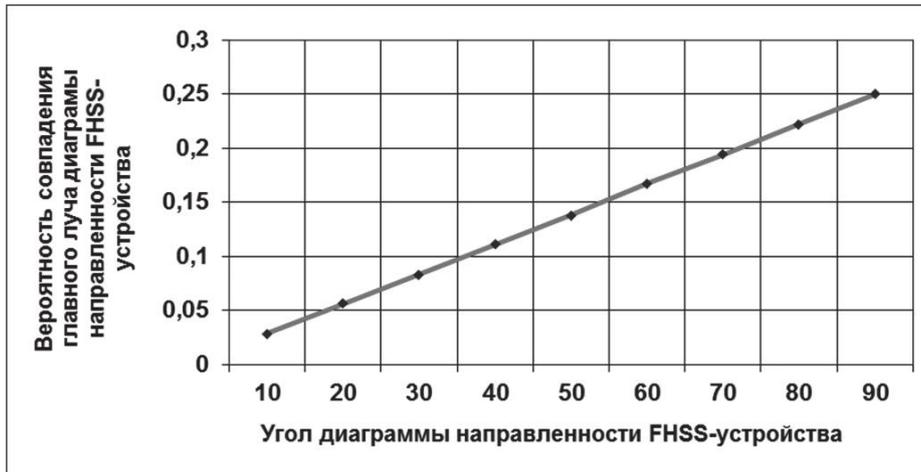
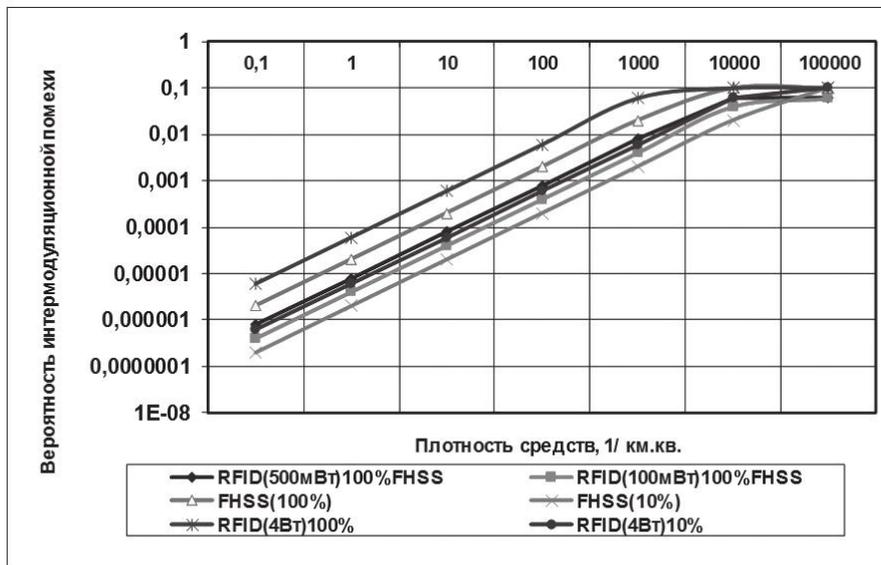
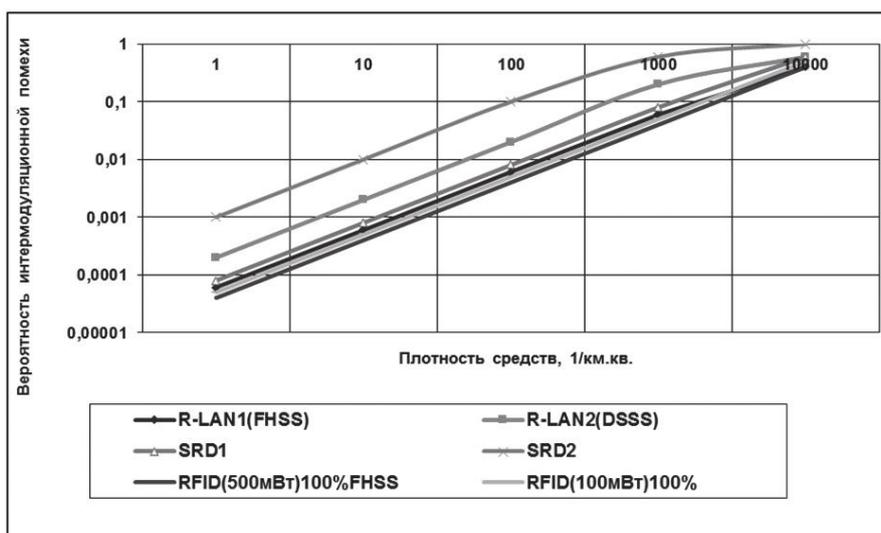


Рис. 7. Зависимость  $P_{FHSS}$  от угла  $\alpha_{FHSS}$



a)



b)

Рис. 8. Суммарная вероятность интермодуляционных помех: а – для Bluetooth-устройств от радиоэлектронных систем диапазона 2,45 ГГц: RFID, FHSS; б – от Bluetooth-устройств для радиоэлектронных систем диапазона 2,45 ГГц при ЭИИМ Bluetooth – 1 мВт

Зависимость вероятности совпадения главного луча  $P_{FHSS}$  с приемником помех Bluetooth-устройством от угла диаграммы направленности антенны передающего FHSS-устройства представлена на рис. 7.

Из графика видно, что чем больше угол диаграммы направленности антенны передающего FHSS-устройства, тем больше вероятность совпадения главного луча диаграммы направленности передающей антенны FHSS-устройства с диаграммой направленности приемника помех Bluetooth-устройством.

Вероятность появления интермодуляционных помех третьего порядка  $P_{B3}$  может быть найдена как:

$$P_{B3} = 1 - (1 - P_{B2} P_{FHSS} P_{T.FHSS})^M,$$

где:  $P_{T.FHSS}$  – вероятность совпадения по времени действия передающего FHSS-устройства с приемником помех – Bluetooth-устройством;  $M$  – число мешающих FHSS-устройств, находящихся внутри защитного интервала Bluetooth-устройства.

Из приведенного выражения видно, что вероятность появления интермодуляционных помех для Bluetooth-устройств возрастает с увеличением числа мешающих FHSS-устройств.

Воспользовавшись методикой расчета, предложенной Европейским комитетом радиосвязи [7], в результате моделирования были получены графики вероятности интермодуляционных помех, как создаваемых Bluetooth-устройствами различным РЭС, так и им самим от радиоэлектронных систем, работающих в диапазоне 2,45 ГГц. Результаты моделирования представлены на рис. 8, где: SRD 1, 2 – устройства SRD, 10 мВт,  $D = 100\%$ , соответственно 1 – узкая полоса, 2 – широкая (аналоговое видео); R-LAN1 (FHSS) – устройства R-LAN1, 100 мВт, FHSS,  $D = 100\%$ ; R-LAN2 (DSSS) – устройства R-LAN2, 100 мВт, DSSS,  $D = 100\%$ ; RFID (500 мВт) 100% FHSS – устройства RFID, 500 мВт, FHSS,  $BW = 8$  МГц,  $D = 100\%$ ; RFID (100 мВт) 100% – устройства RFID, 100 мВт, узкая полоса,  $D = 100\%$ .

Из представленных зависимостей видно, что в общем случае с увеличением плотности размещения радиоэлектронных систем диапазона 2,45 ГГц возрастает как вероятность суммарных интермодуляционных помех, создаваемых ими Bluetooth-устройствам, так и вероятность интермодуляционных помех, создаваемых самими Bluetooth-устройствами радиоэлектронным системам. Причем данная вероятность зависит прямо пропорционально от мощности передающих устройств, создающих эти помехи, и обратно пропорционально от мощности устройств, которым создаются эти помехи [3].

Кроме того, вероятность суммарных интермодуляционных помех напрямую зависит как от величины рабочего цикла передающего оборудования, создающего помехи, так и от величины рабочего цикла устройств, принимающих эти помехи. Чем меньше величина рабочего цикла передающего и приемного оборудования, тем меньше вероятность суммарных интермодуляционных помех.

Заметим, что результаты моделирования хорошо согласуются с результатами исследований, изложенными в работах [6, 7].

Таким образом, осуществлен расчет и моделирование уровней внутриканальных помех приемных Bluetooth-устройств при работе в непосредственной близости от передающего FHSS-устройства. Получены зависимости вероятности внутриканальной помехи от величины рабочего цикла и числа источников помех FHSS-устройств. Показано, что вероятность внутриканальной помехи приемных Bluetooth-устройств увеличивается не только с ростом численности FHSS-устройств, но и с увеличением величины их рабочего цикла.

Получена методика расчета защитного расстояния от воздействующих помех, приводящих к блокированию приемных Bluetooth-устройств. Показано, что с увеличением величины рабочего цикла FHSS-устройств для недопущения блокировки приемных Bluetooth-устройств должны возрастать не только значения ОСШ, но и защитные расстояния.

Показано, что при совместном функционировании радиоэлектронного оборудования FHSS и Bluetooth-устройств необходимо учитывать не только направление главного лепестка диаграммы направленности приемопередающих антенн FHSS-устройств, но и их боковых лепестков. Так, для бокового лепестка FHSS-устройств со 100%-ным рабочим циклом защитный интервал от помех, воздействующих на Bluetooth-устройства внутри канала при одной и той же мощности мешающего сигнала, может быть уменьшен в три раза, при полном блокировании – более чем в пять раз.

Осуществлен расчет и моделирование вероятности появления интермодуляционных помех от FHSS-устройств в рабочей полосе частот Bluetooth-устройств. Показано, что в общем случае с увеличением плотности радиоэлектронного оборудования диапазона 2,45 ГГц вероятность суммарных помех, создаваемых как самими Bluetooth-устройствами, так и FHSS-устройствами, возрастает. Причем данная вероятность зависит прямо пропорционально от мощности передающих устройств, создающих эти помехи, и обратно пропорционально от мощности устройств, которым эти помехи создаются.

## Список литературы

1. *Артюшенко В.М.* Проблемы электромагнитной совместимости цифрового электротехнического оборудования на промышленных и бытовых объектах [Текст] / В.М. Артюшенко, В.А. Корчагин // Научный журнал. Вестник ассоциации вузов туризма и сервиса. – 2009. – № 4 (11). – С. 95–98.

2. *Корчагин В.А.* Электромагнитная совместимость беспроводных устройств малого радиуса действия [Текст] / В.А. Корчагин // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – № 1. – Т. 6, 2010. – С. 3–9.

3. *Артюшенко В.М.* Оценка влияния электромагнитных помех радиоэлектронных средств на беспроводные устройства малого радиуса действия [Текст] / В.М. Артюшенко, В.А. Корчагин // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – № 2. – Т. 6. – 2010. – С. 10–17.

4. *Артюшенко В.М.* Оценка влияния помех от радиоэлектронных систем на беспроводные устройства малого радиуса действия с блоковым кодированием [Текст] / В.М. Артюшенко, В.А. Корчагин // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – № 4. – Т. 6. – 2010. – С. 3–6.

5. *Артюшенко В.М.* Анализ беспроводных технологий обмена данными в системах автоматизации жизнеобеспечения производственных и офисных помещений [Текст] / В.М. Артюшенко, В.А. Корчагин // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – № 2. – Т. 6. – 2010. – С. 18–24.

6. *Васехо Н.В.* Особенности использования и проблемы обеспечения ЭМС технологии BLUETOOTH [Текст] / Н.В. Васехо, С.Н. Дудуки, В.О. Тихвинский // Мобильные системы. – № 4. – 2002.

7. *ERC Decision of 12 March 2001 on harmonized frequencies, technical characteristics and exemption from individual licensing of Non-specific Shot Range Devices operating in the frequency band 2400-2483.5 MHz (ERG/DEC/(01)05).*

8. *Compatibility of Bluetooth with other existing and proposed Radio communication Systems in the 2.45 GHz frequency band. – ERC Report 109. – October 2001.*

9. *Артюшенко В.М.* Моделирование вероятности появления интермодуляционных помех в беспроводных пикосетях [Текст] / В.М. Артюшенко, В.А. Корчагин // Наука – промышленности и сервису: сб. ст. VI Международной научно-практической конференции. – Ч. II / Поволжский гос. ун-т сервиса. – Тольятти: Изд-во ПВГУС, 2012. – С. 204 – 212.

## References

1. *Artjushenko V.M.* Problemy jelektromagnitnoj sovmestivosti cifrovogo jelektrotehnicheskogo oborudovanija na promyshlennyh i bytovyh ob#ektah [Tekst]/ V.M. Artjushenko, V.A. Korchagin // Nauchnyj zhurnal. Vestnik associacii vuzov turizma i servisa. – 2009. – № 4 (11). – S. 95–98.

2. *Korchagin V.A.* Jelektromagnitnaja sovmestimost' besprovodnyh ustrojstv malogo radiusa dejstvija [Tekst]/ V.A. Korchagin // Jelektrotehnicheskie i informacionnye komplekсы i sistemy. – № 1. – Т. 6. – 2010. – S. 3–9.

3. *Artjushenko V.M.* Ocenka vlijanija jelektromagnitnyh pomeh radiojelektronnyh sredstv na besprovodnye ustrojstva malogo radiusa dejstvija [Tekst] / V.M. Artjushenko, V.A. Korchagin // Jelektrotehnicheskie i informacionnye komplekсы i sistemy. – № 2. – Т. 6. – 2010. – S. 10–17.

4. *Artjushenko V.M.* Ocenka vlijanija pomeh ot radiojelektronnyh sistem na besprovodnye ustrojstva malogo radiusa dejstvija s blokovym kodirovaniem [Tekst] / V.M. Artjushenko, V.A. Korchagin // Jelektrotehnicheskie i informacionnye komplekсы i sistemy. – № 4. – Т. 6. – 2010. – S. 3–6.

5. *Artjushenko V.M.* Analiz besprovodnyh tehnologij obmena dannymi v sistemah avtomatizacii zhizneobespechenija proizvodstvennyh i ofisnyh pomeshhenij [Tekst]/ V.M. Artjushenko, V.A. Korchagin // Jelektrotehnicheskie i informacionnye komplekсы i sistemy. – № 2. – Т. 6. – 2010. – S. 18–24.

6. *Vaseho N.V.* Osobennosti ispol'zovanija i problemy obespechenija JeMS tehnologii BLUETOOTH [Tekst] / N.V. Vaseho, S.N. Duduki, V.O. Tihvinskij // Mobil'nye sistemy. – № 4. – 2002.

7. *ERC Decision of 12 March 2001 on harmonized frequencies, technical characteristics and exemption from individual licensing of Non-specific Shot Range Devices operating in the frequency band 2400-2483.5 MHz (ERG/DEC/(01)05).*

8. *Compatibility of Bluetooth with other existing and proposed Radio communication Systems in the 2.45 GHz frequency band. – ERC Report 109. – October, 2001.*

9. *Artjushenko V.M.* Modelirovanie verojatnosti pojavlenija intermoduljacionnyh pomeh v besprovodnyh pikosetjah [Tekst] / V.M. Artjushenko, V.A. Korchagin // Nauka – promyshlennosti i servisu: sb. st. VI mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. – Ch. II / Povolzhskij gos. un-t servisa. – Tol'jatti: Izd-vo PVGUS, 2012. – S. 204–212.



**Павлов С.В.**  
**Pavlov S.V.**

*доктор технических наук, профессор кафедры «Геоинформационные системы» ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет», Россия, г. Уфа*



**Ефремова О.А.**  
**Efremova O.A.**

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Геоинформационные системы» ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет», Россия, г. Уфа*



**Соколова А.В.**  
**Sokolova A.V.**

*аспирант кафедры «Геоинформационные системы» ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет», Россия, г. Уфа*

УДК 004:528

## **ФОРМАЛИЗОВАННОЕ ОПИСАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ В СОСТАВЕ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ТЕОРЕТИКО-МНОЖЕСТВЕННОГО ПОДХОДА**

В статье рассмотрена проблема совместного описания разнородной пространственной информации в составе трехмерных моделей потенциально опасных объектов. Определены виды пространственных объектов необходимых для построения трехмерной модели потенциально опасного объекта и модели их компьютерного представления. В качестве одного из подходов к решению рассмотренной проблемы предложен метод совместного описания пространственной информации в составе трехмерной модели потенциально опасного объекта на основе теоретико-множественного подхода. Разработанный метод описывает в едином формализованном виде множество разнородных объектов реального мира, необходимых для построения трехмерной модели потенциально опасного объекта, что позволяет осуществить совместное представление и использование разнородной пространственной информации для поддержки принятия решений, как в повседневной деятельности, так и при возникновении чрезвычайной ситуации.

На основе предложенного метода разработан алгоритм построения трехмерной модели потенциально опасного объекта и его программная реализация. В качестве одного из примеров программной реализации предложенного алгоритма построения трехмерной модели потенциально опасного объекта представлено развитие чрезвычайной ситуации на территории резервуарного парка позволяющее обеспечить поддержку принятия решений в случае разлива нефти на его территории.

*Ключевые слова:* метод описания, пространственная информация, трехмерная модель, потенциально опасный объект, теоретико-множественный подход.

## **FORMALIZED DESCRIPTION OF THE SPATIAL INFORMATION WITHIN THREE-DIMENSIONAL MODELS OF POTENTIALLY DANGEROUS OBJECTS ON THE BASIS SET-THEORETIC APPROACH**

The article examines the problem of the combined description of the different spatial information in the three-dimensional models of potentially dangerous objects. One of solutions this problem is proposed method of the combined description of the spatial information within the three-dimensional model of potentially dangerous object on the basis of the set-theoretic approach. The construction algorithm of three-dimensional model of potentially dangerous object has been developed on the basis proposed method.

The article examines the problem of the combined description of the different spatial information in the three-dimensional models of potentially dangerous objects. Types of spatial objects are defined necessary for creation a

three-dimensional model of a potentially dangerous object models and their computer representation. One of solutions this problem is proposed method of the combined description of the spatial information within the three-dimensional model of potentially dangerous object on the basis of the set-theoretic approach. In uniform the formalized form, the developed method describes set of diverse objects of the real world necessary for creation of three-dimensional model of potentially dangerous object that allows to carry out joint representation and use of diverse spatial information for decision-making support, both in daily activity, and in the event of an emergency.

On the basis of the proposed method has been developed an algorithm for constructing a three-dimensional model of a potentially dangerous object and its implementation. As one of examples of program realization of this algorithm, it is presented development of an emergency situation in the territory of reservoir park allowing to provide decision-making support in case of oil spill in its territory.

Key words: description method, spatial information, three-dimensional model, the potentially dangerous object, set-theoretic approach.

### Введение

С развитием промышленности и научно-технического прогресса возрос масштаб техногенных катастроф, связанных с эксплуатацией потенциально опасных объектов, на которых используют, производят, перерабатывают, хранят или транспортируют радиоактивные, пожаро- и взрывоопасные вещества, представляющие угрозу возникновения чрезвычайных ситуаций. Аварии на потенциально опасных объектах могут возникать в результате внутренних и внешних причин, таких как нарушение правил эксплуатации объектов, технологических процессов при работе с опасными веществами, износ оборудования, стихийные бедствия, человеческий фактор, террористический акт, и приводит к таким нежелательным последствиям, как взрыв, пожар, радиационное заражение и экологическая катастрофа.

Чрезвычайная ситуация возникает неожиданно, развивается спонтанно и может сопровождаться не только материальными, но и огромными людскими потерями, поэтому в случае аварий на потенциально опасных объектах очень важно быстро и правильно принять решение по их ликвидации.

В связи с этим и согласно Приказу Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС РФ) от 28 февраля 2003 г. № 105 «Об утверждении Требований по предупреждению чрезвычайных ситуаций на потенциально опасных объектах и объектах жизнеобеспечения», в рамках осуществления комплекса мероприятий по уменьшению риска возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера на потенциально опасных объектах, в том числе в рамках повышения информированности специальных служб о состоянии объектов повышенного риска, формируется банк данных по потенциально опасным объектам, представляющий собой систематизированный перечень сведений о них и включающий картографические данные (векторные карты, топографические планы, данные дистанционного зондирования Земли, ре-

зультаты моделирования) об объекте.

Исходя из того, что плоские чертежи и двумерные карты не позволяют всесторонне рассмотреть особенности местности и планировку территории потенциально опасного объекта (с расположением всех ключевых объектов и коммуникаций), а также увеличивают время оценки обстановки в случае возникновения экстренной ситуации, что в свою очередь влияет на оперативность принимаемых решений, в соответствии с рекомендациями МЧС России от 25 февраля 2009 № 2-4-60-3-28 на каждый объект, несущий потенциальную угрозу, разрабатывается трехмерная модель (геоизображение), которая является составной частью картографического обеспечения Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий [1].

Опыт разработки трехмерных моделей показал, что при их создании целесообразно использовать геоинформационные технологии, так как современные геоинформационные системы поддерживают трехмерное представление пространственной информации о территории объекта (накопленной в базах данных МЧС), обеспечивают интеграцию разнородной и разнотипной пространственной информации, а также позволяют решать аналитические и прогнозные задачи по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций на потенциально опасном объекте [2, 3]. Трехмерные геоинформационные системы содержат информацию обо всех ресурсах территории, таких как земельные участки, здания и сооружения, подземные и наземные коммуникации и др., которые отображают пространственное местоположение объемных объектов относительно поверхности земли и друг друга, а также различную описательную информацию и широко используются при создании ситуационных центров управления территориями.

Геоинформационная система с поддержкой возможности трехмерной визуализации (далее трехмерная модель) дает наиболее полное представление о территории объекта, несущего потен-

циальную угрозу, и может быть использована для:

- разработки планов действий по проведению аварийно-спасательных и других неотложных работ в чрезвычайных ситуациях;
- оперативного анализа и прогнозирования возможного характера распространения опасного явления с последующим принятием оптимальных решений на проведение аварийно-спасательных работ по ликвидации и минимизации ущерба;
- оценки возможности возникновения новых аварий на коммуникациях и объектах, расположенных в непосредственной близости к объекту, на котором развивается чрезвычайная ситуация;
- мониторинга контроля состояния объектов и их технологических систем с целью предотвращения чрезвычайной ситуации;
- прогнозирования и диагностирования рисков возникновения чрезвычайных ситуаций;
- моделирования различных сценариев развития чрезвычайных ситуаций и мер по их ликвидации;
- дистанционного обучения сотрудников Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий и персонала предприятия мерам предотвращения, ликвидации и оценки последствий чрезвычайной ситуации.

В качестве основных видов пространственных объектов, необходимых для построения трехмерной модели потенциально опасного объекта и модели их компьютерного представления, могут быть выделены:

1. Рельеф местности, который может быть представлен в виде триангуляционных сетей или растровой поверхности.
2. Инженерные коммуникации:
  - трубопроводы, линии связи и электропередачи, кабельная эстакада, которые могут быть представлены в виде векторных линейных объектов;
  - запорная арматура трубопроводов, опоры линий электропередачи, молниеотводы, расстановка техники при ликвидации чрезвычайной ситуации, которые могут быть представлены в виде векторных точечных объектов.
3. Здания и сооружения:
  - здания, технические сооружения, емкости, резервуары, оборудование на резервуаре и нефтепроводе, дороги, которые могут быть представлены в виде векторных полигональных объектов и объектов мультипатч.
4. Схемы эвакуации с территории объекта и его помещений, космические снимки, представленные в растровом формате.
5. Атрибутивная информация об объектах, расположенных на территории потенциально опасного объекта.

С целью создания наиболее приближенной к реальности трехмерной модели потенциально опасного объекта необходимо обеспечить интеграцию всех видов пространственных объектов, находящихся на его территории, которые в свою очередь могут быть представлены в векторном или растровом формате, а также в виде триангуляционных сетей.

Для решения данной проблемы необходимо разработать метод совместного описания разнотипной информации (пространственной, атрибутивной) о техническом состоянии потенциально опасного объекта, основанный на формализации представления объектов, входящих в его состав, и позволяющий в единой математической форме описать объекты, входящие в состав трехмерной модели.

#### **Метод совместного описания разнотипной информации в составе трехмерной модели потенциально опасного объекта**

В соответствии с определенными выше вариантами компьютерного представления пространственных объектов трехмерная модель потенциально опасного объекта ( $M^3_{\text{ПОО}}$ ) может быть описана следующим образом:

$$M^3_{\text{ПОО}} = \{D^3_{\text{вект}}\} \cup \{D^3_{\text{растр}}\} \cup D^3_{\text{трианг}}, \quad (1)$$

где  $D^3_{\text{вект}}$  – растровая модель данных, описывающая множество пространственных объектов, представленных в виде растров. Данная модель представления пространственных данных в трехмерной модели потенциально опасных объектов может быть использована для отображения спутникового снимка (драпированных космоснимков), планов эвакуации с территории или из помещения (рис. 1а). В свою очередь растровая модель данных представляет собой совокупность ячеек ( $N_{\text{cell}}$ ), которую можно описать следующим отношением:

$$D^3_{\text{растр}} = \{N_{\text{cell}}\}. \quad (2)$$

$D^3_{\text{трианг}}$  – модель данных о поверхности земли, хранящаяся в виде триангуляционных сетей (рис. 1б), которые образуются гранями ( $M^3_{\text{гран}}$ ), узлами ( $M^3_{\text{верш}}$ ) и ребрами ( $M^3_{\text{ребр}}$ ) в трехмерном пространстве:

$$D^3_{\text{трианг}} = \{M^3_{\text{гран}}, M^3_{\text{верш}}, M^3_{\text{ребр}}\}. \quad (3)$$

$D^3_{\text{вект}}$  – векторная модель данных, описывающая информацию о трехмерных объектах, расположенных на территории потенциально опасного объекта (коммуникации, сооружения, рельеф и т. д.), хранящаяся в базе геоданных в виде классов пространственных объектов и включающая в себя атрибутивную и пространственную информацию.

$$D^3_{\text{вект}} = \{I_{\text{атриб}}, I^3_{\text{прост}}\}, \quad (4)$$

где  $I_{\text{атриб}} = \{\text{атр}_1, \text{атр}_2, \dots, \text{атр}_n\}$  – множество атрибутивной информации, которая отображает характеристики объектов предприятия;

$I_{\text{прост}}^3 = \{x_i, y_i, z_i\}$  – характеризует пространственное расположение объектов предприятия и может быть представлена в виде точечных (5), линейных (6) и полигональных объектов (7), а также объектов мультипатч (8), описываемых совокупностью координат в пространстве.

$$K_p = \left\{ \left\{ \left( x_j^p, y_j^p, z_j^p \right) \right\} \right\}, j = \overline{1, n_p}, \quad (5)$$

где  $K_p$  – точечные объекты, расположенные в про-

$$K_{\text{pol}} = \left\{ \left\{ \left\{ \left( x_t^{\text{pol}}, y_t^{\text{pol}}, z_t^{\text{pol}} \right) \right\}_q \right\}_j \right\}, j = \overline{1, n_{\text{pol}}}, q = \overline{1, b_j}, t = \overline{1, c_q}, \quad (7)$$

где  $K_{\text{pol}}$  – полигональные объекты (емкости, резервуары, дороги, разливы нефти, плоские зоны поражения);  $n_{\text{pol}}$  – количество полигональных объектов;

$$K_{\text{MPat}} = \left\{ \left\{ \left\{ \left\{ \left( x_m^{\text{MPat}}, y_m^{\text{MPat}}, z_m^{\text{MPat}} \right) \right\}_t \right\}_q \right\}_j \right\}, j = \overline{1, n_{\text{MPat}}}, q = \overline{1, b_j}, t = \overline{1, c_q}, m = \overline{1, a_t}, \quad (8)$$

где  $K_{\text{MPat}}$  – объекты мультипатч (здания, вспомогательные сооружения, оборудование на нефтепроводе и резервуаре, зоны поражения);  $n_{\text{MPat}}$  – количество объектов мультипатч;  $b_j$  – количество полигонов в  $j$ -м объекте мультипатч;  $c_q$  – количество линий в  $q$ -м полигоне;  $a_t$  – количество вершин в  $t$ -й линии.

Предложенный метод позволяет описать с единых методических позиций трехмерную модель потенциально опасного объекта, определить ее состав и модель представления в компьютерном виде, что в свою очередь необходимо для построения корректной трехмерной модели объекта, несущего потенциальную угрозу.

#### Алгоритм построения трехмерной модели потенциально опасного объекта

Трехмерная модель потенциально опасного объекта позволяет повысить оперативность представления информации для поддержки принятия решений по управлению объектом, несущим потенциальную угрозу, и разрабатывается на основе данных, полученных от предприятия, эксплуатирующего данный объект.

Процесс моделирования можно представить в виде совокупности следующих этапов [4]:

1. Проектирование функциональной и информационной моделей с учетом производственных задач, решаемых с помощью трехмерных моделей, и особенностей программной платформы, выбранной для реализации трехмерной модели.

2. Сбор исходной информации, на основе которой разрабатывается база пространственных данных трехмерной модели:

- фото- и видеосъемка оборудования, зданий, сооружений;
- сбор документации (планы территории

в пространстве (запорная арматура трубопровода, опоры линий электропередачи, силы и средства ликвидации чрезвычайных ситуаций);  $n_p$  – количество точечных объектов.

$$K_l = \left\{ \left\{ \left( x_q^l, y_q^l, z_q^l \right) \right\}_j \right\}, j = \overline{1, n_l}, q = \overline{1, b_j}, \quad (6)$$

где  $K_l$  – линейные объекты (трубопроводы, кабели, ограждения);  $n_l$  – количество линейных объектов;  $b_j$  – количество вершин в  $j$ -й линии.

$b_j$  – количество линий в  $j$ -м полигоне;  $c_q$  – количество вершин в  $q$ -й линии.

предприятия, планы тушения пожаров, технические паспорта зданий и сооружений, схемы эвакуации, проектная документация на реконструкцию и капитальный ремонт, технологические схемы).

Следует отметить, что план территории предприятия, как правило, не является точной моделью текущего состояния инженерных сетей, что связано в первую очередь с регулярными изменениями и обновлением технической базы предприятий, поэтому для актуализации информации в них используется информация из проектной документации о реконструкции объектов инженерных сетей.

3. Пространственная привязка планов территории и проектной документации.

Так как основными источниками пространственных данных о моделируемом потенциально опасном объекте являются генпланы территории объекта и проектно-сметная документация (которые не содержат информацию о местоположении на поверхности Земли), то для оптимизации процесса наполнения базы пространственных данных информацией об объектах территории потенциально опасного объекта целесообразно сначала осуществить пространственную привязку планов и их совмещение.

4. Преобразование данных планов в формат ГИС.

Данный этап разработки очень важен, так как ошибки и недоработки, допущенные при создании базы пространственных данных, в дальнейшем могут привести к некорректному отображению пространственной информации.

5. Построение цифровой модели рельефа.

При создании фотореалистичной сцены необходимо отдельно формировать модели поверхности территории и трехмерных объектов, расположенных относительно этой поверхности (над, под

и на ней). Методика построения цифровой модели рельефа определяется имеющимся программным обеспечением и источниками информации.

6. Разработка трехмерных моделей зданий, сооружений, объектов инженерных коммуникаций.

В соответствии с информацией из технических паспортов или иной документации (в которой указаны размеры) разрабатываются трехмерные модели объектов инженерных сетей, зданий и сооружений.

7. Включение в трехмерную сцену объектов инфраструктуры, зданий и других элементов.

Создание истинной трехмерной сцены осуществляется после добавления на построенную цифровую модель рельефа трехмерных объектов – зданий, сооружений, специального оборудования и других трехмерных объектов, присутствующих на моделируемой территории и созданных на предыдущем этапе.

8. Сбор и внесение атрибутивной информации (номера запорной арматуры трубопроводов, диаметры трубопроводов, тип кабелей, виды молниеотводов и т. д.) в базу пространственных данных из полученной документации.

9. Редактирование объектов базы геоданных в пространстве.

Задание объектам базы геоданных (трубопроводы, запорная арматура, коммуникации) значений высот с учетом заданной глубины или высоты залегания и присвоение условных трехмерных символов является одним из завершающих этапов создания трехмерной модели территории потенциально опасного объекта.

10. Верификация созданной трехмерной модели.

Процесс проверки созданных трехмерных моделей специалистами предприятия необходим для создания максимально приближенной к реальности трехмерной модели.

На основе вышеперечисленных этапов создания трехмерной модели разработан алгоритм построения трехмерной модели потенциально опасного объекта (рис. 2).

На сегодняшний день в области геоинформационных технологий существует несколько программных продуктов, поддерживающих возможность трехмерной визуализации. В Министерстве Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий широко применяется программный продукт ArcGIS, предлагающий целый набор проектных компонент (ArcGIS Engine), приложений (ArcGIS ArcScene, ArcGIS ArcGlobe, ArcGIS Explorer) и серверных решений (глобусные сервисы ArcGIS Server) для построения

трехмерных моделей [5].

Необходимо отметить, что более детальное представление дает трехмерная модель, разработанная в базовом приложении ArcScene, которое оптимизировано для анализа, отображает поверхность триангуляционной сети и трехмерные объекты, расположенные ниже поверхности земли (колотцы, шахты и т. п.).

**Пример решения задачи поддержки принятия решений по управлению предприятием в случае возникновения чрезвычайной ситуации**

В качестве одного из примеров программной реализации предложенного алгоритма построения трехмерной модели потенциально опасного объекта представлено развитие чрезвычайной ситуации на территории резервуарного парка, позволяющее обеспечить поддержку принятия решений в случае разлива нефти и пожара на его территории (рис. 3).

Средствами разработанной трехмерной модели моделируется разлив нефти из резервуара, определяются места расстановки сил и средств, задействованных при ликвидации аварии (расположение пожарной команды и техники в соответствии с «Планом тушения пожара»), зона открытого пламени, места подключения к противопожарному оборудованию, что позволяет получить наглядное представление об аварии на территории резервуарного парка и в короткие сроки принять решения по ее ликвидации. Трехмерная модель также включает информацию о расположении подземных и наземных резервуаров и емкостей на территории потенциально опасного объекта, трубопроводов, запорной арматуры, контрольно-измерительных приборов и планы эвакуации с территории объекта и производственных зданий.

#### **Заключение**

Рассмотрена проблема совместного описания разнородной пространственной информации в составе трехмерной модели потенциально опасного объекта, для решения которой предложен метод совместного описания разнородной пространственной информации в составе трехмерной модели потенциально опасного объекта на основе теоретико-множественного подхода.

Разработанный метод позволяет описать в едином формализованном виде множество разнородных объектов реального мира, необходимых для построения трехмерной модели потенциально опасного объекта, что позволяет осуществить совместное представление и использование разнородной пространственной информации для поддержки принятия решений как в повседневной деятельности, так и при возникновении чрезвычайной ситуации.

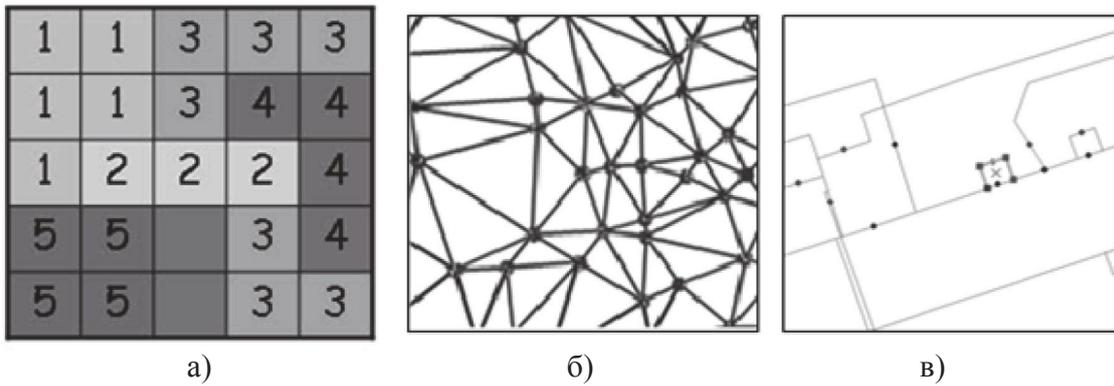


Рис. 1. Модели данных (а – растровая, б – триангуляционная сеть, в – векторная)

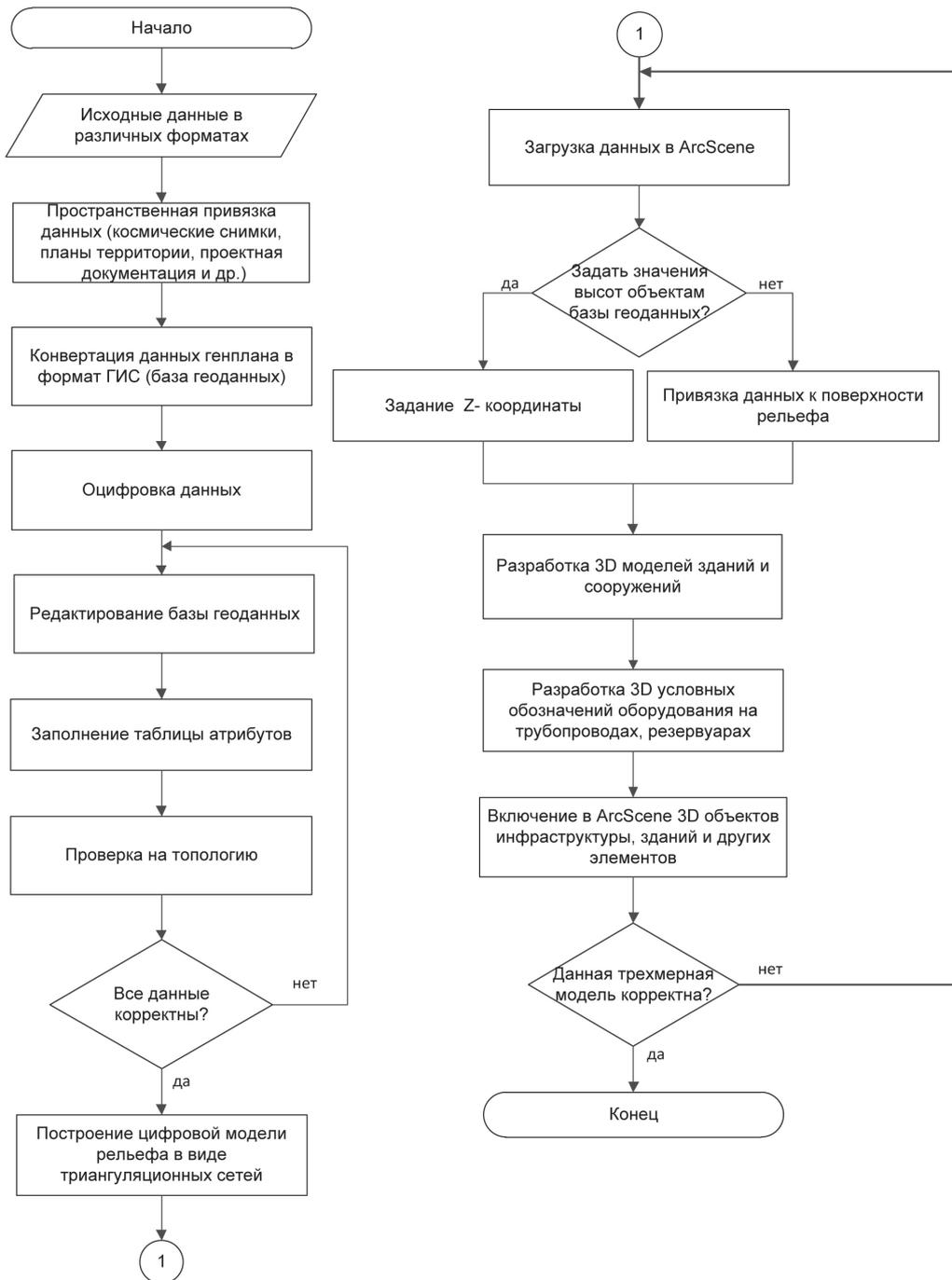


Рис. 2. Алгоритм построения трехмерной модели потенциально опасного объекта

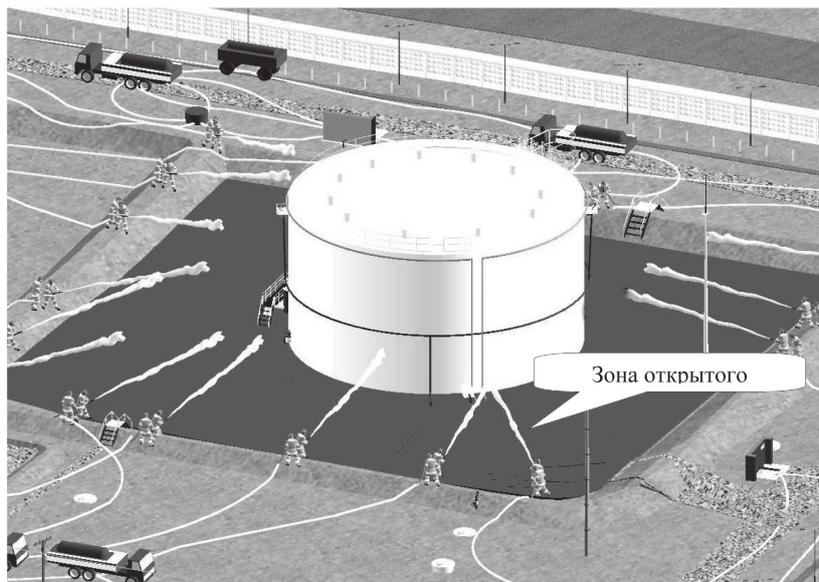


Рис. 3. Расстановка сил и средств при возникновении чрезвычайной ситуации на территории резервуарного парка

На основе предложенного метода разработан алгоритм построения трехмерной модели потенциально опасного объекта и его программная реализация. В качестве одного из примеров программной реализации предложенного алгоритма построения трехмерной модели потенциально опасного объекта представлено развитие чрезвычайной ситуации на территории резервуарного парка, позволяющее обеспечить поддержку принятия решений в случае разлива нефти на территории резервуарного парка.

Таким образом, созданная трехмерная модель объекта позволяет повысить информационную поддержку принятия решений при возникновении чрезвычайной ситуации, прогнозировать возможные причины и проводить диагностику внешних рисков их возникновения.

#### Список литературы

1. *Рекомендации по созданию трехмерных геоизображений (моделей) территорий и объектов жизнеобеспечения, потенциально опасных, критически важных для национальной безопасности, утвержденные заместителем министра Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий 25 февраля 2009 г. № 2-4-60-3-28.*

2. *Ефремова О.А.* Применение современных ГИС-технологий для моделирования и прогнозирования аварийных разливов нефти (статья на англ. языке) [Текст] / О.А. Ефремова, Р.З. Хамитов, С.А. Митакович, С.В. Павлов, Г.М. Сайфутдинова // *Материалы 5-й Международной научно-практической конференции «Компьютерные науки и информационные технологии».* – Уфа, 2003. – Т. 2.

3. *Ефремова О.А.* ГИС-модели для анализа последствий аварийных разливов нефти [Текст] / О.А. Ефремова // *ArcReview. Современные геоинформационные технологии.* – № 1 (32). – Москва, 2005 г.

4. *Гизатуллин А.Р.* Трехмерное моделирование инженерных коммуникаций в ГИС [Текст] / А.Р. Гизатуллин, А.В. Соколова // *Межвузовский научный сборник: Геоинформационные технологии в проектировании и создании корпоративных информационных систем.* – Уфа: УГАТУ, 2013. – С. 176–185.

5. *ArcGIS Recourse:* Официальный сайт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://resources.arcgis.com/ru/communities/3d/> (дата обращения: 22.01.2013).

#### References

1. *Rekomendacii po sozdaniju trehmernyh geoizobrazhenij (modelej) territorij i ob'ektov zhizneobespechenija, potencial'no opasnyh, kriticheski vaznyh dlja nacional'noj bezopasnosti, utverzhdennye zamestitelem ministra Rossijskoj Federacii po delam grazhdanskoj oborony, chrezvychajnym situacijam i likvidacii posledstvij stihijnyh bedstvij 25 fevralja 2009 g. № 2-4-60-3-28.*

2. *Efremova O.A.* Primenenie sovremennyh GIS-tehnologij dlja modelirovanija i prognozirovanija avarijnyh razlivov nefti (stat'ja na angl. jazyke) [Tekst] / O.A. Efremova, R.Z. Hamitov, S.A. Mitakovich, S.V. Pavlov, G.M. Sajfutdinova // *Materialy 5-j Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Komp'juternye nauki i informacionnye tehnologii».* – Ufa, 2003. – Т. 2.

3. *Efremova O.A.* GIS-modeli dlja analiza posledstvij avarijnyh razlivov nefti [Tekst] / O.A. Efremova // *ArcReview. Sovremennye geoinformacionnye tehnologii.* – № 1 (32). – Moskva, 2005.

4. *Gizatullin A.R.* Trehmernoe modelirovanie inzhenernyh kommunikacij v GIS [Tekst] / A.R. Gizatullin, A.V. Sokolova // *Mezhvuzovskij nauchnyj sbornik: Geoinformacionnye tehnologii v projektirovanii i sozdanii korporativnyh informacionnyh sistem.* – Ufa: UGATU, 2013. – S. 176–185.

5. *ArcGIS Recourse:* Ofic. sajт [Jelectronnyj resurs]. – URL: <http://resources.arcgis.com/ru/communities/3d/> (data obrashhenija: 22.01.2013).



**Воронин В.В.**  
**Voronin V.V.**

*доктор технических наук, профессор,  
декан факультета автоматизации и информацион-  
ных технологий ФГБОУ ВПО «Тихоокеанский госу-  
дарственный университет», Россия, г. Хабаровск*



**Давыдов О.А.**  
**Davydov O.A.**

*аспирант ФГБОУ ВПО «Тихоокеанский  
государственный университет»,  
Россия, г. Хабаровск*

УДК 681.518.5

## **СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЛОКАЛЬНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ**

Представление знаний и разработка систем, основанных на знаниях (разработка моделей представления знаний, создание баз знаний, образующих ядро экспертных систем, в частности автоматизированных систем мониторинга, извлечение и структурирование знаний) является основным направлением в области разработки систем искусственного интеллекта. Это направление позволяет разрабатывать системы мониторинга, обеспечивающие высокое качество решений задач при минимизации требуемого времени и памяти.

Современное состояние разработок в области систем мониторинга можно охарактеризовать как стадию все возрастающего интереса среди специалистов в разных областях – финансистов, преподавателей, инженеров, медиков, психологов и др. Разработка систем мониторинга направлена на использование ЭВМ для обработки информации в тех областях науки и техники, где традиционные математические методы моделирования малопригодны. В этих областях важен опыт экспертов. Одной из таких областей является диагностирование локальных вычислительных сетей.

Диагностические задачи решаются в различных сферах человеческой деятельности. Современные тенденции в области автоматизации решения диагностических задач связаны с использованием вычислительной техники. В технической диагностике вычислительные системы используют автоматизации проектирования встроенных средств диагностирования, для реализации сложных алгоритмов контроля и поиска дефектов, для самодиагностики цифровых устройств и в др. направлениях, в основе которых лежат формальные диагностические модели.

*Ключевые слова:* система мониторинга, локальная вычислительная сеть, диагностика, техническое состояние, система поддержки принятия решений, автоматизированная система, база данных, экспертная система, объект диагностики, информационная система.

## **LOCAL AREA NETWORK TECHNICAL STATE MONITORING SYSTEM**

Knowledge representation and the development of systems based on knowledge (development of models of knowledge representation, the creation of knowledge bases that form the core of expert systems, particularly automated monitoring systems, extracting and structuring of knowledge) is the main focus in the development of artificial intelligence systems. This direction allows you to develop a monitoring system to ensure high quality of the solutions, while minimizing the required time and memory.

Current state of development in the field of monitoring systems can be described as a stage of growing interest among experts in different fields – financiers, teachers, engineers, doctors, psychologists, etc. Development of monitoring systems aimed at the use of computers to process information in areas of science and technology, where traditional mathematical modeling techniques are of little use. In these areas, important is the experience

of experts. One such area is the diagnosis of local area networks.

Diagnostic problems are solved in various fields of human action. Current trends in the field of automation of the solution of diagnostic problems associated with the use of computer technology. In the technical diagnostics of computer systems use computer-aided design built-in diagnostics, to implement complex control algorithms and finding defects for self-diagnosis of digital devices, and in other directions, which are based on formal diagnostic model.

*Key words:* monitoring system, local area network, diagnosis, technical condition decision support system, automated system, database, expert systems, diagnostic object, the information system.

Понятие информационной системы имеет несколько определений и подходов. В нормативном смысле информационная система определяется как «организационно упорядоченная совокупность документов (массивов документов) и информационных технологий, в том числе и с использованием средств вычислительной техники и связи, реализующих информационные процессы» [1].

С точки зрения технологического аспекта использование средств вычислительной техники в информационных системах и обеспечение на этой основе автоматизации решения каких-либо задач проявляется в близком термине: автоматизированная система – «система, состоящая из персонала и комплекса средств автоматизации его деятельности, реализующая информационную технологию выполнения установленных функций» [2].

Выполнение таких операций, как представление, хранение и обработка информации с помощью средств вычислительной техники в рамках информационных систем, является свойством, присущим автоматизированным системам. Автоматизированные информационные системы в настоящее время являются неотъемлемой частью современного инструментария информационного обеспечения различных видов деятельности и наиболее бурно развивающейся отраслью индустрии информационных технологий.

Системы диагностирования различных технических объектов являются актуальным подклассом автоматизированных информационных систем. Если объект диагностирования (ОД) – локальная вычислительная сеть (ЛВС), то для получения необходимой информации о техническом состоянии ОД желательно наличие в составе ЛВС подсистемы мониторинга [3, 4]. В такой подсистеме должны автоматически накапливаться данные о техническом состоянии программно-аппаратных средств и об их диагностических признаках. Это обеспечит возможность постоянного развития и совершенствования системы обеспечения надежности ЛВС [4].

В общем случае систему мониторинга технического состояния объекта диагностирования предлагается синтезировать в виде структуры, схема которой приведена на рисунке (см. стр. 75).

На этом рисунке приняты следующие обозна-

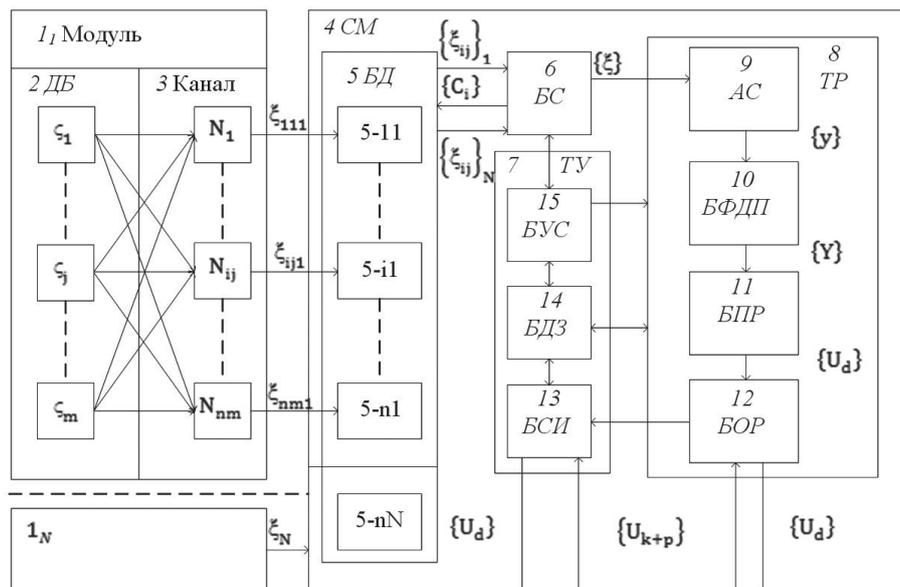
чения элементов обобщенной системы:  $I_1, \dots, I_N$  –  $N$  модулей объекта диагностирования;  $2_1 - 2_m - m$  диагностических блоков (ДБ) в определенном модуле;  $3_1 - 3_n$  – каналы распространения сигналов от  $m$  ДБ к  $n$  датчикам; 4 – система мониторинга (СМ); 5 – блок датчиков (БД); 6 – блок согласования (БС); 7 – тракт управления (ТУ); 8 – тракт распознавания (ТР); 9 – анализатор сигналов (АС); 10 – блок формирования диагностических признаков (БФДП); 11 – блок принятия решения (БПР); 12 – блок оповещения, отображения и регистрации (БОР); 13 – блок сетевых интерфейсов (Intranet / Internet) (БСИ); 14 – информационные базы данных и знаний (конфигурации оборудования, архивы сигналов, событий, база знаний) (БДЗ); 15 – блок управления и синхронизации (БУС).

Объект диагностирования представляет собой совокупность  $N$  модулей, каждый из которых содержит до  $m$  диагностических блоков. ДБ – это часть модуля, в которой возможно появление дефектов. В данной работе в качестве ОД рассматривается локальная вычислительная сеть. Типичными ДБ ЛВС могут выступать элементы кабельной системы, дисковые системы, серверы, рабочие станции, структурные элементы программного обеспечения, сетевые карты и т. д. Анализ технологии фиксации множества возможных дефектов предложен в [4], а фактические элементы этого множества характеризуются в [5].

Датчики системы мониторинга ЛВС, как правило, реализуют методы неразрушающего контроля, а именно: акустического, акустико-эмиссионного, вибродиагностического, вихретокового, магнитного, оптического, теплового, радиоволнового, электрического и др. Они принимают диагностические сигналы  $\zeta_{ij}$  от диагностических блоков через каналы распространения сигналов  $N_{ij}$ , поступающих с контрольных точек диагностируемых модулей.

Преобразование массива входных сигналов  $\{\xi\}$  в массив диагностических признаков  $\{y\}$  осуществляют анализатор сигналов и блок формирования диагностических признаков.

Текущее техническое состояние ОД (диагностическая информация  $\{U_d\}$ ) определяется блоком принятия решения на основании входного массива диагностических признаков и эксплуатационных данных  $\{Y\}$ , хранящихся в информационной базе



Структурная схема системы мониторинга ОД

данных и знаний. Блок принятия решений также выдает рекомендации по приведению объекта диагностирования в допустимое состояние.

Необходимую субъектам диагностической деятельности информацию о техническом состоянии модулей ОД доводит блок оповещения, отображения и регистрации. До конечных пользователей сети данные мониторинга доводятся блоком сетевых интерфейсов. Данные о текущем техническом состоянии ОД и сведения об возможных дефектах  $\{U_{k+p}\}$  передаются по выделенным каналам.

База данных и знаний должна поддерживать динамическую модель диагностического обеспечения ОД, а именно: данные о конфигурации диагностируемого оборудования, конфигурации операционной системы, таблицы значений диагностических признаков, сигналов, трендов, журналов, и других необходимых для системы диагностирования данных, а также не формализуемые данные о множестве возможных дефектов и об реально существующих отношениях на этом множестве [6].

Общее управление всей системой осуществляется по определенному алгоритму блок управления и синхронизации сигналами управления  $\{C_i\}$ .

Системы мониторинга технического состояния объекта диагностирования классифицируются по следующим критериям [7]: по числу и виду используемых методов неразрушающего контроля; по типу экспертной системы; по мощности множества возможных дефектов; по величине риска пропуска внезапного дефекта; по числу измерительных каналов; по способу опроса датчиков; по архитектуре; по типу используемого анализатора сигналов; по типу алгоритма управления и др.

Учитывая перечисленные критерии, охарактеризуем систему мониторинга технического состояния локальной вычислительной сети.

*Комплексные системы.* Они используют комплексный подход к получению множества диагностических признаков, в системе используется набор различных методов неразрушающего контроля.

*Системы поддержки принятия решений.* Это автоматизированная система, целью которой является поддержка пользователей, принимающих решение в сложных условиях [8].

*Сложные системы.* Локальная вычислительная сеть представляет собой совокупность большого количества оборудования и программного обеспечения, имеющих неоднородное множество возможных дефектов.

*Системы с низким уровнем риска пропуска дефектов.* Уровень риска пропуска возможных дефектов должен иметь величину менее 5%.

*Многоканальные, универсальные, распределенные.* Технические средства диагностирования распределенной системы могут быть встроенными и внешними по отношению к ОД.

*Системы комплексной индикации.* Это означает возможность вывода информации по различным каналам – звуковой вывод, печать протоколов, передача данных по сети.

*Автоматизированные системы.* Эта свойство подчеркивает сохранение за пользователем ряда важных функций наиболее общего, целеполагающего характера.

На практике при разработке автоматизированных информационных систем (ИС), к которым, в частности, относятся и системы мониторинга, широ-

ко используют подходы [9], перечисленные в таблице.

До последнего времени наибольшее распространение получил четвертый подход, в результате реализации которого создается качественное, хорошо отлаженное как общее, так и специальное

программное обеспечение. Однако сопровождение и доработка данного программного обеспечения в соответствии с указанной технологией является достаточно сложной и трудоемкой задачей.

Таблица

**Виды и средства проектирования автоматизированных систем**

№	Вид проектирования	Субъект проектирования	Используемые средства
1	Проектирование <i>ИС</i> на базе существующих, готовых инструментальных проблемно-ориентированных средств	Специалисты в конкретной предметной области, конечные пользователи <i>ИС</i>	Специализированные <i>CASE</i> -технологии, операционные среды, языки представления знаний
2	Проектирование компонентов <i>ИС</i> и инструментальных средств, ориентированных на многократное применение	Профессиональные программисты, системные аналитики	«Традиционные» <i>CASE</i> -технологии, инструментальные среды, традиционные языки программирования и т. п.
3	Расширение возможностей существующих средств за счет создания и подключения к уже существующим средствам дополнительных приложений	Профессиональные программисты, системные аналитики	«Традиционные» <i>CASE</i> -технологии, инструментальные среды, традиционные языки программирования и т. п.
4	Непосредственно разработка уникальных <i>ИС</i> , ориентированных на однократное использование в конкретной области	Специалисты одновременно как в проблемной области, так и владеющие навыками программирования	«Традиционные» языки программирования, средства отладки и т. п.

В современных условиях наиболее перспективными являются только те технологии проектирования систем мониторинга, в которых непосредственное участие принимает конечный пользователь, являющийся специалистом в области эксплуатации соответствующего *ОД*.

Локальная вычислительная сеть относится к классу сложных технических систем. Данные системы имеют целый ряд особенностей, среди которых следует выделить: наличие единой цели функционирования для всей системы; многообразие функций, реализуемых системой и направленных на достижение данной цели функционирования; возможность деления системы на подсистемы, цели функционирования которых подчинены общей цели; иерархическая структура связей подсистем и иерархия показателей качества функционирования системы; требуемая надежность системы, построенной в целом из ненадежных элементов.

Современные тенденции в области автоматизации решения диагностических задач связаны с использованием вычислительной техники. В технической диагностике вычислительные системы используют для автоматизации проектирования встроенных средств диагностирования, для реализации

сложных алгоритмов контроля и поиска дефектов и в др. направлениях, в основе которых лежат формальные диагностические модели. К такому классу систем относятся и системы мониторинга технического состояния объекта. В рамках систем мониторинга циркулируют большие потоки измерительной информации, при этом требования к процессам обработки и представления результатов достаточно жесткие.

Еще одно направление автоматизации связано с использованием диагностических экспертных систем, в которых сочетаются формальные и неформальные методы. Этот вид систем аккумулирует человеческие знания о выявлении причин аномальной работы сетей и возможных способах приведения сети в работоспособное состояние. Простейшим вариантом экспертной системы является контекстно-зависимая *help*-система. Более сложные экспертные системы представляют собой базы знаний, обладающие элементами искусственного интеллекта.

Не стоит забывать о диагностических средствах, носящих чисто программный или аппаратный характер. Для осуществления качественной диагностики *ЛВС* в мире разработано множество различных диагностических средств. В области сетевой диагностики применяется, в частности,

специализированное оборудование, такое как анализаторы сетевых протоколов, кабельные и сетевые тестеры, а также специализированное тестирующее программное обеспечение. Так, обнаружить физическую неисправность можно с помощью простейших тестеров, проверяющих работу канала, а инструментальная диагностика ошибок, связанных с перегрузками и некорректной работой сетевых протоколов, осуществляется при помощи сетевых тестеров и анализаторов протоколов.

Основным тезисом данной статьи следует считать предложение об интегративном варианте систем диагностирования ЛВС, который, в рамках диагностической экспертной системы, объединяет систему мониторинга ОД, встроенные аппаратные и программные средства диагностирования и внешнее диагностическое обеспечение, построенное на формальных и неформальных диагностических моделях. Данный подход позволяет избавиться от ряда существенных недостатков при использовании таких систем по отдельности и вносит несомненную новизну в разработку автоматизированных систем диагностирования технических объектов.

Для автоматизированных систем диагностирования ЛВС предлагаемого типа ожидаемыми преимуществами от их использования следует считать следующее. Систематическое получение данных о фактических значениях параметров дефектов ОД; возможность текущего контроля технического состояния ОД; планирование мероприятий по восстановлению объектов диагностирования и прогнозированию изменений их технического состояния; прогнозирование возможных критических ситуаций; визуализация изменения значений параметров контролируемых объектов; формирование и доведение до субъекта диагностической деятельности заключений о состоянии контролируемых модулей, а также оперативное оповещение об обнаруженных негативных тенденциях и критических ситуациях.

Таким образом, в данной работе рассмотрена система мониторинга как подсистема автоматизированной системы диагностирования ЛВС. Проанализированы способы проектирования подобных систем, а также представлена обобщенная структурная схема системы.

#### Список литературы

1. Закон РФ «Об информации, информатизации и защите информации» от 20.02.1995 № 24-ФЗ.
2. ГОСТ 34.003-90. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1991.
3. ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Тер-

мины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1989.

4. Воронин В.В. Теоретические проблемы диагностических экспертных систем [Текст] / В.В. Воронин. – Владивосток: Дальнаука, 2005. – 164 с.

5. Локальные вычислительные сети: справочник: в 3-х кн. – Кн. 3: Организация функционирования, эффективность, оптимизация [Текст] / С.В. Назаров, Н.В. Ашихмин, А.В. Луговец и др.; под ред. С.В. Назарова. – М.: Финансы и статистика, 1995. – 248 с.

6. Давыдов О.А. Разработка прототипа экспертной системы для локальной вычислительной сети [Текст] / О.А. Давыдов // Информационные технологии XXI века: материалы международной научной конференции, Хабаровск, 20–24 мая 2013 г. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2013. – С. 514–520.

7. SA 03-002-05. Стандарт ассоциации. Системы мониторинга агрегатов опасных производственных объектов. Общие технические требования. – М.: Изд-во стандартов, 2005.

8. Терелянский П.В. Системы поддержки принятия решений. Опыт проектирования: монография [Текст] / П.В. Терелянский. – ВолгГТУ: Волгоград, 2009. – 127 с.

9. Охтилев М.Ю. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов [Текст] / М.Ю. Охтилев, Б.В. Соколов, Р.М. Юсупов. – М.: Наука, 2006. – 410 с.

#### References

1. Zakon RF «Ob informacii, informatizacii i zashhite informacii» ot 20.02.1995 № 24-FZ.
2. GOST 34.003-90. Informacionnaja tehnologija. Kompleks standartov na avtomatizirovannye sistemy. Terminy i opredelenija. – М.: Izd-vo standartov, 1991.
3. GOST 20911-89. Tehniceskaja diagnostika. Terminy i opredelenija. – М.: Izd-vo standartov, 1989.
4. Voronin V.V. Teoreticheskie problemy diagnosticheskikh jekspertnyh sistem [Tekst] / V.V. Voronin. – Vladivostok: Dal'nauka, 2005. – 164 s.
5. Lokal'nye vychislitel'nye seti: spravocnik: V 3-h kn. – Kn. 3: Organizacija funkcionirovanija, jeffektivnost', optimizacija [Tekst] / S.V. Nazarov, N.V. Ashihmin, A.V. Lugovec i dr.; pod red. S.V. Nazarova. – М.: Finansy i statistika, 1995. – 248 s.
6. Davydov O.A. Razrabotka prototipa jekspertnoj sistemy dlja lokal'noj vychislitel'noj seti [Tekst] / O.A. Davydov // Informacionnye tehnologii XXI veka: materialy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, Habarovsk, 20–24 maja 2013 g. – Habarovsk: Izd-vo Tihookean. gos. un-ta, 2013. – S. 514–520.
7. SA 03-002-05. Standart asociacii. Sistemy monitoringa agregatov opasnyh proizvodstvennyh ob'ektov. Obshhie tehnicheckie trebovanija. – М.: Izd-vo standartov, 2005.
8. Tereljanskij P.V. Sistemy podderzhki prinjatija reshenij. Opyt proektirovanija: monografija [Tekst] / P.V. Tereljanskij. – VolgGTU: Volgograd, 2009. – 127 s.
9. Ohtilev M.Ju. Intellekual'nye tehnologii monitoringa i upravlenija strukturnoj dinamikoju slozhnyh tehniceskikh ob'ektov [Tekst] / M.Ju. Ohtilev, B.V. Sokolov, R.M. Jusupov. – М.: Nauka, 2006. – 410 s.



**Крымский В.Г.**  
**Krymsky V.G.**

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационно-управляющие системы» ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный университет экономики и сервиса», Россия, г. Уфа



**Ахмеджанов Ф.М.**  
**Akhmedzhanov F.M.**

кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационно-управляющие системы» ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный университет экономики и сервиса», Россия, г. Уфа



**Имильбаев Р.Р.**  
**Imilbaev R.R.**

аспирант кафедры «Информационно-управляющие системы» ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный университет экономики и сервиса», Россия, г. Уфа



**Юнусов А.Р.**  
**Yunusov A.R.**

кандидат технических наук, директор ООО «УфаСистемаГаз»

УДК 681.518.5

## **ВЫБОР ПЕРИОДИЧНОСТИ ОБНОВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ О СОСТОЯНИИ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕТРИИ**

Реализация мониторинга состояния газораспределительных сетей (ГС) является необходимым условием обеспечения их надежности и безопасности эксплуатации. Для этих целей широко используются системы телеметрии, которые осуществляют передачу собранных данных диспетчеру в соответствии с технологией GPRS по каналу связи, работающему на базе стандарта GSM. Такой подход позволяет успешно контролировать состояние различных территориально распределенных объектов. Тем не менее до настоящего времени остается открытым вопрос о выборе периодичности отправки собранных данных диспетчеру по указанному каналу связи. С одной стороны, необходимо стремиться к минимизации беспроводного трафика, с другой – следует предусматривать своевременное получение информации об опасных тенденциях в изменении параметров ГС для предупреждения аварийных ситуаций.

Данная статья анализирует эту проблему. Авторы предлагают производить корректировку первоначально установленного периода обновления информации о состоянии ГС, принимая во внимание результаты прогнозирования тенденций изменения контролируемых параметров на основе алгоритма Хольта.

*Ключевые слова:* газораспределительные сети, системы мониторинга, системы телеметрического контроля, алгоритм прогнозирования Хольта.

## **CHOICE OF TIME PERIOD OF UPDATING THE INFORMATION ON PERFORMANCES OF GAS DISTRIBUTION NETWORK IN CASE THE TELEMETRY SYSTEM IS USED**

Monitoring of gas distribution networks (GDN) performances is the necessary condition for providing GDN reliability and safety in exploitation. The telemetry systems which transmit the collected data to control manager in accordance with GPRS technology and contain communication bus working on the basis of GSM standard are widely used for such a purpose. This approach allows successful controlling the performances of

the various plants with distributed location. However the problem of the choice of a time period at which the collected data should be sent to control manager is still open. On one hand, it is necessary to minimize the usage of wireless traffic; on other hand, we have to make provision for being informed in proper time of the dangerous tendencies in change of GDN parameters in order to predict the accidents.

The paper analyzes that problem. The authors propose to perform correction of the initially set time period of updating the information on GDN performances taking into account the results of prognosis of tendencies in a change of the controlled parameters on the basis of Holt's forecasting algorithm.

*Key words:* gas distribution network, monitoring system, telemetry system, Holt forecasting algorithm.

## **Введение**

Как известно, совокупность газораспределительных сетей – неотъемлемая и крайне ответственная составная часть энергетической инфраструктуры Российской Федерации. ГС представляют собой систему трубопроводов и оборудования, обеспечивающих транспортировку газа от источника до конечного потребителя.

К числу важнейших условий безопасной и надежной работы газораспределительной сети и подключенных к ней объектов относится обеспечение в ней постоянного давления газа. Поэтому одним из наиболее значимых компонентов ГС является газорегуляторный пункт (ГРП). Его основные функции – снижение давления газа до заданной величины и поддержание его значения в установленных пределах независимо от изменения входного давления и расхода газа потребителями.

Надежность и безопасность системы газоснабжения существенно зависят от ее «возраста». Трубопроводы и другие компоненты ГС подвержены неблагоприятным воздействиям окружающей среды, способным вызвать коррозионные повреждения; эти компоненты также подвергаются длительному воздействию постоянной статической нагрузки, испытывают циклические нагружения. Отмеченные факторы создают предпосылки для возникновения процессов замедленного разрушения соответствующих конструкций. Кроме того, следует учитывать, что ГС принадлежат к классу пожаровзрывоопасных объектов. Для обеспечения безопасности людей и сохранности имущественных комплексов при их эксплуатации необходимо уделять особое внимание предотвращению возможных аварийных ситуаций. В то же время решение подобных задач требует использования новых технологий определения технического состояния ГС. Наличие актуальной, полной и достоверной информации о состоянии ГС позволяет снизить аварийность таких систем за счет реализации своевременных мер со стороны эксплуатирующих их организаций. Таким образом, необходима система мониторинга состояния ГС, целью работы которой является оператив-

ное получение информации, достаточной для принятия обоснованных управленческих решений по обеспечению надежности и безопасности газораспределения. При этом важно учитывать и факторы экономической целесообразности, так как применительно к ГС должны выполняться требования минимума материальных и капитальных вложений, а также минимума эксплуатационных расходов.

В настоящее время основным направлением работы по усовершенствованию систем мониторинга ГС становится оснащение их средствами телеметрии [1]. Внедрение телеметрических систем позволяет в режиме реального времени контролировать технологические параметры, передавать на пульт аварийно-диспетчерской службы сигналы об отклонениях в функционировании ГС, несанкционированном доступе на объекты, что, в свою очередь, обуславливает возможность своевременного принятия необходимых мер.

Особую роль в обеспечении надежной работы системы телеметрии играет используемый канал связи. На сегодняшний день наибольшую площадь покрытия предоставляют сети стандарта GSM, что привело к их повсеместному использованию для мониторинга территориально распределенных объектов. Стоимость передачи сообщения в GSM-сетях сравнительно невелика. Тем не менее частота отправки пакетов собранных данных по каналу связи систем мониторинга на пульт диспетчера должна выбираться исходя из практической целесообразности (и экономической эффективности в том числе). Важно, чтобы эта частота позволяла своевременно распознавать возникающие угрозы аварийных ситуаций различной степени тяжести. Вместе с тем должны приниматься во внимание и соображения минимизации беспроводного трафика.

### *Особенности работы системы телеметрии для контроля состояния ГС*

Как отмечалось ранее, обеспечение нормального функционирования системы газоснабжения во многом возлагается на ГРП. В то же время необходимость поддержания ГРП в безаварийном

состоянии обуславливает требование постоянного контроля его работоспособности. Для получения необходимой информации о состоянии ГРП сотрудники уполномоченной организации вынуждены совершать периодические выезды на объекты, что требует большого объема временных и трудовых затрат. В связи с этим особую актуальность приобретает внедрение систем диспетчерского контроля сети ГРП. Они предназначены для оперативного централизованного контроля технологических параметров и оборудования сети ГРП.

На современном этапе существует большое разнообразие типов систем, предназначенных для сбора и обработки информации о состоянии территориально распределенных объектов. Эти системы различаются принципами построения, способами лицензирования рабочих мест операторов, используемыми каналами связи и др. В конечном итоге определяющим фактором при выборе конкретного типа системы может оказаться совокупная стоимость владения, включающая стоимость самой системы и ее эксплуатации. В данной статье мы рас-

смотрим систему телеметрического контроля ГРП, реализованную по принципу IP-SCADA, характерными особенностями которого являются:

- единая точка сбора и обработки информации со всех контролируемых объектов;
- взаимодействие пользователя с системой осуществляется через веб-интерфейс с любого устройства и из любой точки мира;
- основной канал передачи данных от контролируемых объектов реализуется на основе применения технологии GPRS.

Необходимо отметить, что организация каналов передачи данных между удаленными объектами является актуальной задачей при создании автоматизированных систем сбора и передачи информации. В свою очередь, технология передачи данных GPRS, работающая на базе стандарта GSM, успешно решает проблему расстояний, покрытия и глобализации управления.

Соответствующая этому подходу структура системы мониторинга показана на рис. 1.

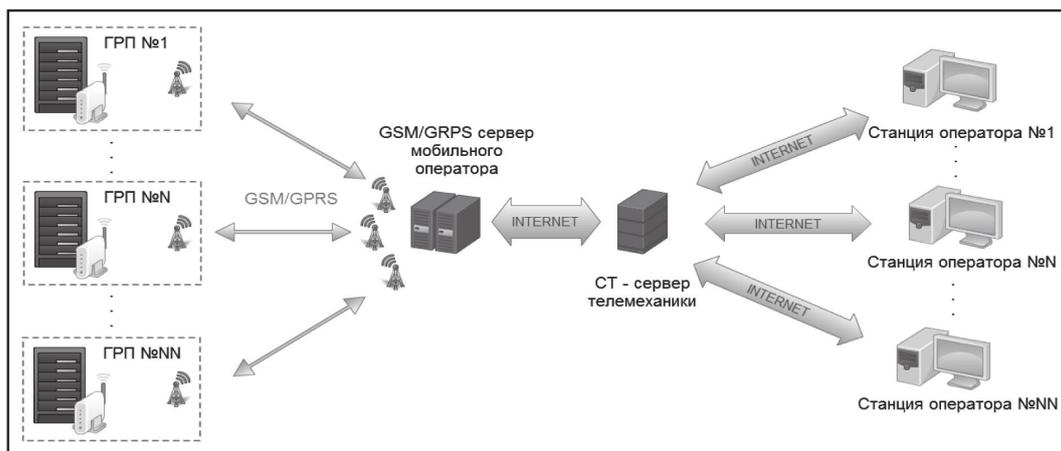


Рис. 1. Структура системы мониторинга сети ГРП

Программный комплекс системы телеметрии ГРП включает в себя серверную и клиентскую часть. Серверная часть предназначена для приема и обработки информации, поступающей с ГРП, и для отображения данных в удобном и понятном конечном пользователю виде. Клиентская часть (веб-браузер мобильного телефона или компьютера) позволяет отображать текущее состояние ГРП и сообщать о возникновении аварийных ситуаций, представлять статистическую информацию в табличной и графической формах, фиксировать реакции диспетчера на возникающие нештатные ситуации и формировать различные отчеты о работе системы.

На данный момент, как правило, системами телеметрии оборудуют ГРП, находящиеся в гео-

графически отдаленных населенных пунктах или имеющих важное стратегическое значение. Сбор информации о параметрах ГРП и ее отправка по каналу GSM-связи осуществляются комплексом оборудования, образующего контролируемый пункт (КП). На уровне КП должны выполняться следующие функции [2]:

- опрос датчиков и сигнализаторов;
- проверка выхода значения контролируемого параметра за установленные пределы;
- определение ошибок измерения и передача соответствующих сообщений на пульт управления (ПУ) – центральный единый сервер сбора и обработки данных;
- архивирование значений измеряемых параметров с заданными интервалами времени;

- передача архивов на уровень ПУ по его запросу, по инициативе КП через задаваемый «диспетчерским персоналом» интервал времени или спорадически;
- исполнение команд телеуправления, передаваемых с ПУ;
- регулирование контролируемых параметров.

*Критерии выбора периодичности отправки данных на центральный сервер*

Контролируемые в процессе мониторинга параметры ГРП можно условно разделить на два класса:

– параметры, зависимость которых от времени представляет собой непрерывную функцию (примеры: давления, температуры), – параметры 1-го класса;

– параметры, значения которых соответствуют двузначной логике «true» или «false» (пример: сигнал датчика положения двери – «открыто» или «закрыто»), – параметры 2-го класса.

Как правило, для каждого сигнала, соответствующего какому-либо параметру 1-го класса, установлены границы допустимого интервала значений (уставки). Наиболее «критичными» показаниями являются давления на входе и выходе ГРП и положение предохранительного запорного клапана (ПЗК).

В рамках существующего типового технического решения система телеметрии контролирует каждый из параметров в непрерывном режиме, анализирует полученные данные и при необходимости отсылает их на центральный сервер. При отсутствии изменений в состоянии ГРП отправка данных на сервер обычно производится с определенной периодичностью (например, один раз в 30 мин). В то же время пакет данных может отсылаться на центральный сервер и «вне очереди». Это имеет место при изменении значения любого параметра с «нормального» (когда оно в допустимом интервале – для параметров 1-го класса, если соответствует заданной таблице – для параметров 2-го класса) на «критическое» или наоборот. Примеры подобных переходов: превышение давлением верхней установленной границы, «падение» ПЗК, открытие двери, закрытие двери, падение температуры и др.

При отсутствии изменений контролируемых параметров в течение длительного времени (в частности, если достаточно долго давление газа не «скачет» за пределы уставок, двери находятся в закрытом положении и т. д.) возникает ситуация, при которой данные на диспетчерском пульте обновляются относительно редко. Встает вопрос о выборе периодичности отправки данных на центральный сервер с тем, чтобы диспетчер, контролирующий

состояние ГРП, мог всегда видеть максимально актуальную информацию. Необходимо учитывать, что значение частоты таких отправок, которое первоначально устанавливается для системы телеметрии, не является строго обоснованным. Анализ показывает, что чрезмерно частая отправка пакетов данных на сервер влечет увеличение потребляемого мобильного трафика, и это отражается на эксплуатационных расходах. При выборе большого значения периода появляется опасность пропустить важные показания. Например, если через небольшое время после отправки последних данных на сервер значение одного из контролируемых параметров резко повысится, но не выйдет за допустимые пределы, то эту крайне важную информацию диспетчер сможет получить своевременно только при «удачно» выбранном периоде отправки данных. Между тем это влияет на скорость принятия решения о необходимости превентивных мер реагирования.

В рассматриваемом случае имеет смысл поставить вопрос о формировании комплексной индикаторной функции опасности, в зависимости от значений которой можно будет определять предпочтительную частоту отправки данных на сервер.

По результатам анализа ситуаций, связанных с контролем состояния ГРП, можно прийти к сформулированным ниже критериям (правилам) варьирования периодичности передачи пакета собранных данных по каналу связи:

1) выход за установленные граничные значения (уставки) любого из контролируемых параметров 1-го класса (*первый критерий*). Уже в действующих версиях систем телеметрии для контроля состояния ГРП установлено, что при этом производится внеочередная отправка пакета данных, отражающих актуальную информацию;

2) поддержание готовности системы к наименьшим потерям информации при вероятных разрывах канала связи (*второй критерий*). Необходимо, чтобы в случаях, когда оператор видит, что КП не находится в сети, располагаемые к тому моменту времени данные были «в максимальной степени» актуальными.

Разрыв канала связи часто происходит по той причине, что многие операторы мобильной связи стараются оптимизировать подключения; при этом М2М устройства теряют активные соединения, если они не передают / не принимают данные 3–4 минуты. Кроме того, соединение может быть разорвано как со стороны клиента (КП), так и стороны сервера;

3) стремление к уменьшению объема потреб-

ляемого трафика, то есть количества сообщений, передаваемых на сервер (*третий критерий*). Этот критерий обуславливает ограничение «сверху» на частоту отправок пакетов данных по каналу мобильной связи.

#### Методика выбора периодичности отправки данных диспетчеру

Остановимся, прежде всего, на проблеме выбора периодичности передачи данных на центральный сервер системы применительно к параметрам 1-го класса.

Возможный характер изменения контролируемого параметра 1-го класса с течением времени (на примере измеряемого давления) показан на рис. 2. Как видно из рисунка, если давление находится в допустимом интервале (от 200 до 300 даПа), отправки пакета данных осуществляются через рав-

ные промежутки времени 30 мин. «Пересечение» кривой изменения давления с границей интервала его допустимых значений сопровождается внеочередной отправкой данных (соответствует 50 мин. от условного начала отсчета времени).

Рисунок 2 показывает, что для повышения безаварийности и безопасности эксплуатации газораспределительной сети целесообразно фиксировать не только факт выхода параметра за допустимые пределы, но и возникновение такой тенденции его изменения, при которой выход параметра за допустимые пределы может произойти в течение короткого промежутка времени (например, 10 минут). Очевидно, что данный факт в основном определяется скоростью изменения параметра, то есть его производной по времени (для рис. 2 – величиной и знаком  $dP/dt$ ).

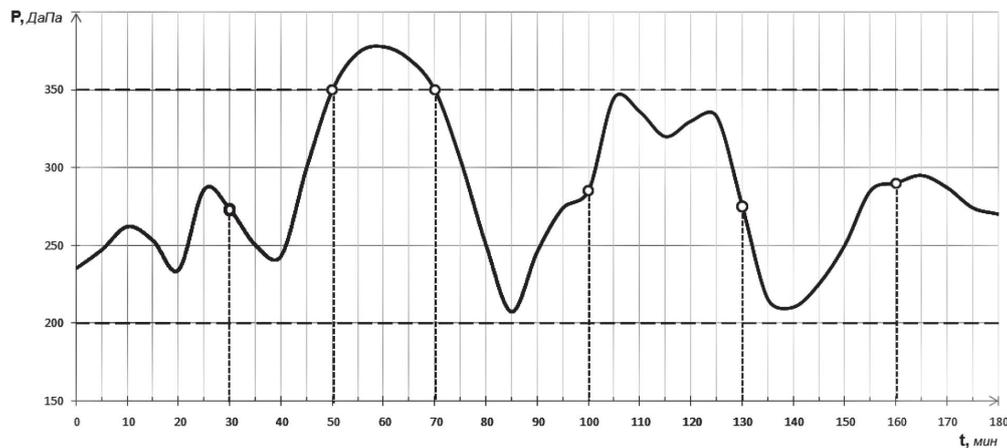


Рис. 2. Изменение контролируемого параметра (давления) с течением времени

При появлении опасной тенденции в изменении параметра периодичность отправки пакетов данных также необходимо варьировать. Фактически при этом встает вопрос об организации прогнозирования поведения параметра с точки зрения выхода его значений за допустимые пределы.

Процедура прогнозирования, заключающаяся в вычислении значений интересующего нас параметра в будущие моменты времени, может быть построена на идее определения тенденции его изменения исходя из его значений в предыдущие моменты времени. Например, если время  $t$  измеряется с условным шагом дискретности «1», то для целей прогнозирования в простейшем случае можно применить среднее арифметическое:

$$Y(t+1) = \frac{Y(t) + Y(t-1) + \dots + Y(1)}{t}, \quad (1)$$

где  $Y(t+1)$  – значение параметра в будущий момент времени;  $Y(t), \dots, Y(1)$  – «прошлые» значения этого

параметра в моменты времени  $t, t-1, \dots, 1$ .

Между тем очевидно, что поведение параметра в будущем будут определять не все предыдущие значения, а только их часть, непосредственно предшествующая интересующему нас времени  $t$ . Для таких случаев более подходящим является использование скользящего среднего:

$$Y(t+1) = \frac{Y(t) + Y(t-1) + \dots + Y(t-T^*)}{T^* + 1}, \quad (2)$$

где  $T^*$  – количество отсчетов времени, использующихся для прогнозирования.

Более точно учесть тот факт, что последние измеренные значения параметра играют наибольшую роль в определении тенденции его изменения, позволяет использование экспоненциального сглаживания (метод экспоненциальных средних [3]):

$$Y(t+1) = \alpha \cdot Y(t) + (1-\alpha) \cdot Y(t)_{t-1}. \quad (3)$$

В этом случае значение  $Y(t+1)$  контролируемого параметра в будущий момент времени рассчитыва-

ется с использованием его последнего измеренного значения  $Y(t)$ , последнего прогнозного значения и коэффициента  $\alpha$  ( $0 \leq \alpha \leq 1$ ), который характеризует зависимость прогнозного значения от более «старых» данных. Нетрудно заметить, что при  $\alpha = 1$  текущее прогнозное значение будет равно текущему измеренному, а при  $\alpha = 0$  – прошлому прогнозируемому.

Значение коэффициента  $\alpha$  может быть определено экспериментально путем присвоения ему различных значений из интервала  $[0, 1]$  и выбора тех случаев, для которых наблюдается наиболее точное совпадение прогнозных значений с реальными наблюдениями. При изменении тех или иных условий функционирования системы такую процедуру можно повторить.

Все вышеперечисленные алгоритмы позволяют оценить только одно прогнозное значение, являющееся следующим значением числового ряда.

Для построения более «глубокого» тренда целесообразно использовать алгоритм прогнозирования [4], разработанный Ч. Хольтом в середине прошлого века и являющийся развитием метода экспоненциального сглаживания. Этот алгоритм характеризуется совокупностью соотношений:

$$\begin{cases} \Omega(t) = \alpha \cdot Y(t) + (1 - \alpha) \cdot (\Omega(t)_{t-1} - T(t)_{t-1}), \\ T(t) = \beta(\Omega(t) - \Omega(t)_{t-1}) + (1 - \beta)T(t)_{t-1}, \\ Y(t + p) = \Omega(t) + p \cdot T(t). \end{cases} \quad (4)$$

В алгоритме Хольта значения уровня  $\Omega(t)$  и тренда  $T(t)$  прогнозируются по отдельности, каждое из них подвергается процедуре экспоненциального сглаживания с различными параметрами  $\alpha$  и  $\beta$ . Прогнозное же значение интересующей нас величины определяется на  $p$  отсчетов вперед.

Параметры  $\alpha$  и  $\beta$  также могут быть определены экспериментально.

На основании изложенного использование алгоритма прогнозирования Хольта для «предсказания» поведения параметров 1-го класса и возможности их выхода за допустимые пределы представляется достаточно обоснованным.

С целью наиболее эффективного применения алгоритма прогнозирования Хольта для нахождения периода отправки данных на сервер можно предложить разбиение области значений параметра  $Y$ , ограниченной минимальной  $Y_{\min}$  и максимальной  $Y_{\max}$  уставками, на определенные зоны (рис. 3). Прежде всего, выделяется зона номинальных значений параметра  $Y_{\text{ном min}} \leq Y \leq Y_{\text{ном max}}$ , при этом  $Y_{\min} \leq Y_{\text{ном min}} < Y_{\text{ном max}} \leq Y_{\max}$ . Условный «центр» этой зоны характеризуется величиной  $Y_{c \text{ ном}} = (Y_{\text{ном max}} - Y_{\text{ном min}})/2$  параметра  $Y$ . Каждая  $i$ -я зона имеет границы  $Y_{i, \min}$ ,  $Y_{i, \max}$  такие, что в пределах этой зоны  $Y_{\min} \leq Y_{i, \min} \leq Y \leq Y_{i, \max} \leq$

$Y_{\max}$ , причем либо  $Y_{\text{ном max}} \leq Y_{i, \min}$ , либо  $Y_{i, \max} \leq Y_{\text{ном min}}$ . Условный «центр»  $i$ -й зоны соответствует значению  $Y_{c, i} = (Y_{i, \max} - Y_{i, \min})/2$  параметра  $Y$ . Прогнозируемое значение  $Y(t+p)$  параметра  $Y$  проверяется на попадание в ту или иную зону, и в зависимости от этого устанавливается новое (скорректированное) значение периода отправки данных. Границы зон могут выбираться экспериментально.

При этом период  $\tau_0^{(j)}$  отправки данных на сервер в случае попадания  $Y(t+p)$  в некоторую  $j$ -ю зону целесообразно устанавливать тем меньше, чем больше модуль разности значений  $Y_{c, j}$  и  $Y_{c \text{ ном}}$  (то есть «расстояние» между этими «центрами» зон). В частности, возможна корректировка максимальной величины  $\tau_0$  этого периода, установленной первоначально применительно к зоне номинальных значений контролируемого параметра, в соответствии с зависимостью:

$$\tau_0^{(j)} = \tau_0 \exp\left(-\mu(|Y_{c, j} - Y_{c \text{ ном}}|)\right). \quad (5)$$

Здесь  $\mu$  – эмпирический коэффициент, позволяющий регулировать степень уменьшения периода  $\tau_0$  по мере удаления «центров» рассматриваемых зон от «центра» зоны номинальных значений параметра  $Y$ .

При изменении значения параметра с допустимого на критическое (например, в случае превышения им величины верхней уставки) необходимо изменить и алгоритм выбора периода отправки данных на сервер. Диспетчер должен получать важную для него актуальную информацию о том, как ведет себя параметр в критической области, но при этом следует избегать чрезмерно частой отправки данных с минимальным периодом, так как параметр может находиться в критической области достаточно продолжительное время. В связи с этим целесообразно прогнозировать скорость изменения значения параметра, выбирая в зависимости от нее тот или иной период отправки данных (рис. 4, где «кружками» выделены моменты отправки информации при попадании значений параметра в критическую область). Если указанная скорость не меняется, то целесообразно отправлять данные с периодом, равным максимуму из длин периода, установленных для этого параметра при нахождении его значений в критической области.

Уменьшение периода отправки данных следует осуществлять только тогда, когда прогнозируемая скорость изменения (по абсолютной величине) значения параметра существенно растет. Оценку скорости изменения параметра можно получить по аналогии с применением формулы численного дифференцирования:

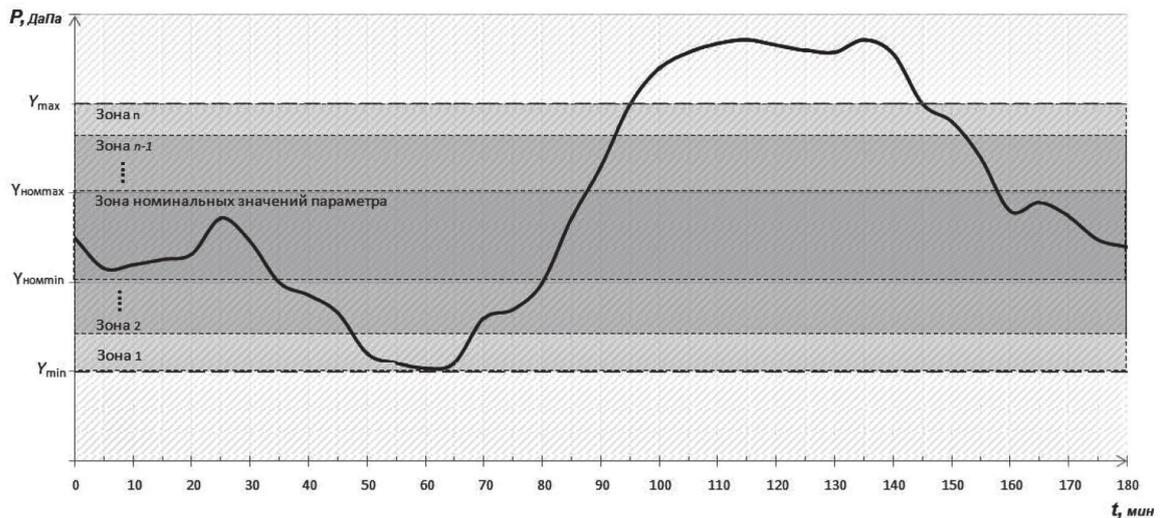


Рис. 3. Выделение зон в области варьирования значений контролируемого параметра

$$V_{изм} = \frac{|Y(t+p) - Y(t)|}{p} \quad (6)$$

Уменьшение периода отправки данных на сервер в пределах от максимального  $\tau_{0max}$  до минимального  $\tau_{0min}$  значения предлагается производить в функции от  $V_{изм}$  при выполнении условия  $V_{изм} > V_{порог}$ , где  $V_{порог}$  – пороговая величина скорости, при превышении которой осуществляется регулировка рассматриваемого периода.

В рамках такого подхода диспетчеру будут оперативно отправляться данные о продолжающемся отдалении значения параметра от границы крити-

ческой области или об ожидаемом возврате к штатному режиму функционирования, но реже – стабильно неизменные данные.

Отметим также, что контролируемые параметры различаются по важности. Корректировку значений периода отправки данных следует делать по результатам прогнозирования именно «критичных» параметров (прежде всего, величин давления). Нет существенной необходимости ускорять отставку данных при наблюдении колебаний температуры в технологическом помещении.

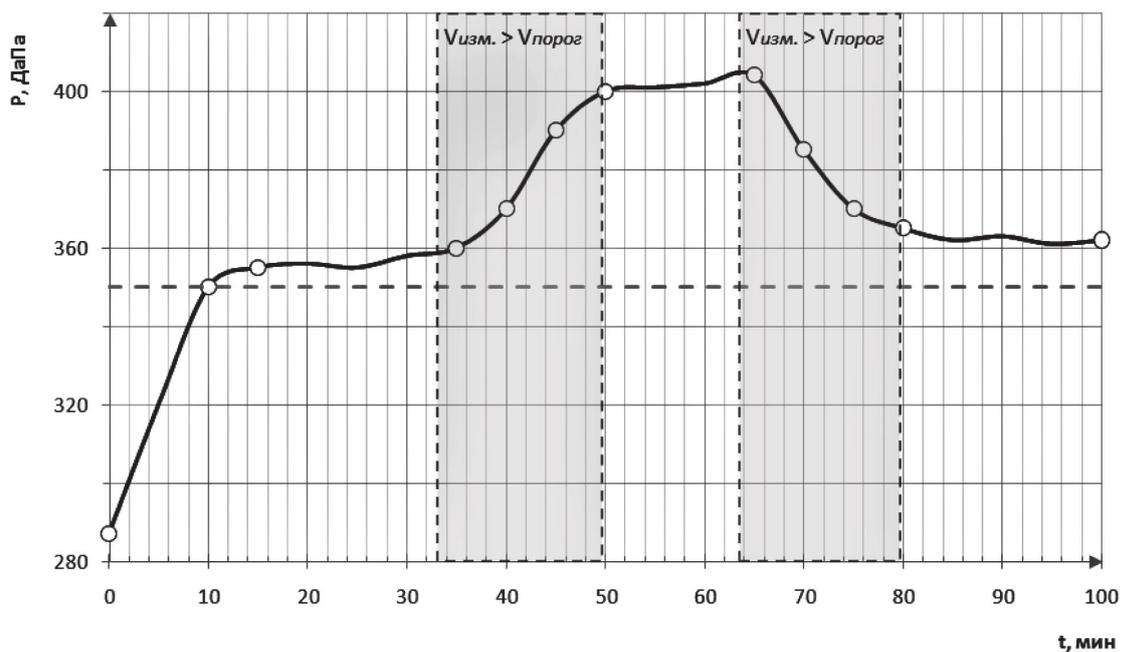


Рис. 4. Учет скорости изменения параметра при выборе периодичности отправки данных на сервер

Можно ввести в рассмотрение обобщенную зависимость периода отправки данных от прогнозируемых величин  $Y_1(t+p), Y_2(t+p), \dots, Y_k(t+p)$  различных параметров  $Y_1, Y_2, \dots, Y_k$  в виде:

$$\tau_{0\Sigma} = \sum_{i=1}^k \gamma_i f_i(Y_i(t+p)), \quad (7)$$

где  $\gamma_i, i=1, \dots, k$  – весовые коэффициенты, характеризующие значимость того или иного параметра ( $\gamma_i \geq 0; \sum_{i=1}^k \gamma_i = 1$ );  $f_i(Y_i(t+p))$  – некоторая функция, показывающая, каким образом изменяется период отправки данных на сервер в зависимости от прогнозируемого значения параметра  $Y_i$ .

Чем меньше «вес»  $\gamma_i$ , тем меньше влияние параметра  $Y_i$  на период отправки данных.

При выборе допустимого значения периода отправки данных следует иметь в виду ограничение по скорости реакции диспетчера, которому требуется определенное время на принятие адекватного управленческого решения.

### Заключение

Контроль надежности и безопасности ГС, осуществляемый на базе систем телеметрии, должен предусматривать непрерывный сбор данных о состоянии сети и периодическую отработку пакетов этих данных по каналу связи на пульт диспетчера и центральный сервер системы. Между тем вопрос о выборе и регулировании величины периода таких коммуникаций приобретает особую важность: от его решения зависит адекватность и своевременность управленческих решений, принимаемых с учетом получаемой в процессе контроля информации.

В статье указанная задача рассмотрена применительно к случаю контроля тех параметров ГС, значения которых изменяются в соответствии с непрерывными функциями времени. Предложено корректировать исходное значение периода отправки данных на сервер (это значение выбирается экспериментально для некоторого номинального диапазона варьирования параметра и может, в частности, отражать требование уменьшения потерь информации при случайных разрывах канала связи) в зависимости от результатов прогнозирования поведения параметров на основе алгоритма Хольта. Проанализированы особенности применения предложенного подхода в практических условиях, когда целесообразно, чтобы периодичность обновления данных, получаемых по каналу связи, «гибко» кор-

ректировалась по мере попадания прогнозируемых значений параметров в ту или иную зону в пределах области их изменения, а также принимала во внимание различные величины скорости увеличения или уменьшения этих значений.

Предполагается, что в рамках дальнейших исследований предложенная процедура будет объединена со статистическими методами, что позволит универсализировать процесс выбора периодичности обновления информации о состоянии ГС при комплексном контроле как непрерывно меняющихся параметров сети, так и показателей, принимающих дискретно-логические значения.

### Список литературы

1. Крымский В.Г. Автоматизация управления технологическими процессами в газораспределительных сетях: проблемы, тенденции и перспективы [Текст] / В.Г. Крымский, И.М. Жалбеков, Р.Р. Имильбаев, А.Р. Юнусов // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2013. – Т. 9. – № 2. – С. 70–79.
2. ГОСТ Р Газпром 2-1-17-586-2011. Газораспределительные системы. Типовые технические решения по автоматизации технологического оборудования [Текст]. – М.: Документы нормативные для проектирования, строительства и эксплуатации объектов ОАО «Газпром», 2012. – 28 с.
3. Грешиллов А.А. Математические методы построения прогнозов [Текст] / А.А. Грешиллов, В.А. Стакун, А.А. Стакун. – М.: Радио и связь, 1997. – 112 с.
4. *Principles of Forecasting: A Handbook for Researchers and Practitioners* (J.S. Armstrong – Ed.) [Text]. – Springer, 2001. – 864 p.

### References

1. Krymskij V.G. Avtomatizacija upravljenja tehnologicheskimi processami v gazoraspredelel'nyh setjah: problemy, tendencii i perspektivy [Tekst] / V.G. Krymskij, I.M. Zhalbekov, R.R. Imil'baev, A.R. Junusov // Jelektrotehnicheskie i informacionnye komplekсы i sistemy. – 2013. – Т. 9. – № 2. – С. 70–79.
2. GOST R Gazprom 2-1-17-586-2011. Gazoraspredelel'nye sistemy. Tipovye tehničeskie reshenija po avtomatizacii tehnologicheskogo oborudovanija [Tekst]. – М.: Dokumenty normativnye dlja proektirovanija, stroitel'stva i jekspluatcii ob#ektov ОАО «Gazprom», 2012. – 28 s.
3. Greshilov A.A. Matematicheskie metody postroenija prognozov [Tekst] / A.A. Greshilov, V.A. Stakun, A.A. Stakun. – М.: Radio i svjaz', 1997. – 112 s.
4. *Principles of Forecasting: A Handbook for Researchers and Practitioners* (J.S. Armstrong – Ed.) [Text]. – Springer, 2001. – 864 p.

# МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО- ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА METROLOGY AND INFORMATION-MEASURING DEVICES



**Серенков П.С.**  
**Serenkov P.S.**

*доктор технических наук,  
заведующий кафедрой «Стандартизация, метрология и информационные системы» Белорусского национального технического университета,  
Республика Беларусь, г. Минск*



**Савкова Е.Н.**  
**Savkova E.N.**

*кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Стандартизация, метрология и информационные системы» Белорусского национального технического университета,  
Республика Беларусь, г. Минск*



**Павлов К.А.**  
**Pavlov K.A.**

*магистр технических наук,  
старший преподаватель кафедры «Стандартизация, метрология и информационные системы» Белорусского национального технического университета,  
Республика Беларусь, г. Минск*

УДК 389.1

## КОНЦЕПЦИЯ РАЗВИТИЯ ДОКАЗАТЕЛЬНОЙ БАЗЫ СОВРЕМЕННОЙ МЕТРОЛОГИИ. ОРГАНИЗАЦИОННАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ПРОЦЕССА ИЗМЕРЕНИЯ

В статье предложена концепция качества результата измерений с неопределенностью как информационного продукта. Проводится обоснование необходимости разработки системного подхода к моделированию измерения как процесса с целью обеспечения заданного уровня доверия к их результатам.

Предложена концепция формирования модели доказательной оценки степени доверия к результатам измерений (испытаний), основанная на положениях классического системного и процессного подходов. В основу концепции заложены положения стандартов ISO серии 9000, согласно которым результативностью процессов формально можно управлять по двум направлениям: 1) через структуру процесса (организационная составляющая процесса); 2) через качество ресурсов, участвующих в преобразовании, или добавления ценности (техническая составляющая процесса). В случае измерения в роли организационной составляющей, планирующей, обеспечивающей, реализующей процесс измерения в управляемых условиях и постоянно его совершенствующей, выступает, например, аккредитованная измерительная (испытательная) лаборатория.

В статье обосновано, что перспективным направлением построения и совершенствования организационной составляющей процесса измерений является создание системы менеджмента знаний аккредитованной измерительной лаборатории, построенной на основе онтологии – методологии моделирования нечетких лингвистических данных.

*Ключевые слова:* оценка качества процесса измерения (испытания), степень доверия к результату измерения (испытания), неопределенность результата измерения (испытания), нечеткие лингвистические данные, онтологическая модель.

## CONCEPT OF DEVELOPMENT OF EVIDENTIAL BASE OF MODERN METROLOGY. ORGANIZATIONAL COMPONENT OF PROCESS OF MEASUREMENT

In article the concept of measurements result quality with uncertainty as information product is offered. Justification of need of system approach development to measurement modeling as process for the purpose of providing the set level of trust to their results is carried out.

The formation concept of an evidential assessment model of degree of the measurements (tests) results trust, based on classical system provisions and process approaches is offered.

The concept laid provisions of ISO 9000, according to which effective process can be formally controlled in two ways: 1) through the process structure (organizational component of the process); 2) through the quality of resources involved in converting or adding value (technical component of the process).

If measured as organizational component, providing planning, implementing and constantly improving the measurement process under controlled conditions is regarded, for example accredited measurement (test) laboratory.

The article proved, that a promising direction for constructing and improving the organizational component of the measurement process is to create a knowledge management system of the accredited measurement laboratory, built on the basis of the ontology – modeling methodology of fuzzy linguistic data.

*Key words:* assessment of quality of process of measurement (test), trust degree to measurement (test) result, a uncertainty of measurement result (test), fuzzy linguistic data, ontological model.

### Постановка задачи

В условиях непрекращающейся глобализации мирового рынка растет необходимость взаимного признания результатов оценки соответствия продукции (в том числе результатов испытаний). Актуальность решения данной проблемы стимулирует научно-практическое развитие доказательной базы метрологии.

В контексте понятий ISO 9001 прикладная метрология – предметная область, в рамках которой основной вид деятельности (измерения) относится к так называемым «специальным» процессам. Действительно, продукцию такого «специального» процесса – результата измерения с неопределенностью – в принципе невозможно однозначно проверить (верифицировать) [1].

Показателем качества результата измерения с неопределенностью как информационного продукта является степень доверия к нему, причем ее предельное значение определяется риском неправильного принятия решения на основе полученного результата измерения.

Можно утверждать, что обеспечить (оценить) требуемую степень доверия к результату измерения с неопределенностью можно косвенно – путем обеспечения (оценки) требуемого уровня доверия к процессу измерения, а точнее, ко всем элементам

этого процесса. Причем в качестве доказательной основы здесь выступают принципы системного и процессного подходов ISO 9001, адаптация которых для сферы прикладной метрологии является актуальной.

На рисунке 1 приведена схема формирования комплексной оценки степени доверия к результатам измерения в рамках модели деятельности лаборатории.

### Системный подход как инструмент обеспечения доверия к результатам измерений

Для решения проблемы обеспечения заданной степени доверия к результату измерения рационально подключить системный анализ как «методологию решения крупных проблем».

В системном анализе задача выделения «всех элементов, связанных с данной альтернативой», является центральной, так как определяет «целостность» системы [2]. Критерием «целостности» системы является «участие» выявленных факторов в процессе получения результата деятельности системы. Понятие процесса с этих позиций является центральным понятием системного анализа.

Процессный «механизм» решения проблемы предполагает, что одновременно с целенаправленными преобразованиями свойств объекта появ-

ляются и накапливаются так называемые «потери качества», основной причиной которых является неизбежная вариация свойств участвующих в преобразовании ресурсов. Следовательно, выявление и структуризацию влияющих факторов следует производить в соответствии со структурой процесса, формирующего конечной результат деятельности системы.

Очевидно, что необходимым условием обеспечения целостности модели измерительной задачи как системы является корректно построенная модель процесса измерения как системы.

С позиций стандартов ISO серии 9000 резуль-

тативностью процесса формально можно управлять по двум направлениям:

- через структуру процесса (организационная составляющая процесса);
- через качество ресурсов, участвующих в преобразовании, или добавления ценности (техническая составляющая процесса).

Применительно к процессу измерения (испытания), результативность которого объективно определяется степенью доверия к результатам измерения, данная концепция может быть представлена так, как показано на рисунке 2.



Рис. 1. Схема формирования комплексного показателя результативности процесса измерения (испытания) в соответствии с идеологией стандартов ISO серии 9000



Рис. 2. Концепция управления результативностью процесса измерения (испытания) с позиций стандартов ISO серии 9000

В нашем случае в роли организационной составляющей, планирующей, обеспечивающей, реализующей процесс измерения в управляемых условиях и постоянно его совершенствующей, выступает, например, аккредитованная измерительная (испытательная) лаборатория. А в роли технической составляющей выступают элементы процесса измерения (испытания) методики, измерительное оборудование, персонал, условия и т. д. [1].

Совершенно очевидно, что задача реализации процессного «механизма» сводится к созданию корректной модели измерения, которая является комплексной и включает комплекс подзадач выбора (разработки) и обоснования:

- языка описания структуры процесса;
- компьютерной поддержки языка моделирования;
- принципов, правил и методики разработки модели, соответствующей критериям корректности;
- типовой модели сети процессов для воспроизводимости в измерительных лабораториях.

Установлено, что адекватной целям типовой измерительной задачи является так называемая функциональная модель комплексного процесса измерения как системы, описывающая состав, иерархическую структуру и взаимодействие процессов [4].

Для решения первой задачи метрологии по выявлению всех влияющих на результат измерения факторов нами адаптирована научно обоснованная и проверенная на практике методология функционального моделирования сети процессов системы менеджмента качества (СМК) IDEF0 [3]. Основу методологии составляют общие и специальные правила построения корректной функциональной модели. Адаптируемость методологии для любых видов измерений (испытаний) обеспечивает модульный подход, причем в качестве основы модулей выступает цикл управления «P – D – C – A» (цикл Э. Деминга). Установлено, что для построения корректной функциональной модели комплексного процесса измерения в рамках измерительной лаборатории любого профиля и размеров достаточно двух типов диаграмм-модулей:

- «системный цикл «P – D – C – A», отвечающий за организацию процесса измерения как системы (формирование системы менеджмента качества аккредитованной лаборатории, или организационная составляющая процесса);
- «классический цикл «P – D – C – A – поток работ», отвечающий за достижение результата измерения с заданной неопределенностью (техническая составляющая процесса).

Функциональная модель формируется путем

последовательной декомпозиции модулей в виде циклов чередования по специальным правилам.

Корректно построенная функциональная модель комплексного процесса измерения решает две основные задачи:

- произвести реорганизацию самого процесса с целью ликвидации «узких мест» с позиций требований ISO 9001 и ISO/IEC 17025;
- сформировать доказательную модель оценки степени доверия к результатам измерений, в том числе с позиций требований ISO 5725.

Эти две составляющие оценки представляют собой единое целое, обеспечивающее достаточную для данного этапа развития общества степень доверия к протоколам измерений (испытаний). В нашем случае «вклад» организационной составляющей процесса измерения в степень доверия потребителя результату измерения определяется оценкой соответствия аккредитованных лабораторий. «Вклад» технической составляющей процесса измерения в степень доверия потребителя результату измерения определяется оценкой собственно процесса измерения и его ресурсов.

#### **Организационная составляющая процесса измерения**

Сегодня основная миссия аккредитации (как инструмента оценки компетентности) – обеспечение взаимного доверия к протоколам результатов измерений аккредитованных лабораторий.

Ранее требования к компетентности лабораторий сводились к трем основным критериям: оборудование, методики, персонал. Сегодня компетентная лаборатория должна организовывать свою работу в рамках современных моделей менеджмента, учитывающих все возможные аспекты деятельности как потенциальные факторы, влияющие на ее результативность.

**Пример.** Анализ влияющих на компетентность проводимых испытаний лаборатории нефти и газа № 1 ООО «РН-Краснодарнефтегаз» показал, что самый высокий коэффициент влияния имеют факторы: «менеджмент» (0,27), далее идут факторы – «персонал» (0,23), «измерения» (0,20), «методы» (0,14), «оборудование» (0,07) и «окружающая среда» (0,09).

Основной проблемой данного специфического направления метрологической деятельности, главный инструмент которой – аудит, является недоверие к оценке компетентности измерительной лаборатории и связанные с этим конфликтные ситуации, недопонимание сторон и т. п.

Источниками данной проблемы выступают:

*Состав данных.* Все требования ISO 9001 и

ISO/IEC 17025 могут быть структурированы в виде показателей, относящихся:

- к наличию процессов различных категорий, необходимых для СМК лаборатории;
- к взаимодействию и взаимосвязям процессов разных категорий;
- к наличию и составу ресурсов.

*Структура данных.* Большинство требований ISO 9001 и ISO/IEC 17025 представлены так называемыми нечеткими лингвистическими данными типа «...организация должна разработать...», «документация должна включать...», «...информация должна описывать...».

*Количество информации.* Соответствие требованиям ISO 9001 и ISO/IEC 17025 предполагает сбор и анализ большого количества информации в отношении процессов, ресурсов и их взаимодействия измерительной лаборатории. Поэтому в процессе аудита за фиксированное время не представляется возможным проверить, соответствует ли лаборатория всем этим требованиям, поэтому суждение об ее компетентности является затруднительным. Анализ документации на стадии предварительного аудита только частично решает данную проблему.

До сих пор аудит в такой форме в целом решал свои задачи. В настоящее время в силу значительного увеличения количества измерительных и испытательных лабораторий, усложнения процедур измерений и испытаний, повышения рисков от непризнания протоколов измерений (испытаний), в том числе из-за недоверия к аккредитованным лабораториям, качество аудита может быть потеряно.

С учетом того, что динамика роста числа опытных аудиторов отстает от динамики роста лабораторий-претендентов, единственный выход – частичная формализация процесса аккредитации.

Корректное решение данной задачи, по нашему мнению, заключается в создании системы менеджмента знаний аккредитуемой измерительной лаборатории, построенной на основе онтологии – методологии моделирования нечетких лингвистических данных [3]. Онтологической моделью называют постоянно пополняемую и развиваемую базу знаний специального вида, предполагающую интерактивное взаимодействие с ней: пользователь задает вопрос, переводя его на формальный язык логики, и получает однозначный ответ, если его в принципе можно сформулировать из существующих в базе знаний понятий и связей между ними. Свойством онтологической модели является возможность идентифицировать скрытые факты (имплицитную информацию) при наличии введенной в базу эксплицитной исходной информации.

Нам представляется перспективной разработка двух альтернативных концепций корректной онтологической модели СМК измерительных (испытательных) лабораторий:

- онтологическая модель СМК лаборатории, основанная в целом на классическом подходе, как интегрированный модуль в рамках корпоративной автоматизированной информационной системы управления организацией;
- онтологическая модель СМК, построенная на основе функциональной модели сети процессов как структурированной по определенным правилам проблемной области и реализованная как самостоятельное CASE-средство.

В рамках онтологической модели СМК, основанной на классическом подходе, с целью повышения степени ее соответствия критериям корректности, исследованию и оптимизации подлежат: типовая структура ролевых онтологий; правила согласования онтологий с учетом их типовой структуры, концепция языка онтологического моделирования с расширяемым базисом для формализованного представления нечетких понятий и оценок, которыми в том числе оперирует СМК. Расширение базиса может быть интерпретировано как своеобразное введение макросов, упрощающих использование онтологической модели. Определены преимущества и недостатки данного подхода, а также перспективы и условия его эффективного использования в рамках корпоративной АСУ.

В рамках онтологической модели СМК, основанной на альтернативном подходе, предполагающем, что уже построенная функциональная модель сети процессов СМК лаборатории (модель деятельности) представляет собой необходимый и достаточный «срез» знаний о предметной области для извлечения имплицитной информации, т.е. является готовой основой онтологической модели. Целостность и самодостаточность онтологической модели в такой интерпретации могут быть доказаны посредством анализа соответствия:

- алгоритма построения системы ролевых онтологий модели классическому подходу;
- элементов ее вербально-графического языка классическому языку логики предикатов.

Ключевым критерием корректности онтологической модели является свойство ее воспроизводимости в конкретной лаборатории конкретным персоналом, что обеспечивается формализацией алгоритма ее построения, в частности, формализацией вопросов аудитора путем:

- формализации объектов – декомпозиции их на объекты функциональной модели (модули запросов);

– категоризации объектов – классификации выделенных модулей запросов;

– разработки методики составления шаблонов запросов – формирования правил «стыковки» модулей запросов.

Создание онтологической модели деятельности лаборатории позволит решать две группы задач:

1) оценка соответствия системы требованиям ISO 9001 и ISO/IEC 17025 на стадии предварительного аудита (оценка целостности СМК), идентификация проблемных объектов аккредитуемой лабо-

ратории (процессы, ресурсы или их связи) с точки зрения аудита и, как следствие, более целенаправленное построение плана аудита на месте. При этом повышается прозрачность и достоверность аудита, его производительность, объективность;

2) исследование СМК лаборатории с позиций ее эффективности, например, с целью идентификации «узких мест» (дублирования функций, избыточности затрат и т. п.), проведение самооценки деятельности лаборатории, проводимой высшим руководством (см. таблицу).

### Два направления применения онтологической модели в измерительной лаборатории

	Аудит для целей аккредитации	«Свободный поиск» (исследование СМК лаборатории)
Задача	Предварительная оценка результативности СМК лаборатории	Вопросы эффективности: выявление «узких мест», дублирования, избыточности затрат
Вид запросов	Стеки (группы) запросов чек-листа эксперта-аудитора	Произвольные запросы пользователя
Дополнительные возможности	- Возможность редактирования стека запросов при изменении требований ISO серии 9000; - Квалиметрическая оценка ответов	Формирование вопроса при помощи вербально-графических выражений с интуитивно понятным дружественным интерфейсом

#### Список литературы

1. Серенков П.С. Развитие доказательной базы метрологии на основе принципов системного подхода [Текст] / П.С. Серенков // Метрология и приборостроение. – № 1. – Минск, 2009. – С. 8–11.
2. Оптнер С.Л. Системный анализ: этап развития методологии решения проблем в США [Текст]/ С.Л. Оптнер; пер. с англ. С.П. Никанорова. – М.: Изд-во «Прогресс», 1969. – 254 с.
3. Серенков П.С. Методы менеджмента качества. Методология организационного проектирования инженерной составляющей системы менеджмента качества: монография [Текст] / П.С. Серенков. – Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2011. – 491 с.
4. DaimlerChrysler, Ford, General Motors (2002), Measurement Systems Analysis, 3rd Edition, available

from Carwin Ltd., UK [Electronic resource]. – URL: [www.carwin.co.uk/qs](http://www.carwin.co.uk/qs).

#### References

1. Serenkov P.S. Razvitie dokazatel'noj bazy metrologii na osnove principov sistemnogo podhoda [Tekst] / P.S. Serenkov // Metrologija i priborostroenie. – № 1. – Minsk, 2009. – S. 8–11.
2. Optner S.L. Sistemnyj analiz: jetap razvitija metodologii reshenija problem v SShA [Tekst] / S.L. Optner; per. s angl. S.P. Nikanorova. – M.: Izd-vo «Progress», 1969. – 254 s.
3. Serenkov P.S. Metody menedzhmenta kachestva. Metodologija organizacionnogo proektirovanija inzhenernoj sostavljajushhej sistemy menedzhmenta kachestva: monografija [Tekst] / P.S. Serenkov. – Minsk: Novoe znanie; M.: INFRA-M, 2011. – 491 s.
4. DaimlerChrysler, Ford, General Motors (2002), Measurement Systems Analysis, 3rd Edition, available from Carwin Ltd. [Electronic resource]. – URL: UK [www.carwin.co.uk/qs](http://www.carwin.co.uk/qs).



**Берг О.И.**  
**Berg O.I.**

*аспирант кафедры «Информационно-измерительная техника»  
ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный  
авиационный технический университет»,  
Россия, г. Уфа*



**Ураксеев М.А.**  
**Urakseev M.A.**

*доктор технических наук, профессор кафедры  
«Информационно-измерительная техника»  
ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный  
авиационный технический университет»,  
Россия, г. Уфа*

УДК 681.51.011

## **СОПОСТАВИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПО ХАРАКТЕРИСТИКАМ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ**

Статья посвящена актуальной теме – анализу технических характеристик и особенностей конструкций различных типов бесконтактных преобразователей перемещений. Необходимость исследования в указанной области обусловлена стремительным повышением спроса на них в современных электротехнических комплексах и системах, а также обширным номенклатурным рядом таких преобразователей. В статье приведен принцип действия основных типов бесконтактных преобразователей перемещений: магнитных (индукционного и трансформаторного типов); оптоэлектронных (на основе дифракционных решеток с проходящими и отраженными потоками оптического излучения; лазерных дальномеров в импульсных и непрерывных режимах, а также в режиме триангуляции); локационных (ультразвукового типа); магнитооптических; волоконно-оптических (чувствительных к пересечению и отражению светового потока); магнитооптических (с магнитными шкалами и метками на магнитооптическом эффекте Фарадея). Для каждого из указанных типов преобразователей перемещений приведены функции преобразования, структурные схемы, особенности и варианты конструкций, достоинства и недостатки. Полученные характеристики (диапазон измеряемых величин, пороговая чувствительность, погрешность, быстродействие, чувствительность к загрязнителям, чувствительность к электромагнитным помехам, сложность установки / настройки) были обобщены и сведены в единую таблицу технических характеристик современных преобразователей перемещений. Эта таблица позволяет оценить перспективы применения каждого из них. В номенклатуре исследованных преобразователей наивысший совокупный показатель по точности, малым массогабаритным показателям, высокому быстродействию, низкой чувствительности к основным производственным загрязнителям, отсутствию чувствительности к радиоманитным помехам принадлежит преобразователю перемещений с магнитными шкалами и метками на магнитооптическом эффекте Фарадея. Предложенный метод построения бесконтактного преобразователя перемещений на магнитооптическом методе сбора информации о перемещении подвижного носителя магнитных меток является оригинальным. В статье также указан ряд достоинств конструкций преобразователей такого типа, позволяющий считать их наиболее универсальными.

*Ключевые слова:* преобразователи перемещений, технические характеристики, области применения, перспективный тип преобразователя.

## **COMPARATIVE ASSESSMENT CHARACTERISTICS OF DIFFERENT TYPES DISPLACEMENT TRANSDUCERS**

This article is devoted to an important topic – the analysis of the technical characteristics and structures of various types of non-contact displacement transducers. Research necessity in this area is due to the rapid increase

in demand for modern electrical complexes and systems, and extensive nomenclature number of such transducers. In the article principle of the basic types non-contact displacement transducers is given: magnetic (induction and transformer type), optoelectronic (use diffraction grating passing and reflected optical radiation flows, laser rangefinders in pulsed and continuous mode as well as triangulation mode) radar (ultrasonic type), magnetostrictive (the spread of elastic, surface and transverse waveguide waves), optical fiber (sensitive to intersection and reflection of the light flux), magneto-optical (with magnetic scales and marks based on the magneto-optical Faraday effect). Conversion functions, block diagrams, features and design solutions, advantages and disadvantages are given for each of these displacement transducers types. Also the formulas describing the principle of operation, block diagrams, and design features of each of these types of transducers. Obtained characteristics (measured values range, sensitivity / resolution, speed, sensitivity to pollutants, sensitivity to radiomagnetic noise, installation complexity / configuration) have been compiled and summarized in a technical characteristics of modern converters movements table. Perspectives of displacement transducers can be estimated from this table. In the studied converters nomenclature the highest comprehensive indicator based on the accuracy, small dimensions and weight, high speed, low sensitivity to basic production pollutants, lack of sensitivity to radiomagnetic noise belongs to the displacement transducer with magnetic scales and marks based on the magneto-optical Faraday effect. The proposed method of non-contact displacement transducer construction on magneto-optical method of collecting information about the movement of magnetic marks carriers is original. The proposed method of building a non-contact displacement transducer on the magneto-optical method of collecting information about the movement of the movable magnetic labels carrier is original. The paper also identifies a number of advantages of this type of transducer design, assigning it to the most versatile.

*Key words:* movement converters, technical characteristics, applications, perspective type of movement converters.

Современные электрические системы, содержащие перемещающиеся или перемещаемые внешними силами элементы и узлы, имеют в своем составе преобразователи перемещений и электроприводы с электронными системами управления. На сегодняшний день существует обширный номенклатурный ряд преобразователей перемещений, различающихся по принципу действия, техническим характеристикам и возможным областям применения. Выбор наиболее универсального типа преобразователя с учетом их основных достоинств и недостатков является актуальной задачей, решению которой посвящена данная статья.

По принципу действия преобразователи перемещения бывают: магнитные, емкостные, оптоэлектронные, ультразвуковые, магнитоэлектрические, волоконнооптические, с магнитными шкалами и метками и др.

#### *Магнитные преобразователи перемещений (МПП)*

Среди МПП самыми распространенными являются индуктивные и трансформаторные преобразователи. Наиболее простая схема индуктивного преобразователя перемещений (ИПП) (рис. 1а) применяется для определения незначительных перемещений объектов, состоящих из ферромагнитного материала. В таком ИПП контролируемый объект из ферромагнитного материала используется в качестве подвижного элемента преобразователя. Изменение зазора  $d$  между объектом и сердечником

влияет на индуктивность обмотки. Значение индуктивности обмотки определяют следующим образом [1]:

$$L(x) = \mu_0 N^2 s \frac{1}{d + \frac{l_f}{\mu_f}}, \quad (1)$$

где  $\mu_0$  – абсолютная магнитная проницаемость вакуума;  $N$  – число витков обмотки;  $s$  – площадь сечения контура;  $d$  – длина силовых линий в воздухе, пропорциональная координате  $x$  перемещения объекта;  $l_f$  – длина силовых линий в материале;  $\mu_f$  – относительная магнитная проницаемость ферромагнитного материала.

Трансформаторный МПП отличается от индуктивного гальванической изоляцией контура возбуждения от измерительного контура. Так, трансформаторный МПП с распределенными магнитными параметрами и подвижным сердечником (рис. 1б) позволяет определять перемещение объектов, не состоящих из ферромагнитных материалов. Основными элементами такого преобразователя являются: кольцевой магнитопровод прямоугольной формы и обмотка возбуждения в виде двух секций, прямоугольная изоляционная пластина, выполненная из изоляционного материала, на поверхности которой размещена измерительная обмотка, имеющая форму треугольника. Измерительная обмотка может быть нанесена путем печатного монтажа. Кольцевой магнитопровод, содержащий встречно включенные обмотки возбуждения, охва-

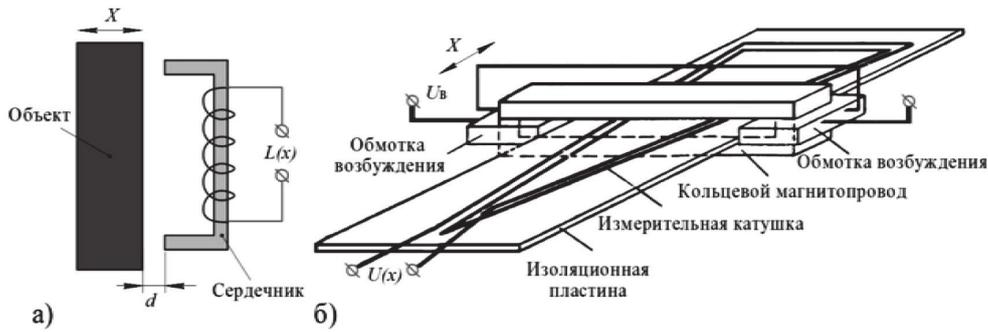


Рис. 1. Магнитные преобразователи перемещений:  
а) индуктивный; б) трансформаторный

тывает измерительную обмотку. Перемещаясь, магнитопровод изменяет магнитное потокоцепление треугольной обмотки и э.д.с. на выходе преобразователя. Если обмотка возбуждения расположена по сторонам равнобедренного треугольника, то при перемещении магнитопровода магнитное потокоцепление и э.д.с. этой обмотки изменяются по линейному закону [2]. Статическая характеристика преобразователя представляется как

$$U(x) = -j \frac{\omega w_B U_B w_H \mu_S S_x}{R_B + 2j\omega w_B^2 \mu_S S_M}, \quad (2)$$

где  $\omega$  – циклическая частота питающего напряжения;  $w_B$  – число витков обмотки возбуждения;  $U_B$  – напряжение, подаваемое на обмотку возбуждения;  $w_H$  – число витков измерительной обмотки;  $\mu_S$  – удельная магнитная проводимость в зазоре, приходящаяся на единицу площади зазора;  $S_x$  – площадь измерительной обмотки, ограниченная шириной магнитопровода (зависит от  $x$ );  $R_B$  – активное сопротивление обмотки возбуждения;  $S_M$  – полная площадь зазора между длинными стержнями магнитопровода.

**Недостатки МПП:** большие габаритные размеры и масса датчиков; ограниченный диапазон измерения величины перемещений; высокая чувствительность элементов радиоэлектронной аппаратуры к электромагнитным полям, создаваемым МПП, а также самого преобразователя к внешним электромагнитным полям.

#### Емкостные преобразователи перемещений (ЕПП)

В основе работы преобразователей данного типа лежит взаимосвязь геометрической конфигурации или изменения состояния диэлектрика конденсатора с его емкостью.

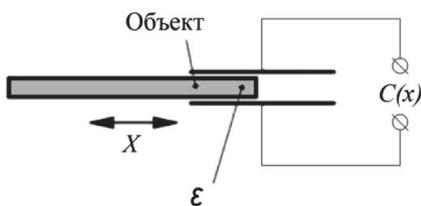


Рис. 2. Емкостный преобразователь линейного перемещения с подвижным диэлектриком

В преобразователях с изменением состояния диэлектрика объект измерения может быть как механически связан с пластиной диэлектрика, так и сам выступать в роли воздействующей пластины (рис. 2) в случае обладания диэлектрическими свойствами и подходящими размерами.

Зависимость емкости измерительного конденсатора от величины перемещения диэлектрической пластины определяется следующим образом [3]:

$$C(x) = \frac{(\varepsilon(1-x) + x)\varepsilon_0 S}{d}, \quad (3)$$

где  $C(x)$  – функция емкости от перемещения  $x$  объекта;  $\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость диэлектрика между пластинами;  $S$  – площадь обкладок конденсатора;  $\varepsilon_0$  – абсолютная диэлектрическая проницаемость;  $d$  – зазор между обкладками конденсатора.

**Недостатки ЕПП:** ограниченный диапазон измерения величины перемещений; низкая чувствительность из-за малого изменения диэлектрической проницаемости при изменении положения пластины диэлектрика, выступающей в роли объекта исследования.

#### Оптоэлектронные преобразователи перемещений (ОЭПП)

К настоящему моменту известно множество различных оптических эффектов и датчиков, основанных на них. Наиболее распространенной является схема с применением дифракционных решеток [4] (рис. 3).

В таком преобразователе луч света источника оптического излучения (ИОИ) при перемещении кодирующей структуры (КС) 3 относительно анализирующей структуры (АС) 5 изменяет свои характеристики. Приемник оптического излучения (ПОИ) 6, устройства обработки информации (УОИ) 7 преобразуют изменения в электрические сигналы удобной для непосредственного использования внешними устройствами преобразования и индикации 8 формы.

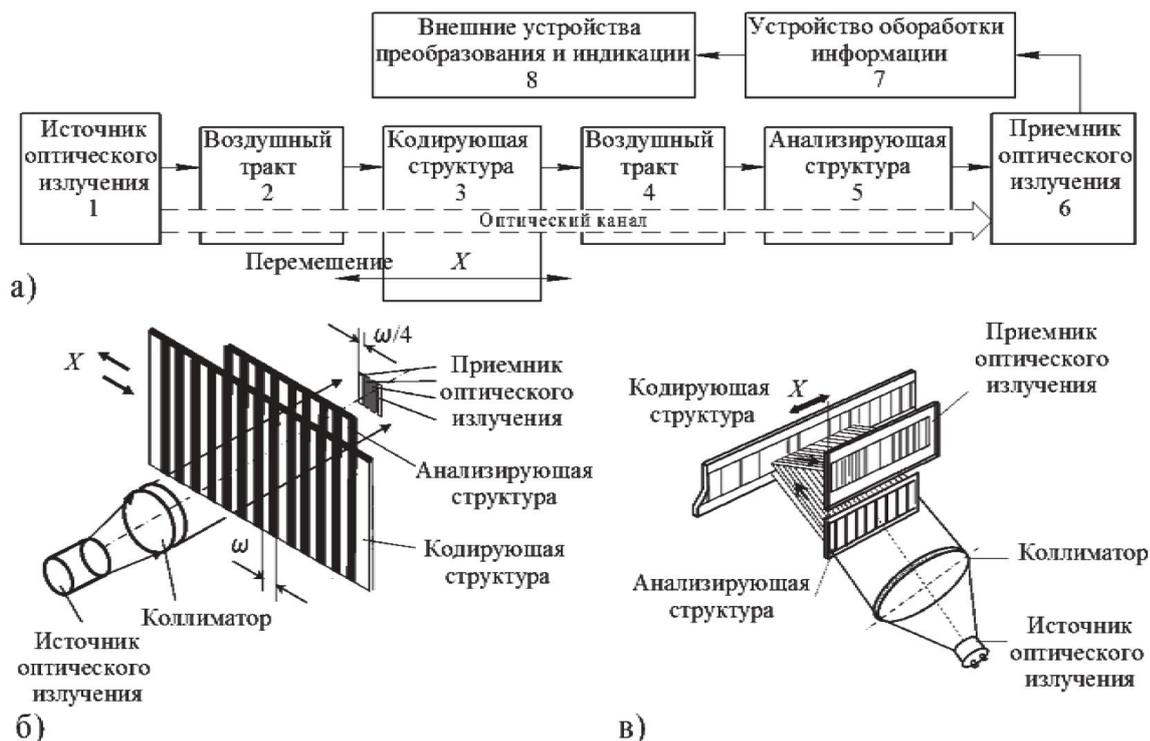


Рис. 3. Оптоэлектронный преобразователь перемещений на основе дифракционных решеток: а) обобщенная структурная схема; б), в) схемы оптической части, работающие с проходящими и отраженными потоками оптического излучения

КС и АС в ОЭПП выполняются по аналогичному принципу: в виде линейной или круговой шкал, раstra, дифракционной решетки, голограммы [4]. При этом назначение АС – определение дробной части единицы разряда измеряемого перемещения. По принципу взаимного расположения КС, АС относительно ПОИ и ИОИ ОЭПП разделяются на работающие в проходящих и отраженных потоках оптического излучения. ОЭПП проходящих потоков оптического излучения (рис. 3б) используют растровую модуляцию КС и АС. Шаг раstra  $w$  для анализирующей и кодирующей структур одинаков. ИОИ воздействует через коллиматор, КС и АС на ПОИ. В состав ПОИ входят 4 фотодиода (ФД), установленные на расстоянии  $w/4$  относительно друг друга. Движение КС в направлении  $x$  относительно неподвижной АС приводит к образованию электрических сигналов ФД, сдвинутых относительно друг друга на четверть периода (угол  $\pi/2$ ). Электрический сигнал пары ФД1 и ФД3 создает изменение квадратурного сигнала, отстающего на угол  $\pi/2$  от изменения квадратурного сигнала пары ФД2 и ФД4. При смене направления перемещения КС происходит отставание квадратурных сигналов ФД2 и ФД4 относительно ФД1 и ФД3 на угол  $\pi/2$ . Таким образом, знак фазового сдвига определяет направление перемещения  $x$ .

ОЭПП отраженных потоков оптического из-

лучения (рис. 3в) интерполируют сигналы ПОИ [4]. ИОИ воздействует через коллиматор и растры АС на подвижную КС с растрами аналогичного АС периода. Оптический сигнал отражается от КС и поступает в ПОИ, выполненный в виде решетки. ПОИ содержит в своем составе 4 светодиода, принцип работы которых аналогичен изложенной для проходящих пучков лучей.

Другой реализацией ОЭПП является лазерный дальномер (рис. 4а). Импульсы ИОИ передаются на объект и, отражаясь от него, поступают в ПОИ.

Расстояние до объекта и перемещение  $x$  определяются в устройстве обработки информации по времени между прямым и отраженным импульсами. Для измерения расстояний менее 3 м применяют фазовый метод. В данном методе используется непрерывное излучение лазера, при этом фазометр в устройстве обработки информации измеряет фазовый сдвиг между излучаемым и отраженными лучами.

Для определения расстояний от 20 до 400 мм используют лазерный дальномер в режиме триангуляции (рис. 4б). В таком режиме луч ИОИ, отражаясь от поверхности исследуемого объекта, поступает в объектив и далее в фотоприемную матрицу ПОИ. Сигнал соответствующего элемента матрицы позволяет определить угол отражения  $\alpha$ , что дает возможность определить длину  $d$  – расстояние до объекта.

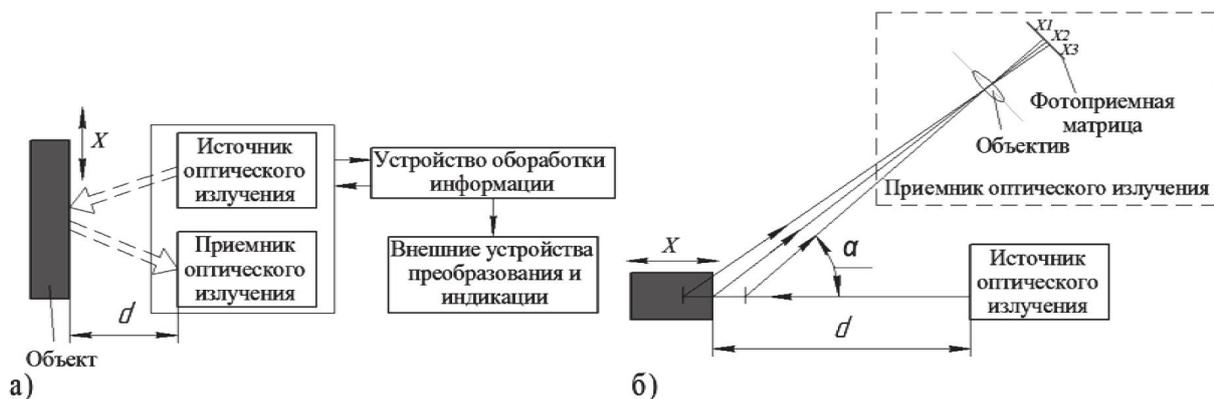


Рис. 4. Схема лазерного дальномера в режимах: а) импульсного и непрерывного излучения; б) триангуляции

*Недостатки ОЭПП:* высокая стоимость и громоздкость; чувствительность к попаданию масла, воды, пыли на чувствительные элементы источника и приемника оптического излучения; повышенная точность установки и настройки [5]; чувствительность к посторонним источникам света и солнечным лучам.

*Ультразвуковые преобразователи перемещений (УПП)*

В УПП используется принцип радара: способность волн ультразвукового диапазона, частотой более 20 кГц, распространяться в твердых, жидких и газообразных средах с отражением от неоднородностей сред. Принцип работы УПП (рис. 5) состоит в следующем. Генератор вырабатывает импульсы ультразвуковой частоты (обычно 40 кГц), которые через коммутатор  $K$  поступают в источник ультразвуковых волн (излучатель) и передаются на объект. Отраженные от объекта импульсы воспринимаются приемником ультразвуковых волн (микрофоном), которые через коммутатор передаются в усилитель-формирователь. Коммутатор переключает режимы приема и излучения ультразвуковых импульсов. В устройстве обработки информации сравнивают сигналы с усилителя-формирователя и излучаемых с генератора импульсов. Разность фаз пропорциональна расстоянию  $d$  до объекта. В преобразователях определяют временную задержку между моментами отправки и приема ультразвуковых импульсов [3].

*Недостатки УПП:* невозможность измерять расстояние до звукопоглощающих объектов, выполненных из пористых материалов; высокое значение зоны нечувствительности датчиков, более 50 мм [6]; высокая чувствительность элементов радиоэлектронной аппаратуры к ультразвуковым волнам, постоянно генерируемым ЛПП в процессе работы.

*Магнитострикционный преобразователь перемещений (МСПП)*

МСПП (рис. 6) представляет собой протяженный канал – волновод, вдоль которого может свободно перемещаться постоянный тороидальный магнит. Внутри волновода содержится проводник, способный при попадании на него электрических импульсов создавать магнитное поле вдоль всей своей длины. Электрический импульс опроса прикладывается к внутреннему проводнику волновода. Импульс распространяется со скоростью света вместе с магнитным полем, силовые линии которого представляют собой окружности с центрами на оси. Когда электромагнитная волна оказывается на уровне магнита, комбинация магнитных полей вызывает в соответствии с эффектом Видемана [1] локальное скручивание волновода, которое распространяется по нему со скоростью  $\vartheta$  в форме упругой ответной волны. Приход ответной волны на приемник вызывает, согласно эффекту Виллари [1], изменение намагничивания, индуцирующее электрический сигнал ответа. Регистрация временной задержки  $t_p$  между отправкой электрического импульса генератором и получением импульса вращения приемником позволяет определить расстояние  $d$  до постоянного магнита:

$$t_p = \frac{d}{\vartheta}. \quad (4)$$

*Недостатки МСПП:* сложность изготовления и громоздкость конструкции [3], низкая помехоустойчивость [1].

*Волоконно-оптические преобразователи перемещений (ВОПП)*

По принципу действия ВОПП выполняются реагирующими на пересечение (рис. 7а) или отражение (рис. 7б) светового потока, передаваемого че-

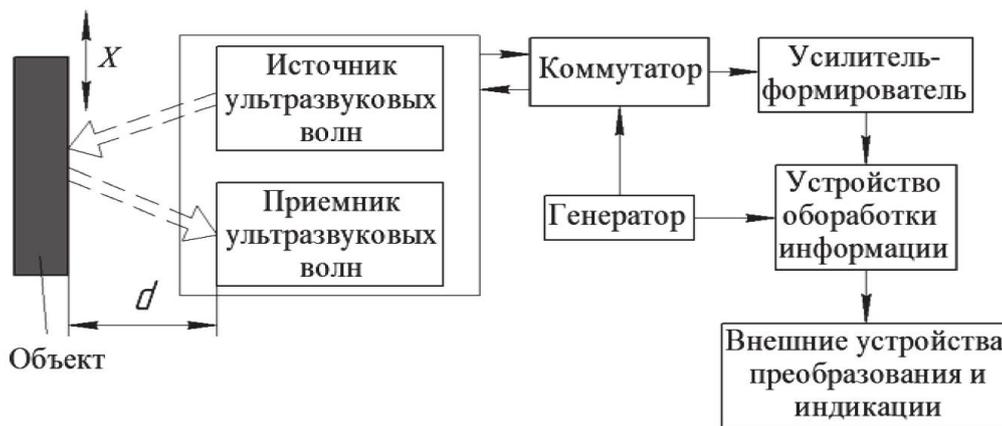


Рис. 5. Ультразвуковой преобразователь перемещений

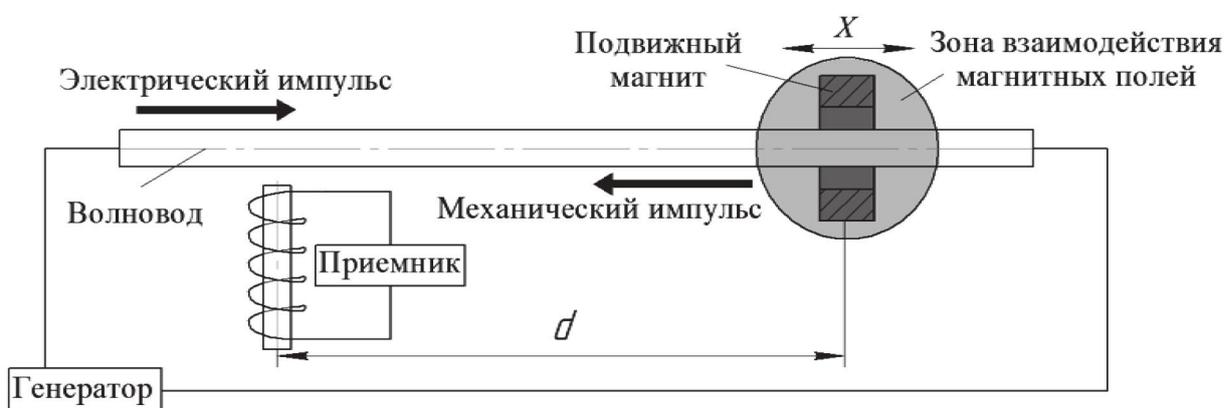


Рис. 6. Магнитострикционный преобразователь перемещения

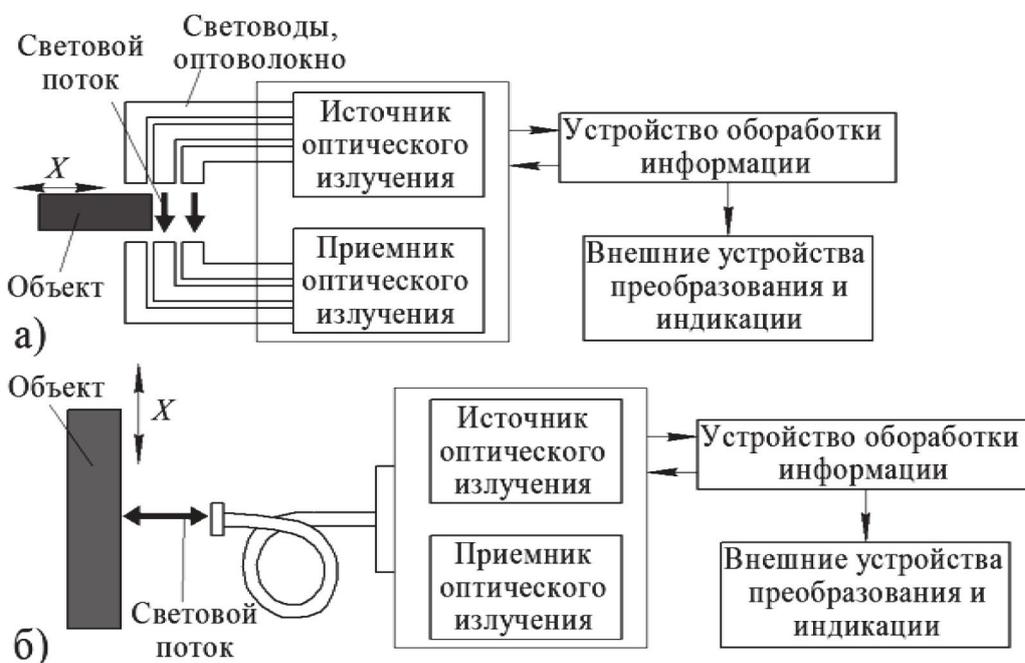


Рис. 7. Волоконно-оптический преобразователь перемещения, чувствительный:  
а) к пересечению светового потока; б) к отражению светового потока

рез оптическое волокно. Принцип действия ВОПП, пересечения светового потока заключается в следующем. Поток света от источника оптического излучения ИОИ проходит по оптоволоконным световодам, имеющим в определенном месте разрыв для прохождения света через физическую среду. Объект, попадая в зону воздушного зазора, изменяет световой поток, попадающий на оптоволоконно ПОИ. Устройство обработки информации определяет изменение мощности в каждом световоде и отображает информацию о величине смещения объекта.

Оптоволоконно источника и приемника в ВОПП, реагирующего на отражение светового потока, является общим. В таком ВОПП поток света от ИОИ проходит через оптоволоконно и, отражаясь от исследуемого объекта, возвращается обратно в ПОИ. Расстояние до объекта определяют по времени между прямым и отраженным импульсами.

*Недостатки ВОПП:* высокая стоимость; чувствительность к попаданию масла, воды, пыли на чувствительные элементы источника и приемника оптического излучения; чувствительность к посторонним источникам света и солнечным лучам.

*Преобразователь перемещений с магнитными шкалами и метками (ПП с МШ и М)*

Авторами статьи разработан преобразователь перемещений с магнитными метками, чувствитель-

ный элемент которого основан на магнитооптическом эффекте Фарадея [7] (рис. 8). Преобразователь состоит из двух основных элементов: чувствительной магнитооптической головки и подвижного носителя магнитных меток в виде кодовой шкалы. Луч света лазерного диода последовательно преобразовывается в поляризаторе – феррит-гранатовой пленке (ФГП), анализаторе и попадает в приемник оптического излучения. Перемещение подвижного носителя магнитных меток приводит к изменению магнитного потока  $\Phi_m$ , воздействующего на оптически прозрачную ФГП, что, в свою очередь, приводит к повороту плоскости поляризации пленки и изменению значения фототока  $i_\phi$  приемника оптического излучения:

$$i_\phi = SP_0 \cos^2(\varphi + \alpha), \tag{5}$$

где  $\alpha$  – угол между осями поляризатора и анализатора;  $\varphi$  – угол поворота плоскости поляризации под действием внешнего магнитного поля;  $P_0$  – мощность излучения лазерного диода;  $S$  – спектральная чувствительность фотодиода.

Величина изменения угла  $\varphi$  пропорциональна перемещению кодовой шкалы  $x$  [8].

*Достоинства магнитооптического ПП с МШ и М:* малые массогабаритные показатели [7]; высокое быстродействие ( $10^{-9}$  сек); низкая чувствительность к основным производственным загрязнителям.



Рис. 8. Преобразователь перемещений с магнитными метками: 1 – подвижный носитель магнитных меток в виде кодовой шкалы; 2 – ФГП; 3 – поляризатор; 4 – анализатор

## Сравнительные характеристики различных типов преобразователей перемещений

Наименование параметра	МПП [6]	ЕПП [10]	ОЭПП [10]	УПП [5,10]	МСПП [6]	ВОПП [11]	ПП с МШ и М [7, 9]
Диапазон измеряемых перемещений, м	$10^{-3} \div 0,2$	$9 \cdot 10^{-3} \div 5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-6} \div 10$	$2 \cdot 10^{-4} \div 10$	$0,5 \cdot 10^{-6} \div 20$	$8 \cdot 10^{-5} \div 0,008$	$40 \cdot 10^{-6} \div 100$
Порог чувствительности, мм	-	9*	-	-	0,0005*	-	0,001
Погрешность, мм	$\pm 1^*$	$\pm 9^*$	0,005*	0,17 *	0,004*	0,08	$\pm 0,04$
Быстродействие, с	$7 \cdot 10^{-4}$	0,1	$10^{-9}$	0,5	$10^{-3}$	$10^{-9}$	$10^{-9**}$
Чувствительность к загрязнителям	нет	нет	да	да	нет	да	нет
Сложность установки/настройки	нет	нет	нет	да	да	нет	нет
Чувствительность к электромагнитным помехам	да	нет	нет	да	да	нет	нет***
Способность преобразования как линейных, так и угловых перемещений	нет	нет	нет	нет	нет	нет	да
Диапазон рабочих температур, °С	$-20 \div 70$	$-25 \div 80$	$-20 \div 75$	$-25 \div 70$	$-20 \div 85$	$-50 \div 50$	$-40 \div 55^*$

\* У разной номенклатуры преобразователей эти цифры различны

\*\* Для магнитооптического ПП с МШ и М

\*\*\* В защищенном исполнении

## Вывод

Наиболее перспективным типом преобразователей перемещений является преобразователь перемещений с магнитными метками на магнитооптическом эффекте Фарадея, так как:

1) наиболее универсален с точки зрения чувствительности к загрязнителям, простоты установки и отсутствия чувствительности к радиомгнитным помехам;

2) обладает наилучшими техническими и массогабаритными показателями.

## Список литературы

1. Аш Ж. Датчики измерительных систем. В 2-х книгах. Кн. 1. [Текст] / Пер. с франц. / Под ред. А.С. Обухова. – М.: Мир, 1992. – 480 с.

2. Куликовский Л.Ф. Преобразователи перемещения с распределенными параметрами [Текст] / Л.Ф. Куликовский, М.Ф. Зарипов. – М. – Л.: Энергия, 1966. – 112 с.

3. Михайлов М.А. Обзор методов измерения малых перемещений в приложении системы автоматического регулирования сканеров СЗМ [Текст] / М.А. Михайлов, В.В. Манойлов // Методы измерений. Научное приборостроение. – Т. 23. – № 2. – СПб.: ИАП РАН, 2013. – С. 27–37.

4. Коротаев В.В. Оптико-электронные преобразователи линейных и угловых перемещений [Текст] / В.В. Коротаев, А.В. Прокофьев, А.Н. Тимофеев // Ч. 1. Оптико-электронные преобразователи линейных перемещений. – СПб.: НИУ ИТМО, 2012. – 114 с.

5. Конюх В.Л. Компьютерная автоматизация производства: учеб. пособие. [Текст] / В.Л. Конюх. – Новосибирск: НГТУ, 2006. – 108 с.

6. BALLUFF GmbH – производство сенсоров и компонентов автоматики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.balluff.ru](http://www.balluff.ru) (дата обращения: 09.08.2013 г.).

7. Патент № 132538 Российская Федерация, МПК G01B7/00. Преобразователь перемещений с магнитными метками [Текст] / М.А. Ураксеев, О.И. Берг; патентообладатель ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (RU). – № 2013118780/28; заявл. 23.04.2013 г.; опубл. 20.09.2013 г.

8. Берг О.И. Расчет и исследование статической характеристики преобразователя перемещений с магнитными метками [Текст] / О.И. Берг, М.А. Ураксеев, И.А. Баженов // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2013. – № 4 – Т. 9. – С. 93–99.

9. *LM10 Магнитный преобразователь линейных перемещений* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.skbis.ru/pdf/rls/LM10D05\\_01.pdf](http://www.skbis.ru/pdf/rls/LM10D05_01.pdf) (дата обращения: 09.08.2013 г.).

10. *Портал Sensor.ru* – датчики для измерения и автоматизации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.sensor.ru> (дата обращения: 09.08.2013 г.).

11. *ОАО ЭКБ «Сигнал» им. А.И. Глухарева* – Волоконно-оптический датчик перемещения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dimes.ru> (дата обращения: 09.08.2013 г.).

#### References

1. *Ash Zh.* Датчики измерительных систем. В 2-х книгах. Кн. 1. [Текст] / Пер. с франц. / Под ред. А.С. Обухова. – М.: Мир, 1992. – 480 с.

2. *Kulikovskij L.F.* Преобразователи перемещения с распределенными параметрами [Текст] / L.F. Kulikovskij, M.F. Zaripov. – М. – Л.: Энергия, 1966. – 112 с.

3. *Mihajlov M.A.* Обзор методов измерения малых перемещений в приложении системы автоматического регулирования сканеров SZM [Текст] / M.A. Mihajlov, V.V. Manojlov // Методы измерений. Научное приборостроение. – Т. 23. – № 2. – СПб.: IAP RAN, 2013. – С. 27–37.

4. *Korotaev V.V.* Оптико-электронные преобразователи линейных и угловых перемещений [Текст] / V.V. Korotaev,

A.V. Prokof'ev, A.N. Timofeev // Ч. 1. Оптико-электронные преобразователи линейных перемещений. – СПб.: НИУ ИТМО, 2012. – 114 с.

5. *Konjuh V.L.* Комп'ютёрная автоматизация производства: учеб. пособие [Текст] / V.L. Konjuh. – Новосибирск: NGTU, 2006. – 108 с.

6. *BALLUFF GmbH* – производство сенсоров и компонентов автоматизации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.balluff.ru](http://www.balluff.ru). (дата обращения: 09.08.2013 г.).

7. *Patent № 132538* Российская Федерация, МПК G01B7/00. Преобразователь перемещений с магнитными метками [Текст] / М.А. Ураксеев, О.И. Берг; патентообладатель FGBOU VPO «Уфимский государственный авиационный технический университет» (RU). – № 2013118780/28; заявл. 23.04.2013 г.; опubl. 20.09.2013 г.

8. *Berg O.I.* Расчет и исследование статической характеристики преобразователя перемещений с магнитными метками [Текст] / Berg O.I., Urukseev M.A., Bazhenov I.A. // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2013. – № 4 – Т. 9. – С. 93–99.

9. *LM10 Магнитный преобразователь линейных перемещений* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.skbis.ru/pdf/rls/LM10D05\\_01.pdf](http://www.skbis.ru/pdf/rls/LM10D05_01.pdf) (дата обращения: 09.08.2013 г.).

10. *Portal Sensor.ru* – датчики для измерения и автоматизации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.sensor.ru> (дата обращения: 09.08.2013 г.).

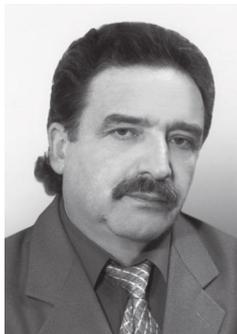
11. *ОАО ЭКБ «Сигнал» им. А.И. Глухарева* – Волоконно-оптический датчик перемещения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dimes.ru> (дата обращения: 09.08.2013 г.).

# НАНОЭЛЕКТРОНИКА И КВАНТОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ NANOELECTRONICS AND QUANTUM DATA SYSTEMS



**Арасланов Т.Р.**  
**Araslanov T.R.**

*аспирант кафедры «Физика»  
ФГБОУ ВПО «Уфимский государ-  
ственный университет  
экономики и сервиса»,  
Россия, г. Уфа*



**Доломатов М.Ю.**  
**Dolomatov M.Yu.**

*кандидат технических наук,  
доктор химических наук, профес-  
сор кафедры «Физика» ФГБОУ  
ВПО «Уфимский государствен-  
ный университет экономики и  
сервиса», заведующий научно-  
исследовательской лабораторией  
«Физика электронных процессов  
и наноматериалов», Россия, г. Уфа*



**Калашченко Н.В.**  
**Kalashchenko N.V.**

*кандидат медицинских наук,  
доцент кафедры терапии  
ГБОУ ВПО «Башкирский го-  
сударственный медицинский  
университет»,  
Россия, г. Уфа*

УДК 612.111.15

## ОСОБЕННОСТИ ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКИХ КВАНТОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПЛАЗМЫ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ДОБРОКАЧЕСТВЕННЫХ И ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ ОПУХОЛЯХ ГОЛОВНОГО МОЗГА

В настоящее время в диагностике различных заболеваний, в том числе онкологических, широко используются спектроскопические методы. В последние годы получило развитие новое направление спектроскопии – электронная феноменологическая спектроскопия (ЭФС), разработанная Доломатовым М.Ю. В отличие от классической спектроскопии, которая исследует характеристические частоты и полосы поглощения отдельных атомно-молекулярных группировок, при феноменологическом подходе кровь и ее компоненты рассматриваются как единая неделимая поглощающая электромагнитное излучение система. В методе ЭФС в качестве основных характеристик используются феноменологические параметры, характеризующие квантовый континуум электронных состояний – интегральная сила осцилляторов (ИСО), а также усредненные по составу, эффективные потенциалы ионизации (ЭПИ) и эффективные средства к электрону (ЭСЭ) всех компонентов, поглощающих электромагнитное излучение в ближнем УФ-, видимом и ближнем ИК-диапазоне спектра. В отделении нейрохирургии отобраны группы пациентов с доброкачественными и злокачественными опухолями головного мозга. Диагнозы верифицированы данными МРТ и гистологическим исследованием. Исследована плазма крови пациентов с доброкачественными и злокачественными опухолями головного мозга, установлены различия между феноменологическими квантовыми параметрами доноров и пациентов.

*Ключевые слова:* электронная феноменологическая спектроскопия, плазма, кровь, человек, опухоль головного мозга, квантовые параметры.

## THE FEATURES OF PHENOMENOLOGICAL QUANTUM PARAMETERS OF HUMAN BLOOD PLASMA IN BENIGN AND MALIGNANT BRAIN TUMORS

Currently, the diagnosis of various diseases, including cancer, are commonly used spectroscopic methods. The new trend in spectroscopy has developed in recent years – electron phenomenological spectroscopy established by Dolomatov M. Yu. In contrast to classical spectroscopy, which examines the characteristic frequency and the absorption bands of individual atomic and molecular clusters, in the phenomenological approach blood and its components are considered as a single indivisible absorbing electromagnetic radiation system. In the method of EPS as the basic characteristics used phenomenological parameters characterizing the quantum continuum electronic states – integrated oscillator strength (ISO) and the average composition, effective ionization potentials (EIP) and the effective electron affinity (EEA) all components that absorb electromagnetic radiation in the near-UV, visible and near-infrared spectrum. In neurosurgery selected group of patients with malignant tumors and absorb electromagnetic radiation in the near-UV, visible and near-infrared spectrum. In neurosurgery selected group of patients with benign and malignant brain tumors. The diagnosis was verified by MRI and histological examination. Investigated the blood plasma of patients with benign and malignant brain tumors, established differences between the phenomenological parameters quantum donors and patients.

*Key words:* electron phenomenological spectroscopy, plasma, blood, people with a brain tumor, quantum parameters.

В последние годы отмечается тенденция к неуклонному росту заболеваемости онкопатологией. После 2006 года класс новообразований в структуре смертности занимает второе место после болезней системы кровообращения [1]. Большинство методов диагностики, применяемых в онкологии, слишком трудоемки и дороги и не подходят для скринингового обнаружения новообразований. Существующие методы скрининга малоэффективны и позволяют выявить опухоли на ранней стадии не более чем у 2% обследованных лиц. А именно ранняя диагностика опухоли позволяет добиться наилучших результатов лечения. От 60 до 80% онкологических больных обращаются за медицинской помощью с наличием запущенных (III–IV) стадий заболевания, когда возможности радикального лечения весьма ограничены.

В настоящее время в медицине для диагностики различных заболеваний, в том числе онкологических, широко используются спектроскопические методы, среди которых особое место занимает спектроскопия ядерного магнитного резонанса, магнитно-резонансная томография (МРТ). Но МРТ-диагностика не всегда доступна большинству населения. Аппаратура требует высококвалифицированного обслуживания и малодоступна для многих клиник. Поэтому интерес представляют методы, использующие более доступные приемы спектроскопии. Имеется ряд работ, в которых для диагностики опухолей используется инфракрасная спектроскопия [2]. Максимумы поглощения при этом регистрируются преимущественно в диапазоне 1000–1200 нм. По характеру пиков проводится суждение о наличии или отсутствии различных за-

болеваний, преимущественно онкологических.

В последние годы получило развитие новое направление спектроскопии – электронная феноменологическая спектроскопия (ЭФС), разработанная профессором Доломатовым М.Ю. [3, 4]. В отличие от классической спектроскопии, которая исследует характеристические частоты и полосы поглощения отдельных атомно-молекулярных группировок при феноменологическом подходе кровь и ее компоненты рассматриваются как единая неделимая поглощающая электромагнитное излучение система. В эту систему входят электронные спектры протеинов, нуклеиновых кислот, естественные продукты метаболизма, а также метаболиты, выделяемые в процессе заболевания. Работы в области изучения интегральных спектральных параметров биологических жидкостей человека показали возможность использования методов ЭФС в медицине. В методе ЭФС в качестве основных характеристик используются феноменологические параметры, характеризующие квантовый континуум электронных состояний – интегральная сила осцилляторов (ИСО), а также усредненные по составу, эффективные потенциалы ионизации (ЭПИ) и эффективные сродства к электрону (ЭСЭ) всех компонентов, поглощающих электромагнитное излучение в ближнем УФ, видимом и ближнем ИК-диапазоне спектра [5].

Так, в [6] показано, что физические квантовые параметры метода ЭФС характеризуют состояние метаболических процессов в организме человека как в единой гомеостатической системе. В ранее проведенных исследованиях установлено [7, 8], что определяемые интегральные характеристики поглощения электромагнитного излучения в ви-

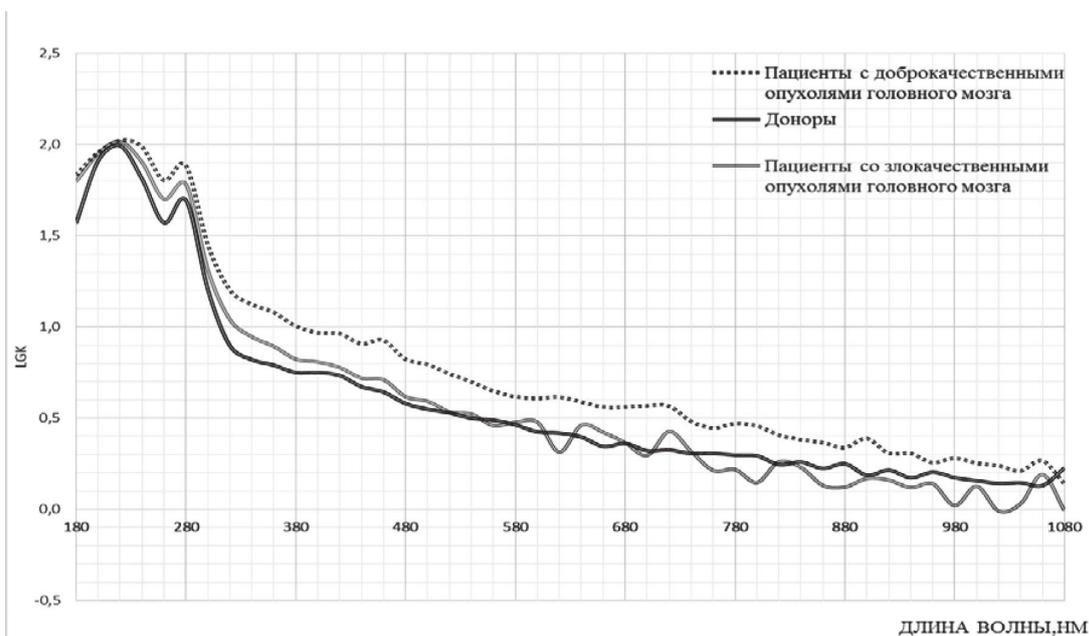
димом, УФ- и ближнем ИК-диапазоне для водных растворов плазмы крови могут служить критерием оценки функционального состояния организма человека.

Целью работы является установление различий в значениях феноменологических квантовых параметров плазмы крови для доноров и больных с доброкачественными и злокачественными опухолями головного мозга.

Объекты исследования: плазма крови больных первичными доброкачественными и злокачественными опухолями головного мозга. Диагностика про-

ведена специалистами РКБ им. Г.Г. Куватова по клиническим данным, данным магнитно-резонансной томографии. Диагнозы подтверждены гистологическим исследованием. Объем выборки составляет 29 человек. Из них 20 пациентов с доброкачественными и 9 со злокачественными опухолями головного мозга.

Спектры растворов плазмы крови регистрировались на электронном спектрофотометре СФ 2000 в УФ-, видимом и ближнем ИК-диапазоне спектра (см. рис.). Все измерения проводились для водных растворов плазмы с концентрацией 2,5% объемных.



Усредненные электронные спектры плазмы крови пациентов с опухолями головного мозга и доноров

Как видно из рисунка, средний спектр доноров расположен ниже среднего спектра больных с доброкачественными опухолями головного мозга и несколько выше среднего спектра пациентов со злокачественными опухолями. В УФ-области спектра различия невелики, находятся в пределах доверительного интервала как для злокачественных, так и для доброкачественных опухолей. В видимом и ближнем ИК-диапазоне спектра коэффициент поглощения плазмы крови больных с доброкачественными опухолями головного мозга выше среднего спектра доноров, причем пределы доверительных интервалов не пересекаются. Спектр плазмы крови со злокачественными опухолями в видимом диапазоне спектра находится на одном уровне со средним спектром доноров, а в ближнем ИК-диапазоне — ниже уровня среднего спектра доноров.

На данном уровне отмечается выраженная изломанность линии среднего спектра пациентов со

злокачественными опухолями головного мозга, что можно объяснить небольшим объемом выборки, а также низкими значениями коэффициента поглощения в видимой и ближней ИК-области спектра.

По предложенным ранее методикам [5, 8] определялись квантовые феноменологические параметры, усредненные по всем светопоглощающим наночастицам и молекулам, входящим в состав плазмы крови человека.

$$\theta = \int \int_{\lambda \varepsilon} F(\lambda, \varepsilon) d\lambda d\varepsilon, \quad (1)$$

где  $\theta$  — интегральная сила осцилляторов, нм · л / (моль · м);  $F$  — спектральная функция, характеризующая интенсивность поглощения;  $\lambda$  — длина волны, нм;  $\varepsilon$  — молярный коэффициент поглощения веществ, л / (моль · см).

Кроме интегральной силы осцилляторов, в качестве показателей состояния электронной си-

стемы предложены эффективный потенциал ионизации (ЭПИ) и эффективное сродство к электрону (ЭСЭ), которые оцениваются по интегральной силе осцилляторов.

$$E = \alpha + \beta \cdot \theta, \tag{2}$$

где  $E$  – энергия высшей занятой или низшей свободной молекулярной орбитали, эВ;  $\theta$  – интегральная сила осцилляторов, нм · л/(моль · м);  $\alpha$  и  $\beta$  – эмпирические коэффициенты, зависящие от типа орбитали, эВ и эВ · моль · л<sup>-1</sup> · нм<sup>-1</sup>.

Физический смысл ЭСЭ и ЭПИ можно интерпретировать как меру средней электроно-донорной и электроно-акцепторной способности квантовой системы.

$$I = \int I(n)\rho(n)dn, \tag{3}$$

$$A = \int A(n)\rho(n)dn, \tag{4}$$

где  $I$  – эффективный первый адиабатический потенциал ионизации, усредненный по всей статистической совокупности различных молекул вещества, эВ;  $A$  – эффективное адиабатическое сродство к электрону, эВ;  $n$  – число молекул, участвующих в квантовых переходах;  $\rho(n)$  – функция распределения состава по сродству к электрону.

В таблице приведены соответствующие квантовые параметры плазмы крови доноров и больных с опухолями головного мозга.

Таблица

**Феноменологические параметры плазмы крови доноров и больных с опухолями головного мозга**

Объекты исследования	Интервал, нм	Феноменологические квантовые параметры плазмы крови		
		ИСО, нм · л/(моль · м)	ЭПИ, эВ	ЭСЭ, эВ
Доноры отделения переливания крови	180-380	309,36±8,96	8,76±0,02	0,41±0,01
	380-760	218,03±22,93	8,98±0,05	0,32±0,02
	760-1020	54,20±13,64	9,37±0,03	0,16±0,01
	180-1020	581,60 ±39,78	8,11±0,09	0,68±0,04
Больные с доброкачественными опухолями головного мозга	180-380	311±5,62	8,75±0,01	0,42±0,005
	380-760	276,55±26,67	8,84±0,06	0,38±0,026
	760-1020	100,17±11,94	9,26±0,03	0,21±0,01
	180-1020	688,61±39,91	7,86±0,09	0,78±0,036
Больные со злокачественными опухолями головного мозга	180-380	297,18±25,48	8,788±0,061	0,401±0,025
	380-760	211,24±106,08	8,992±0,252	0,317±0,104
	760-1020	44,85±71,89	9,388±0,171	0,154±0,07
	180-1020	575,07±204,25	8,126±0,486	0,672±0,2

Данные таблицы отражают изменение интегральных параметров плазмы крови пациентов в сравнении с плазмой доноров. Как видно из этой таблицы, отличия в энергетическом состоянии образцов плазмы в УФ-диапазоне спектра минимальны, в видимой области спектра энергетическое состояние образцов сходно для группы доноров и пациентов со злокачественными опухолями, однако эффективное сродство к электрону образцов плазмы пациентов с доброкачественными опухолями выше. В ближнем ИК-диапазоне спектра отличия между энергетической способностью образцов плазмы крови доноров и пациентов со злокачественными

опухолями более существенны, однако находятся в пределах доверительных интервалов.

**Выводы**

1. Исходя из результатов эмпирического исследования образцов плазмы крови, по-видимому, имеются различия в значениях интегральных квантовых параметров плазмы крови для доноров и больных с доброкачественными и злокачественными опухолями головного мозга.

2. Полученные результаты, вероятно, можно использовать как вспомогательный инструмент медицинской диагностики.

## Список литературы

1. URL: [http:// www.gks.ru](http://www.gks.ru).
2. Гордецов А.С. Инфракрасная спектроскопия биологических жидкостей и тканей [Текст] / А.С. Гордецов // Современные технологии в медицине. – 2010. – № 1. – С. 84–98.
3. Долوماتов М.Ю. Применение электронной спектроскопии в физико-химии многокомпонентных стохастических и сложных молекулярных систем [Текст] / М.Ю. Долوماتов. – Уфа: ЦНТИ, 1989. – 47 с.
4. Долوماتов М.Ю. Фрагменты теории реального вещества: от углеводородных систем к галактикам [Текст] / М.Ю. Долوماتов. – М.: Химия, 2005. – 208 с.
5. Dolomatov M.Yu. Electron Phenomenological Spectroscopy and Application in Investigating Complex Substances in Chemistry, Nanotechnology and Medicine [Text] / M.Yu. Dolomatov, G.R. Mukaeva D.O., Shulyakovskaya // Journal of Materials Science and Engineering B. – 2013. – Vol. 3. – № 3. – P. 183–199.
6. Калашченко Н.В. Электронная феноменологическая спектроскопия крови человека в норме и патологии [Текст] / Н.В. Калашченко, М.Ю. Долوماتов, С.В. Дезорцев. – М.: Интер, 2010. – 256 с.
7. Dolomatov M.Yu. Spectroscopic phenomenological estimation of the functional state of the human organism in conditions of environment [Text] / M.Yu. Dolomatov, N.V. Kalashchenko, S.V. Dezortsev, T.R. Araslanov // International Journal of Clinical Medicine. – 2011. – Vol. 2. – № 2. – P. 79–82.
8. Долوماتов М.Ю. Интегральные квантовые параметры электронных спектров крови человека как мера информации о состоянии здоровья [Текст]

/ М.Ю. Долوماتов, Т.Р. Арасланов, Н.В. Калашченко, С.В. Дезорцев // Биомедицинская радиоэлектроника. Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2012 – № 5. – С. 14–19.

## References

1. URL: [http:// www.gks.ru](http://www.gks.ru).
2. Gordecov A.S. Infrakrasnaja spektroskopija biologicheskikh zhidkostej i tkanej [Tekst] / A.S. Gordecov // Sovremennye tehnologii v medicine. – 2010. – № 1. – S. 84–98.
3. Dolomatov M.Ju. Primenenie jelektronnoj spektroskopii v fiziko-himii mnogokomponentnyh stohasticheskikh i slozhnyh molekulyarnyh sistem [Tekst] / M.Yu. Dolomatov. – Ufa: CNTI, 1989. – 47 s.
4. Dolomatov M.Yu. Fragmenty teorii real'nogo veshhestva: ot uglevodородnyh sistem k galaktikam [Tekst] / M.Yu. Dolomatov. – M.: Himija, 2005. – 208 s.
5. Dolomatov M.Yu. Electron Phenomenological Spectroscopy and Application in Investigating Complex Substances in Chemistry, Nanotechnology and Medicine [Text] / M.Yu. Dolomatov, G.R. Mukaeva D.O., Shulyakovskaya // Journal of Materials Science and Engineering B. – 2013. – Vol. 3. – № 3. – P. 183–199.
6. Kalashchenko N.V. Jelektronnaja fenomenologicheskaja spektroskopija krovi cheloveka v norme i patologii [Tekst] / N.V. Kalashchenko, M.Yu. Dolomatov, S.V. Dezortsev. – M.: Inter, 2010. – 256 s.
7. Dolomatov M.Yu. Spectroscopic phenomenological estimation of the functional state of the human organism in conditions of environment [Text] / M.Yu. Dolomatov, N.V. Kalashchenko, S.V. Dezortsev, T.R. Araslanov // International Journal of Clinical Medicine. – 2011. – Vol. 2. – № 2. – P. 79–82.
8. Dolomatov M.Yu. Integral'nye kvantovye parametry jelektronnyh spektrov krovi cheloveka kak mera informacii o sostojanii zdorov'ja [Tekst] / M.Yu. Dolomatov, T.R. Araslanov, N.V. Kalashchenko, S.V. Dezortsev // Biomedicinskaja radiojelektronika. Biomedicinskie tehnologii i radiojelektronika. – 2012 – № 5. – S. 14–19.



**Шуляковская Д.О.**  
**Shulyakovskaya D.O.**

заместитель за-  
ведующего научно-  
исследовательской  
лабораторией «Физика  
электронных процессов  
и наноматериалов»  
ФГБОУ ВПО «Уфимский  
государственный уни-  
верситет экономики и  
сервиса», Россия, г. Уфа



**Доломатов М.Ю.**  
**Dolomatov M.Yu.**

кандидат технических  
наук, доктор химических  
наук, профессор кафедры  
«Физика» ФГБОУ ВПО  
«Уфимский государственный  
университет экономи-  
ки и сервиса», заведующий  
научно-исследовательской  
лабораторией «Физика  
электронных процессов и  
наноматериалов»,  
Россия, г. Уфа



**Доломатова М.М.**  
**Dolomatova M.M.**

студентка  
ФГБОУ ВПО «Уфимский  
государственный уни-  
верситет экономики и  
сервиса», Россия, г. Уфа



**Еремина С.А.**  
**Eremina S.A.**

студентка  
ФГБОУ ВПО «Уфимский  
государственный уни-  
верситет экономики и  
сервиса», Россия, г. Уфа

УДК 535.333, 539.19

## МЕТОД ФОТОИЗОБРАЖЕНИЙ В ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ СИСТЕМ

В связи с ростом объемов добычи, транспорта, хранения и переработки нефти и нефтепродуктов серьезной проблемой является разработка системы мониторинга углеводородных загрязнений окружающей среды, а также системы технического контроля производства на нефтеперерабатывающих и нефтехимических комплексах. На сегодняшний день разработаны информационные системы контроля, которые включают в себя базы данных и базы знаний в соответствующей области, в том числе новые методики технического контроля. К числу новых эффективных методик мониторинга и контроля относятся методики, основанные на корреляциях «спектр – свойства» и «цвет – свойства», которые входят в электронную феноменологическую спектроскопию (ЭФС).

Недостатки методов оценки физико-химических свойств многокомпонентных углеводородных систем, основанных на принципе «спектр – свойства» и «цвет – свойства», заключаются в необходимости использования спектрофотометра и временных затратах на регистрацию спектра в видимой области электромагнитного спектра (380–780 нм).

В данной работе представлен новый способ определения физико-химических свойств, не требующий спектрометра и основанный на методе фотоизображений, а также созданные на его основе программный продукт и схема информационной системы контроля физико-химических свойств многокомпонентных углеводородных систем на производстве. В основе метода лежит определение цветовой характеристики растворов образцов в системе МКО sRGB по фотографическим изображениям с обработкой графической информации на ЭВМ без использования приборов для регистрации электронных спектров поглощения. Совокупность свойств определяется по интегральному показателю поглощения, рассчитанному по полученной цветовой характеристике и известной концентрации раствора. При этом время определения совокупности физико-химических свойств сокращается до 5–10 минут (включая приготовление раствора). Определение свойств традиционными способами занимает время от 8 часов до нескольких суток.

Метод фотоизображений может быть применим для исследования физико-химических свойств нефтей и нефтепродуктов на нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятиях, для контроля свойств нефтей в процессе разработки месторождений, для дистанционного исследования органического вещества в системах спутникового мониторинга окружающей среды, а также для дистанционного исследования космического вещества.

*Ключевые слова:* дистанционное исследование, информационная система, многокомпонентные углеводородные системы, нефтедобыча, нефтепереработка, нефтехимия, нефть, технический контроль производства, фотоизображение, физико-химические свойства, цветовые характеристики, электронная феноменологическая спектроскопия, электронный спектр, экологический мониторинг.

## METHOD OF PHOTOGRAPHIC IMAGES IN INFORMATION SYSTEM OF MULTI-COMPONENT HYDROCARBON SYSTEMS PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES CONTROL

The development of hydrocarbon pollution environmental monitoring and technical control systems in petroleum and petrochemical industries is a serious problem due to growth of oil and oil products production, transport, storage and refining. Today, information monitoring systems which include databases and knowledge bases in the corresponding area, including new technical control methods are developed. The methods based on "spectrum-properties" and "color-properties" correlations which enter electronic phenomenological spectroscopy belong to number of new effective techniques of monitoring and control.

Disadvantages of methods of multicomponent hydrocarbon systems physicochemical properties definition, founded on the principle "spectrum-properties" and "color-properties", consist in need of use of spectrophotometer and time expenditure on spectrum registration in visible area (380–780 nm).

In this work the new method of physicochemical properties determination, not demanding a spectrometer and based on the method of photographic images, is presented. The software product created on its basis and the scheme of the information system of industry control of multicomponent hydrocarbon systems physicochemical properties are also presented.

Method of photographic images is based on the definition of the color characteristic of samples solutions in sRGB colorimetric system according to photographic images with processing of graphic information on the computer without use of devices for registration of electronic absorption spectra. Set of properties is determined by the integrated absorption indicator calculated on the received color characteristic and known concentration of solution. Thus time of determination of set of physicochemical properties is reduced till 5–10 minutes (including solution preparation). It takes time from 8 hours to several days for properties determination by traditional ways.

The method of photographic images can be applicable for research of oil and oil products physicochemical properties at the petroleum and petrochemical industries, for oil properties control in the course of development of fields, for remote research of organic substance in systems of satellite monitoring of environment, and also for remote research of space substance.

*Key words:* color characteristics, electron absorption spectrum, electronic phenomenological spectroscopy, environmental monitoring, information system, multi-component hydrocarbon systems, oil, photography, petroleum industry, petrochemical industry, physicochemical properties, remote investigation.

В связи с ростом объемов добычи, транспорта, хранения и переработки нефти и нефтепродуктов серьезной проблемой является разработка системы мониторинга углеводородных загрязнений окружающей среды, а также системы технического контроля производства на нефтеперерабатывающих и нефтехимических комплексах. На сегодняшний день разработаны информационные системы (ИС) контроля, которые включают в себя базы данных и базы знаний в соответствующей области, в том

числе новые методики технического контроля. К числу новых эффективных методик мониторинга и контроля относятся методики, основанные на корреляциях «спектр – свойства» и «цвет – свойства», которые входят в электронную феноменологическую спектроскопию.

В рамках ЭФС разработан новый экспрессный метод оценки физико-химических свойств (ФХС) многокомпонентных углеводородных систем (МУВС) по фотоизображениям растворов. Поэтому

разработка схемы ИС технического контроля и программного обеспечения, основанных на описанном новом калориметрическом методе, крайне актуальна.

Целью работы является разработка подсистемы контроля ФХС МУВС, основанной на методе фотоизображений, в ИС контроля на производстве.

Экспериментальной основой метода фотоизображений является ЭФС [1], разработанная в конце 80-х и первой половине 90-х годов М.Ю. Доломатовым [2, 3]. ЭФС является новым направлением в электронной спектроскопии, которое решает обратную задачу спектроскопии – определение электронных свойств вещества, не выделяя при этом отдельных характеристических полос спектра. Усредненную информацию об электронной структуре в спектрах может дать интегральная сила осциллятора  $\theta$  (ИСО), которая представляет квантовый континуум и является суммой сил осциллятора отдельных частиц. В качестве ИСО можно использовать интегральный показатель поглощения, физический смысл которого – непрерывный континуум электронных состояний системы, поглощающей электромагнитное излучение. Направления применения ЭФС [4] – нефтехимия, химическая технология, нанотехнологии, медицина, криминалистика, экологический мониторинг и др.

В основе определения свойств МУВС методами ЭФС – корреляции «спектр – свойства» и «цвет – свойства». В работах [2, 3, 5] была показана возможность определения значительного числа ФХС по корреляциям «спектр – свойства»:

$$Z = \alpha_1 + \alpha_2 \cdot \theta_{l_{gc}}, \text{ где } \theta_{l_{gc}} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} Lg \varepsilon(\lambda) d\lambda, \quad (1)$$

где  $Z$  – физико-химическое свойство МУВС, например, относительная плотность, среднечисловая молекулярная масса, коксуемость по Конрадсону, энергия активации вязкого течения, характеристики реакционной способности и т. д.;  $\theta_{l_{gc}}$  – логарифмический интегральный показатель поглощения, рассчитываемый по электронным абсорбционным спектрам поглощения излучения как площадь под кривой поглощения, нм;  $\alpha_1, \alpha_2$  – эмпирические коэффициенты, зависящие от исследуемого физико-химического свойства и класса МУВС;  $\varepsilon(\lambda)$  – молярный коэффициент поглощения при длине волны  $\lambda$ ,  $10^{-1} \cdot \text{м}^2/\text{моль}$ ;  $\lambda_1, \lambda_2$  – длины волн, определяющие границы спектра поглощения в УФ, видимой и ближней ИК областях, 180 и 1200 нм соответственно.

В работах [6, 7] было показано, что аналогичное определение свойств можно выполнить по цветовым характеристикам (ЦХ):

$$Z = \beta_1 + \beta_2 \cdot q, \quad (2)$$

где  $Z$  – физико-химическое свойство МУВС;  $q$  – цветовая характеристика оптически прозрачного раствора МУВС;  $\beta_1, \beta_2$  – эмпирические коэффициенты, зависящие от типа цветовой характеристики, стандартного источника света и класса МУВС.

Следует отметить, что описанные методы были разработаны для различных классов МУВС в отдельности. Этот недостаток был преодолен в работе [8], в которой удалось получить улучшенные универсальные зависимости для широкого диапазона МУВС: для нефтей, остаточных и окисленных битумов, гудронов, мазутов, нефтяных остатков термических процессов, бензинов и газойлей термических процессов, асфальтов деасфальтизации, асфальтенов и смол, а также для группы углеводородов нефти и каменноугольной смолы. Применительно к этим системам была исследована совокупность ФХС: относительная плотность, средняя числовая молекулярная масса, коксуемость по Конрадсону, энергия активации вязкого течения и др.

Общим недостатком улучшенных методов является зависимость от аппаратуры – электронных спектрометров. К недостаткам метода оценки ФХС по ЦХ также можно отнести применимость для растворов только строго определенной концентрации и необходимость в расчете совокупности ЦХ в нескольких стандартных источниках излучения.

Целью разработанного метода фотоизображений [9] являлось упрощение и повышение производительности способа определения ФХС МУВС. Объектами исследования в предлагаемом методе могут быть: различные нефти, природные и синтетизированные битумы, битуминозные материалы, высококипящие и средние нефтяные фракции, бензины и газойли термических процессов, асфальтосмолистые вещества, продукты процессов пиролиза углеводородов и процесса Фишера – Тропша. Кроме того, метод применим для групповых компонентов нефти и каменноугольной смолы. Поставленная цель достигается за счет того, что предлагаемый способ имеет повышенную экспрессность, широкий диапазон классов исследуемых МУВС, расширенные возможности по исследованию веществ. Способ предусматривает упрощение технологии в связи с упрощением используемой аппаратуры.

Сущность метода фотоизображений [9] заключается в том, что определение физико-химических свойств: относительной плотности, средней числовой молекулярной массы, коксуемости по Конрадсону, энергии активации вязкого течения МУВС – производится путем определения цветовой характеристики растворов образцов в системе МКО sRGB по фотоизображениям. Далее по цветовой

характеристике и известной концентрации раствора определяется интегральный показатель поглощения вещества, который линейно коррелирует с определяемыми ФХС. При этом отсутствует необходимость в каком-либо специальном лабораторном оборудовании.

Предлагаемый способ осуществляется следующим образом. Небольшую навеску исследуемой МУВС растворяют в оптически прозрачном растворителе. Полученный раствор должен быть оптически прозрачным в диапазоне 380–780 нм. Раствор наливают в прозрачную кювету и получают фотоизображение с источниками излучения: дневным

солнечным светом и люминесцентной лампой. Фотографирование может производиться цифровым фотоаппаратом с разрешением 10 мегапикселей (размер матрицы 3872×2592 пиксела) и более.

Первично получают координаты цвета ( $R_{sRGB}$ ,  $G_{sRGB}$ ,  $B_{sRGB}$ ) исследуемого раствора в колориметрической системе sRGB путем обработки фотоизображения в графическом редакторе.

Рассчитывают координаты цвета фотоизображения  $X_{photo}$  или  $Y_{photo}$  в колориметрической системе XYZ с использованием известного алгебраического преобразования:

$$q_{XYZphoto} = \begin{bmatrix} X_{photo} \\ Y_{photo} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,4124564 & 0,3575761 & 0,1804375 \\ 0,2126729 & 0,7151522 & 0,0721750 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R_{sRGB} \\ G_{sRGB} \\ B_{sRGB} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где  $q_{XYZphoto}$  – цветовая характеристика фотоизображения раствора образца в колориметрической системе XYZ:  $X_{photo}$  или  $Y_{photo}$ ;  $R_{sRGB}$ ,  $G_{sRGB}$ ,  $B_{sRGB}$  – координаты соответственно красного, зеленого и синего цветов в колориметрической системе sRGB, определяемые по фотоизображению.

Рассчитывают координаты цвета (X, Y) исследуемой МУВС для стандартного источника излучения D65 CIE. Для этого полученную координату цвета фотоизображения  $X_{photo}$  или  $Y_{photo}$  корректируют по зависимостям, учитывающим как различие освещения при фотосъемке от стандартного, так и особенности фотоаппаратуры:

$$q_{XYZ} = C_0 + C_1 \cdot q_{XYZphoto}, \quad (4)$$

где  $q_{XYZ}$  – цветовая характеристика, рассчитанная по спектрам поглощения и зависящая от стандартного источника D65 CIE;  $q_{XYZphoto}$  – цветовая характеристика, определенная по фотографическому изображению;  $C_0$ ,  $C_1$  – константы, зависящие от стандартного источника, особенностей фотоаппаратуры и условий съятия фотоизображений, полученные по модельным соединениям – красителям (табл. 1).

Коррекционная зависимость (4) была построена путем изучения связи фотоизображений и данных электронных абсорбционных спектров растворов красителей (рис. 1).

Таблица 1

**Статистические характеристики связи ЦХ растворов красителей, рассчитанных по электронным спектрам и определенных по фотоизображениям**

ЦХ (по спектру), $q_{XYZ}$	ЦХ (по фотоизображению), $q_{XYZphoto}$	Источник излучения*	Коэффициенты зависимости (4)		Коэффициент корреляции	Коэффициент вариации, %	Стандартное отклонение
			$C_1$	$C_0$			
$X^D$	$X_{photo}$	№ 1	0,6769	11,3354	0,97	5,94	4,73
$Y^D$	$Y_{photo}$	№ 1	0,6449	13,1002	0,97	6,08	4,89
$X^D$	$X_{photo}$	№ 2	0,6497	9,2205	0,98	4,46	3,55
$Y^D$	$Y_{photo}$	№ 2	0,6184	10,5108	0,99	3,84	3,09

\* Источник № 1 – дневной солнечный свет; источник № 2 – люминесцентная лампа

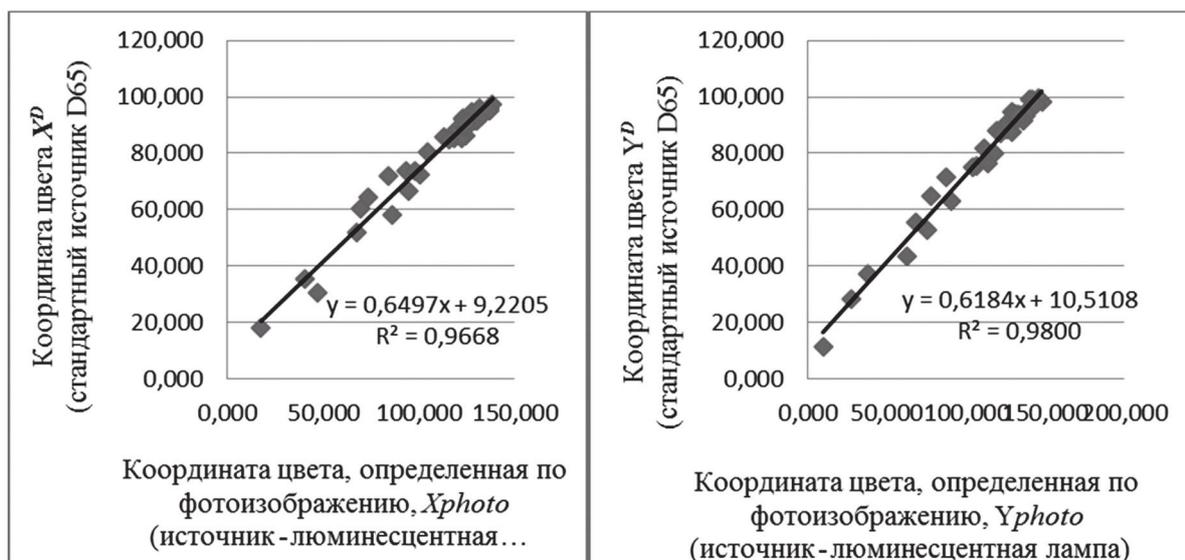


Рис. 1. Зависимости координат цвета растворов красителей, рассчитанных по спектрам и определенных по фотографиям

Определяется интегральный показатель поглощения по ЦХ по корреляционным зависимостям (рис. 2):

$$\Theta_k = D_0 + D_1 \cdot \ln(q_{XYZ}),$$

где  $D_0 = A_0 \cdot c^{A_1}$ ,  $D_1 = B_0 \cdot c^{B_1}$ , (5)

где  $\Theta_k$  – интегральный показатель поглощения для видимого диапазона электромагнитного спектра 380–780 нм;  $q_{XYZ}$  – цветовая характеристика раствора  $X^D$  или  $Y^D$  образца МУВС в колориметрической системе XYZ, скорректированная на стандартный источник излучения D65 по (4);  $D_0$ ,  $D_1$  – коэффициенты, являющиеся функциями концентрации

растворов и зависящие от типа ЦХ и стандартного источника излучения, в котором данная ЦХ рассчитана;  $A_0$ ,  $A_1$ ,  $B_0$ ,  $B_1$  – коэффициенты, зависящие от типа цветовой характеристики и стандартного источника излучения (табл. 2);  $c$  – концентрация раствора образца МУВС.

Зависимость (5) является уточненной, т. к. известные ранее линейные зависимости ЦХ и интегрального показателя поглощения были расширены на большое количество МУВС и приняли логарифмический вид, как видно из рисунка 2.

Таблица 2

**Коэффициенты зависимости интегрального показателя поглощения и некоторых ЦХ**

ЦХ (по спектру), $q_{XYZ}$	Коэффициенты зависимости (5)				Коэф. корреляции
	$A_0$	$A_1$	$B_0$	$B_1$	
$X^D$ (стандартный источник D65)	2838,2579	-0,9292	-620,0630	-0,9287	1,00
$Y^D$ (стандартный источник D65)	2374,3760	-0,9923	-512,1944	-0,9938	1,00

Определяют ФХС исследуемого образца МУВС по рассчитанному интегральному показателю поглощения  $\Theta_k$  по зависимости:

$$Z = E_0 + E_1 \cdot \Theta_k, \quad (6)$$

где  $Z$  – одно из физико-химических свойств: от-

носительная плотность, средняя числовая молекулярная масса, коксумость по Конрадсону или энергия активации вязкого течения;  $E_0, E_1$  – константы, определяемые исследуемым свойством, (см. табл. 3).

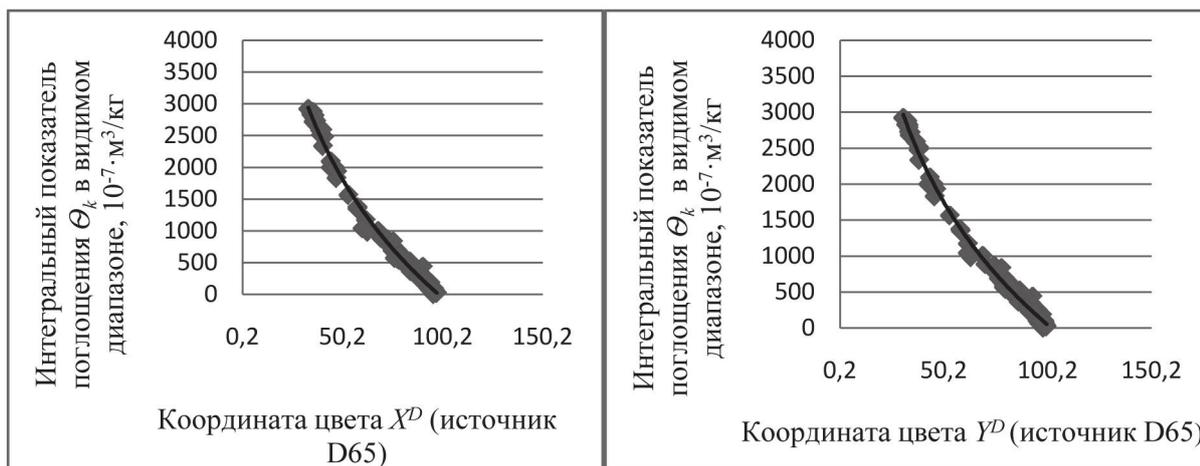


Рис. 2. Зависимость координат цвета и интегрального показателя поглощения растворов различных МУВС с концентрацией  $c = 0,2$  г/л

Таблица 3

**Коэффициенты линейной корреляционной зависимости (6) совокупности ФХС МУВС и интегрального показателя поглощения**

Физико-химическое свойство	Коэффициент			
	Зависимость (6)		Корреляции	Вариации, %
	$E_1$	$E_0$		
Относительная плотность	0,0001	0,9250	0,98	1,20
Средняя числовая молекулярная масса, г/моль	0,9843	289,4033	0,99	11,73
Коксуемость по Конрадсону, % мас.	0,0316	1,4990	1,00	5,86
Энергия активации вязкого течения, кДж/моль	0,0752	-1,6880	1,00	7,77

Преимущества метода фотоизображений перед стандартными методами заключаются в следующем:

1. Для определения совокупности ФХС достаточно одного фотографического изображения и одной цветовой характеристики.
2. Упрощается аппаратура, так как специальные лабораторные приборы (например, электронный спектрометр) заменены фотоаппаратом.
3. Сокращается время определения совокупности ФХС до 5–10 минут (включая приготовление раствора).
4. Подходит для растворов любых концентраций, при которых оптическая плотность растворов не превышает значения 3,5–4,0.
5. Способ подходит как для жидких, так и для твердых многокомпонентных углеводородных систем, например, нефтяных асфальтенов и смол.
6. Использование небольшого количества ве-

щества (порядка 10 мг) для определения совокупности ФХС.

На основе описанного метода фотоизображений разработана принципиальная схема подсистемы ИС контроля ФХС МУВС на производстве (рис. 3). Согласно представленной блок-схеме способ контроля ФХС по фотоизображениям на производстве состоит из следующих этапов:

- отбор небольшого количества МУВС с установки нефтехимпереработки через определенные интервалы времени и приготовление оптически прозрачных растворов;
- получение фотоизображения раствора в специальной камере с последующей цифровой обработкой фотоизображения в графическом редакторе;
- автоматическое занесение данных в специальную программу [10] для оценки ФХС МУВС на ЭВМ либо координат цвета (R, G, B), программа производит корректировку ЦХ на стандартные ис-

точники с применением коррекционных зависимостей, построенных на модельных объектах – красителях;

– оценка ФХС исследуемого образца по интегральному показателю, который определяется по ЦХ;

– производится оценка отклонения ФХС образца от стандарта и ТУ с использованием базы данных по ФХС нефтяных дисперсных систем и последующее предоставление технологам данных по ФХС исследуемой МУВС.

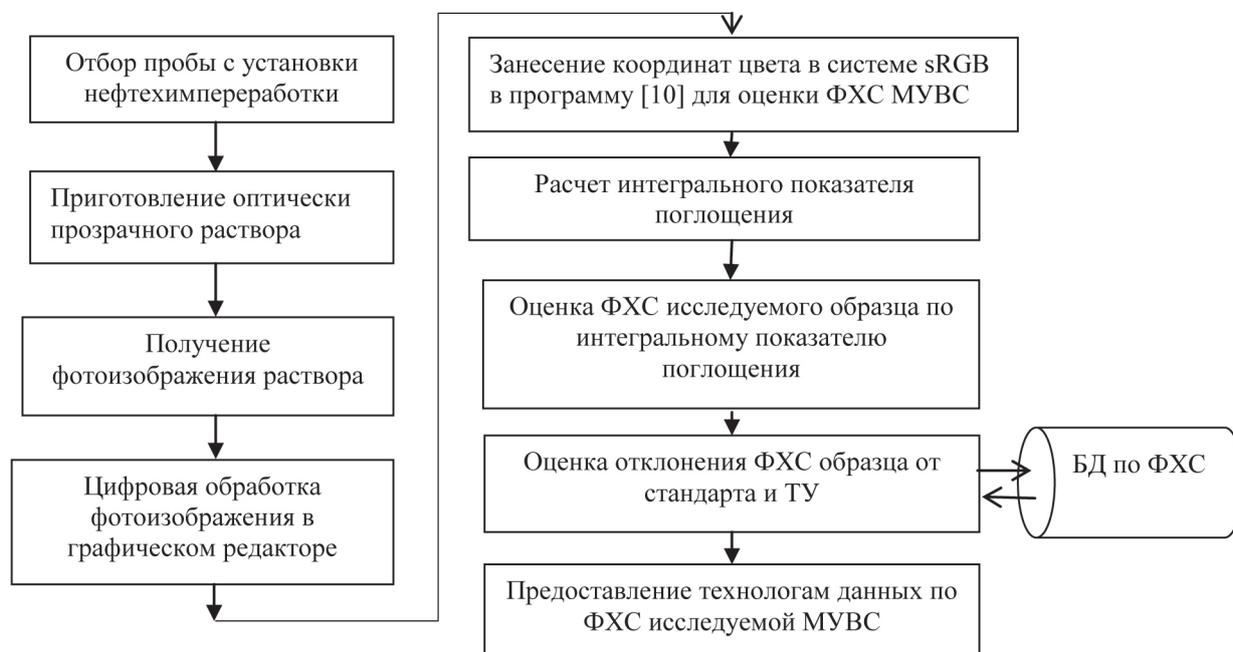


Рис. 3. Блок-схема контроля ФХС МУВС по фотоизображениям растворов

Для реализации приведенной схемы контроля и автоматизации определения ФХС МУВС по фотоизображениям растворов создана программа [10]. Результатом работы программы является вывод значений ФХС: относительной плотности, средней числовой молекулярной массы, коксуемости по Конрадсону, энергии активации вязкого течения, температуры начала деструкции, эффективно-го потенциала ионизации и сродства к электрону, ширины запрещенной зоны. Области применения – контроль качества сырья и продуктов нефтехимпереработки, экологический мониторинг углеводородных загрязнений воды и почвы. Расчет ФХС реализован путем определения интегрального показателя поглощения по цветовым характеристикам фотоизображений. Данный программный продукт написан на языке программирования Microsoft Visual Basic for Applications.

Таким образом, разработанная подсистема информационной системы контроля ФХС МУВС на нефтеперерабатывающих и нефтехимических производствах, основанная на методе фотоизображений, отвечает задачам оперативного контроля производств и позволяет быстро и эффективно

определять совокупность ФХС МУВС, а также может быть применима для экологического мониторинга углеводородных загрязнений. Кроме того, метод фотоизображений может быть применим для контроля процессов разработки нефтяных месторождений, транспорта и хранения нефти и нефтепродуктов.

Отметим, что метод фотоизображений может быть распространен на любое ФХС. Не исключена перспектива использования метода в системах спутникового мониторинга и космического дистанционного исследования органического вещества в гигантских молекулярных облаках, космических телах, поверхностях планет, метеоритах, кометах и т. п.

#### Список литературы

1. Доломатов М.Ю. Фрагменты теории реального вещества: от углеводородных систем к галактикам [Текст] / М.Ю. Доломатов. – М.: Химия, 2005. – 208 с.
2. Доломатов М.Ю. Применение электронной спектроскопии в физикохимии многокомпонентных стохастических и сложных молекулярных си-

стем [Текст] / М.Ю. Доломатов. – Уфа: ЦНТИ, 1989. – 47 с.

3. *Долломатов М.Ю.* Применение электронной феноменологической спектроскопии для идентификации и исследования сложных органических систем [Текст] / М.Ю. Долломатов // Химия и технология топлив и масел. – 1995. – № 1. – С. 29–32.

4. *Dolomatov M.Yu.* Electron Phenomenological Spectroscopy and Application in Investigating Complex Substances in Chemistry, Nanotechnology and Medicine [Text] / M.Yu. Dolomatov, G.R. Mukaeva, D.O. Shulyakovskaya // Journal of Materials Science and Engineering B. – 2013. – Vol. 3. – № 3. – P. 183–199.

5. *Долломатов М.Ю.* Применение феноменологической электронной спектроскопии для исследования физико-химических свойств молекулярных систем [Текст] / М.Ю. Долломатов, Г.Р. Мукаева // Нефтепереработка и нефтехимия. – 1995. – № 5. – С. 22–26.

6. *Долломатов М.Ю.* Цветовые характеристики углеводородных нефтехимических систем [Текст] / М.Ю. Долломатов, О.Т. Кыдыргычова, Л.А. Долломатова, В.В. Карташева // Журнал прикладной спектроскопии. – 2000. – Т. 67. – № 3. – С. 387–389.

7. *Долломатов М.Ю.* Взаимосвязь физико-химических и цветовых свойств углеводородных систем в колориметрических системах RGB и XYZ [Текст] / М.Ю. Долломатов, Г.У. Ярмухаметова, Л.А. Долломатова // Прикладная физика. – 2008. – № 4. – С. 43–49.

8. *Долломатов М.Ю.* Оценка физико-химических свойств многокомпонентных углеводородных систем по интегральным характеристикам электронных спектров поглощения [Текст] / М.Ю. Долломатов, Д.О. Шуляковская // Химия и технология топлив и масел. – 2013. – № 2. – С. 49–52.

9. *Патент РФ Долломатов М.Ю., Шуляковская Д.О., Долломатова М.М.* Способ определения физико-химических свойств многокомпонентных углеводородных систем // Заявлено 15.11.2013, № 2013151041.

10. *Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.* Программа расчета

физико-химических свойств нефтей и высококипящих нефтяных фракций по фотоизображениям растворов / М.Ю. Долломатов, Д.О. Шуляковская / Заявка № 2014610262 от 09.01.2014 г.

#### References

1. *Dolomatov M.Ju.* Fragmenty teorii real'nogo veshstva: ot uglevodorodnyh sistem k galaktikam [Tekst] / M.Ju. Dolomatov. – M.: Himija, 2005. – 208 s.

2. *Dolomatov M.Ju.* Primenenie jelektronnoj spektroskopii v fiziko-himii mnogokomponentnyh stohasticheskikh i slozhnyh molekulyarnykh sistem [Tekst] / M.Ju. Dolomatov. – Ufa: CNTI, 1989. – 47 s.

3. *Dolomatov M.Ju.* Primenenie jelektronnoj fenomenologicheskoy spektroskopii dlja identifikacii i issledovanija slozhnykh organicheskikh sistem [Tekst] / M.Ju. Dolomatov // Himija i tehnologija topliv i masel. – 1995. – № 1. – S. 29–32.

4. *Dolomatov M.Yu.* Electron Phenomenological Spectroscopy and Application in Investigating Complex Substances in Chemistry, Nanotechnology and Medicine [Text] / M.Yu. Dolomatov, G.R. Mukaeva, D.O. Shulyakovskaya // Journal of Materials Science and Engineering B. – 2013. – Vol. 3. – № 3. – P. 183–199.

5. *Dolomatov M.Ju.* Primenenie fenomenologicheskoy jelektronnoj spektroskopii dlja issledovanija fiziko-himicheskikh svojstv molekulyarnykh sistem [Tekst] / M.Ju. Dolomatov, G.R. Mukaeva // Neftepererabotka i neftehimija. – 1995. – № 5. – S. 22–26.

6. *Dolomatov M.Ju.* Cvetovye harakteristiki uglevodorodnykh neftehimicheskikh sistem [Tekst] / M.Ju. Dolomatov, O.T. Kidyrgychova, L.A. Dolomatova, V.V. Kartasheva // Zhurnal prikladnoj spektroskopii. – 2000. – Т. 67. – № 3. – S. 387–389.

7. *Dolomatov M.Ju.* Vzaimosvjaz' fiziko-himicheskikh i cvetovykh svojstv uglevodorodnykh sistem v kolorimetriceskikh sistemah RGB i XYZ [Tekst] / M.Ju. Dolomatov, G.U. Jar-muhametova, L.A. Dolomatova // Prikladnaja fizika. – 2008. – № 4. – S. 43–49.

8. *Dolomatov M.Ju.* Ocenka fiziko-himicheskikh svojstv mnogokomponentnykh uglevodorodnykh sistem po integral'nykh harakteristikam jelektronnykh spektrov pogloshhenija [Tekst] / M.Ju. Dolomatov, D.O. Shuljakovskaja // Himija i tehnologija topliv i masel. – 2013. – № 2. – S. 49–52.

9. *Patent RF Dolomatov M.Ju., Shuljakovskaja D.O., Dolomatova M.M.* Sposob opredelenija fiziko-himicheskikh svojstv mnogokomponentnykh uglevodorodnykh sistem // Zajavleno 15.11.2013, № 2013151041.

10. *Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja JeVM.* Programma rascheta fiziko-himicheskikh svojstv neftej i vysokokipjashhih neftyanykh frakcij po fotoizobrazhenijam rastvorov / M.Ju. Dolomatov, D.O. Shuljakovskaja / Zajavka № 2014610262 ot 09.01.2014 g.

## ОБ АВТОРАХ

*Акчурин Салават Вагимович*, канд. техн. наук, ассистент кафедры «Электрические машины и электрооборудование», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Башкирский государственный аграрный университет», e-mail: salavat-av@yandex.ru, Россия, г. Уфа.

*Андреев Леонид Николаевич*, канд. техн. наук, доцент кафедры «Энергообеспечение сельского хозяйства», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», e-mail: alextmn86@mail.ru, Россия, г. Тюмень.

*Антонов Дмитрий*, магистр, научный сотрудник, Энергетический институт, Рижский технический университет, e-mail: dantonov@eef.rtu.lv, Латвия, г. Рига.

*Арасланов Тимур Рамилевич*, аспирант кафедры «Физика», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уфимский государственный университет экономики и сервиса», e-mail: realitim@yandex.ru, Россия, г. Уфа.

*Артюшенко Владимир Михайлович*, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Информационные технологии и управляющие системы», Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Московской области «Финансово-технологическая академия», e-mail: artuschenko@mail.ru, Россия, г. Королев.

*Ахмеджанов Фарит Маратович*, канд. техн. наук, доцент кафедры «Информационно-управляющие системы», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уфимский государственный университет экономики и сервиса», e-mail: farakhm@yandex.ru, Россия, г. Уфа.

*Белов Олег Александрович*, канд. техн. наук, доцент кафедры «Электрооборудование и радиооборудование судов», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Камчатский государственный технический университет», e-mail: boa-1@mail.ru, Россия, г. Петропавловск-Камчатский.

*Берг Олег Игоревич*, аспирант кафедры «Информационно-измерительная техника», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уфимский государственный авиационный технический университет», e-mail: oiberg@bk.ru, Россия, г. Уфа.

*Биела-Даулидовича Эдите*, магистр, научный сотрудник, Энергетический институт, Рижский технический университет, e-mail: eef@rtu.lv, Латвия, г. Рига.

*Возмилов Александр Григорьевич*, д-р техн. наук, профессор кафедры «Энергообеспечение сельского хозяйства», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», e-mail: vozmiag44@rambler.ru, Россия, г. Тюмень.

*Воронин Владимир Викторович*, д-р техн. наук, профессор, декан факультета автоматизации и информационных технологий, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тихоокеанский государственный университет», e-mail: voronin@ais.khstu.ru, Россия, г. Хабаровск.

*Давыдов Олег Андреевич*, аспирант, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тихоокеанский государственный университет», e-mail: olegmen2005@yandex.ru, Россия, г. Хабаровск.

*Дебелов Владимир Валентинович*, аспирант кафедры «Современное естествознание», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Поволжский государственный университет сервиса», e-mail: kozlovskiy-76@mail.ru, Россия, г. Тольятти.

*Дмитриев Алексей Анатольевич*, аспирант кафедры «Энергообеспечение сельского хозяйства», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», e-mail: alextmn86@mail.ru, Россия, г. Тюмень.

*Долгицер Александр*, д-р техн. наук, профессор, Энергетический институт, Рижский технический университет, e-mail: eef@rtu.lv, Латвия, г. Рига.

*Доломатов Михаил Юрьевич*, канд. техн. наук, д-р хим. наук, профессор кафедры «Физика», заведующий научно-исследовательской лабораторией «Физика электронных процессов и наноматериалов», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уфимский государственный университет экономики и сервиса», e-mail: dolomatov@gmail.com, Россия, г. Уфа.

*Доломатова Милана Михайловна*, студентка, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уфимский государственный университет экономики и сервиса», e-mail: milana.1992@mail.ru, Россия, г. Уфа.

*Еремина Светлана Андреевна*, студентка, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уфимский государственный университет экономики и сервиса», e-mail: egyptina.svetlana26@yandex.ru, Россия, г. Уфа.

*Ефремова Оксана Александровна*, канд. техн. наук, доцент кафедры «Геоинформационные системы», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уфимский государственный авиационный технический университет», e-mail: efremova-oa@yandex.ru, Россия, г. Уфа.

*Жалостиба Диана*, д-р техн. наук, доцент, Энергетический институт, Рижский технический университет, e-mail: eef@rtu.lv, Латвия, г. Рига.

*Жеребцов Борис Викторович*, преподаватель кафедры «Энергообеспечение сельского хозяйства», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», e-mail: alextmn86@mail.ru, Россия, г. Тюмень.

*Ивашкин Олег Николаевич*, магистрант кафедры «Электротехника и электрооборудование предприятий», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет», e-mail: ShabanovVA1@yandex.ru, Россия, г. Уфа.

*Имильбаев Рамис Ринатович*, аспирант кафедры «Информационно-управляющие системы», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уфимский государственный университет экономики и сервиса», e-mail: foraspi@yandex.ru, Россия, г. Уфа.

*Калашченко Николай Васильевич*, канд. мед. наук, доцент кафедры «Терапия и общая врачебная практика с курсом гериатрии ИПО», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Башкирский государственный медицинский университет», e-mail: realitim@yandex.ru, Россия, г. Уфа.

*Козловский Владимир Николаевич*, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Современное естествознание», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Поволжский государственный университет сервиса», e-mail: kozlovskiy-76@mail.ru, Россия, г. Тольятти.

*Корчагин Василий Аркадьевич*, магистрант кафедры «Информационные технологии и управляющие системы», Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Московской области «Финансово-технологическая академия», e-mail: vkorchagin@mail.ru, Россия, г. Королев.

*Крымский Виктор Григорьевич*, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Информационно-управляющие системы», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уфимский государственный университет экономики и сервиса», e-mail: vikrymsky@mail.ru, Россия, г. Уфа.

*Кушнир Валентина Геннадьевна*, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Машины, тракторы и автомобили» Костанайского государственного университета им. А. Байтурсынова, e-mail: valkush@mail.ru, Республика Казахстан, г. Костанай.

*Линенко Андрей Владимирович*, канд. техн. наук, доцент, декан энергетического факультета, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Башкирский государственный аграрный университет», e-mail: linenko-bsau@yandex.ru, Россия, г. Уфа.

*Мичков Евгений Викторович*, студент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уфимский государственный университет экономики и сервиса», e-mail: svshap@ufacom.ru, Россия, г. Уфа.

*Павлов Константин Александрович*, магистр техн. наук, старший преподаватель кафедры «Стандартизация,

метрология и информационные системы», Белорусский национальный технический университет, e-mail: Pavel\_Serenkov@mail.ru, Республика Беларусь, г. Минск.

*Павлов Сергей Владимирович*, д-р техн. наук, профессор кафедры «Геоинформационные системы», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уфимский государственный авиационный технический университет», e-mail: psvgis@mail.ru, Россия, г. Уфа.

*Парфёнкин Александр Иванович*, доцент кафедры «Электрооборудование и радиооборудование судов», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Камчатский государственный технический университет», e-mail: boa-1@mail.ru, Россия, г. Петропавловск-Камчатский.

*Пашкин Василий Валериевич*, аспирант кафедры «Электротехника и электрооборудование предприятий», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет», e-mail: v-pashkin@mail.ru, Россия, г. Уфа.

*Пьянов Михаил Александрович*, канд. техн. наук, доцент кафедры «Современное естествознание», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Поволжский государственный университет сервиса», e-mail: kozlovskiy-76@mail.ru, Россия, г. Тольятти.

*Савкова Евгения Николаевна*, канд. техн. наук, доцент кафедры «Стандартизация, метрология и информационные системы», Белорусский национальный технический университет, e-mail: Pavel\_Serenkov@mail.ru, Республика Беларусь г. Минск.

*Садыков Марсель Анварович*, директор ООО «ПОЛИТЕХ», e-mail: svshap@ufacom.ru, Россия, г. Уфа.

*Саенко Алексей Геннадиевич*, канд. техн. наук, доцент кафедры «Физика», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уфимский государственный университет экономики и сервиса», e-mail: svshap@ufacom.ru, Россия, г. Уфа.

*Саухатс Антанс*, д-р техн. наук, профессор, директор Энергетического института, Рижский технический университет, e-mail: eef@rtu.lv, Латвия, г. Рига.

*Семина Ирина Александровна*, старший преподаватель кафедры «Электрическая техника», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Омский государственный технический университет», e-mail: semina\_ia@mail.ru, Россия, г. Омск.

*Серенков Павел Степанович*, д-р техн. наук, зав. кафедрой «Стандартизация, метрология и информационные системы», Белорусский национальный технический университет, e-mail: Pavel\_Serenkov@mail.ru, Республика Беларусь, г. Минск.

*Соколова Анна Васильевна*, аспирант кафедры «Геоинформационные системы», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уфимский государственный авиационный технический университет», e-mail: beldyanova@yandex.ru, Россия, г. Уфа.

*Строганов Владимир Иванович*, канд. техн. наук, проректор по социальным вопросам, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет», e-mail:kozlovskiy-76@mail.ru, Россия, г. Москва.

*Туктаров Марат Фанисович*, канд. техн. наук, ассистент кафедры «Электрические машины и электрооборудование», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Башкирский государственный аграрный университет», e-mail: Marat.TukZar@yandex.ru, Россия, г. Уфа.

*Ураксеев Марат Абдуллович*, д-р техн. наук, профессор кафедры «Информационно-измерительная техника», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уфимский государственный авиационный технический университет», e-mail: uma1941@mail.ru, Россия, г. Уфа.

*Шабанов Виталий Алексеевич*, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой «Электротехника и электрооборудование предприятий», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет», e-mail: ShabanovVA1@yandex.ru, Россия, г. Уфа.

*Шapiro Семен Вольфович*, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Физика», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уфимский государственный университет экономики и сервиса», e-mail: svshap@ufacom.ru, Россия, г. Уфа.

*Шуляковская Дарья Олеговна*, заместитель заведующего научно-исследовательской лабораторией «Физика электронных процессов и наноматериалов», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уфимский государственный университет экономики и сервиса», e-mail: shibaeva@bk.ru, Россия, г. Уфа.

*Юнусов Андрей Рифович*, канд. техн. наук, директор ООО «УфаСистемаГаз», e-mail: yunusov@molniya-ufa.ru, Россия, г. Уфа.

## ABOUT THE AUTHORS

*Akchurin Salavat V.*, cand. sci. tech., assistant chair of «Electrical machines and equipment», Federal state budgetary educational institution of higher professional education «Bashkir state agrarian university», e-mail: salavat-av@yandex.ru, Russia, Ufa.

*Akhmedzhanov Farit M.*, cand. sci. tech., associate professor chair of «Information and Control Systems», Federal state budgetary educational institution of higher professional education «Ufa state university of economics and service», e-mail: farakhm@yandex.ru, Russia, Ufa.

*Andreev Leonid N.*, cand. sci. tech., associate professor chair of «Power supply agriculture», Federal state budgetary educational institution of higher professional education «State agrarian university of Northern Zauralye», e-mail: alextmn86@mail.ru, Russia, Tyumen.

*Antonovs Dmitrijs*, Mg. sc. ing., Researcher, Power Engineering Institute, Riga Technical University, e-mail: dantonov@eef.rtu.lv, Latvia, Riga.

*Araslanov Timur R.*, post-graduate student chair of «Physics», Federal state budgetary educational institution of higher professional education «Ufa state university of economics and service», e-mail: realitim@yandex.ru, Russia, Ufa.

*Artuschenko Vladimir M.*, dr. sci. tech., professor, head chair of «Information technology and control systems», State budgetary educational institution of higher professional education Moscow region «Financial and technological academy», e-mail: artuschenko@mail.ru, Russia, Korolev.

*Belov Oleg A.*, cand. sci. tech., associate professor chair of «Electrical and radio equipment of ships», Federal state budgetary educational institution of higher professional education «Kamchatka state technical university», e-mail: boa-1@mail.ru, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky.

*Berg Oleg I.*, post-graduate student chair of «Information and measuring technics», Federal state budgetary educational institution of higher professional education «Ufa state aviation technical university», e-mail: oiberg@bk.ru, Russia, Ufa.

*Biela-Dalidovicha Edite*, Mg. sc. ing., Researcher, Power Engineering Institute, Riga Technical University, e-mail: eef@rtu.lv, Latvia, Riga.

*Davydov Oleg A.*, post-graduate student, Federal state budgetary educational institution of higher professional education «Pacific National University», e-mail: olegmen2005@yandex.ru, Russia, Ufa.

*Debelov Vladimir M.*, post-graduate student chair of «Modern Natural Sciences», Federal state budgetary educational institution of higher professional education «Volga Region State University of Service», e-mail: kozlovskiy-76@mail.ru, Russia, Togliatty.

*Dmitriev Alexey A.*, post-graduate student chair of «Power supply agriculture», Federal state budgetary educational institution of higher professional education «State agrarian university of Northern Zauralye», e-mail: alextmn86@mail.ru, Russia, Tyumen.

*Dolgicers Aleksandrs*, dr. sc. ing., Asoc. professor, Power Engineering Institute, Riga Technical University, e-mail: eef@rtu.lv, Latvia, Riga.

*Dolomatov Michail Yu.*, cand. sci. tech., dr. sci. chem, professor chair of «Physics», Federal state budgetary educational institution of higher professional education «Ufa state university of economics and service», head of the

laboratory «Physics of electronic processes and nanomaterials», e-mail: dolomatov@gmail.com, Russia, Ufa.

*Dolomatova Milana M.*, student, Federal state budgetary educational institution of higher professional education «Ufa state university of economics and service», e-mail: milana.1992@mail.ru, Russia, Ufa.

*Efremova Oksana A.*, cand. sci. tech., associate professor chair of «Geographic information systems», Federal state budgetary educational institution of higher professional education «Ufa state aviation technical university», e-mail: efremova-oa@yandex.ru, Russia, Ufa.

*Eremina Svetlana A.*, student, Federal state budgetary educational institution of higher professional education «Ufa state university of economics and service», e-mail: eryomina.svetlana26@yandex.ru, Russia, Ufa.

*Imilbaev Ramis R.*, post-graduate student chair of «Information and Control Systems», Federal state budgetary educational institution of higher professional education «Ufa state university of economics and service», e-mail: foraspi@yandex.ru, Russia, Ufa.

*Ivashkin Oleg N.*, undergraduate chair of «Electrical engineering and electrical equipment of enterprises», Federal state budgetary educational institution of higher professional education «Ufa state petroleum technological university», e-mail: ShabanovVA1@yandex.ru, Russia, Ufa.

*Kalashchenko Nikolay V.*, cand. sci. med., associate professor chair of «Therapy and general practice with the course of geriatrics IPO», Federal state budgetary educational institution of higher professional education «Bashkir State Medical University», e-mail: realitim@yandex.ru, Russia, Ufa.

*Korchagin Vasilij A.*, undergraduate chair of «Information technology and control systems», State budgetary educational institution of higher professional education Moscow region «Financial and technological academy», e-mail: vkorchagin@mail.ru, Russia, Korolev.

*Kozlovskiy Vladimir N.*, dr. sci. tech., professor, head chair of «Modern Natural Sciences», Federal state budgetary educational institution of higher professional education «Volga Region State University of Service», e-mail: kozlovskiy-76@mail.ru, Russia, Togliatty.

*Krymsky Viktor G.*, dr. sci. tech., head chair of «Information and Control Systems», Federal state budgetary educational institution of higher professional education «Ufa state university of economics and service», e-mail: vikrymsky@mail.ru, Russia, Ufa.

*Kushnir Valentina G.*, dr. sci. tech., professor, head chair of «Machinery, tractors and automobiles», Kostanay state university named after A.Baitursynov, e-mail: valkush@mail.ru, Republic of Kazakhstan, Kostanay.

*Linenko Andrey V.*, cand. sci. tech., associate professor, dean of the faculty of power engineering, Federal state budgetary educational institution of higher professional education «Bashkir state agrarian university», e-mail: linenko-bsau@yandex.ru, Russia, Ufa.

*Michkov Evgenij V.*, student, Federal state budgetary educational institution of higher professional education «Ufa state university of economics and service», e-mail: svshap@ufacom.ru, Russia, Ufa.

*Parfenkin Alexander I.*, associate professor chair of «Electrical and radio equipment of ships», Federal state budgetary educational institution of higher professional education «Kamchatka state technical university», e-mail: boa-1@mail.ru, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky.

*Pashkin Vasilij V.*, post-graduate student chair of «Electrical engineering and electrical equipment of enterprises», Federal state budgetary educational institution of higher professional education «Ufa state petroleum technological university», e-mail: v-pashkin@mail.ru, Russia, Ufa.

*Pavlov Konstantin A.*, Senior lecturer chair of «Standardization, metrology and information Systems», Belarusian National Technical University, e-mail: Pavel\_Serenkov@mail.ru, Republic of Belarus, Minsk.

*Pavlov Sergei V.*, dr. sci. tech., professor, head chair of «Geographic information systems», Federal state budgetary educational institution of higher professional education «Ufa state aviation technical university», e-mail: psvgis@mail.ru, Russia, Ufa.

*Pianov Michail A.*, cand. sci. tech., associate professor chair of «Modern Natural Sciences», Federal state budgetary educational institution of higher professional education «Volga Region State University of Service», e-mail: kozlovskiy-76@mail.ru, Russia, Togliatty.

*Sadykov Marsel A.*, Director of «POLYTECH», e-mail: svshap@ufacom.ru, Russia, Ufa.

*Saenko Alexey G.*, cand. sci. tech., associate professor chair of «Physics», Federal state budgetary educational

institution of higher professional education «Ufa state university of economics and service», e-mail: svshap@ufacom.ru, Russia, Ufa.

*Sauhats Antans*, dr. habil. sc. ing., Professor, Director of Power Engineering Institute, Riga Technical University, e-mail: eef@rtu.lv, Latvia, Riga.

*Savkova Evgenija N.*, cand. sci. tech., associate professor chair of «Standardization, metrology and information Systems», Belarusian National Technical University, e-mail: Pavel\_Serenkov@mail.ru, Republic of Belarus, Minsk.

*Semina Irina A.*, senior lecturer chair of «Electrical Engineering», Federal state budgetary educational institution of higher professional education «Omsk state technical university», e-mail: semina\_ia@mail.ru, Russia, Omsk.

*Serenkov Pavel S.*, dr. sci. tech., head chair of «Standardization, metrology and information Systems», Belarusian National Technical University, e-mail: Pavel\_Serenkov@mail.ru, Republic of Belarus, Minsk.

*Shabanov Vitaliy A.*, cand. sci. tech., associate professor, head chair of «Electrical engineering and electrical equipment of enterprises», Federal state budgetary educational institution of higher professional education «Ufa state petroleum technological university», e-mail: ShabanovVA1@yandex.ru, Russia, Ufa.

*Shapiro Semen V.*, dr. sci. tech., professor, head chair of «Physics», Federal state budgetary educational institution of higher professional education «Ufa state university of economics and service», e-mail: svshap@ufacom.ru, Russia, Ufa.

*Shulyakovskaya Dar'ja O.*, assistant head of the laboratory «Physics of electronic processes and nanomaterials», Federal state budgetary educational institution of higher professional education «Ufa state university of economics and service», e-mail: shibaeva@bk.ru, Russia, Ufa.

*Sokolova Anna V.*, post-graduate student chair of «Geographic information systems», Federal state budgetary educational institution of higher professional education «Ufa state aviation technical university», e-mail: beldyanova@yandex.ru, Russia, Ufa.

*Stroganov Vladimir I.*, cand. sci. tech., vice rector for social affairs, Federal state budgetary educational institution of higher professional education «Moscow State Automobile And Road Technical University», e-mail: kozlovskiy-76@mail.ru, Russia, Moscow.

*Tuktarov Marat F.*, cand. sci. tech., assistant chair of «Electrical machines and equipment», Federal state budgetary educational institution of higher professional education «Bashkir state agrarian university», e-mail: Marat.TukZar @yandex.ru, Russia, Ufa.

*Urakseev Marat A.*, dr. sci. tech., professor chair of «Information and measuring technics», Federal state budgetary educational institution of higher professional education «Ufa state aviation technical university», e-mail: uma1941@mail.ru, Russia, Ufa.

*Voronin Vladimir V.*, dr. sci. tech., professor, Dean School of Automation and Informational Technologies, Federal state budgetary educational institution of higher professional education «Pacific National University», e-mail: voronin@ais.khstu.ru, Russia, Ufa.

*Vozmilov Alexander G.*, dr. sci. tech., professor chair of «Power supply agriculture», Federal state budgetary educational institution of higher professional education «State agrarian university of Northern Zauralye», e-mail: vozmiag44@rambler.ru, Russia, Tyumen.

*Yunusov Andrey R.*, cand. sci. tech., Director of «UfaSistemaGaz», e-mail: yunusov@molniya-ufa.ru, Russia, Ufa.

*Zalostiba Diana*, dr. sc. ing., Docent, Power Engineering Institute, Riga Technical University, e-mail: eef@rtu.lv, Latvia, Riga.

*Zherebtsov Boris V.*, lecturer chair of «Power supply agriculture», Federal state budgetary educational institution of higher professional education «State agrarian university of Northern Zauralye», e-mail: alextmn86@mail.ru, Russia, Tyumen.

## **Требования к оформлению материалов, предоставляемых для публикации в журнале:**

1. Статьи, предоставляемые авторами в журнал, должны соответствовать профилю журнала, обладать новизной, интересовать широкий круг научной общественности.
2. Редакция принимает к публикации только открытые материалы на русском и английском языках (для иностранных авторов).
3. Поля – 2,5 см с каждой стороны; шрифт – Times New Roman, кегль 14, межстрочный интервал – полуторный; ссылки на литературу – в квадратных скобках. При наличии ссылок список литературы обязателен (в порядке цитирования, в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 или ГОСТ Р 7.05-2008).
4. В правом верхнем углу жирным курсивом:  
фамилия, имя, отчество авторов (обязательно полностью), ученая степень, ученое звание, должность, структурное подразделение (обязательно полностью), наименование организации (полностью), город, страна.
5. По центру, жирным шрифтом, заглавными буквами: название статьи, УДК в правом верхнем углу.
6. В конце статьи укажите почтовый адрес с указанием индекса, фамилию и инициалы получателя (по этому адресу будет выслан журнал), телефон (сотовый), e-mail контактного лица. Файл со статьей оформить: **Фамилия И.О.doc** (или docx). Отправлять по адресу: **uop-ugaes@mail.ru**.
7. Обязательно прислать фото авторов отдельным файлом.
8. К статье должны быть приложены на русском и английском языках: название статьи, аннотация (140-240 слов, определяющих теоретическую ценность и практическую новизну статьи), ключевые слова (не менее 10), список литературы обязателен (не менее 5 источников) на русском и английском языках.
9. Автор дает согласие на воспроизведение на безвозмездной основе в сети Интернет на сайте ФГБОУ ВПО «УГУЭС» электронной версии своей статьи, опубликованной в журнале «Электротехнические и информационные комплексы и системы».
10. Графический и табличный материал должен быть представлен в **черно-белом** варианте в приложении к WORD. Например, Microsoft Graph, без использования сканирования; для диаграмм применять различную штриховку, размер шрифта 10 или 11 pt, математические формулы оформляются через редактор формул Microsoft Equation, а их нумерация проставляется с правой стороны. Таблицы, диаграммы, рисунки подписываются 12 шрифтом в правом верхнем углу.
11. Сокращение слов, имен и названий, как правило, не допускается. Разрешаются лишь общепринятые сокращения мер физических, химических и математических величин и терминов и т. д.
12. Поступившие в редакцию статьи в обязательном порядке будут проходить рецензирование. Рецензии отклоненных работ высылаются авторам и содержат аргументированный отказ от публикации. В рецензиях работ, отправленных на доработку, указываются замечания к статье.
13. Все статьи, поступившие в редакцию, в обязательном порядке проходят проверку в системе «Антиплагиат».
14. С аспирантов плата за публикацию не взимается. При отправлении статьи на электронный адрес также необходимо отправить отсканированную справку из аспирантуры, заверенную отделом кадров.

### **Памятка авторам**

В статье настоятельно рекомендуется:

- НЕ использовать табуляцию (клавиша Tab);
- НЕ устанавливать свои стили абзацев (кроме принятых по умолчанию);
- НЕ расставлять автоматические списки (при нумерации строк и абзацев);
- НЕ ставить двойные, тройные и т. д. пробелы между словами.

Рекомендуется применять в статье только один тип кавычек («»).

Помните о том, что необходимо различать дефис и тире. Тире выставляется сочетанием двух клавиш («Ctrl» + «-»).

**Все цитаты в статье должны быть соотнесены со списком литературы, при прямом цитировании обязательно указывать номера страниц.** Список литературы не следует смешивать с примечаниями, которые должны располагаться перед списком литературы.

**Статьи, не соответствующие требованиям, отклоняются для доработки.**