

Подписной индекс: 91824 в каталоге «Пресса России»

Группы научных специальностей, по которым ведется прием статей в научный журнал «Электротехнические и информационные комплексы и системы»:

05.09.00 Электротехника

05.11.00 Приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы

05.12.00 Радиотехника и связь

05.13.00 Информатика, вычислительная техника и управление

05.27.00 Электроника



Электротехнические и информационные комплексы и системы

№ 1, т. 14, 2018

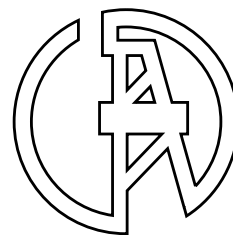


Electrical and data processing facilities and systems

№ 1, т. 14, 2018



ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ



УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УГНТУ

№ 1, т. 14, 2018

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

Учредитель

Федеральное бюджетное государственное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (УГНТУ)

Журнал включен в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук».

Международный стандартный серийный номер ISSN 1999-5458.

Редакционная коллегия:


Главный редактор:


С.В. Шапиро — д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (г. Уфа, Российская Федерация)


Зам. главного редактора:


Ш.З. Валиев — канд. техн. наук, д-р экон. наук, проф. ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (г. Уфа, Российская Федерация)


Члены редакционной коллегии:


В.М. Аргюшенко — д-р техн. наук, проф. ГБОУ ВО МО «Технологический университет» (г. Москва, Российская Федерация) 


Б.М. Горшков — д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет сервиса» (г. Тольятти, Российская Федерация) 


М.Ю. Долوماتов — д-р хим. наук, проф. ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (г. Уфа, Российская Федерация) 


В.Г. Крымский — д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (г. Уфа, Российская Федерация) 


В.Г. Кушнир — д-р техн. наук, проф. Костанайского государственного университета им. Ахмета Байтурсынова (г. Костанай, Казахстан) 


С.В. Павлов — д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (г. Уфа, Российская Федерация) 


Р.Р. Сафин — д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (г. Уфа, Российская Федерация) 


Б. Брудник — д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник Тель-Авивского университета (г. Тель-Авив, Израиль) 


А.Ф. Романченко — д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (г. Уфа, Российская Федерация) 


П.С. Серенков — д-р техн. наук, проф. Белорусского национального технического университета (г. Минск, Белоруссия) 


М.А. Ураксеев — д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (г. Уфа, Российская Федерация) 


Н.А. Феоктистов — д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «Московский государственный университет дизайна и технологии» (г. Москва, Российская Федерация) 


Ф.Ф. Хизбуллин — д-р хим. наук, проф. ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (г. Уфа, Российская Федерация) 

В.А. Шабанов — канд. техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (г. Уфа, Российская Федерация) 

Р.Б. Яруллин — д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет» (г. Уфа, Российская Федерация) 

И. Зицмане — д-р техн. наук, профессор Рижского технического университета, эксперт научного совета Латвийской академии наук (г. Рига, Латвия) 

Г.Д. Георгиев — д-р техн. наук, преподаватель Технического университета (г. Варна, Болгария) 

И.В. Пентегов — д-р техн. наук, профессор, ведущий научный сотрудник Института электросварки им. Е.О. Патона Национальной академии наук Украины (г. Киев, Украина) 

Ответственный секретарь: А. А. Мухамадиев

Технический редактор: С. В. Халитова

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

Доступ и подписка на электронную версию журнала — на сайте www.ugnet.ru

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС 77–67387 от 05.10.2016 г. выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

© Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2018.

Адрес редакции и издательства: 450062, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1

Тел.: (347) 243–16–19, ies.rusoil.net

Цена свободная. 12+

Подписано в печать 27.03.2018 г. Формат 60×84/8. Печать офсетная. Усл. печ. л. 13,25.

Тираж 1 000 экз. Заказ № 115.

Адрес типографии: 450062, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1

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

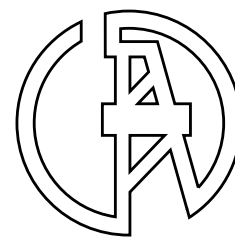
Материалы приводятся в авторской редакции.

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

Отпечатано в типографии издательства УГНТУ с готовых электронных файлов.

ELECTRICAL AND DATA PROCESSING FACILITIES AND SYSTEMS

UFA STATE PETROLEUM TECHNOLOGICAL UNIVERSITY



USPTU

№ 1, v. 14, 2018

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

Founder

Federal State-Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ufa State Petroleum Technological University» (USPTU)

The journal is included in the «List of peer-reviewed scientific publications, which should be published basic scientific results of theses on competition of a scientific degree of candidate of Sciences, on competition of a scientific degree of the doctor of Sciences».

International standard serial number ISSN 1999-5458.

Editorial board:

Editor-in-chief:

S.V. Shapiro — Dr. Sci.Tech., Prof. of FSBEI HE «Ufa State Petroleum Technological University» (Ufa, Russian Federation)

Deputy editor-in-chief:

Sh.Z. Valiev — Cand. Sci.Tech., Dr. Sci. Econ., Prof. of FSBEI HE «Ufa State Petroleum Technological University» (Ufa, Russian Federation)

Members of an editorial board:

V.M. Artyushenko — Dr. Sci.Tech., Prof. of SBEI HE MR «University of Technology» (Moscow, Russian Federation)



P.S. Serenkov — Dr. Sci.Tech., Prof. of Byelorussian National Technical University» (Minsk, Byelorussia)



B.M. Gorshkov — Dr. Sci.Tech., Prof. of FSBEI HE «Volga Region State University of Service» (Tolyatti, Russian Federation)



M.A. Urakseev — Dr. Sci.Tech., Prof. of FSBEI HE «Ufa State Aviation Technical University» (Ufa, Russian Federation)



M.Yu. Dolomatov — Dr. Sci.Chem., Prof. of FSBEI HE «Ufa State Petroleum Technological University» (Ufa, Russian Federation)



N.A. Feoktistov — Dr. Sci.Tech., Prof. of FSBEI HE «Moscow State University of Design and Technology» (Moscow, Russian Federation)



V.G. Krymsky — Dr. Sci.Tech., Prof. of FSBEI HE «Ufa State Petroleum Technological University» (Ufa, Russian Federation)



F.F. Hizbullin — Dr. Sci.Chem., Prof. of FSBEI HE «Ufa State Petroleum Technological University» (Ufa, Russian Federation)



V.G. Kushnir — Dr. Sci.Tech., Prof. of Kostanaysky State University of Ahmet Baytursynov (Kostanay, Kazakhstan)



V.A. Shabanov — Cand. Sci.Tech., Prof. of FSBEI HE «Ufa State Petroleum Technological University» (Ufa, Russian Federation)



S.V. Pavlov — Dr. Sci.Tech., Prof. of FSBEI HE «Ufa State Aviation Technical University» (Ufa, Russian Federation)



R.B. Yarullin — Dr. Sci.Tech., Prof. of FSBEI HE «Bashkir State Agrarian University» (Ufa, Russian Federation)



R.R. Safin — D. Sci.Tech., Prof. of FSBEI HE «Ufa State Petroleum Technological University» (Ufa, Russian Federation)



I. Zicmane — Dr. Sci.Tech., Prof. of Riga Technical University, Expert the Latvian Council of Science (Riga, Latvia)



B. Brudnik — Dr. Sci.Tech., Leading Researcher of Tel Aviv University (Tel Aviv, Israel)



G.D. Georgiev — Dr. Sci.Tech., Lecturer Technical University (Varna, Bulgaria)



A.F. Romanchenko — Dr. Sci.Tech., Prof. of FSBEI HE «Ufa State Petroleum Technological University» (Ufa, Russian Federation)



I.V. Pentegov — Dr. Sci.Tech., Prof., Leading Researcher the E.O.Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine (Kiev, Ukraine)



Assistant editor: A. A. Mukhamadiev

Technical editor: S. V. Khalitova

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.

Mass media registration certificate ПИ № ФС 77-67387 dd. 05.10.2016 given by Federal service of supervision in the scope of communication, information technologies and mass media.

© Ufa State Petroleum Technological University, 2018.

Address of Editors office and Founder: 450062, Republic of Bashkortostan, Ufa, Kosmonavtov str., 1.

Tel. (347) 243-16-19, ies.rusoil.net

Price is free. 12+

Publishing authorized on 27.03.2018. Paper format 60×84/8. Offset printing. 13,25 publication base sheets.

Volume 1 000 copies. Order № 115.

Address of Publishing Office: 450062, Republic of Bashkortostan, Ufa, Kosmonavtov str., 1.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced without prior written consent of the Editors office of the «Electrical and data processing facilities and systems».

The items of this publication preserve original edition by their authors.

The Editors office do not always share an opinion of authors of the articles published.

СОДЕРЖАНИЕ

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

<i>Шабанов В.А., Алексеев В.Ю., Леонтьева Т.А., Резник Е.С.</i> Оценка длительности кратковременного нарушения электроснабжения предприятия при внешних коротких замыканиях	5
<i>Кушнир В.Г., Кошкин И.В., Глушко Д.В.</i> Обоснование установки мини-ГЭС для электроснабжения системы освещения моста	13
<i>Климаш В.С., Соколовский М.А.</i> Система управления и контроля энергопотребления	19
<i>Евдокимов А.А., Чарыков В.И., Саттаров Р.Р., Игнатьев С.Г., Городских А.А.</i> Расчет магнитной системы магнитоэлектрических генераторов мощностью до 10 кВА для ветроэнергетических установок	27

ИНФОРМАЦИОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

<i>Талыбов Н.Г.</i> Создание базы правил нечетких продукций для выбора элементов захватывающих устройств	34
<i>Родионов А.С., Фархутдинов Р.И., Хусаинов И.Р.</i> Разработка программного комплекса моделирования температурных полей в скважине с учетом диаметра скважины	43
<i>Гиниятуллин В.М., Габитова Э.А.</i> Кластеризация данных по кредитным заявкам в троичный вектор	49

МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

<i>Фетисов В.С., Табет Наиф Кайед Абдулла.</i> Проблемы измерений толщины асфальтосмолопарафиновых отложений в нефтепроводах и пути их решения	55
<i>Денисова О.А., Абрамшвили Р.Л.</i> Система контроля сейсмической активности для нефтегазовой отрасли	61
<i>Андреанов А.В., Зикий А.Н., Зламан П.Н.</i> Экспериментальное исследование смесителя на микросхеме LTC5553	68
<i>Рыжиков О.Л.</i> Сканирующие элементы зондового микроскопа с управлением из программно-аппаратной среды NI ELVIS II	75
<i>Шатуновский В.Л., Портнягин Н.Н., Мелик-Шахназарова И.А.</i> Комплекс для измерения электрических величин в системах электропитания на базе микроконтроллерных плат «Ардуино»	81
<i>Федосов А.В., Федосов В.А., Бадртдинова И.И., Мухаметзянов Н.З.</i> Место неопределенности в системе обеспечения единства измерений	88
<i>Шмелев А.А.</i> Применение интеллектуальных магнитострикционных датчиков в геофизической аппаратуре	96
Об авторах	105

CONTENT

ELECTRICAL FACILITIES AND SYSTEMS

<i>Shabanov V.A., Alekseev V.Yu., Leontyeva T.A., Reznik E.S.</i> Estimation of duration of enterprise's short-term power supply interruption in case of external short circuits	5
<i>Kushnir V.G., Koshkin I.V., Glushko D.V.</i> Substantiation of mini hydroelectric power plant for power supply of bridge lighting system	13
<i>Klimash V.S., Sokolovsky M.A.</i> Control system and energy consumption monitoring	19
<i>Evdokimov A.A., Charykov V.I., Sattarov R.R., Ignatyev S.G., Gorodskikh A.A.</i> The calculation of the magnetic system of magneto-electric generators up to 10 kVA for wind turbines	27

DATA PROCESSING FACILITIES AND SYSTEMS

<i>Talibov N.G.</i> Creation of basis of rules of fuzzy production for choosing key components of grasping devices	34
<i>Rodionov A.S., Farkhutdinov R.I., Khusainov I.R.</i> Development of the software complex of temperature fields modeling in the well with the account of the well diameter	43
<i>Giniyatullin V.M., Gabitova E.A.</i> Clusterization of data on credit applications in the ternary vector	49

METROLOGY AND INFORMATION-MEASURING DEVICES

<i>Fetisov V.S., Thabet Nayef Kayed Abdulla.</i> Issues of oil pipelines asphaltic resinous paraffin sediments thickness measurements and feasible solutions	55
<i>Denisova O.A., Abramishvili R.L.</i> Seismic activity control system for petroleum and gas industry	61
<i>Andrianov A.V., Zikiy A.N., Zlaman P.N.</i> Experimental study of the mixer LTC5553	68
<i>Ryzhikov O.L.</i> Scanning elements of a probe microscope under NI ELVIS DAQ system hardware and software environment	75
<i>Shatunovskiy V.L., Portnyagin N.N., Melik-Shakhnazarova I.A.</i> System for measurement of electrical quantities in power systems on the basis of the microcontroller boards ARDUINO	81
<i>Fedosov A.V., Fedosov V.A., Badrtdinova I.I., Mykhametzyanov N.Z.</i> The place of uncertainty in the system for measurement uniformity ensurance	88
<i>Shmelev A.A.</i> Intelligent magnetostrictive sensors application in geophysical equipment	96
About the authors	105



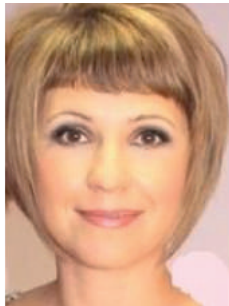
Шабанов В. А.
Shabanov V. A.

кандидат технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Электротехника
и электрооборудование предприятий»,
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный
нефтяной технический университет»,
г. Уфа, Российская Федерация



Алексеев В. Ю.
Alekseev V. Yu.

кандидат технических наук,
доцент кафедры «Электротехника
и электрооборудование предприятий»,
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный
нефтяной технический университет»,
г. Уфа, Российская Федерация



Леонтьева Т. А.
Leontyeva T. A.

доцент кафедры «Электротехника
и электрооборудование предприятий»,
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный
нефтяной технический университет»,
г. Уфа, Российская Федерация



Резник Е. С.
Reznik E. S.

ассистент кафедры «Электротехника
и электрооборудование предприятий»,
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный
нефтяной технический университет»,
г. Уфа, Российская Федерация

УДК 621.313; 621.316

ОЦЕНКА ДЛИТЕЛЬНОСТИ КРАТКОВРЕМЕННОГО НАРУШЕНИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ ПРИ ВНЕШНИХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЯХ

Технологические процессы нефтегазовой отрасли являются непрерывными и предъявляют повышенные требования к длительности перерывов электроснабжения. Возможные нарушения в системе электроснабжения должны быть кратковременными и не должны нарушать бесперебойность технологического процесса. Основной причиной кратковременных нарушений электроснабжения являются короткие замыкания. Полностью исключить короткие замыкания в системах электроснабжения невозможно. Поэтому оценка возможной длительности нарушения электроснабжения и сокращение их длительности до безопасного для технологических процессов значения являются актуальной и практически очень значимой задачей.

В статье рассматривается методика оценки длительности кратковременных нарушений и анализ их последствий для технологического процесса промышленного предприятия. Все мероприятия по снижению длительности нарушений электроснабжения при коротких замыканиях в электрической сети разделены на 4 основные группы: быстрое выявление и отклю-

чение поврежденного элемента электрической сети средствами релейной защиты; быстрое выявление режима потери питания потребителя и отделение секции шин подстанции промышленного предприятия от поврежденной части электрической сети; автоматическое повторное включение воздушных линий и вводных выключателей в сети 6 (10) кВ подстанций промышленных предприятий; автоматическое включение резервного питания.

На примере схемы электроснабжения нефтеперекачивающей станции от магистральной линии напряжением 110 кВ с двухсторонним питанием рассмотрены анализ схемы электрической сети и времени срабатывания релейной защиты, оценка возможной длительности коротких замыканий, оценка возможной длительности кратковременных нарушений электроснабжения. Выполнен анализ последствий кратковременных нарушений электроснабжения для технологического процесса нефтеперекачивающей станции.

Предложены мероприятия по исключению нарушения технологического процесса при коротких замыканиях в системе внешнего электроснабжения.

Ключевые слова: электроснабжение, короткие замыкания, нарушение электроснабжения, релейная защита и автоматика, защита от потери питания, устойчивость.

ESTIMATION OF DURATION OF ENTERPRISE'S SHORT-TERM POWER SUPPLY INTERRUPTION IN CASE OF EXTERNAL SHORT CIRCUITS

The technological processes of the oil and gas industry are continuous and impose increased requirements on the duration of power supply interruptions. Possible interruptions of the power supply should be short-term and should not disrupt the continuity of technological process. Short circuits are the main cause of short-term power supply interruptions. It is impossible to completely exclude short circuits in power supply systems. Therefore estimation of possible duration of power supply interruptions and reducing their duration to a process-safe value is an actual and practically very important task.

The article contains the methodology for estimation of short-term power supply interruptions' duration and the analysis of their consequences for the technological process of an industrial enterprise. All measures to reducing the duration of power supply interruptions in case of short circuits in electrical network are divided into four main groups: fast identification and disconnection of the damaged element of an electrical network by relay protection; fast identification of the consumer's power loss mode and separation of industrial enterprise substation's busbar section from the damaged part of an electrical network; automatic reclosing of overhead lines and main circuit breakers in the 6(10) kV network of substations of industrial enterprises; automatic load transfer.

The analysis of the electrical network scheme and the relay actuation time, the estimation of possible duration of short circuits, the estimation of possible duration of short-term power supply interruptions are considered on the example of the oil pumping station's power supply from the 110 kV double-fed trunk line. The analysis of the consequences of short-term power supply interruptions for the technological process of the oil pumping station is performed.

The measures to exception of technological process disturbances at short circuits in the external power supply system are proposed.

Key words: power supply, short circuits, power supply interruption, relay protection and automation, loss-of-voltage protection, stability.

Введение

Технологические процессы нефтегазовой отрасли являются непрерывными и требуют электроснабжения по первой категории [1, 2]. Это означает, что возможные перебои электроснабжения должны быть кратковременными и не должны приводить к нарушению технологического процесса. Основной причиной кратковременных нару-

шений электроснабжения (КНЭ) являются короткие замыкания (КЗ). При этом кратковременными принято называть такие нарушения электроснабжения, которые ликвидируются релейной защитой и автоматикой [3–5]. Рассмотрена методика оценки длительности КНЭ при КЗ в сети внешнего электроснабжения и выполнен анализ возможной длительности нарушения элек-

троснабжения нефтеперекачивающей станции.

Виды мероприятий по снижению длительности КНЭ

Исследованию КНЭ и их влияния на устойчивость технологических процессов посвящено много работ [6–10]. Мероприятия по снижению длительности КНЭ, вызванных КЗ в электрических сетях, и технические средства реализации таких мероприятий должны обеспечивать быстрое отключение поврежденного элемента сети и быстрое переключение на резервные источники питания. Конечной целью таких мероприятий является снижение длительности нарушения электроснабжения до предельно допустимых значений по условиям устойчивости технологических процессов [11–14].

Все мероприятия по снижению длительности нарушений электроснабжения при КЗ в электрической сети можно разделить на 4 основные группы: быстрое выявление и отключение поврежденного элемента электрической сети средствами релейной защиты; быстрое выявление режима потери питания и отделение секции шин подстанции промышленного предприятия от поврежденной части электрической сети [15–17]: автомати-

ческое повторное включение (АПВ) воздушных линий (ВЛ); автоматическое включение резервного питания (АВР), если основной источник питания отключился, или автоматическое переключение на другой источник питания, если на одном из двух источников питания исчезло напряжение [18–20].

Методика анализа длительности КНЭ

Анализ длительности КНЭ и их опасности включает в себя:

- анализ схемы электрической сети и установленных средств релейной защиты и автоматики;
- оценку возможной длительности перерыва питания на шинах высшего напряжения главной понизительной подстанции (ГПП) предприятия при КЗ в электрической сети внешнего электроснабжения;
- анализ АПВ и АВР в электрической сети и оценку возможной длительности КНЭ на шинах 6(10) кВ ГПП предприятия;
- анализ последствий КНЭ для технологического процесса.

Рассмотрим методику такого анализа на примере электрической сети с двухсторонним питанием, от которой получает питание нефтеперекачивающая станция (НПС) (рисунок 1).

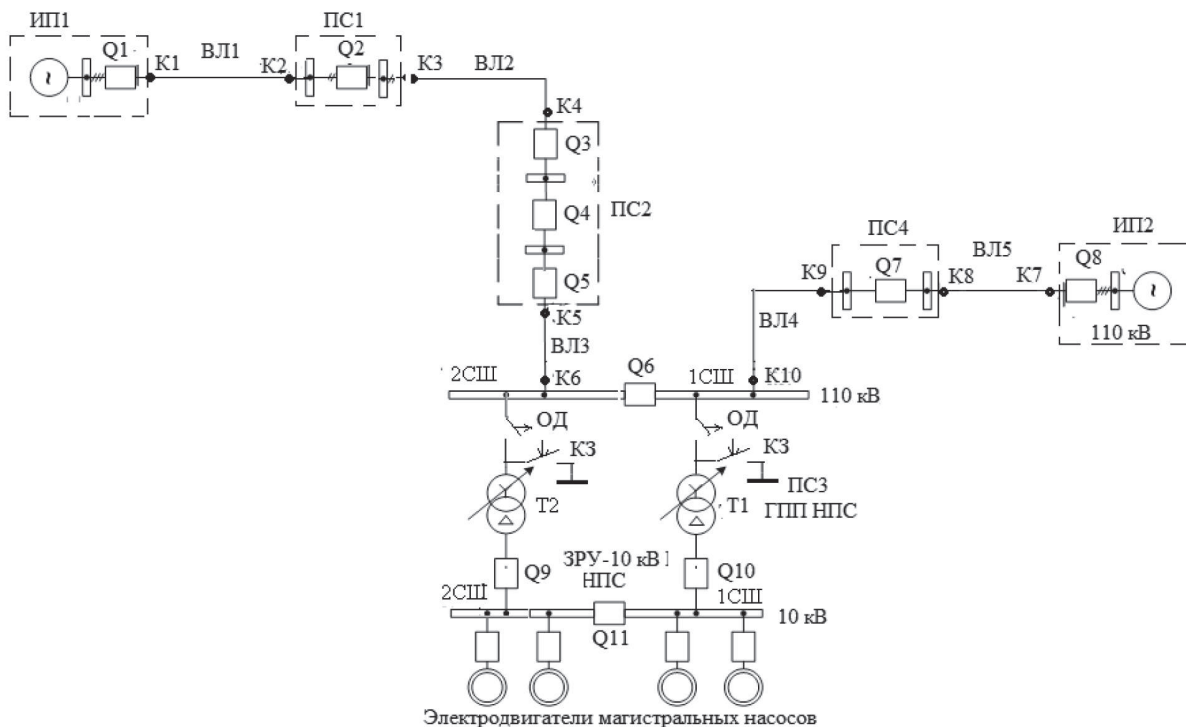


Рисунок 1. Схема электрической сети 110 кВ

Анализ схемы электрической сети. На этом этапе производится выбор расчетных точек КЗ, при замыканиях в которых возможна наибольшая длительность КНЭ. Исследуемая НПС получает питание от подстанции ПС3 (ГПП), которая, в свою очередь, получает питание по сети 110 кВ от двух источников питания ИП1 и ИП2, соединенных цепочкой транзитных линий (транзитом).

Транзит 110 кВ содержит 4 промежуточных подстанции (ПС1-ПС4) и 5 воздушных линий ВЛ1-ВЛ5. Все подстанции включены в расщепку цепочки линий 110 кВ с помощью секционных выключателей Q2, Q4, Q6, Q7, которые в нормальном режиме включены. Особенностью схемы на стороне 110 кВ является неполное оснащение линий выключателями. Так, линии ВЛ1, ВЛ2, ВЛ3 и ВЛ5 имеют выключатели только на одном из концов. На другом конце эти линии отключаются секционными выключателями соответствующих подстанций. Линия ВЛ4 не имеет своих выключателей и отключается только секционными выключателями подстанций ПС3 и ПС4.

На всех ВЛ-110 кВ транзита 110 кВ с обеих сторон установлены: трехступенчатая дистанционная защита для действия при междуфазных КЗ; трехступенчатая токовая защита нулевой последовательности для действия при КЗ на землю и токовая отсечка. Так как все установленные защиты ступенчатые, то целесообразно рассмотреть длительность КНЭ при КЗ в начале и в конце каждой линии. При этом по отношению к ГПП НПС целесообразно выделить КНЭ при близких КЗ и удаленных КЗ (в зоне действия и за пределами зоны действия первых ступеней защит, установленных на ближних к ГПП НПС концах линий). Всего на схеме (рисунок 1) 10 расчетных точек КЗ: К1-К10.

Оценка возможной длительности перерыва питания на шинах высшего напряжения ГПП. На этом этапе выполняются расчет токов КЗ, анализ времени срабатывания релейной защиты и оценка возможной длительности КЗ. Для оценки длительности КНЭ на шинах 110 кВ ГПП (ПС3) на рисунке 1 выполняется расчет токов КЗ во всех 10-ти точках К1-К10 при 3-х видах КЗ: трехфаз-

ном, двухфазном и однофазном. При каждом виде КЗ определяются остаточные напряжения на шинах 110 кВ ГПП, а также на шинах закрытого распределительного устройства ЗРУ-10 кВ ГПП НПС.

Длительность КЗ $t_{кз}$ складывается из собственного времени срабатывания реле в составе защиты t_c , установленной выдержки времени (уставки) защиты t_3 и времени отключения выключателя t_B :

$$t_{кз} = t_c + t_3 + t_B. \quad (1)$$

При замкнутом транзите и включенном секционном выключателе СВ-110 кВ на ГПП НПС в случае КЗ на одной из линий ВЛ1, ВЛ2 или ВЛ5, не соединенных непосредственно с ГПП НПС, для восстановления напряжения на шинах 110 кВ ГПП НПС достаточно отделить ПС3 от точки КЗ путем отключения выключателя поврежденной линии, ближайшего к ПС3. Например, при КЗ на линии ВЛ1 длительность КНЭ на шинах 110 кВ ГПП НПС будет равна интервалу времени от начала КЗ до отключения выключателя Q2. При этом длительность КНЭ на шинах 110 кВ ГПП НПС будет определяться по формуле (1).

При КЗ на одной из линий ВЛ3 или ВЛ4, отходящих от шин 110 кВ ГПП, отделение ГПП от точки КЗ невозможно, так как линии ВЛ3 и ВЛ4 не имеют выключателей со стороны ГПП. Защиты линий ВЛ3 и ВЛ4 действуют на отключение секционного выключателя Q6 на ГПП. При этом восстановление напряжения через время $t_{кз}$ по (1) происходит только на одной из секций шин 110 кВ ГПП.

Оценка возможной длительности КНЭ на шинах 10 кВ при замкнутом транзите. На этом этапе выполняется анализ работы АПВ, АВР и защиты от потери питания в ЗРУ НПС. Анализ следует выполнять в зависимости от места КЗ и времени срабатывания релейной защиты в сети 110 кВ. Если КЗ происходит на ближайшем к ГПП НПС конце линий ВЛ1, ВЛ2 или ВЛ5 в зоне действия быстродействующих ступеней защиты линий, то длительность КНЭ на шинах 10 кВ НПС будет такой же, что и на шинах 110 кВ, и будет определяться по формуле (1) при $t_3 = 0$. Если же КЗ отключается выдержкой

времени второй (или третьей) ступени, то длительность КЗ по (1) в сети 110 кВ может быть больше времени срабатывания защиты от потери питания в ЗРУ-10 кВ НПС. В этом случае срабатывание защиты от потери питания на отключение вводного выключателя (Q9 и/или Q10) в ЗРУ-10 кВ произойдет раньше, чем отключение выключателя в сети 110 кВ. При этом восстановление электропитания произойдет только после АПВ ввода, и длительность нарушения электропитания на шинах 10 кВ будет определяться по выражению:

$$t_{НЭ} = t_{КЗ} + t_{АПВ}, \quad (2)$$

где $t_{НЭ}$ — длительность нарушения электропитания; $t_{АПВ}$ — выдержка времени АПВ вводных выключателей в ЗРУ-10 кВ.

АПВ вводных выключателей имеют выдержку времени 8–10 с. При этом за время нарушения электроснабжения по (2) происходит полная остановка магистральных насосов, и технологический процесс НПС нарушается.

Таким образом, если КЗ на линиях ВЛ1, ВЛ2 или ВЛ5 отключаются с выдержкой времени второй (или третьей) ступени, то возможны длительное исчезновение напряжения на шинах 10 кВ (8 с и более) и полная остановка магистральных насосов с нарушением технологического процесса НПС. Отключение КЗ с выдержкой времени происходит либо потому, что точка КЗ находится в зоне действия второй (третьей) ступени защиты, либо потому, что КЗ в зоне действия первой ступени происходит через переходное сопротивление и первая ступень отказывает. Для исключения отключения КЗ с выдержкой времени следует оснастить линии

ВЛ1, ВЛ2 и ВЛ5 быстродействующими защитами с абсолютной селективностью,

При КЗ на одной из линий ВЛ3 или ВЛ4, примыкающих к ГПП НПС, восстановление напряжения после отключения секционного выключателя Q6 через время $t_{КЗ}$ по (1) происходит только на одной из секций шин ЗРУ — 10 кВ НПС. Для восстановления напряжения на другой секции шин ЗРУ-10 кВ необходимо сначала срабатывание защиты от потери питания с действием на отключение выключателя ввода (Q9 или Q10), и затем срабатывание АВР с действием на включение секционного выключателя Q11. Однако при этом напряжение на шинах 10 кВ восстановится только в том случае, если срабатывание защиты от потери питания в ЗРУ-10 кВ НПС не произойдет раньше, чем будет отключен выключатель Q6. Поэтому отключение секционного выключателя Q6 должно выполняться без выдержки времени. Для этого следует либо оснастить линии ВЛ3 и ВЛ4 быстродействующими защитами с абсолютной селективностью, либо заблокировать защиту минимального напряжения при одновременном исчезновении напряжения на обеих секциях шин 10 кВ.

Анализ последствий КНЭ для технологического процесса НПС. Для анализа последствий нарушения электропитания длительность КНЭ НПС сравнивается с допустимой. Технологический процесс сохраняется, если длительность КНЭ на шинах 10 кВ НПС не превышает предельно допустимого значения, которое для НПС равно 3 с [21]. В таблице 1 приведены результаты расчета КНЭ на шинах 10 кВ НПС для схемы на рисунке 1 при замкнутом транзите.

Таблица 1. Длительность КНЭ на шинах 10 кВ НПС

ВЛ	Точка КЗ		Время КНЭ на шинах 10 кВ	
	Обозначение	Описание		
ВЛ1	K1	Удаленное КЗ вблизи шин ИП1	9,9	
	K2	Вблизи шин ПС1	0,1	
ВЛ2	K3	Удаленное КЗ вблизи шин ПС1	12,3	0,1
	K4	Вблизи шин ПС2	1СШ	2СШ
ВЛ3	K5	Удаленное КЗ вблизи шин ПС2	10,9+ТАВР 10	10,9
	K6	Вблизи шин ГПП НПС	0,1	0,1
ВЛ4	K10	Вблизи шин ГПП НПС	0,1	0,2
	K9	Удаленное КЗ вблизи шин ПС4	9,8	9,8 +ТАВР 10
ВЛ5	K8	Вблизи шин ПС4	0,2	
	K7	Удаленное КЗ вблизи шин ИП2	11,1	

Расчеты токов КЗ выполнены в математическом программном пакете Mathcad. При выполнении расчетов время быстродействующих ступеней защит в сети 110 кВ принято 0,1 с; время срабатывания ступеней, действующих с выдержкой времени, — от 0,5 до 1,6 с; время тиристорного АВР в ЗРУ-10 кВ с учетом времени отключения выключателя ввода принято 0,1 с; время АПВ вводных выключателей в ЗРУ-10 кВ принято 9 с.

Как следует из анализа таблицы 1, расчетная длительность КНЭ при КЗ в сети 110 кВ на ближних к ГПП НПС концах линий составляет 0,1 с, и НПС сохраняет устойчивость. Если точка КЗ находится на удаленных от ГПП концах линий, расчетная длительность КНЭ НПС составляет от 9,8 с до 12,3 с и превышает требуемое значение 3 с, технологический процесс перекачки нефти по трубопроводу может потерять устойчивость.

Список литературы

1. Меньшов Б.Г., Ершов М.С., Яризов А.Д. Электротехнические установки и комплексы в нефтяной и газовой промышленности. М.: Недра, 2000. 487 с.
2. Шабанов В.А., Алексеев В.Ю. Обеспечение бесперебойной работы потребителей при потере питания. Уфа: УГНТУ, 2013. 162 с.
3. Гуревич Ю.Е., Кабиков К.В. Особенности электроснабжения, ориентированного на бесперебойную работу промышленного потребителя. М.: ЭЛЕКСИМ, 2005. 408 с.
4. Корогодский В.И., Кужеков С.Л., Паперно Л.Б. Релейная защита электродвигателей напряжением выше 1 кВ. М.: Энергоатомиздат, 1987. 264 с.
5. Шабанов В.А., Алексеев В.Ю., Павлова З.Х. Обеспечение бесперебойной работы частотно-регулируемых электроприводов магистральных насосов и технологического режима перекачки при кратковременных нарушениях электроснабжения. Уфа: Издательство «Нефтегазовое дело», 2012. 171 с.
6. Беляев А.В. Противоаварийное управление в узлах нагрузки с синхронными электродвигателями большой мощности. М.: НПФ «Энергопрогресс», «Энергетик», 2004. 80 с.
7. Шабанов В.А., Алексеев В.Ю. Ускорение включения технологического резерва на НПС при нарушениях в системе электроснабжения // Промышленная энергетика. 2010. № 6. С. 31–35.
8. Ершов М.С., Рупчев И.О. Адаптация защит узлов электрических сетей к потере питания при несимметричных возмущениях // Промышленная энергетика. 2004. № 1. С. 28–30.
9. Шабанов В.А., Алексеев В.Ю. Обеспечение селективности второй ступени защиты минимального напряжения на нефтеперекачивающих станциях // Промышленная энергетика. 2008. № 4. С. 25–27.
10. Шабанов В.А., Алексеев В.Ю., Юсупов Р.З. Пути повышения эффективности блокировки защиты минимального напряжения от токовой защиты ввода // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2016. № 3. Т. 12. С. 18–25.
11. Ершов М.С., Егоров А.В., Федоров В.А. Некоторые вопросы повышения устойчивости электроприводов многоаппаратного комплекса с непрерывным технологическим процессом при возмущениях в системе электроснабжения // Промышленная энергетика. 1992. № 7. С. 23–26.
12. Ершов М.С., Егоров А.В., Новоселова Ю.В. О влиянии состава нагрузки на

Выводы

1. Предложена методика оценки длительности КНЭ предприятия при КЗ в системе внешнего электроснабжения.

2. Показано, что при электроснабжении НПС от магистральной линии напряжением 110 кВ с двухсторонним питанием в случае КЗ в сети 110 кВ длительность КНЭ НПС может превысить предельно допустимое значение. Для исключения нарушений технологического процесса перекачки следует либо оснастить ВЛ транзита, примыкающие к НПС, быстродействующими защитами с абсолютной селективностью, либо заблокировать защиту минимального напряжения на НПС при одновременном исчезновении напряжения на обеих секциях шин 10 кВ.

устойчивость промышленных электротехнических систем // Промышленная энергетика. 2004. № 10. С. 16–24.

13. Шабанов В.А., Юсупов Р.З., Солнцева Е.В. Расчет параметров энергосистем в адаптивных устройствах автоматики // Повышение надежности и энергоэффективности электротехнических систем и комплексов: III межвуз. сб. науч. тр. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2014. С. 98–101.

14. Шабанов В.А., Алексеев В.Ю., Юсупов Р.З. Условия устойчивости технологического режима НПС при кратковременных нарушениях электроснабжения // Повышение надежности и энергоэффективности электротехнических систем и комплексов: сб. Уфа: Изд-во УГНТУ. 2010. С. 105–113.

15. Шабанов В.А., Алексеев В.Ю., Клименко С.Е., Юсупов Р.З. Согласование выдержек времени релейной защиты НПС // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и энергоресурсов. 2007. Вып. 4 (70). С. 84–89.

16. Шабанов В.А., Алексеев В.Ю., Валишин А.Р., Плеханов М.К. Недостатки защиты минимального напряжения на нефтеперекачивающих станциях // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2010. № 2. URL: http://www.ogbus.ru/authors/Shabanov/Shabanov_1.pdf.

17. Шабанов В.А., Алексеев В.Ю., Валишин А.Р., Плеханов М.К. Пути устранения недостатков защиты минимального напряжения на нефтеперекачивающих станциях // Нефтегазовое дело. 2011. № 2. Т. 9. С. 91–94.

18. Шабанов В.А., Алексеев В.Ю. Условия срабатывания АВР на нефтеперекачивающих станциях // Энергетик. 2010. № 3. С. 37–39.

19. Шабанов В.А., Юсупов Р.З., Алексеев В.Ю. Устройство адаптивного автоматического включения резерва на нефтеперекачивающих станциях // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2016. № 2. Т. 12. С. 16–22.

20. Shabanov V.A., Alekseev V.Y., Yusupov R.Z. Adaptive control of transfer switches and synchronous motors self-starting at oil pumping stations // 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). Chelyabinsk, 2016, pp. 1–5. DOI: 10.1109/ICIEAM.2016.7911450.

21. РД 153-39.4-113-01. Нормы технологического проектирования магистральных нефтепроводов. М.: Транснефть, 2001. 45 с.

References

1. Menshov B.G., Ershov M.S., Yari-zov A.D. Electrical devices and systems in the oil and gas industry. M.: Nedra, 2000. 487 p.

2. Shabanov V.A., Alekseev V.Yu. Ensuring uninterrupted operation of consumers in case of power loss. Ufa: UGNTU, 2013. 162 p.

3. Gurevich Yu.E., Kabikov K.V. Features of the power supply focused on uninterrupted operation of the industrial consumers. M.: ALEXIM, 2005. 408 p.

4. Korogodsky V.I., Kuzhekov S.L., Paperno L.B. Relay protection of electrical motors voltages above 1 kV. M.: Energoatomizdat, 1987. 264 p.

5. Shabanov V.A., Alekseev V.Yu., Pavlova Z.Kh. Ensuring uninterrupted operation of variable frequency electric drives of main pumps and the technological mode of pumping in case of short-term power supply interruptions. Ufa: «Oil and gas business» Publ., 2012. 171 p.

6. Belyaev V.A. Emergency control in the load nodes with high power synchronous motors. M.: «Energoprogress», «Energetic» Publ., 2004. 80 p.

7. Shabanov V.A., Alekseev V.Yu. Acceleration of technological reserve inclusion on OPS in case of power supply interruptions // Industrial energetics. 2010. № 6. P. 31–35.

8. Ershov M.S., Rupchev O.I. Adaptation of protections of electrical networks nodes to the power loss with asymmetric perturbations // Industrial energetics. 2004. № 1. P. 28–30.

9. Shabanov V.A., Alekseev V.Yu. Ensuring the selectivity of the second stage of undervoltage protection at oil pumping stations // Industrial energetics. 2008. № 4. P. 25–27.

10. Shabanov V.A., Alekseev V.Yu., Yusupov R.Z. Improving the efficiency of lock protection minimum voltage by overcurrent relay protection // Electrical and data processing facilities and systems. 2016. № 3. Vol. 12. P. 18–25.

11. Yershov M.S., Egorov A.V., Fedorov V.A. Some questions of increase of stability of electric drives of multi-machine complex with continuous technological process at disturbances in power supply system // Industrial energetics. 1992. № 7. P. 23–26.

12. Ershov M.S., Egorov A.V., Novoselov Yu.V. Influence of load composition on the stability of industrial electrical systems // *Industrial energetics*. 2004. № 10. P. 16–24.
13. Shabanov V.A., Yusupov R.Z., Solntseva E.V. Calculation of power systems parameters in adaptive automation devices // III collection of scientific papers «Improving the reliability and energy efficiency of electrical systems and complexes». Ufa: UGNTU, 2014. P. 98–101.
14. Shabanov V.A., Alekseev V.Yu., Yusupov R.Z. Conditions of stability of OPS technological mode in case of short-term power supply interruptions // *Collection of works «Improving the reliability and energy efficiency of electrical systems and complexes»*. Ufa: UGNTU, 2010. P. 105–113.
15. Shabanov V.A., Alekseev V.Yu., Klimenko S.E., Yusupov R.Z. Coordination of time delays of OPS relay protection // *Problems of gathering, treatment and transportation of oil and oil products*. 2007. Issue 4 (70). P. 84–89.
16. Shabanov V.A., Alekseev V.Yu., Valishin A.R., Plekhanov M.K. Disadvantages of undervoltage protection at oil pumping stations // *Electronic scientific journal «Oil and gas business»*. 2010. № 2. URL: http://www.ogbus.ru/authors/Shabanov/Shabanov_1.pdf.
17. Shabanov V.A., Alekseev V.Yu., Valishin A.R., Plekhanov M.K. Ways of elimination of lacks of protection of the minimum voltage at oil pumping stations // *Oil and gas business*. 2011. № 2. Vol. 9. P. 91–94.
18. Shabanov V.A., Alekseev V.Yu. The conditions of automatic transfer switch at oil pumping stations // *Energetic*. 2010. № 3. P. 37–39.
19. Shabanov V.A., Yusupov R.Z., Alekseev V.Yu. Device for adaptive automatic to reserve source on oil pumping stations // *Electrical and data processing facilities and systems*. 2016. № 2. Vol. 12. P. 16–22.
20. Shabanov V.A., Alekseev V.Yu., Yusupov R.Z. Adaptive control of transfer switches and synchronous motors self-starting at oil pumping stations // *2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)*. Chelyabinsk, 2016, pp. 1-5. DOI: 10.1109/ICIEAM.2016.7911450.
21. RD 153-39.4-113-01. Norms of technological design of oil trunk pipelines. M.: OAO AK Transneft, 2001. 45 p.



Кушнир В. Г.
Kushnir V. G.

*доктор технических наук,
профессор, заведующая
кафедрой «Машины,
тракторы и автомобили»,
Костанайский
государственный
университет
имени А. Байтурсынова,
г. Костанай,
Республика Казахстан*



Кошкин И. В.
Koshkin I. V.

*кандидат технических
наук, доцент,
заведующий кафедрой
«Электроэнергетика
и физика»,
Костанайский
государственный
университет
имени А. Байтурсынова,
г. Костанай,
Республика Казахстан*



Глушко Д. В.
Glushko D. V.

*магистрант,
Костанайский
государственный
университет
имени А. Байтурсынова,
г. Костанай,
Республика Казахстан*

УДК 626.01

ОБОСНОВАНИЕ УСТАНОВКИ МИНИ-ГЭС ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ МОСТА

Одним из перспективных направлений развития современной энергетики является использование природных возобновляемых энергоресурсов. В настоящее время наблюдается мировая тенденция перехода к нетрадиционным возобновляемым источникам энергии. Реализацию этой концепции в рамках перехода Казахстана к «зеленой» энергетике невозможно представить без новых технических и научных идей. Перспективным направлением является гидроэнергетика, потенциал малой гидроэнергетики в Казахстане достаточно велик. Малая энергетика — это наиболее экономичное решение энергетических проблем для территорий с децентрализованным электроснабжением. По некоторым данным, к таким относится около 30–40 % территории Казахстана, в связи с чем важность источников энергии для автономного энергоснабжения возрастает. Актуальность малых ГЭС соответствует концепции устойчивого развития, поскольку они обеспечивают социальное развитие, экологическую безопасность и быструю окупаемость. Ввиду этого нужно учитывать, что водный энергоресурс важно не только продуктивно использовать, но и сберечь, не нанося экологического ущерба окружающей среде, как это происходит при использовании традиционных ископаемых источников энергии.

Разработка методик расчета конструктивных параметров элементов мини-ГЭС гарантирует формирование новых научно-технических направлений, способствует модернизации и улучшению находящихся в эксплуатации конструкций мини-ГЭС.

Целью данной работы является обоснованный выбор использования рабочего органа мини-ГЭС на реке Тобол в городе Костанай для подачи электроэнергии к системе наружного освещения.

В работе выполнены следующие задачи: опытным путем рассчитана средняя скорость течения реки Тобол за определённый промежуток времени (расчётный год); произведен расчет и сравнение двух типовых конструкций мини-ГЭС роторного и пропеллерного типов; определён наиболее оптимальный вариант конструкции мини-ГЭС в соответствии с расчетно-климатическими условиями; сформированы дальнейшие задачи исследования и критерии выбора исходных параметров.

Ключевые слова: нетрадиционные возобновляемые источники, мини-ГЭС, средняя скорость течения реки, КПД.

SUBSTANTIATION OF MINI HYDROELECTRIC POWER PLANT FOR POWER SUPPLY OF BRIDGE LIGHTING SYSTEM

One of the promising directions development of modern engineering is the use of natural renewable sources of energy. Currently, there is a world trend towards a transition to non-traditional renewable energy sources. This concept is impossible without technical and scientific ideas as a result of transition of Kazakhstan to «green» energy. A promising direction is hydropower, capacity of small hydropower in Kazakhstan is very high. Small hydropower is the most economical solution to energy problems for parts of the territories, with a decentralized electricity supply. According to some information, about 30–40 % of the territory of Kazakhstan belongs to this, and therefore the importance of energy sources for autonomous energy supply increases, taking into account also the provision of social development, environmental safety and quick payback, it becomes clear that small hydropower plants correspond to the concept of sustainable development, that confirms the relevance of the development of this direction. In view of this, it must be taken into account that the water energy resource is important not only to be used productively, but also to save without causing environmental damage to the environment, as is the case with traditional fossil energy sources.

The development of methods for calculating the design parameters of mini hydropower plant elements guarantees the formation of new scientific and technical areas, contributes to the modernization and improvement of the mini hydropower plant in operation.

The purpose of this work is a justified choice of the use of the working mini hydropower plant on the river Tobol in the city of Kostanay, to supply electricity to the outdoor lighting system.

The work carried out the following tasks: the average speed of the river Tobol is estimated by experience; two mini hydropower plants rotor and propeller type designs were calculated; the most optimal version of the mini hydropower plant was selected; formed to further the objectives of the study and the selection criteria of the initial parameters.

Key words: non-conventional renewable sources, mini hydroelectric power plant, average river flow speed, efficiency.

Современный мир невозможно представить без энергии, однако углеводороды как основной источник энергии в связи с интенсификацией мировой потребности в электроэнергии исчерпывают себя. Постоянно увеличивающиеся потребности в энергии вынуждают переходить к альтернативным источникам энергии, вводить в эксплуатацию различные автономные энергоустановки [1, 2]. Самыми доступными возобновляемыми источниками энергетического потенциала являются солнечный, ветровой и водный ресурсы. В тех местах, где есть доступ к водным ресурсам, необходимо развивать эффективные направления гидроэнергетики, к которым относится использование энергии небольших водотоков для выработки энергии с помощью мини-ГЭС [3].

Целью научной статьи является расчет и выбор потребной мощности мини-ГЭС, необходимой для электроснабжения системы освещения большого моста на реке Тобол. Проведен анализ конструкций мини-ГЭС: от простых до передовых инновационных разработок.

Формирование зоны отчуждения под строительство ГЭС должно основываться на многолетних гидрологических исследованиях акватории реки Тобол и также водоемов, прилегающих к этой зоне. Результаты проведенных исследований приведены в таблицах 1, 2 и на рисунке 1.

Анализ динамики изменения индекса загрязненности воды (ИЗВ) за последние пять лет в разные месяцы показал, что на протяжении всего года наблюдаются колебания значений ИЗВ, что связано с сезонностью времени года (период активного стояния льда, паводковый период, разлив реки и т.д.). Также максимальное значение ИЗВ в 2015–2016 гг. наблюдалось в июле, когда уровень воды в реке понизился. Вода в реке Тобол в 2015–2016 гг. в мае, июле и сентябре характеризуется как «грязная» и «очень грязная» и относится к 5 и 6 классам по качеству воды. При этом минимальное значение ИЗВ зафиксировано в апреле, что объясняется увеличением объема воды в реке [1].

Таблица 1. Основные характеристики водохранилищ Тобол-Торгайского водохозяйственного бассейна (ВХБ) [1]

Водохранилище	Река	Вид регулирования	Основные водопотребители и водопользователи	Объем, млн м ³	
				Полный	Полезный
Верхнетобольское	Тобол	Многолетнее	Водоснабжение	817,00	782,00
Кызылжарское	Тобол	Сезонное	Водоснабжение, орошение	9,70	5,50
Каратамарское	Тобол	Многолетнее	Водоснабжение, орошение	586,00	362,80
Сергиевское	Тобол	Сезонное	Водоснабжение	3,68	3,46
Костанайское	Тобол	Сезонное	Водоснабжение	6,70	6,20
Желкуарское	Желкуар	Многолетнее	Водоснабжение	32,20	28,20
Мелкие водохранилища		Сезонные	Орошение	3,20	1,90

Таблица 2. Водные ресурсы рек и временных водотоков Тобол-Торгайского ВХБ, млн м³/год [1]

Административная область	Бассейн озера, реки	Среднегодовой сток	Сток различной обеспеченности		
			50 %	75 %	95 %
Костанайская	Тобол	552	360	165	68,1
	Прочие реки бассейна Тобол	194	112	51,4	23,0
	Торгай	740	740	433	172
	Итого по области	1486	1212	649	263
Актюбинская	Торгай	101	101	29	2
	Прочие реки бассейна Торгай	288	117	34	20
	Итого по области	389	218	63	22
Карагандинская	Торгай	8	8	5	3
	Прочие реки бассейна Торгай	235	145	53,2	6,1
	Итого по области	243	153	58,2	9,1
Всего по ВХБ		2118	1583	771	194
В том числе по бассейнам	Тобол	746	472	216	91
	Торгай	1372	1111	554	203
В том числе по областям					
Костанайская		1486	1212	649	263
Актюбинская		389	218	63	22
Карагандинская		243	153	58	9

Для сравнения и выбора устройств генерации электроэнергии были проведены измерения скорости течения реки Тобол в районе предполагаемой установки электростанции, что составило от 0,6 до 2,5 м/с. Для распределения скоростей по вертикали проводились измерения методом «поплавка» по участкам: на поверхности, на 0,2 h и 0,8 h.

Чем глубже расположен слой воды, тем медленнее течение, которое обусловлено трением. Истинная средняя скорость потока находится на глубине 1/3 от дна реки и соответствует 85 % от скорости течения на поверхности, где и рекомендуется устанавливать рабочий элемент мини-ГЭС.

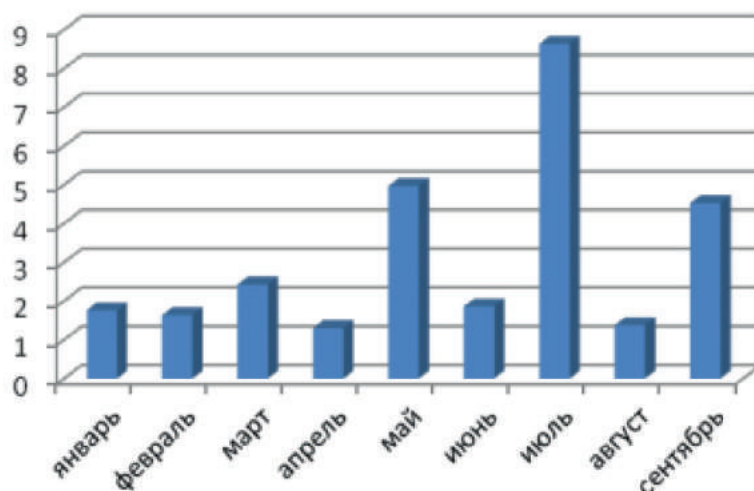


Рисунок 1. Динамика изменения индекса загрязненности воды в реке Тобол

Расчётная нагрузка освещения моста составила 2520 Вт при количестве светодиодных светильников 28 штук с установленной мощностью 90 Вт.

Расчет потенциала мощности воды, текущей в потоке, определяется скоростью течения и величиной расхода водного ресурса [2–6]. Мощность водного потока можно вычислить, используя следующие формулы [6]:

$$P = 9.81 \cdot \rho \cdot Q \cdot \Delta H, \quad (1)$$

где ρ — плотность воды, кг/м³;

Q — расход воды, м³/с;

H — динамический напор, м.

Расход воды через площадь проекции рабочего агрегата [6]:

$$Q = S \cdot \vartheta. \quad (2)$$

Скоростной или динамический напор [6]:

$$\Delta H = \frac{\vartheta^2}{2 \cdot g}. \quad (3)$$

Мощность гидроустановки, которая вырабатывается от силы течения реки [6]:

$$P(Q) = 9.81 \cdot \rho \cdot \Delta Q \cdot \Delta H \cdot \eta, \quad (4)$$

где η — коэффициент полезного действия гидроустановки.

В ходе анализа наиболее оптимальной конструкции для установки на реке Тобол будем исходить из того, что площади проекции лопастей ротора будут охватывать примерно равную площадь водного потока.

Для обоснования использования мини-ГЭС произведен выбор основного рабочего органа по двум вариантам: пропеллерного и роторного типов.

Вариант установки мини-гидроэлектростанции пропеллерного типа

Приняты исходные данные для сравнительного анализа: $\vartheta = 2,1$ м/с; $\eta = 0,6$; $D = 1,5$ м; $i = 3$; $z_1 = 9$.

Определен скоростной (динамический) напор по выражению (3):

$$\Delta H = 0,23 \text{ м.}$$

Рассчитан расход воды через площадь проекции рабочего агрегата (2):

$$Q = 3,696 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Произведен расчет площади проекции лопастей ротора пропеллерного типа по выражению:

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4},$$

$$S = 1,76 \text{ м}^2.$$

Мощность гидроустановки [10], которая вырабатывается от данной площади водного потока в единицу времени, определили по (4):

$$P_1 = 5,0 \text{ кВт.}$$

Данная мощность вырабатывается генератором при максимальном значении водного потока с установкой генератора в середине реки.

По теории расчета мини-ГЭС пропеллерного типа был произведен расчет быстроходности турбины z по выражению :

$$z = \frac{z_1 \cdot \left(3 + \frac{6}{i}\right)}{9}, \quad (5)$$

$$z = 5,$$

где i — число лопастей;

$z_1 = 9$ — быстроходность для однолопастного пропеллера.

Частота вращения турбины по формуле :

$$n = \frac{19,1 \cdot z \cdot \vartheta}{D}, \quad (6)$$

$$n = 134 \text{ об/мин.}$$

Вариант использования установки мини-гидроэлектростанции типа ротора Савониуса

За исходные данные с учетом характеристики устройства были приняты следующие параметры: $\vartheta = 2,1$ м/с; $\eta = 0,5$; $D = 1$ м; $L = 2$ м.

Определена площадь проекции лопастей ротора по выражению:

$$S = L \cdot D, \quad (7)$$

$$S = 2 \text{ м}^2,$$

где L — длина ротора;

D — диаметр ротора.

Рассчитан расход воды через площадь проекции рабочего агрегата:

$$Q = 4,2 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Скоростной или динамический напор рассчитан по (3):

$$\Delta H = 0,23 \text{ м.}$$

Рассчитали необходимую мощность гидроустановки [11] по (4):

$$P_2 = 4,73 \text{ кВт.}$$

Частота вращения турбины для данного вида энергоустановки определяется по выражению:

$$n = \frac{60 \cdot \vartheta}{\pi \cdot R}, \quad (8)$$

$$n = 80 \text{ об/мин},$$

где R — радиус установки ротора Савониуса, м;

ϑ — скорость течения, м/с.

Сводные данные по расчету параметров сравниваемых гидроустановок, а именно рас-

четной мощности в зависимости от сезонного изменения скоростей водотока в реке Тобол, представлены на рисунке 2.

Из анализа графика (рисунок 2) можно сделать выводы, что скорость течения реки нормальная для большей части года, будет сильно повышаться во время паводков и половодий. Вместе с увеличением скорости течения реки резко возрастает и мощность гидроагрегата. Если скорость течения возрастает в 2 раза, то мощность гидроагрегата возрастает в 8 раз.

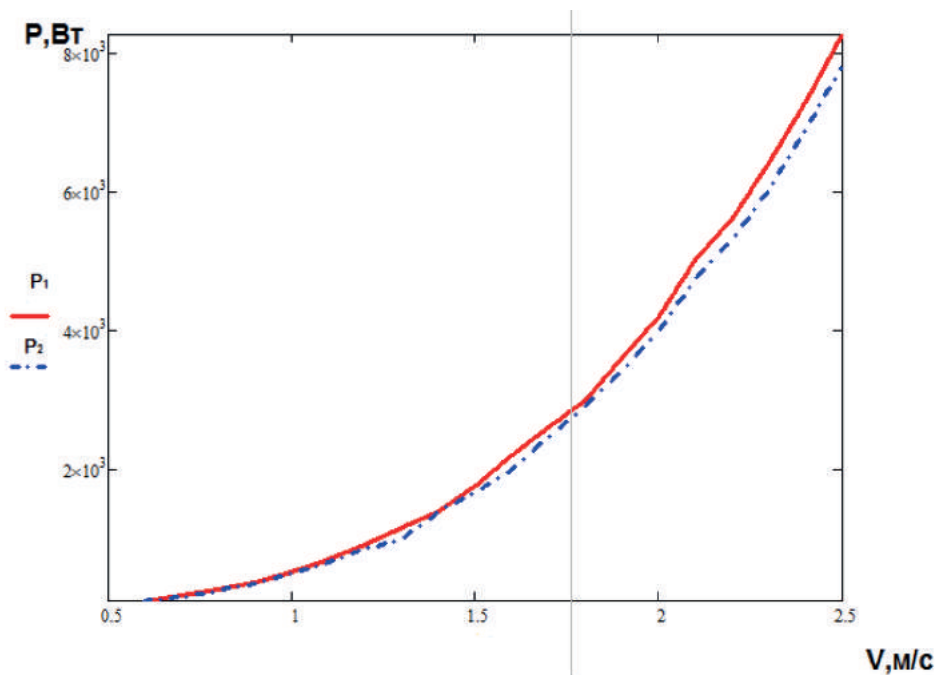


Рисунок 2. График зависимости мощности от скорости водотока

Выбор в пользу установки первого варианта сделан, исходя из качественных характеристик, таких как КПД, который гораздо выше, чем у установки типа «Савониус», которая большей мощности и вырабатывает с набегающего потока воды большее количество оборотов на выходе ротора гидротурбины.

Выводы

Руководствуясь вышеприведенными исследованиями, можно сделать вывод о возможности установки мини-ГЭС на реке Тобол для альтернативного электроснабжения системы освещения моста в необходимое

время суток. Как наиболее технически выгодный вариант, предлагается генераторная установка пропеллерного типа. На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований получены промежуточные результаты, способствующие решению ряда вопросов по проектированию мини-ГЭС, но также необходимо учитывать дальнейшее совершенствование данной конструкции с использованием системы управления и регулирования вырабатываемой мощности в зависимости от выходных электротехнических факторов нагрузки.

Список литературы

1. Беляков Ю.П., Рахимов К.Р. Энергетические ресурсы Киргизстана и их освоение. Фрунзе: КиргизИНТИ, 1985. С. 56–69.
2. Никулин О.А. Отчет лаборатории «Гидродинамики свободных потоков». Исследование поперечных роторов. 1989. С. 4–45.
3. Щапов Н.М. Турбинное оборудование гидроэлектростанций. 3-е изд., доп. М.: Госэнергоиздат, 1961. 319 с.
4. Свит П.П. и др. Низконапорные микро-ГЭС с автобалластным регулированием. Сфера эффективного применения, расчет, конструирование и эксплуатация / П.П. Свит, Б.В. Семкин, В.М. Иванов, Т.Ю. Родивилина; Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2007. 160 с.
5. Никулин О.А., Новиков Ю.М., Пивник А.В. Свободнопоточная гидроэлектростанция // Проблемы и перспективы развития нетрадиционной энергетики в Алтайском регионе: доклады II семинара, Чемал, Ра. 2001. С. 5–16.
6. Ковалев Н.Н. Гидротурбины: конструкции, вопросы проектирования. Л.: Машиностроение, 1971. 584 с.

References

1. Beljakov Ju.P., Rahimov K.R. Jenergeticheskie resursy Kirgizstana i ih osvoenie. Frunze: KirgizINTI, 1985. S. 56–69.
2. Nikulin O.A. Otchet laboratorii «Gidrodinamiki svobodnyh potokov», Issledovanie poperechnyh rotorov. Novosibirsk, 1989. S. 43–45.
3. Shhapov N.M. Turbinnoe oborudovanie gidrostantsij. 3-e izd., dop. M.: Gosjenergoizdat, 1961. 319 s.
4. Svit P.P. i dr. Nizkonapornye mikro-GJeS s avtoballastnym regulirovanijem. Sfera jeffektivnogo primenenija, raschët, konstruirovanie i jekspluatacija: monografija / P.P. Svit, B.V. Semkin, V.M. Ivanov, T.Ju. Rodivilina; Alt. gos. tehn. un-t im. I.I. Polzunova. Barnaul: Izd-vo AltGTU, 2007. 160 s.
5. Nikulin O.A., Novikov Ju.M., Pivnik A.V. Svobodnopotochnaja gidrojelektrostancija // Problemy i perspektivy razvitija netradicionnoj jenergetiki v Altajskom regione: Doklady na 2 seminare, Chermal, Ra. 2001. S. 5-16.
6. Kovalev N.N. Gidroturbiny: konstrukcii, voprosy proektirovanija. L.: Mashinostroenie, 1971. 584 s.



Климаш В. С.
Klimash V. S.

*доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры
«Промышленная электроника»,
ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре
государственный университет»,
г. Комсомольск-на-Амуре,
Российская Федерация*



Соколовский М. А.
Sokolovsky M. A.

*аспирант кафедры
«Промышленная электроника»,
ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре
государственный университет»,
г. Комсомольск-на-Амуре,
Российская Федерация*

УДК 621.316.14

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ

В статье представлены устройство и функциональные возможности системы управления и контроля энергопотребления энергетических и технологических электроустановок. Существующие MES-системы для управления энергохозяйством обычно ориентированы на сбор и хранение данных, диспетчеризацию и контроль состояния компонентов системы, а системы управления технологическим процессом в основном предназначены для контроля и управления технологическими операциями и параметрами процесса. При этом взаимодействие между системой управления энергохозяйством и системой управления технологическими процессами ограничено или отсутствует. Система управления и контроля энергопотребления является MES-системой, предназначенной для устранения технических противоречий, неизбежно возникающих при воздействии на энергопотребление технологической системы. В большинстве случаев такое воздействие приводит к снижению производительности или остановке технологического процесса с соответствующим недовыпуском готовой продукции. Предлагаемое техническое решение предназначено для создания эффективной системы энергосбережения, которая оптимизирует требуемые параметры энергоэффективности производственных процессов, а также обеспечивает соответствие промышленного предприятия современным экологическим требованиям. Кроме этого, система осуществляет управление и контроль электротехническими системами, построенными на базе современного электропривода и силовых распределительных устройств с микропроцессорным управлением. Современное оборудование с микропроцессорным управлением, как правило, уже адаптировано для работы в составе систем диспетчеризации, управления и сбора данных и имеет в своем составе один или несколько информационных интерфейсов, предназначенных для функционирования в составе промышленных информационных сетей. Стандартные протоколы передачи данных между устройствами, такие как Modbus, Profibus, TCP/IP и др., позволяют вводить дополнительные элементы в систему, например, средства измерения, системы регулируемого электропривода, распределительные и другие устройства, а также оперативно модернизировать программно-аппаратный комплекс в целом. Дополнительно в статье даны примеры построения информационно-измерительных комплексов, а также практические рекомендации по вводу элементов системы в эксплуатацию.

Ключевые слова: электротехническая система, управление энергопотреблением, система дистанционного управления, MES-система, промышленная информационная сеть.

CONTROL SYSTEM AND ENERGY CONSUMPTION MONITORING

The device and functionality of a control system and monitoring of energy consumption of power and technological electroinstallations are presented in article. The existing MES-systems for management of power economy are usually focused on collecting and data storage, scheduling and control of a condition of components of system, and control systems of technological process are generally intended for monitoring and management of technological and operations of process parameters. At the same time, interaction between a control system of power economy and the process control system limited or is absent. The control system and monitoring of energy consumption is the MES-system intended for elimination of the technical contradictions which are inevitably arising at impact on energy consumption of technological system. In most cases, such influence leads to decline in production or a stop of technological process, with the corresponding underproduction of finished goods. The proposed technical solution is intended for creation of efficient system of energy saving which optimizes the required parameters of energy efficiency of productions and also will provide compliance of the production enterprise to the modern ecological requirements. Besides the system exercises control and monitoring of the electrotechnical systems constructed on the basis of the modern electric drive and power distributing devices with a microprocessor control. The modern inventory with a microprocessor control is usually already adapted for work as a part of the systems of scheduling, management and acquisition and incorporates one or several informational interfaces intended for functioning as a part of the production informational networks. Reference transfer protocols of data between devices, such as Modbus, Profibus, TCP/IP, etc. allow to enter padding elements into the system, for example, of a gage, the systems of the adjustable electric drive, distributing and other devices and also to quickly modernize a hardware and software system in general. Follow-up in article examples of creation of informational and measuring complexes and also practical recommendations about input of elements of system in operation are given.

Key words: electrotechnical system, management of energy consumption, system of distance steering, MES-system, production informational network.

Введение

В настоящее время ПАО «Федеральная сетевая компания Единой энергетической системы» и ОАО «Научно-технический центр ФСК ЕЭС» проводят работу по модернизации единой электроэнергетической системы России в соответствии с концепцией интеллектуальной энергосистемы с активно-адаптивной сетью [1]. В соответствии с концепцией, потребители электрической энергии привлекаются к активному участию в процессах управления режимами работы энергосистемы, при этом повышаются качество и надежность электроснабжения, а также снижается стоимость покупки электрической энергии для потребителя. Для участия в процессах, протекающих в единой электроэнергетической системе, промышленному предприятию необходима система управления и контроля энергопотребления не только системы электроснабжения, но и технологических процессов. Существующие MES-системы для управления энергохозяй-

ством обычно ориентированы на сбор и хранение данных, диспетчеризацию и контроль состояния компонентов системы [2], а системы управления технологическим процессом в основном решают узкий круг задач, направленных на контроль и управление технологическими операциями и параметрами процесса [3]. При этом взаимодействие между системой управления энергохозяйством и системой управления технологическими процессами ограничено или отсутствует.

Система управления и контроля энергопотребления

Система управления и контроля энергопотребления представляет собой MES-систему (образовано от англ. manufacturing execution system — система управления производством) и состоит из иерархического программно-аппаратного комплекса, изображенного на рисунке 1. Здесь G — питающая сеть, ВВ — высоковольтный выключатель, Т — силовой трансформатор, НВ — низковольт-

ный выключатель, ЭП — регулируемый электропривод, П — технологический процесс, ТН — трансформатор напряжения, ЭВМ — электронно-вычислительная машина, SQL — сервер базы данных, SCADA — система диспетчерского управления и сбора данных, OPC — сервер обмена данными, АСУЭ — автоматизированная система управления энергоснабжением, АСУТП — автоматизированная система управления технологическим процессом, РМ1 — рабочее место, РМ2 — дополнительное рабочее место.

Функции защиты, автоматики и контроля трансформатора напряжения выполняет «Сириус-ТН». Защита, автоматика, управление и контроль выключателя ввода — «Сириус-2В». Основная дифференциальная защита силового трансформатора — «Сириус-Т». Каждый терминал может иметь несколько интерфейсов связи, таких как RS485 и Ethernet с протоколом Modbus, что очень удобно при построении системы управления. Для анализа параметров электрических сетей низкого напряжения удобно применять многофункциональные измерительные приборы серии «SENTRON PAC», производитель «Siemens». Наличие интер-

фейсов связи RS485 или Ethernet, а также оптимальная функциональность в различных моделях приборов позволяет подобрать нужное устройство. Кроме этого, встроенные релейные и цифровые входы и выходы позволяют решать дополнительные задачи телеуправления и телесигнализации. Контроль и защита ввода низкого напряжения реализованы на автоматическом выключателе серии «Susol» отечественного производителя ЗАО «Электроцит-ТМ-Самара», который выполняет функции не только контроля, защиты и дистанционного управления ввода, но и производит измерение параметров питающей сети.

Наличие интерфейса RS485/Modbus и Profibus-DP дает возможность быстрого внедрения устройства в систему АСУТП. Для управления электрическим приводом в настоящее время широко применяются разнообразные модели преобразователей частоты, электропривода постоянного тока и сервоприводов. Эти устройства могут не только дистанционно управлять электрическим двигателем, но и в сочетании с дополнительным оборудованием получают дополнительную информацию о механизме.

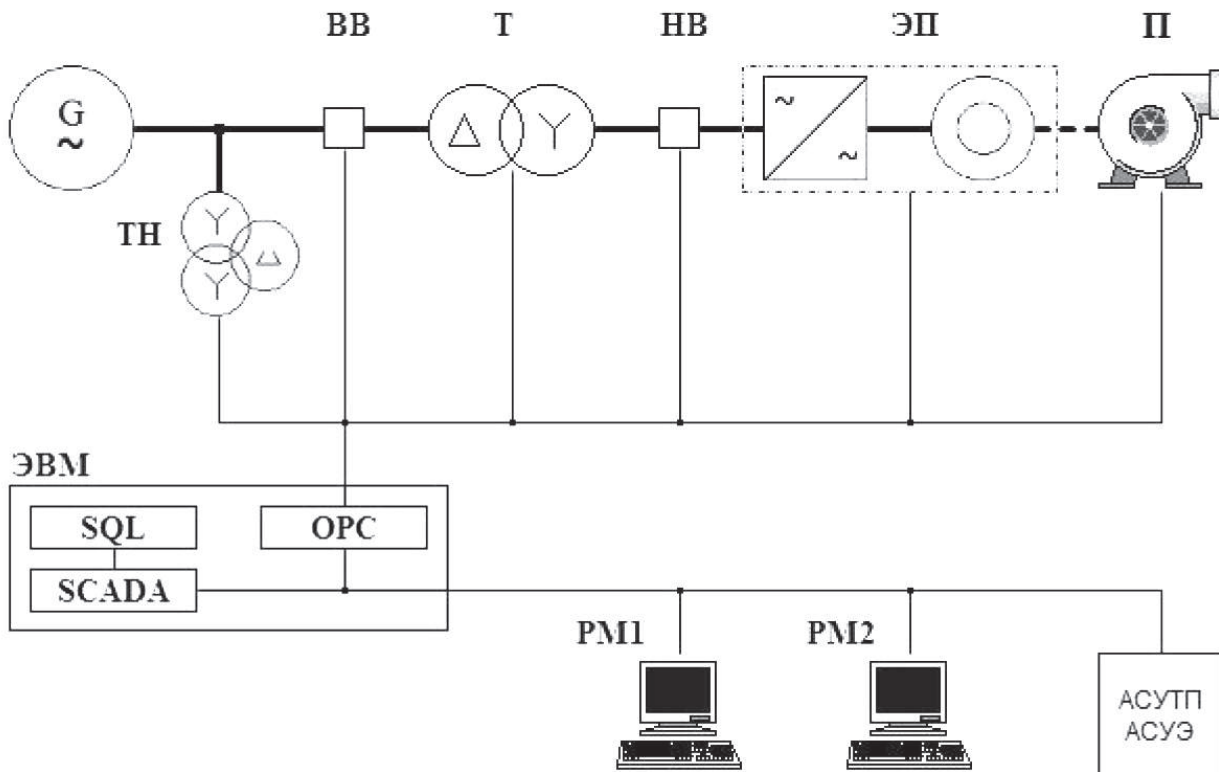


Рисунок 1. Структурная схема системы управления

Например, при помощи подключенного к преобразователю частоты инкрементного или абсолютного энкодера можно измерить частоту вращения или угол поворота вала двигателя, а через аналоговый вход получить информацию с измерительного устройства, установленного на механизме.

Использование универсальных промышленных интерфейсов и протоколов обмена данными дает возможность с минимальными затратами внедрять в существующие сети новые информационно-измерительные комплексы. На рисунке 2 изображен информационно-измерительный комплекс подъемного крана. Здесь LAN — информационная сеть, Ш — шины постоянного напряжения, Д1 — датчик сети постоянного тока, Д2 — датчик электропривода 1, Д3 — датчик электропривода 2, Д4 — датчик электропривода 3, ПЛК — программируемый логический контроллер, ЭП1 — электропривод подъема, ЭП2 — электропривод передвижения тележки, ЭП3 — электропривод передвижения моста. Перемещение грузоподъемного

механизма в пространстве, а также подъем/опускание груза выполняются при помощи частотно-регулируемых электроприводов ЭП1, ЭП2 и ЭП3, каждый из которых состоит из преобразователя частоты и асинхронного электродвигателя. Датчики Д1, Д2, Д3 и Д4 предназначены для измерения параметров энергопотребления как отдельно для каждого привода, так и для всего комплекса. Каждый датчик состоит из измерителя постоянного тока и измерителя постоянного напряжения отечественного производителя ОАО «НИИЭМ» серий «ДТХ» и «ДНХ» соответственно. Оба устройства имеют интерфейс «Аналоговая токовая петля», при помощи которого приборы подключаются к аналоговым входам программируемого логического контроллера.

Кроме этого, к релейным выходам ПЛК подключены дискретные входы преобразователей частоты электроприводов для управления передвижением грузоподъемного крана. Во время работы асинхронного двигателя в режиме торможения им вырабатывается

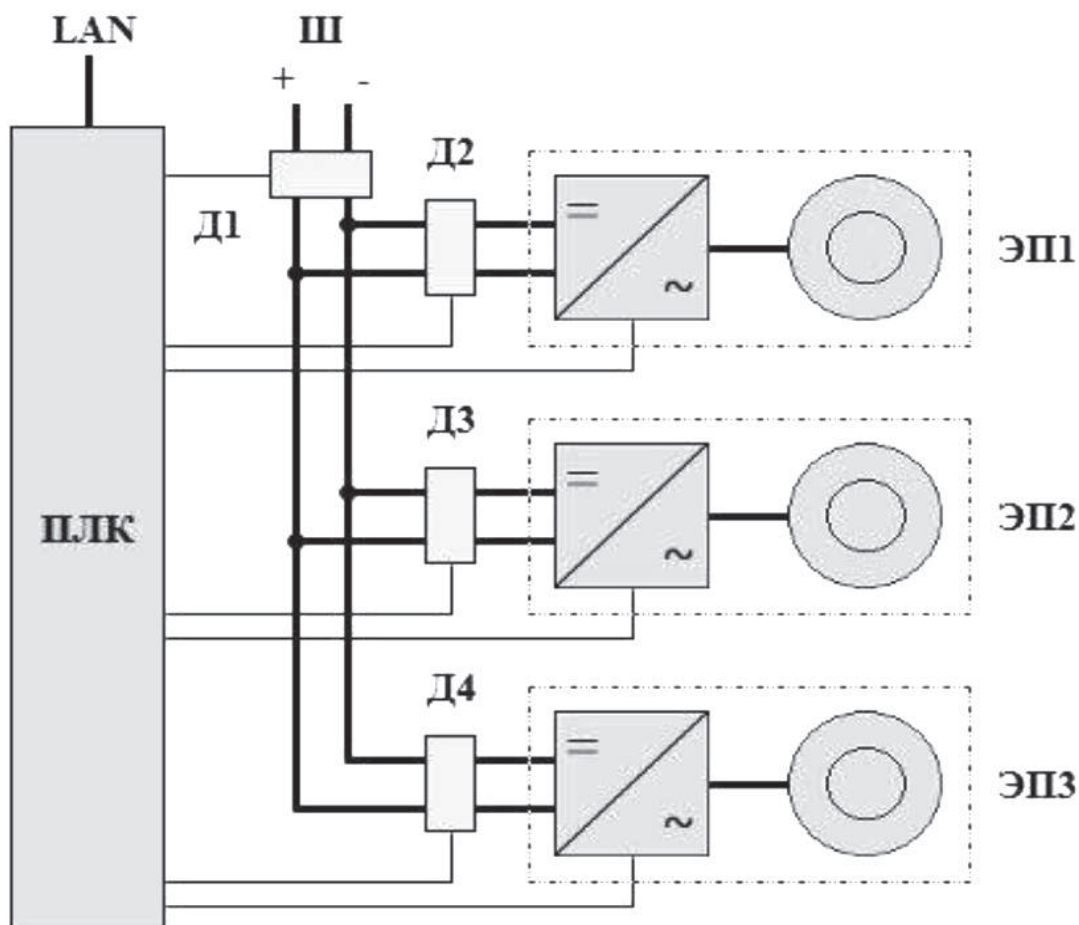


Рисунок 4. Функциональная схема измерительного комплекса

энергия, которая через преобразователь частоты электропривода поступает на шины постоянного напряжения и служит для питания других электроприводов. Для повышения эффективности шины грузоподъемного крана присоединяют к сети постоянного напряжения. Таким образом, появляется возможность объединить общей сетью различные устройства, имеющие шины постоянного напряжения. Например, комплекс грузоподъемных кранов [4].

Программная часть

Программная часть системы (рисунок 1) устанавливается на электронно-вычислительной машине под управлением операционной системы «Windows». К стандартным устройствам ввода/вывода персонального компьютера подключается аппаратная часть системы. Для удаленного управления и сбора данных могут использоваться стандартные проводные и беспроводные информационные сети. LAN — интерфейс (Local Area Network), самое распространенное устройство связи при организации локальной проводной сети. Большие скорости передачи данных, 100 Мбит/с по стандартной витой паре, дают возможность работать с системой управления в реальном масштабе времени. Общераспространенные Wi-Fi адаптеры в зависимости от расстояния между устройствами и наличия преград позволяют организовывать беспроводные локальные сети со скоростью обмена информацией между устройствами до 108 Мбит/с.

Сбор, обработка и подготовка данных с устройств осуществляются при помощи OPC-сервера «Modbus Universal MasterOPC», производитель «ИнСАТ» (Россия). OPC-сервер (образовано от англ. OLE for Process Control) представляет собой комплекс программных решений, предназначенный для решения задач управления объектами автоматизации и технологическими процессами. Сервер с определенной периодичностью «опрашивает оборудование», подключенное к сети, используя уникальный для каждого устройства адрес, что минимизирует ошибки при обмене данными. SQL-сервер предназначен для хранения и манипуляций с информацией, хранящейся в базе данных, при этом

обеспечивается высокая защищенность данных путем использования специальных алгоритмов чтения-записи, резервного копирования и восстановления баз данных после сбоев. Собранные OPC-сервером данные поступают в SCADA-систему (образовано от англ. Supervisory Control And Data Acquisition — система управления и сбора данных), где обрабатываются и записываются. Управляющая программа выполнена на основе SCADA-системы «CX-Supervisor», производитель «OMRON» (Япония).

Управляющая программа имеет следующие функции.

Управление: оперативное управление каждым элементом, входящим в состав системы; регулирование параметров процессов и управление отдельными объектами по заданным алгоритмам; запуск/останов/смена режимов управляемого электропривода; включение/отключение распределительных устройств; работа с блоками телеуправления.

Контроль работы: централизованный контроль состояния объектов, входящих в систему; контроль работы регулируемого электропривода (функционирование, наличие ошибок); контроль работы средств измерения; контроль состояния распределительных устройств и блоков телесигнализации.

Дополнительные задачи: графическая и математическая обработка значений измеренных величин; визуализация системы и протекающих процессов; построение графиков входных/выходных зависимостей; фиксация отклонений от норм контролируемых процессов; программируемые наборы параметров для разных видов промышленных механизмов; переключение режимов управления; ведение архивов и создание отчетов.

При необходимости системой можно управлять дистанционно с удаленных рабочих мест, а также взаимодействовать с другими системами управления и сбора данных, таких как автоматизированная система управления энергоснабжением (АСУЭ) или автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУТП).

На примере преобразователя частоты рассмотрим последовательность ввода в систему управления нового устройства. Промыш-

ленные преобразователи частоты общего назначения независимо от производителя, за редким исключением, имеют одинаковую структурную схему. Рассмотрим частотно-регулируемый электропривод CIMR-V7 производства компании «OMRON» (Япония), который изображен на рисунке 3, и имеет следующие основные функциональные возможности: управление электродвигателем в режиме скалярного или векторного управления, поддержание номинального крутящего момента при низких частотах, высокая несущая частота, функция точного останова, встроенный ПИД-регулятор, вход терморезистора с положительным ТКС для защиты двигателя от перегрева.

Силовой вход (R/L1, S/L2, T/L3) преобразователя частоты подключен к трехфазной питающей сети, а к силовому выходу (U/T1, V/T2, W/T3) подключен трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором. Интерфейс RS-422 (или RS-485) предназначен для управления и обмена сообщениями по информационным сетям. Порт интерфейса подключается к существующей промышленной сети, связанной с системой

управления и контроля. Для идентификации устройства в сети преобразователю частоты назначается уникальный адрес. Для организации связи в информационной сети CIMR-V7 поддерживает протокол Modbus RTU, коммуникационный протокол, разработанный компанией Modicon.

При информационном обмене используются следующие стандартные функции протокола Modbus:

0x03 (чтение данных) — читает данные из заданного числа регистров;

0x08 (тест на эхо-возврат) — принятое сообщение DSR возвращается в качестве ответа. Эта функция используется для контроля состояния канала обмена;

0x10 (запись данных) — данные, сопровождающие сообщение, записываются в заданное число регистров.

А также широкоспектрное сообщение с адресом 0x00, которым устанавливаются значения регистров 0x01 и 0x02.

Согласно руководству по эксплуатации, определяем номера регистров, необходимых для работы с устройством. Если планируется оперативно менять настройки преобразова-

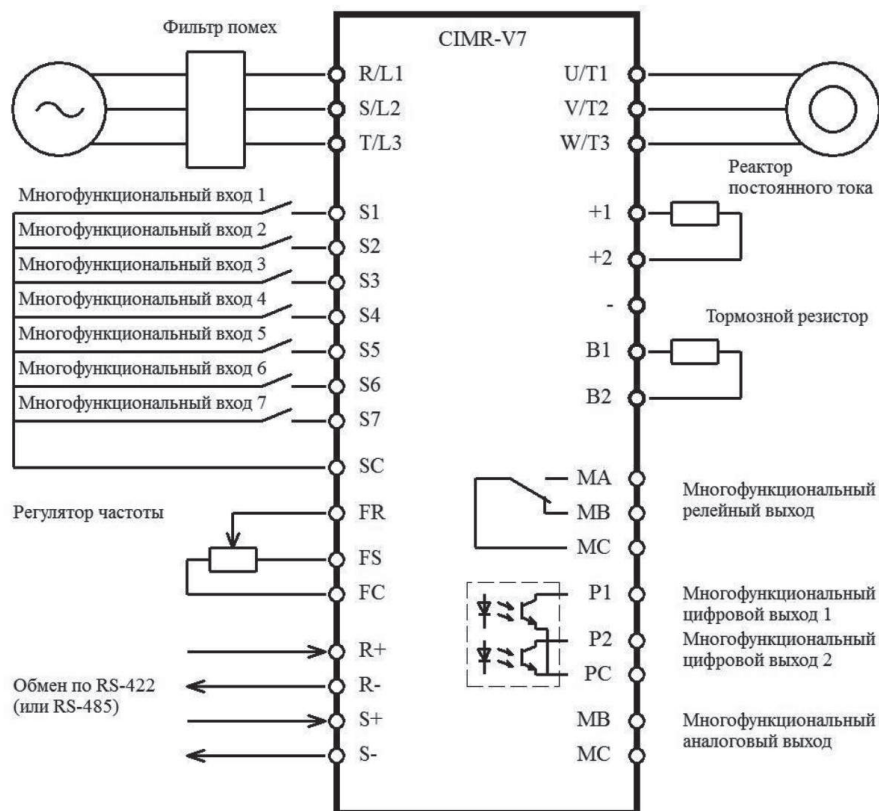


Рисунок 3. Схема подключения преобразователя частоты CIMR-V7

теля частоты, то используются номера регистров из диапазона 0x0101–0x01B3, где содержатся рабочие параметры.

Для управления двигателем и контроля работы привода используются следующие регистры:

0x01 (команда RUN) — установкой соответствующих битов регистра осуществляются запуск двигателя, смена направления вращения, сброс аварии, контроль состояния многофункциональных входов;

0x02 (эталон частоты) — путем установки соответствующего значения регулируется частота вращения двигателя;

0x03 (коэффициент усиления U_f -характеристики) — в соответствии с установленным значением изменяется величина выходного напряжения;

0x09 (выход инвертора) — установкой соответствующих битов регистра осуществляется управление релейным и цифровыми выходами;

Регистры из диапазона 0x20–0x39 отображают текущее состояние преобразователя частоты, имеющиеся аварии, значения величин, измеренных на выходе преобразователя и в звене постоянного тока.

Выбранные номера регистров конфигурируются в списке переменных OPC-сервера, после чего сервер автоматически производит чтение/запись требуемых регистров преобразователя частоты.

С помощью штатных средств CX-Supervisor создаем визуальный образ введенного преобразователя частоты, электродвигателя и приводного механизма с необходимыми

полями отображаемых величин и произведем подключение к вновь введенным в OPC-сервер переменным. Из списка с предустановленными параметрами выбираем настройки, необходимые для работы с данным типом оборудования. Если такой тип оборудования отсутствует или требуется большее число предустановленных значений, то создается и сохраняется новый набор. В завершении производится настройка необходимых характеристик разгона и торможения электродвигателя, параметров ПИД-регулятора.

Выводы

В процессе опытной эксплуатации управляющая система применялась для работы по выявлению дополнительного потенциала энергосбережения как отдельных машин и механизмов, так и технологических комплексов [5].

При использовании программно-аппаратного комплекса, учитывающего особенности функционирования систем энергоснабжения и технологических процессов, появилась возможность внедрения различных энергосберегающих алгоритмов управления энергопотреблением промышленного предприятия, в том числе без остановки непрерывных технологических процессов [6].

Исследование протекающих процессов выполнялось в короткие сроки. Этому способствовала гибкость системы, позволяющая быстро провести эксперимент путем не сложного ввода в работу дополнительных измерительных приборов, силовых распределительных устройств или регулируемого электропривода.

учетом работы автоматизированной системы управления энергоснабжением // Известия вузов. Электромеханика. 2011. № 3. С. 69–71.

4. Патент 142676 Российская Федерация, МПК В 66 С 13/22 (2006.01). Система частотно-регулируемых электроприводов для комплекса грузоподъемных кранов / Климаш В.С., Соколовский М.А. (РФ). 2013145059; заявл. 08.10.2013; Опубл. 27.06.2014, Бюл. 18.

5. Климаш В.С., Соколовский М.А. Система дистанционного управления энергетическими и технологическими установками //

Список литературы

1. Основные положения концепции интеллектуальной энергосистемы с активно-адаптивной сетью. М.: ОАО «ФСК ЕЭС», 2012. 51 с.
2. Бедерак Я.С., Дегтярев А.В. Применение АСУЭ на промышленных предприятиях для решения задач энергосбережения // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. 2010. № 5 (75). С. 28–35.
3. Степанов В.П., Андреев В.В., Емельянов С.А. Управление технологическими процессами на компрессорных станциях с

Электротехнические комплексы и системы управления. 2015. № 4. С. 42–46.

6. Климах В.С., Соколовский М.А. Система рационального управления энергопотреблением промышленного предприятия // Горное оборудование и электромеханика. 2017. № 4. С. 25–31.

References

1. Osnovnye polozhenija koncepcii intellektual'noj jenergosistemy s aktivno-adaptivnoj set'ju. M.: ОАО «FSK EJeS», 2012. 51 s.

2. Bederak Ja.S., Degtjarev A.V. Prime-nenie ASUJe na promyshlennyh predpriyatijah dlja reshenija zadach jenergosberezhenija // Jenergosberezhenie. Jenergetika. Jenergoaudit. 2010. № 5 (75). S. 28–35.

3. Stepanov V.P., Andreev V.V., Emel'janov S.A. Upravlenie tehnologicheskimi proces-

sami na kompressornyh stancijah s uchetom raboty avtomatizirovannoj sistemy upravlenija jenergosnabzheniem // Izvestija vuzov. Jelektromehaniка. 2011. № 3. S. 69–71.

4. Patent 142676 Rossijskaja Federacija, MPK B 66 C 13/22 (2006.01). Sistema chasto-tno-reguliruemyh jelektroprivodov dlja kompleksa gruzopod'emnyh kranov / Klimash V.S., Sokolovskij M.A. (RF). 2013145059; zajavl. 08.10.2013; Opubl. 27.06.2014, Bjul. 18.

5. Klimash V.S., Sokolovskij M.A. Sistema distancionnogo upravlenija jenergeticheskimi i tehnologicheskimi ustanovkami // Jelektrotehnicheskie komplekсы i sistemy upravlenija. 2015. № 4. S. 42–46.

6. Klimash V.S., Sokolovskij M.A. Sistema racional'nogo upravlenija jenergopotrebleniem promyshlennogo predpriyatija // Gornoe oborudovanie i jelektromehaniка. 2017. № 4. S. 25–31.



Евдокимов А. А.
Evdokimov A. A.

кандидат технических наук, инженер,
ОАО «Сургутнефтегаз»
трест «Сургутремстрой»,
г. Сургут, Российская Федерация



Чарыков В. И.
Charykov V. I.

доктор технических наук,
профессор кафедры «Электрификация
и автоматизация сельского хозяйства»,
ФГБОУ ВО «Курганская государственная
сельскохозяйственная академия
имени Т. С. Мальцева»,
г. Курган, Российская Федерация



Саттаров Р. Р.
Sattarov R. R.

доктор технических наук,
профессор кафедры
«Электромеханика»,
ФГБОУ ВО «Уфимский
государственный
авиационный технический
университет»,
г. Уфа,
Российская Федерация»



Игнатъев С. Г.
Ignatyev S. G.

инженер,
Курганский институт
железнодорожного
транспорта,
филиал ФГБОУ
ВО «Уральский
государственный
университет путей
сообщения»,
г. Курган,
Российская Федерация



Городских А. А.
Gorodskikh A. A.

аспирант кафедры
«Электрификация
и автоматизация сельского
хозяйства»,
ФГБОУ ВО «Курганская
государственная
сельскохозяйственная
академия имени
Т. С. Мальцева»,
г. Курган,
Российская Федерация

УДК 62.253.15

РАСЧЕТ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ГЕНЕРАТОРОВ МОЩНОСТЬЮ ДО 10 кВА ДЛЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

На территории Российской Федерации наиболее энергозависимые регионы расположены в континентальной Евразийской зоне. Уральский федеральный округ характеризуется малыми значениями скорости ветра 1,5–5,5 м/с и разнообразной направленностью ветровых потоков. Разрабатываемый электрический генератор для преобразования механической энергии ветра в электрическую в условиях слабых ветров представляет собой синхронную машину с постоянными магнитами, обладает высоким КПД, низкими оборотами и скоро-

стью вращения, надежностью и простотой изготовления конструкции. Применение магнитоэлектрического генератора в составе ветросиловых установок (ВСУ) позволяет повысить эффективность электроснабжения потребителей. Теоретическая ценность работы заключается в том, что произведен расчет магнитной системы магнитоэлектрического генератора с учетом конструктивных его особенностей, а именно применения высокоиндуктивных постоянных магнитов в металлокомпозитном корпусе. Разработан экспериментальный образец генератора, который установлен на ветросиловую установку мощностью 8 кВА. Постоянные магниты: материал — неодим-железобор, коэрцитивная сила по намагниченности 950 кА/м, остаточная индукция 1,2 Тл, форма в виде прямоугольной призмы: ширина 12 мм, длина 230 мм, высота 10 мм. Постоянные магниты в количестве 60 штук крепятся на поверхности стального цилиндрического ротора с внешним диаметром 370 мм, толщиной 10 мм в отфрезерованных пазах глубиной 2 мм. Полярность магнитов чередуется. Расчет магнитного поля выполнен методом конечных элементов. Произведен расчет магнитной системы магнитоэлектрического генератора, позволяющего рассмотреть распределение магнитной индукции на верхней поверхности металлокомпозитного статора и в статорной обмотке на расстоянии 8 мм от неодимовых магнитов. Распределение нормальной составляющей магнитной индукции по линии, проходящей по середине катушки близко к синусоидальному. Результаты расчета магнитной системы позволяют разработать промышленный образец электрического генератора с требуемыми параметрами.

Ключевые слова: генератор магнитоэлектрический, ветросиловая установка, неодимовый магнит, расчет, магнитное поле, ротор, статор.

THE CALCULATION OF THE MAGNETIC SYSTEM OF MAGNETO-ELECTRIC GENERATORS UP TO 10 kVA FOR WIND TURBINES

On the territory of the Russian Federation most volatile regions are located in the Eurasian continental area. Ural Federal district is characterised by low values of wind speed 1.5–5.5 m/s and varied the direction of wind flows. Developed electrical generator used to convert mechanical wind energy into electrical energy in low winds, is a synchronous machine with permanent magnets, has high efficiency, low Rev, speed, reliability and ease of manufacturing. Application magnetoelectric generator part of the wind power units (WPU) allows to increase the efficiency of electricity consumers. The theoretical value of the work lies in the fact that the calculation of the magnetic system of the magnetoelectric generator according to constructional features, namely the application of vysokointensivnykh permanent magnets in metal-composite housing. Developed an experimental model of the generator, which is mounted on a wind power plant with capacity of 8 kVA. Permanent magnets: material: neodymium — iron-boron, the coercive force of the magnetization of 950 kA/m, a residual induction of 1.2 T, in the form of a rectangular prism: width 12 mm, length 230 mm, height 10 mm. Permanent magnets in the amount of 60 pieces are fixed on the surface of a cylindrical steel rotor with an outer diameter of 370 mm, thickness 10 mm milled grooves with a depth of 2 mm. The polarity of the magnets alternates. The magnetic field calculation is performed by finite element method. Calculation of the magnetic system of a magneto generator, which allows to consider the distribution of the magnetic induction on the upper surface of metal-composite stator and stator windings at a distance of 8 mm from neodymium magnets. The distribution of the normal component of the magnetic induction along a line that passes through the middle of the coil close to sinusoidal. The results of the calculation of the magnetic system allows to develop the industrial design of the electric generator with the required parameters.

Key words: magnetoelectric generator, wind power installation, neodymium magnet, calculation, magnetic field, rotor, stator.

Введение

Развитие альтернативной, экологически чистой, природосохраняющей энергетики становится одной из главных тем междуна-

родных саммитов и форумов. В России государственная политика в сфере использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) предусматривает рост доли таких источни-

ков в энергобалансе страны с 1 % в 2009 г. до 4,5 % к 2020 г.

На территории Российской Федерации наиболее энергозависимые регионы расположены в континентальной Евразийской зоне. Уральский федеральный округ характеризуется малыми значениями скорости ветра 1,5–5,5 м/с и разнообразной направленностью ветровых потоков.

Разрабатываемый электрический генератор для преобразования механической энергии ветра в электрическую в условиях слабых ветров представляет собой синхронную машину с постоянными магнитами и обладает высоким КПД, низкими оборотами и скоростью вращения, надежностью и простотой изготовления конструкции.

Актуальность работы не вызывает сомнения в связи с тем, что применение ВИЭ для энергоснабжения потребителей в удаленных районах, малонаселенной местности, объектах малоэтажного строительства, в заповедных районах, на лесных пасеках, в рыболовных артелях и охотничьих угодьях позволяет сохранить экосистему, снизить вредные выбросы, получить энергию там, где отсутствуют традиционные источники или нет возможности доставки энергоресурсов из других регионов. Применение

электрического генератора в составе ветросиловых установок (ВСУ) позволяет повысить эффективность электроснабжения потребителей.

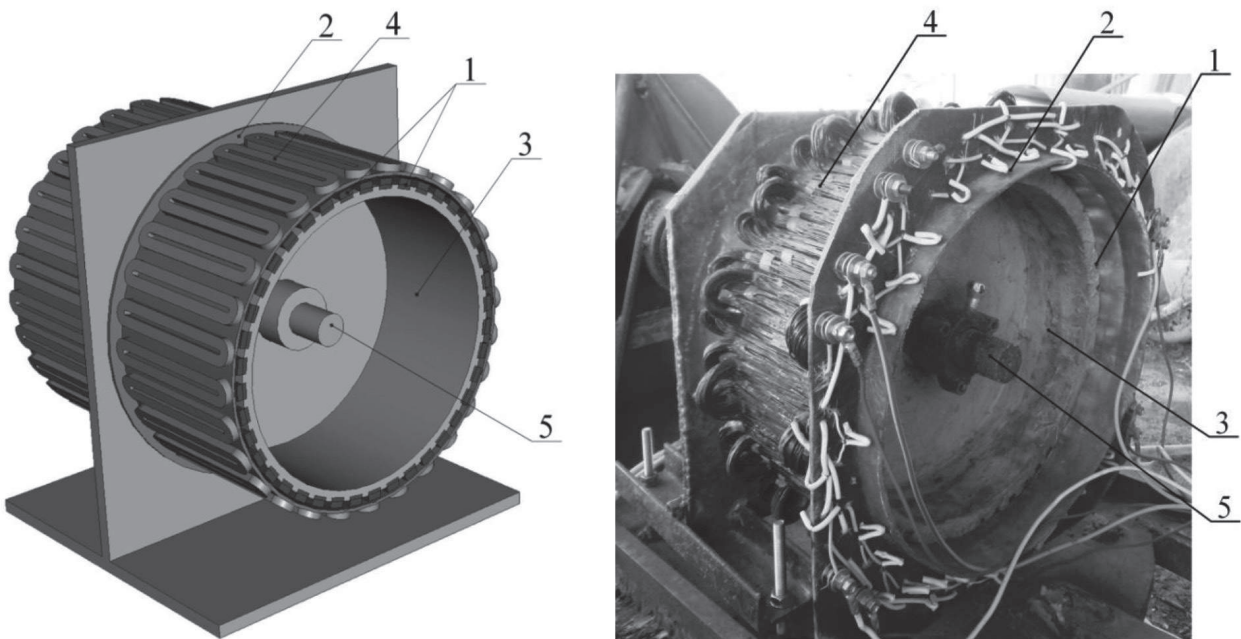
Цель исследования — повышение эффективности электроснабжения потребителей путем использования магнитоэлектрического генератора в составе ветростанций.

Для решения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать методику расчета магнитной системы магнитоэлектрического генератора, позволяющую определять магнитную индукцию и ЭДС магнитного поля;
- провести расчет магнитной системы магнитоэлектрического генератора с учетом его конструктивных особенностей.

Результаты исследований. Расчет магнитной системы электрического генератора позволяет определить распределение магнитной индукции над статорными катушками [1].

Внешний вид генератора [2] приведен на рисунке 1. В генераторе 60 полюсов постоянных магнитов с чередующейся полярностью, постоянные магниты 1,2 Тл, схема включения обмотки параллельная, скорость вращения от 1 м/с.



1 — постоянные магниты; 2 — статор; 3 — ротор; 4 — статорная обмотка; 5 — металлический вал
Рисунок 1. Конструкция магнитоэлектрического генератора на постоянных магнитах

У электрического генератора [1] на постоянных магнитах 1, содержащего статор 2 и ротор 3, а также статорную обмотку 4, ротор 3 выполнен из композитного материала сечением П-образной формы. Ротор установлен на металлическом валу 5, магниты 1 с чередующимися полюсами установлены на роторе 3 в пазах, статорная обмотка 4 размещена на композитном статоре 2 и выполнена в виде независимых секций (рисунок 2) длиной 230 мм. Катушки намотаны медным проводом диаметром 0,65 мм.

Электрический генератор на постоянных магнитах работает следующим образом.

При вращении ротора 3 генератора силовые линии полей постоянных магнитов 1 пересекают витки статорной обмотки 4, расположенные на неподвижном статоре 2. В них наводится электродвижущая сила (ЭДС), величина которой зависит от скорости вращения ротора 3.

Размеры элементов магнитной системы генератора, принятые для расчета, приведены на рисунке 3.

Внутренний диаметр стального цилиндра ротора 350 мм, внешний диаметр стального цилиндра ротора 370 мм, магниты сечением 10×12 мм² установлены в пазах глубиной 2 мм, внешний диаметр ротора по постоянным магнитам 386 мм. Длина ротора 210 мм.

Постоянные магниты: материал — неодим-железобор, коэрцитивная сила по намагниченности 950 кА/м, остаточная индукция 1,2 Тл, форма в виде прямоугольной призмы: ширина 12 мм, длина 230 мм (задача имеет планарную симметрию, длина магнита, вообще говоря, произвольная), высота 10 мм (намагничивание по высоте). Постоянные магниты в количестве 60 штук крепятся на поверхности стального цилиндрического ротора с внешним диаметром 370 мм, толщиной 10 мм в выфрезерованных пазах глубиной 2 мм (рисунок 3). Полярность магнитов чередуется.

Расчет магнитного поля выполнен методом конечных элементов [2]. Распределение магнитного поля в магнитной системе генератора показано на рисунке 4.

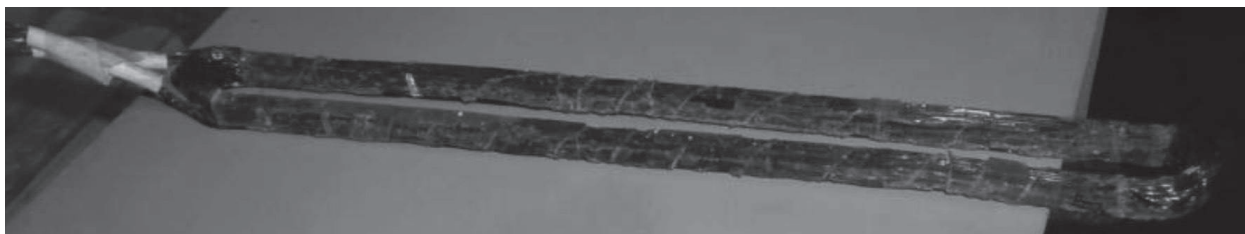


Рисунок 2. Катушка статорной обмотки

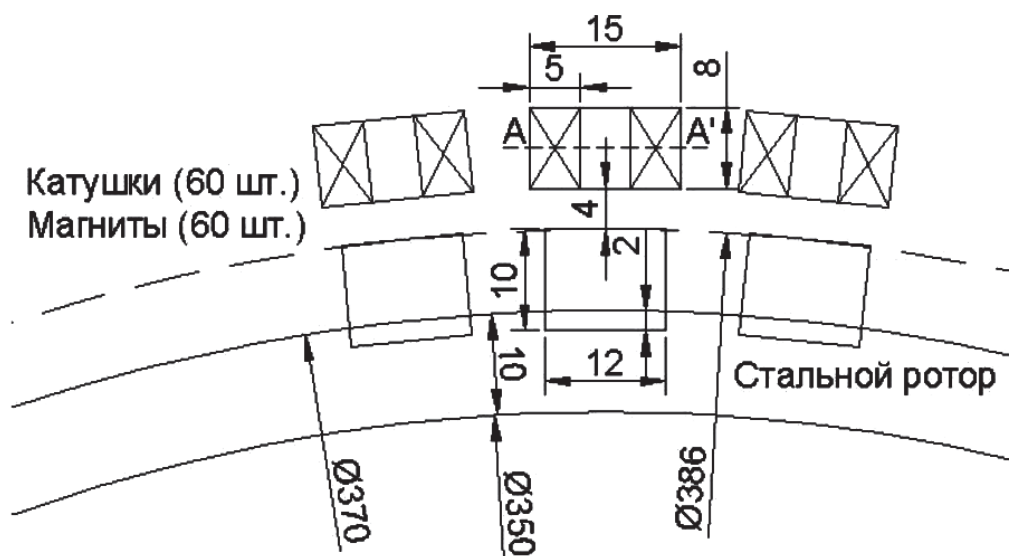


Рисунок 3. Размеры генератора в местах установки постоянных магнитов

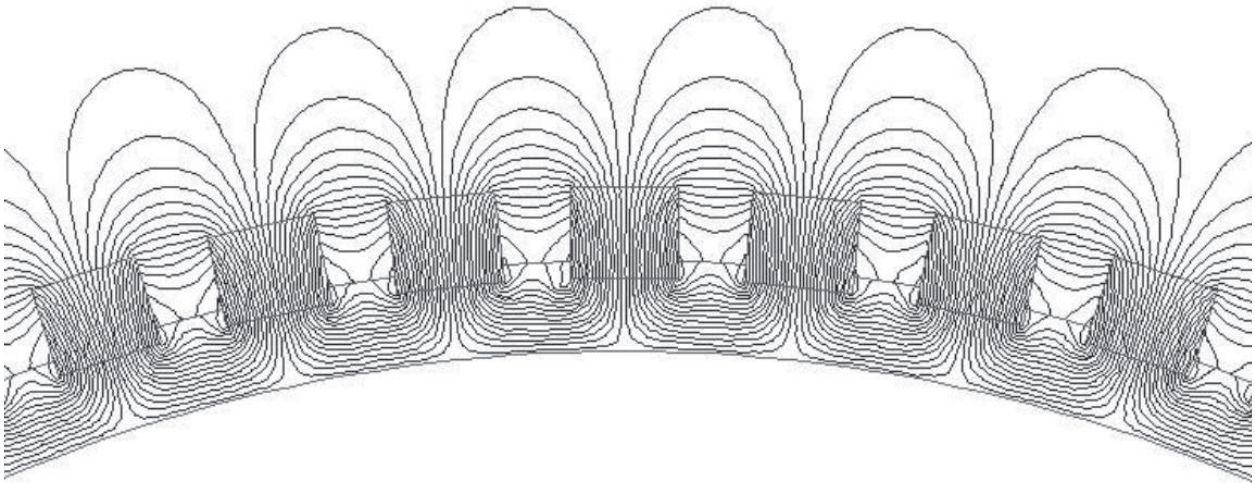


Рисунок 4. Распределение магнитного поля в магнитной системе генератора

На рисунке 5 показано распределение нормальной составляющей магнитной индукции на расстоянии 8 мм над поверхностью одного из магнитов (нормальная составляющая магнитной индукции на линии А-А' на рисунке 3 по центру катушки).

Из рисунка 5 видно, что распределение нормальной составляющей магнитной индукции B_n по линии, проходящей по середине катушки, близко к синусоидальному (пунктирная линия на рисунке 5) и может быть представлено [3–5] формулой:

$$B_n = 0,175 \cdot \cos \frac{\pi \cdot x}{20,5}$$

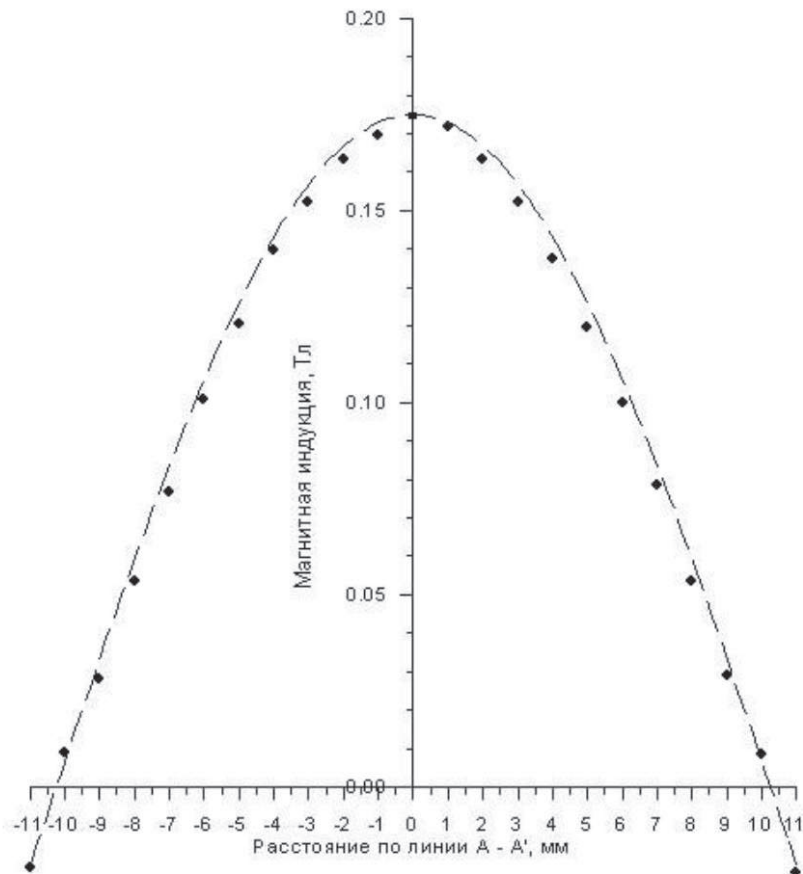


Рисунок 5. Распределение нормальной составляющей магнитной индукции на расстоянии 8 мм над поверхностью одного из магнитов

Среднее значение нормальной составляющей магнитной индукции к плоскости катушки для расчета потокосцепления (среднее по интервалу -5 – $+5$ мм линии А–А') приблизительно равно $0,155$ Тл (что соответствует потоку $3,564$ мВб при длине катушки 230 мм).

Результаты расчета магнитной системы позволяют разработать промышленный образец магнитоэлектрического генератора с требуемыми параметрами (рисунок 6).

Один из успешных промышленных образцов внедрен в производство (рисунок 7).

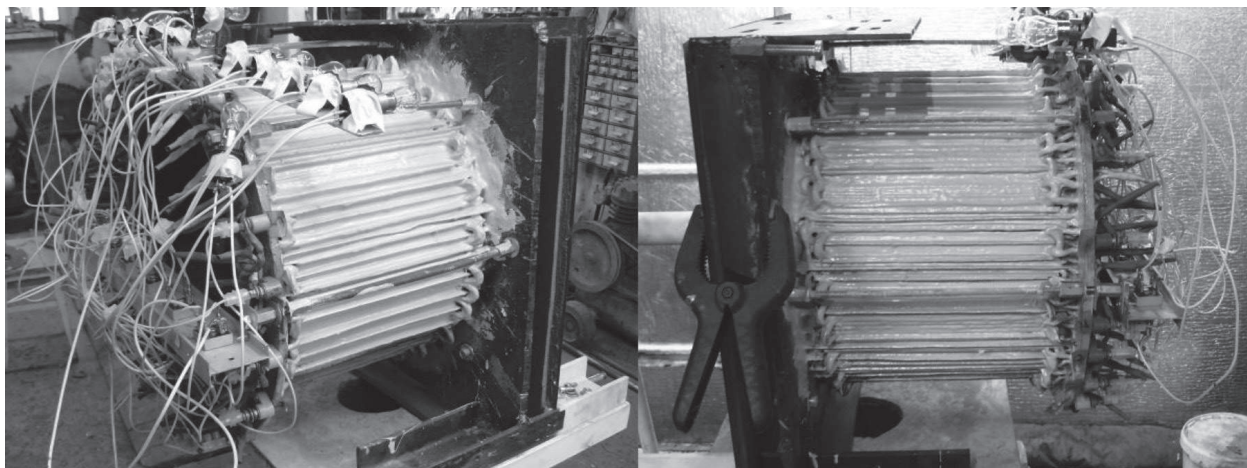


Рисунок 6. Промышленный образец магнитоэлектрического генератора мощностью 8 кВт



Рисунок 7. Ветроэнергетическая установка

Выводы

Произведен расчет магнитной системы магнитоэлектрического генератора, позволяющий рассмотреть распределение магнитной индукции на верхней поверхности металлокомпозитного статора и в статорной обмотке, на расстоянии 8 мм от неодимовых магнитов, имеющих магнитную индукцию $1,2$ Тл. Распре-

деление нормальной составляющей магнитной индукции B_n по линии, проходящей по середине катушки, близко к синусоидальному. Среднее значение нормальной составляющей магнитной индукции к плоскости катушки для расчета потокосцепления приблизительно равно $0,155$ Тл (что соответствует потоку $3,564$ мВб при длине катушки 230 мм).

Список литературы

1. Андреева Е.Г., Беляев П.В., Семина И.А. Программа расчета магнитного поля системы открытого типа // Навигатор в мире науки и образования. 2012. № 4–7 (20–23). С. 165–166.
2. Пат. 135460 Российская Федерация, МПК Н 02 К 19/22, Н 02 К 1/16, Н 02 К 1/28. Электрический генератор / С.Г. Игнатьев, А.А. Евдокимов. 2013125830/07; заявл. 04.06.2013; опубл. 10.12.2013, Бюл. 34. 7 с.: ил.
3. Нейман Л.А., Петрова А.А., Нейман В.Ю. К оценке выбора типа электромагнита по значению конструктивного фактора // Известия вузов. Электромеханика. 2012. № 6. С. 62–64.
4. Пеккер И.И. Физическое моделирование электромагнитных механизмов. М.: Энергия, 1969. 64 с.
5. Демирчян К.С. Моделирование магнитных полей. Л.: Энергия, 1974. 288 с.

References

1. Andreeva E.G., Beljaev P.V., Semina I.A. Programma rascheta magnitnogo polja sistemy otkrytogo tipa // Navigator v mire nauki i obrazovanija. 2012. № 4–7 (20–23). S. 165–166.
2. Pat. 135460 Rossijskaja Federacija, MPK N 02 K 19/22, N 02 K 1/16, N 02 K 1/28. Jelektricheskiy generator / S.G. Ignat'ev, A.A. Evdokimov 2013125830/07; zajavl. 04.06.2013; opubl. 10.12.2013, Bjul. 34. 7 s.: il.
3. Nejman L.A., Petrova A.A., Nejman V.Ju. K ocenke vybora tipa jelektromagnita po znacheniju konstruktivnogo faktora // Izvestija vuzov. Jelektromehanika. 2012. № 6. S. 62–64.
4. Pekker I.I. Fizicheskoe modelirovanie jelektromagnitnyh mehanizmov. M.: Jenergija, 1969. 64 s.
5. Demirchjan K.S. Modelirovanie magnitnyh polej. L.: Jenergija, 1974. 288 s.



Талыбов Н. Г.

Talibov N. G.

*кандидат технических наук, доцент,
проректор по организации учебного процесса
и технологии обучения,*

*Сумгаитский государственный университет,
г. Сумгаит, Азербайджанская Республика*

УДК 621.38

СОЗДАНИЕ БАЗЫ ПРАВИЛ НЕЧЕТКИХ ПРОДУКЦИЙ ДЛЯ ВЫБОРА ЭЛЕМЕНТОВ ЗАХВАТЫВАЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Разработана компьютерная система выбора основных компонентов для проектирования захватывающих устройств промышленных роботов. Показано, что отсутствует единый подход к классификации и систематизации активных элементов захватов роботов и их основных параметров для принятия решения о соответствии выбранного захвата робота конкретным целям. В этой связи проведена систематизация основных параметров механических, пневматических, гидравлических, электромагнитных и комбинированных захватов роботов, на базе которой можно осуществить поиск нужного элемента с помощью разработанной компьютерной системы. Существующие системы, в основу которых положено математическое моделирование процесса проектирования, не на должном уровне учитывают интуитивный аспект человеческого интеллекта. В результате создается система автоматизированного проектирования узкой направленности с низким уровнем работы, который намного отличается от уровня работы опытного проектировщика. В связи с этим решаются вопросы, связанные с методами представления и использования знаний опытных конструкторов, что является важным направлением в создании компьютерной системы выбора и проектирования захватывающих устройств промышленных роботов.

Построена база правил нечетких продукций для выбора основных компонентов захватывающих устройств роботов. Определены входные и выходные лингвистические переменные базы правил нечетких продукций. Для определения числовых значений использована треугольная функция принадлежности. Реализованы процедуры фаззификации и агрегирования всех входных лингвистических переменных, и определена степень истинности всех условий. Методом min-активизации и центра тяжести одноточечных множеств осуществлен процесс аккумуляции и определены количественные значения выходных лингвистических переменных.

Ключевые слова: захват, робот, база правил, функция принадлежности, фаззификация.

CREATION OF BASIS OF RULES OF FUZZY PRODUCTION FOR CHOOSING KEY COMPONENTS OF GRASPING DEVICES

Computer system for selecting main components is developed for the design of the grasping device of industrial robots. It is shown that there is no single approach to classification and systematization for selecting from set of active elements of grasping robots and their key parameters in order to decide the appropriate selection of the grasping robot for specific application. In this regard, main parameters of mechanical, pneumatic, hydraulic, electromagnetic and combined grasping robots are structured on such a basis which it is possible to realize the search of necessary element in the base of developed computer system. Developed systems which are based on mathematical modeling of design process, do not consider intuitive aspect of human intellect in an appropriate level. As a result, automated design system of narrow focus, low level of work which is much different from work level of experienced designer is set up. Thereby, problems are solved related to methods of presentation and use of experienced constructors' knowledge which is important direction in establishment of computer system of selection and design of grasping devices and industrial robots.

Basis of rules of fuzzy production for choosing key components of grasping devices is built. Fuzzification and aggregation of all input linguistic variables have been conducted and the degree of validity of conditions identified. Accumulation process has been fulfilled via min-activation method and the center of gravity of single-point sets, and quantitative meaning of output linguistic variables identified.

Key words: grasp, robot, set of rules, belonging function, fuzzification.

Введение

Захватывающие устройства являются неотъемлемой частью робототехнологических комплексов, и эффективность их проектирования во многом зависит от выбора основных компонентов. Стоимость захвата в зависимости от конкретного производства составляет от 20 % до 30 % от всей стоимости применяемого робота. Это связано с тем, что в составе робота захват является единственным узлом, который не поддается унификации, и требуется его проектирование при каждом конкретном применении [1]. Кроме того, из-за отсутствия четких информации, для расчета и проектирования захватов (или группы захватов) каждый конструктор решал данный вопрос по своему усмотрению и степени профессиональной способности. Следовательно, наряду с эффективными конструкциями, разработанными опытными специалистами, также создавались неперспективные проекты захватов начинающими конструкторами. Специфические особенности манипулируемого объекта предъявляют дополнительные требования к проектированию захватов роботов, так как они должны манипулировать неудачными деталями больших размеров, которые меняют свои конфигурации и размеры после соответствующих технологических операций [2, 3]. В этой связи разработка компьютерной системы расчёта выбора основных компонентов для проектирования захватов роботов на основе современных методов искусственного интеллекта является актуальной научно-технической задачей.

Построение базы правил продукции для выбора элементов захватывающих устройств

В результате проведенного опроса опытных конструкторов определено, что для выбора из множества активных элементов захватов роботов требуемого им достаточно проверить от 7-ми до 9-ти основных параме-

тров, чтобы принять решение о соответствии выбранного захвата робота для конкретного применения, причем они не смогли обосновать, почему именно доминирующими должны быть те параметры, которые определяют тип захватов роботов. Необходимо также отметить, что выбранные захваты роботов по данной методике различными экспертами оправдывают себя при их эксплуатации в промышленных условиях. В этой связи структурированы основные параметры механических захватов роботов, с помощью которых можно осуществить поиск нужного захвата в базе разработанной компьютерной системы (таблица 1).

Структура правила продукции для выбора элементов захватывающих устройств в нечетком представлении знаний записываются в виде [4–6]:

ПРАВИЛО<#>: ЕСЛИ β_1 есть α_1 И β_2 есть α_2 И...И β_{n-1} есть α_{n-1} , ТО β_n есть α_n ; где $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ — названия лингвистических переменных;

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_{n-1}, \dots, \alpha_n$ — их значения, каждому из которых соответствует отдельный лингвистический терм из базового термножества отдельных лингвистических переменных.

Для формирования базы правил систем нечетких продукций определяются входные и выходные лингвистические переменные. В качестве входной лингвистической переменной следует формально использовать следующие:

β_1 — «вес манипулируемого объекта»;

β_2 — «усилие зажима захватывающего устройства»;

β_3 — «грузоподъемность захватывающего устройства».

В качестве выходной лингвистической переменной будем использовать «привод захватывающего устройства».

Таблица 1. Основные параметры механических захватов роботов

№	Тип ЗУ	Способ захвата и удержания	Масса объекта	Геометрическая форма объекта	Усилие зажима	Вес ЗУ	Грузоподъемность ЗУ	Характер крепления роботов	Привод
1	Механические	За счет силы трения	до 5 кг	Прямоугольный	до 5 кН	до 5 кг	до 5 кг	несменяемые	пневматический
2	Вакуумные	Эффекта присасывания	от 5 до 20 кг	Плоский	от 5 до 20 кН	от 5 до 20 кг	от 5 до 20 кг	сменные	гидравлический
3	С эластичными камерами	Аэродинамического эффекта	от 20 до 50 кг	Фланцы	от 20 до 50 кН	свыше 20 кг	от 20 до 50 кг	быстросменяемые	электромагнитный
4	Магнитные	Электромагнитного поля	свыше 50 кг	Валы	от 50 до 90 кН		от 50 до 90 кг	автоматической смены	комбинированный
5	Струйные	Обжатием упругой оболочкой		Деталь коробчатой формы	свыше 90 кН		свыше 90 кг		
6		Силой атмосферного давления							

База нечетких продукций выбора элементов захватывающего устройств состоит из следующих правил:

Правило 1: ЕСЛИ вес манипулируемого объекта ниже среднего

И усилие зажима захватывающего устройства ниже среднего

И грузоподъемность захватывающего устройства ниже среднего,

ТО привод выбираемого захватывающего устройства гидравлический;

Правило 2: ЕСЛИ вес манипулируемого объекта чуть ниже среднего

И усилие зажима захватывающего устройства чуть ниже среднего

И грузоподъемность захватывающего устройства чуть ниже среднего,

ТО привод выбираемого захватывающего устройства гидравлический;

Правило 3: ЕСЛИ вес манипулируемого объекта существенно ниже среднего

И усилие зажима захватывающего устройства существенно ниже среднего

И грузоподъемность захватывающего устройства существенно ниже среднего,

ТО привод выбираемого захватывающего устройства гидравлический;

Правило 4: ЕСЛИ вес манипулируемого объекта максимально ниже среднего

И усилие зажима захватывающего устройства максимально ниже среднего

И грузоподъемность захватывающего устройства максимально ниже среднего,

ТО привод выбираемого захватывающего устройства пневматический;

Правило 5: ЕСЛИ вес манипулируемого объекта минимальный

И усилие зажима захватывающего устройства минимальный

И грузоподъемность захватывающего устройства минимальна,

ТО привод выбираемого захватывающего устройства пневматический;

Правило 6: ЕСЛИ вес манипулируемого объекта чуть ниже минимального

И усилие зажима захватывающего устройства чуть ниже минимального

И грузоподъемность захватывающего устройства чуть ниже минимального

ТО привод выбираемого захватывающего устройства пневматический;

Правило 7: **ЕСЛИ** вес манипулируемого объекта существенно ниже минимального

И усилие зажима захватывающего устройства существенно ниже минимального

И грузоподъемность захватывающего устройства существенно ниже минимального,

ТО привод выбираемого захватывающего устройства пневматический;

Правило 8: **ЕСЛИ** вес манипулируемого объекта средний

И усилие зажима захватывающего устройства средний

И грузоподъемность захватывающего устройства средняя,

ТО привод выбираемого захватывающего устройства гидравлический;

Правило 9: **ЕСЛИ** вес манипулируемого объекта чуть выше среднего

И усилие зажима захватывающего устройства чуть выше среднего

И грузоподъемность захватывающего устройства чуть выше среднего,

ТО привод выбираемого захватывающего устройства гидравлический;

Правило 10: **ЕСЛИ** вес манипулируемого объекта выше среднего и усилие зажима захватывающего устройства выше среднего

И грузоподъемность захватывающего устройства выше среднего,

ТО привод выбираемого захватывающего устройства электромагнитный;

Правило 11: **ЕСЛИ** вес манипулируемого объекта существенно выше среднего

И усилие зажима захватывающего устройства существенно выше среднего

И грузоподъемность захватывающего устройства существенно выше среднего,

ТО привод выбираемого захватывающего устройства электромагнитный;

Правило 12: **ЕСЛИ** вес манипулируемого объекта максимально выше среднего

И усилие зажима захватывающего устройства максимально выше среднего

И грузоподъемность захватывающего устройства максимально выше среднего,

ТО привод выбираемого захватывающего устройства электромагнитный;

Правило 13: **ЕСЛИ** вес манипулируемого объекта чуть ниже максимального

И усилие зажима захватывающего устройства чуть ниже максимального

И грузоподъемность захватывающего устройства чуть ниже максимального,

ТО привод выбираемого захватывающего устройства комбинированный;

Правило 14: **ЕСЛИ** вес манипулируемого объекта существенно ниже максимального

И усилие зажима захватывающего устройства существенно ниже максимального

И грузоподъемность захватывающего устройства существенно ниже максимального,

ТО привод выбираемого захватывающего устройства комбинированный;

Правило 15: **ЕСЛИ** вес манипулируемого объекта максимальный

И усилие зажима захватывающего устройства максимально

И грузоподъемность захватывающего устройства максимальна,

ТО привод выбираемого захватывающего устройства комбинированный.

Фаззификация входных переменных базы нечетких продукций выбора элементов захватывающих устройств

Для фаззификации входных переменных «вес манипулируемого объекта», «усилие зажима захватывающего устройства» и «грузоподъемность захватывающего устройства» использована треугольная функция принадлежности, которая задается следующим выражением:

$$\mu(x, a, b, c) = \begin{cases} 0, & \text{если } x \leq a; \\ \frac{x-a}{b-a}, & \text{если } a \leq x \leq b; \\ \frac{c-x}{c-b}, & \text{если } b \leq x \leq c; \\ 0, & \text{если } c \leq x; \end{cases}$$

где $a \leq b \leq c$.

В результате определяются все значения $b'_i = \mu(a_i)$ для каждого подусловия всех правил, входящих в создаваемую базу продукционных правил (таблицы 2–4, рисунки 1–3).

Таблица 2. Результат фаззификации входной лингвистической переменной <вес манипулируемого объекта>

Название термина	a	b	c	x_i	$\mu(x_i)$
Существенно ниже минимального	3,00	8,00	10,00	9,00	0,500
Чуть ниже минимального	5,00	10,00	15,00	12,00	0,600
Минимальный	10,00	15,00	20,00	17,00	0,600
Максимально ниже среднего	15,00	20,00	25,00	23,00	0,400
Существенно ниже среднего	20,00	30,00	35,00	33,00	0,400
Ниже среднего	25,00	35,00	45,00	38,00	0,700
Чуть ниже среднего	30,00	40,00	55,00	45,00	0,667
Средний	40,00	50,00	65,00	55,00	0,667
Чуть выше среднего	45,00	55,00	70,00	65,00	0,333
Выше среднего	50,00	60,00	75,00	71,00	0,267
Существенно выше среднего	55,00	65,00	80,00	74,00	0,400
Максимально выше среднего	60,00	70,00	85,00	83,00	0,133
Существенно ниже максимального	65,00	75,00	90,00	84,00	0,400
Чуть ниже максимального	70,00	80,00	95,00	88,00	0,467
Максимальный	80,00	90,00	100	95,00	0,500

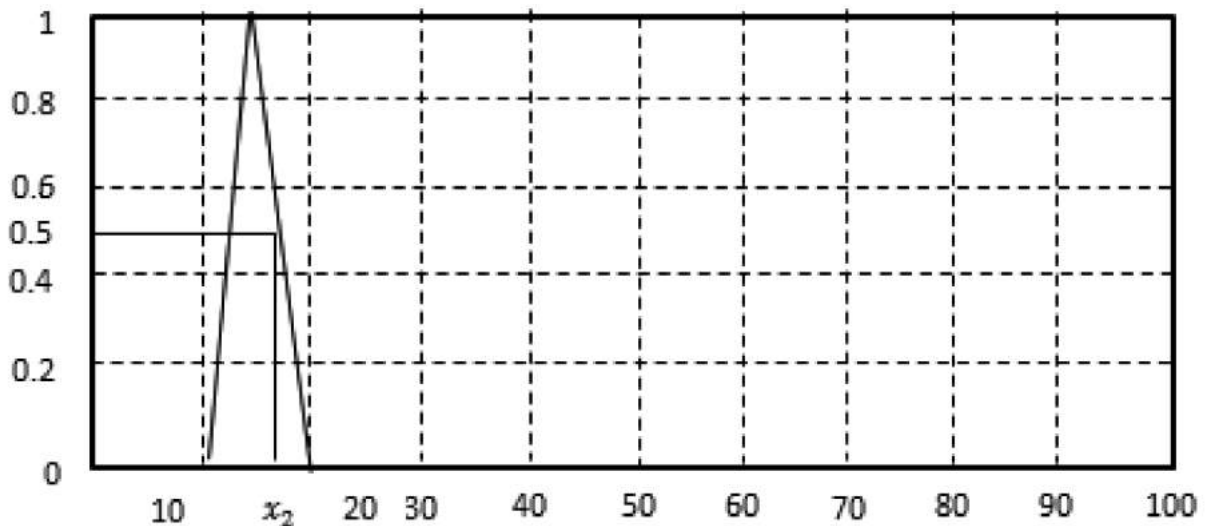
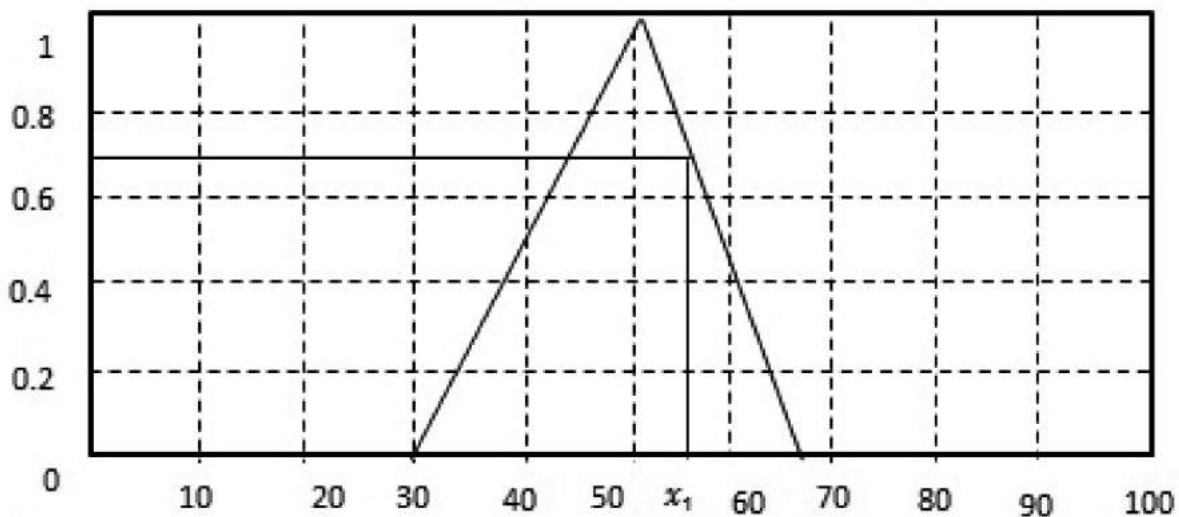


Рисунок 1. Пример фаззификации входной лингвистической переменной <вес манипулируемого объекта> минимальный ($a = 10,00$; $b = 15,00$; $c = 20,00$; $x_2 = 17,00$)

Таблица 3. Результат фаззификации входной лингвистической переменной <усилие зажима захватывающего устройства>

Название термина	a	b	c	x_i	$\mu(x_i)$
Существенно ниже минимального	1,40	1,45	2,90	1,55	0,931
Чуть ниже минимального	3,50	3,80	4,90	3,70	0,923
Минимальный	3,70	3,75	4,00	3,80	0,800
Максимально ниже среднего	11,00	11,70	13,00	12,00	0,769
Существенно ниже среднего	12,00	14,00	19,00	18,00	0,200
Ниже среднего	18,90	19,00	20,30	19,20	0,846
Чуть ниже среднего	21,00	23,00	25,00	24,00	0,500
Средний	22,00	25,00	28,00	26,00	0,667
Чуть выше среднего	30,00	30,20	31,00	30,40	0,750
Выше среднего	30,00	30,80	35,00	31,20	0,905
Существенно выше среднего	37,40	37,90	40,00	36,50	0,952
Максимально выше среднего	42,00	43,00	46,00	43,80	0,733
Существенно ниже максимального	44,00	45,00	48,00	45,30	0,900
Чуть ниже максимального	46,00	47,00	50,00	48,70	0,433
Максимальный	47,00	48,00	50,00	49,40	0,300

**Рисунок 2.** Пример фаззификации входной лингвистической переменной <вес манипулируемого объекта> средней ($a = 40,00$; $b = 50,00$; $c = 65,00$; $x_1 = 55,00$)**Таблица 4.** Результат фаззификации входной лингвистической переменной <грузоподъемность захватывающего устройства>

Название термина	a	b	c	x_i	$\mu(x_i)$
Существенно ниже минимального	5,00	9,00	14,00	12,00	0,400
Чуть ниже минимального	10,00	19,00	25,00	23,00	0,333
Минимальный	20,00	30,00	33,00	31,00	0,667
Максимально ниже среднего	30,00	40,00	45,00	43,00	0,400
Существенно ниже среднего	35,00	45,00	55,00	50,00	0,500
Ниже среднего	40,00	50,00	60,00	55,00	0,500
Чуть ниже среднего	45,00	55,00	65,00	60,00	0,500
Средний	50,00	60,00	75,00	65,00	0,667
Чуть выше среднего	55,00	65,00	80,00	75,00	0,333
Выше среднего	60,00	70,00	90,00	85,00	0,250
Существенно выше среднего	65,00	75,00	95,00	90,00	0,250
Максимально выше среднего	70,00	80,00	100,00	95,00	0,250
Существенно ниже максимального	80,00	90,00	105,00	100,00	0,333
Чуть ниже максимального	90,00	100,00	110,00	105,00	0,500
Максимальный	100,00	110,00	120,00	115,00	0,500

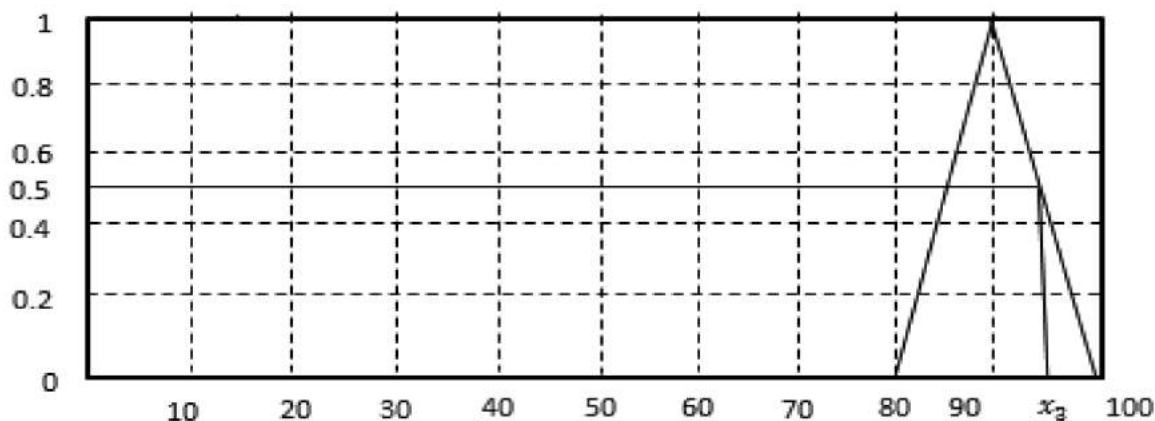


Рисунок 3. Пример фаззификации входной лингвистической переменной <вес манипулируемого объекта> максимальный ($a = 80,00$; $b = 90,00$; $c = 100,00$; $x_3 = 95,00$)

Агрегирование входных переменных выбора элементов захватывающих устройств

Процесс агрегирования представляет собой процедуру определения степени истинности условий по каждому из правил нечеткого вывода. Процедура агрегирования выполняется следующим образом. До начала этого процесса должны быть известны значения истинности всех подусловий системы нечеткого вывода [5]. Если условие состоит из нескольких подусловий вида $\langle\langle\beta_i \text{ есть } a_i\rangle\rangle$, лингвистические переменные в подусловиях попарно не равны друг другу, то определяется степень истинности сложного высказывания на основе известных значений истинности подусловий. При этом для определения результата нечеткой конъюнкции или связки «И» можно использовать следующие формулы [7]:

$$T((A^B) = \min\{T(A), T(B)\},$$

где $T:A \rightarrow [0,1]$ и $T:B \rightarrow [0,1]$ — значения степени истинности нечеткого высказывания А и В (таблица 5, рисунок 4).

Активизация представляет собой процесс нахождения степени истинности каждого из подзаклучений правил нечетких продукций [5].

До начала процесса активизации должны быть известными значения истинности всех условий системы нечеткого вывода и значения весовых коэффициентов F_i для каждого правила (если весовой коэффициент не задан, то его значение равно 1). Далее рассматривается каждое из заключений правил системы нечеткого вывода. Если заключение правил представляет собой нечеткое высказывание вида « β есть a », то степень его истинности равна алгебраическому произве-

Таблица 5. Результат агрегирования степени истинности условий в правилах нечеткой продукции

Степень истинности под условия <вес манипулируемого объекта>	Степень истинности под условия <усилие зажима захватывающего устройства>	Степень истинности под условия <грузоподъемность захватывающего устройства>	Степень истинности условий
0,500	0,931	0,400	0,400
0,600	0,923	0,333	0,333
0,600	0,800	0,667	0,600
0,400	0,769	0,400	0,400
0,400	0,200	0,500	0,200
0,700	0,846	0,500	0,500
0,667	0,500	0,500	0,500
0,667	0,500	0,500	0,500
0,667	0,667	0,667	0,667
0,333	0,750	0,333	0,333
0,267	0,905	0,250	0,250
0,133	0,733	0,250	0,133
0,400	0,900	0,333	0,333
0,467	0,433	0,500	0,433
0,500	0,300	0,500	0,300

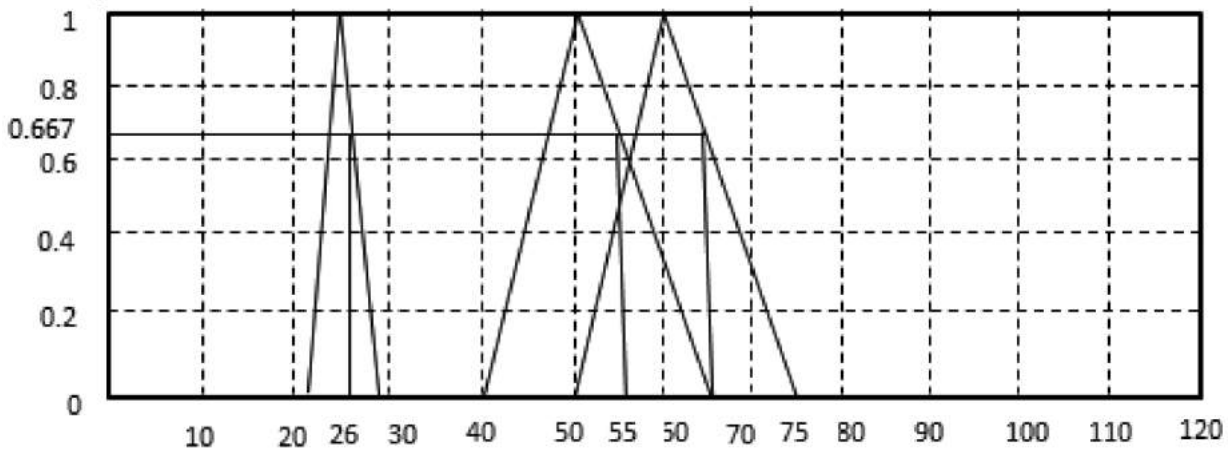


Рисунок 4. Пример агрегирования подусловий для трех высказываний: «вес манипулируемого объекта» и «усилие зажима захватывающего устройства» и «грузоподъёмность захватывающего устройства»

дению соответствующего значения на весовой коэффициент. После этого определяются функции принадлежности каждого из подзаключений для рассматриваемых выходных лингвистических переменных.

Для этой цели можно использовать метод min-активизации нечеткой композиции [7]:

$$\mu(y) = \min(c_i, \mu(y)),$$

где $\mu(y)$ — функция принадлежности терма, который является значением некоторой

выходной переменной, заданной на универсуме Y (таблица 6).

Результат аккумуляции для выходной лингвистической переменной определяется как объединение нечетких множеств.

Результат дефаззификации для выходной лингвистической переменной определен в виде количественного значения на основе метода центра тяжести для одноточечных множеств.

Таблица 6. Результат активизации заключений в правилах нечеткой продукции

Степень истинности условий	Значение функции принадлежности подзаключений	Значение функции принадлежности выходных переменных
0,400	0,333	0,333
0,333	0,600	0,333
0,600	0,400	0,400
0,400	0,333	0,333
0,200	0,333	0,200
0,500	0,400	0,400
0,500	0,433	0,433
0,500	0,667	0,500
0,667	0,600	0,600
0,333	0,667	0,333
0,250	0,333	0,250
0,133	0,500	0,133
0,333	0,250	0,250
0,433	0,333	0,333
0,300	0,431	0,300

Выводы

Создана база правил нечетких продукционных систем для выбора основных элементов захватывающих устройств промышленных роботов. Реализована процедура фаззификации всех подусловий входных лингвистических переменных.

Определены степени истинности условий в правилах нечеткой продукции. Найдены все значения степеней истинности подзаключений для каждого правила.

Результат дефаззификации определен в виде количественного значения выходных лингвистических переменных.

Список литературы

1. Гусейнов А.Г., Халилов С.А., Талыбов Н.Г. и др. Наука и техника. Автоматизированное проектирование нестандартных механических модулей с применением интеллектуальных средств. Научно-информационный центр. Красноярск, 2011. 179 с.
2. Максимов А.А., Чжинин Г. Управление робототехническими комплексами на основе конечных автоматов с переменной структурой // Вестник МГТУ, Сер. Приборостроение. 2001. № 1. С. 112–126.
3. Щербатов И.А. Интеллектуальное управление робототехническими системами в условиях неопределенности // Вестник АГТУ. Сер. Управление, вычислительная техника и информатика. 2010. № 1. С. 74–77.
4. Осуга С. Обработка знаний: Пер. с англ. М.: 1986. 293 с.
5. Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов Ф.С. Нечеткие модели и сети. М.: Телеком, 2012. 725 с.
6. Мустафаев В.А. Анализ нечетких производственных моделей динамических взаимодействующих процессов // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2012. № 5 (95). С.25–30.
7. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzy TECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 717 с.

References

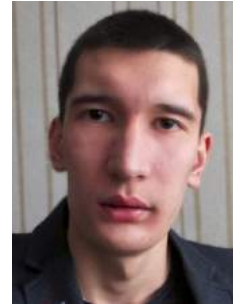
1. Gusejnov A.G., Halilov S.A., Talybov N.G. i dr. Nauka i tehnika. Avtomatizirovannoe proektirovanie nestandardnyh mehanicheskikh modulej s primeneniem intellektual'nyh sredstv. Nauchno-informacionnyj centr. Krasnojarsk, 2011. 179 s.
2. Maksimov A.A., Chzhinin G. Upravlenie robototekhnicheskimi kompleksami na osnove konechnyh avtomatov s peremennoj strukturoj // Vestnik MGTU, Ser. Priborostroenie. 2001. №1. S.112–126.
3. Shherbatov I.A. Intellektual'noe upravlenie robototekhnicheskimi sistemami v uslovijah neopredelennosti // Vestnik AGTU. ser. Upravlenie, vychislitel'naja tehnika i informatika. 2010. № 1. S. 74–77.
4. Osuga S. Obrabotka znaniy: Per. s angl. M.: 1986. 293 s.
5. Borisov V.V., Kruglov V.V., Fedulov F.S. Nechetkie modeli i seti. M.: Telekom, 2012. 725 s.
6. Mustafaev V.A. Analiz nechetkih produkcionnyh modelej dinamicheskikh vzaimodejstvujushhih processov // Vestnik komp'juternyh i informacionnyh tehnologij. 2012. № 5 (95). S. 25–30
7. Leonenkov A.V. Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB u fuzzy TECH. SPb.: BHV-Peterburg, 2005. 717 s.



Родионов А. С.
Rodionov A. S.
кандидат физико-
математических наук,
доцент кафедры
«Общенаучные
дисциплины»,
Филиал ФГБОУ ВО
«Уфимский
государственный
нефтяной технический
университет»
в г. Салавате,
Российская Федерация



Фархутдинов Р. И.
Farkhutdinov R. I.
студент группы БАБ-16-21,
Филиал ФГБОУ ВО
«Уфимский
государственный
нефтяной технический
университет»
в г. Салавате,
Российская Федерация



Хусаинов И. Р.
Khusainov I. R.
студент группы БАБ-16-21,
Филиал ФГБОУ ВО
«Уфимский
государственный
нефтяной технический
университет»
в г. Салавате,
Российская Федерация

УДК 004.942

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ В СКВАЖИНЕ С УЧЕТОМ ДИАМЕТРА СКВАЖИНЫ

В статье рассматривается разработка программного комплекса моделирования температурных полей в скважине. Предметом исследования является динамика изменения температурного поля в скважине. В данной системе диагностика скважины осуществляется при помощи средств термометрии.

В процессе работы разработана система, позволяющая повысить скорость исследования температурных полей в скважине. По полученным на входе показаниям с датчиков и данным, введенным пользователем, программа строит разницу между экспериментальной и теоретической кривыми. Исходя из полученного графика зависимости температуры от времени можно прийти к выводу о наличии или отсутствии эффектов, обусловленных изменением диаметра нефтяной скважины. Несложный интерфейс программы позволяет пользователю при необходимости добавлять результаты экспериментальных температурных исследований скважины и моделировать температурные поля, используя новые значения глубины, или удалять старые.

Основным параметром является температура, которая характеризует процессы, происходящие в работе скважины. Температура тесно связана с другими важными параметрами скважины, например, приток жидкости вследствие нарушения целостности колонны в скважине неминуемо приведет к изменению температурного поля потока нефти. К изменению распределения температуры также приведет и изменение диаметра колонны, например, из-за отложения парафинов. Следовательно, используя методы анализа состояния скважины, основанные на измерении температуры, можно диагностировать различные эффекты в скважине, в том числе и приводящие к серьезным неполадкам в работе. Диагностика осуществляется на протяжении всего периода существования скважины: при закачивании, эксплуатации и ремонте.

При эксплуатации нефтяного месторождения полученная с датчиков информация применяется для решения практических задач управления. В них входят: изучение свойств и характера нефтяного потока, проверка технического состояния скважин и принятие мер в случае возникновения неисправности. Проблема обводнения скважин влечёт за собой немалые финансовые издержки. Широкая распространённость данного явления вынуждает нефтяные предприятия тратить существенную долю прибыли на ремонт скважины по причине отсутствия достаточного уровня оперативности. Совершена попытка повышения точности выявления подобной неисправности и, как следствие, увеличения оперативности обнаружения проблемы. Для значительного снижения нагрузки на аппаратную часть предлагается использовать графическое представление аналитического решения.

Ключевые слова: термометрия, моделирование, обводнение скважин, термограмма, скважина, нефть, программное обеспечение, график, температурное поле, база данных.

DEVELOPMENT OF THE SOFTWARE COMPLEX OF TEMPERATURE FIELDS MODELING IN THE WELL WITH THE ACCOUNT OF THE WELL DIAMETER

The article deals with the development of a software complex of temperature fields modeling in a well. The subject of the study is the dynamics of the change in the temperature field in the well. In this system, well diagnostics is carried out using thermometry tools.

The main parameter is the temperature, which characterizes the processes occurring in the operation of the well. Temperature is the energy parameter of the system. Any change in the system due to changes in the operating mode of the well, reduction or increase in pressure, disruption of the integrity of the column, and the like, leads to a change in the temperature (temperature distribution) in the well. Diagnosis is carried out throughout the life of the well: during injection, operation and repair.

The main parameter is the temperature, which characterizes the processes occurring in the operation of the well. The temperature is closely related to other important parameters of the well, for example, the inflow of liquid due to the integrity of the column in the well will inevitably lead to a change in the temperature field of the oil flow. Change of the temperature distribution will also lead to a change in the diameter of the column, for example, because of the deposition of paraffins. Therefore, using wellbore analysis methods based on temperature measurement, it is possible to diagnose various effects in the well, including those leading to serious malfunctions. Diagnosis is carried out throughout the life of the well: during injection, operation and repair.

When operating an oil field, the information received from sensors is used to solve practical control tasks. They include: the study of the properties and nature of the oil flow, checking the technical condition of the wells and taking into account the case of malfunction. The problem of watering wells is caused by considerable financial costs. The widespread prevalence of this phenomenon forces oil companies to spend a significant share of the profits for the repair of the well due to the lack of sufficient level of efficiency. An attempt was made to increase the accuracy of detecting such a malfunction and, as a result, to increase the speed of detection of the problem. To significantly reduce the load on the hardware part, it is suggested to use a graphical representation of the analytical solution.

Key words: thermometry, modeling, watering of wells, thermogram, well, oil, software, graph, temperature field, database.

Поддержание и повышение эффективности работы нефтяной скважины зависит от разных параметров: техническое состояние электрооборудования, оперативность обнаружения и ликвидации неисправности, количество и качество плановых и внеплановых ремонтов технического оснащения. Пренебрежение хотя бы одним из них может

привести к существенным финансовым потерям.

Одной из основных проблем добычи нефти является обводнение. Как известно, этому явлению подвержено около 83 % нефтяных скважин. Опасность описанного эффекта для нефтедобывающей промышленности заключается в следующем:

— доля воды в выкачиваемой нефти может составлять 90 %;

— стоимость ремонта (вероятность успешного ремонта — 37 %) может достигать 40 % от стоимости бурения новой скважины;

— может привести к необходимости бурения новой скважины.

Таким образом уменьшение эффектов обводнения может не только уменьшить затраты на ремонт, но и увеличить количество добываемых углеводородов особенно в месторождениях с повышенной сложностью извлечения ресурсов. Борьба с последствиями описанной проблемы после аварии сложно, поэтому необходимо повышать эффективность способов преждевременного обнаружения и устранения интервалов заколонной циркуляции.

Одним из способов исследования скважин являются температурные измерения вдоль ствола скважины [1]. Диагностика нефтяных скважин с использованием методов скважинной термометрии позволяет проверить скважину на наличие интервалов заколонной циркуляции. Однако, наряду с обводнением, могут наблюдаться такие эффекты, как турбулизация потока нефти, изменение радиуса скважины и т.д., что, в свою очередь, может исказить результаты термометрии. Для учета этих эффектов создан программный модуль, позволяющий моделировать температурное поле в скважине с учетом изменения радиуса скважины. Далее описывается работа этого модуля.

В работах [2–5] развита теория, позволяющая получить численно-аналитическое решение основной задачи термокаротаж с учетом различных эффектов, в частности имеется возможность учитывать вероятность возникновения неустойчивого турбулентного режима течения и изменение радиуса сечения скважины. Описанное решение положено в основу расчетной части описываемого модуля. Ниже представлены формулы, используемые для моделирования температурного поля с учетом изменения диаметра:

$$T^{(0)} = \begin{cases} T_l^{(0)}, & 0 < z < L, \\ T_h^{(0)}, & z \geq L. \end{cases} \quad (1)$$

Температура в участке ниже точки изменения диаметра вычисляется по формуле:

$$T_l^{(0)} = \Phi(Fo - S_l(z)) \left\{ T_0 \operatorname{erfc} \left(\frac{2\chi R_{l1}(1)S_l(z)}{\sqrt{Fo - S_l(z)}} \right) + \int_0^z (1-H) \operatorname{erfc} \left(\frac{2\chi R_{l1}(1)S_l(z-\xi)}{\sqrt{Fo - S_l(z)}} \right) d\xi, \quad r < 1, 0 < z < H, \right. \quad (2)$$

где $S_l(z) = z/2R_{l1}(1)Pe_l\nu$.

Выражение для расчета средней температуры на участке выше изменения диаметра задается формулой:

$$T_h^{(0)} = \Phi(Fo - S_l(L) - S_h(z-L)) \times \operatorname{erfc} \left[\frac{\chi(S_l(L) + S_h(z-L)/r_{hl})}{\sqrt{Fo - S_l(L) - S_h(z-L)}} \right] + (1-H) \int_0^L \left\{ \Phi(Fo - S_l(L-\xi) - S_h(z-L)) \times \operatorname{erfc} \left[\frac{\chi(S_l(L-\xi) - S_h(z-L)/r_{hl})}{\sqrt{Fo - S_l(L-\xi) - S_h(z-L)}} \right] \right\} d\xi + (1-H) \int_L^z \left\{ \Phi(Fo - S_h(z-\xi)) \times \operatorname{erfc} \left[\frac{\chi S_h(z-\xi)/r_{hl}}{\sqrt{Fo - S_h(z-\xi)}} \right] \right\} d\xi, \quad r < r_{hl}, z \geq L, \quad (3)$$

где $S_h(z) = r_{hl}^2 z/2R_{h1}(r_{hl})Pe_h\nu$.

В формулах (1) — (3) приняты следующие обозначения:

- L — теплота фазового перехода, Дж/кг;
- Pe — параметр Пекле;
- r, z — безразмерные цилиндрические координаты, м;
- R — профиль скорости;
- T — температура потока нефти в безразмерной форме;
- T_l — температура окружающей колонну среды в безразмерной форме;
- H — параметр, обусловленный адиабатическим эффектом;
- ν — величина, определяющая геометрию трубопровода в безразмерной форме;
- F_o — безразмерное время;
- χ — безразмерная характеристика свойства потока нефти;
- индексы: h, l — соответственно верхняя и нижняя части трубы; l — относится к окружающей среде;
- Φ — единичная функция Хевисайда.

Идею работы модуля иллюстрирует рисунок 1. Результаты показаний с датчиков о проведенном температурном исследовании

размещаются в базе данных [6]. Данная функция предоставляет возможность запрашивать эти данные для наглядного вывода в графическом виде, что позволит сравнить теоретические и экспериментальные зависимости с целью анализа результатов термоме-

трии. Совпадение кривых (при расчете задавалось изменение радиуса и кривой, полученной аппроксимацией экспериментально измеренных значений температуры) интерпретируется как возможное наличие изменения геометрии сечения скважины.

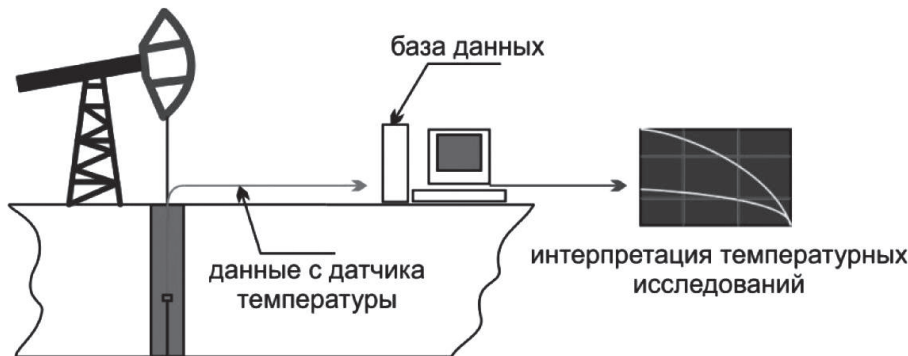


Рисунок 1. Взаимодействие программного комплекса со средствами температурных исследований

Интерфейс ПО выглядит следующим образом. Пользователь выбирает, относительно какой переменной построить график: «zd» или «т». После этого для ввода отображаются соответствующие поля. В следующем шаге нужно указать среду, окружающую определённую скважину (из предложенных вариантов, имеющих в базе). Нажатие на кнопку запуска «Вычислить» приводит к расчету согласно принятым значениям и затем выводит заданные зависимости. Также присутствует возможность изображения на одном графике теоретических кривых, построенных по модели, и результатов эксперимента. Данная функция позволяет сде-

лать заключение о наличии аномального отклонения от предполагаемого теоретического значения.

Так как на месторождении в скважине возможен неоднородный состав почвы, описанные отчёты предусматривают моделирование температурных полей для разных пород грунта.

На рисунке 2 изображена форма сравнения кривых описываемого комплекса при различных средах. В рассматриваемом прототипе содержатся формулы (1) — (3), описывающие температурное поле в скважине для различных сред и различного дебета. Исходя из пользовательских параметров, на графике изображаются теоретические кривые.

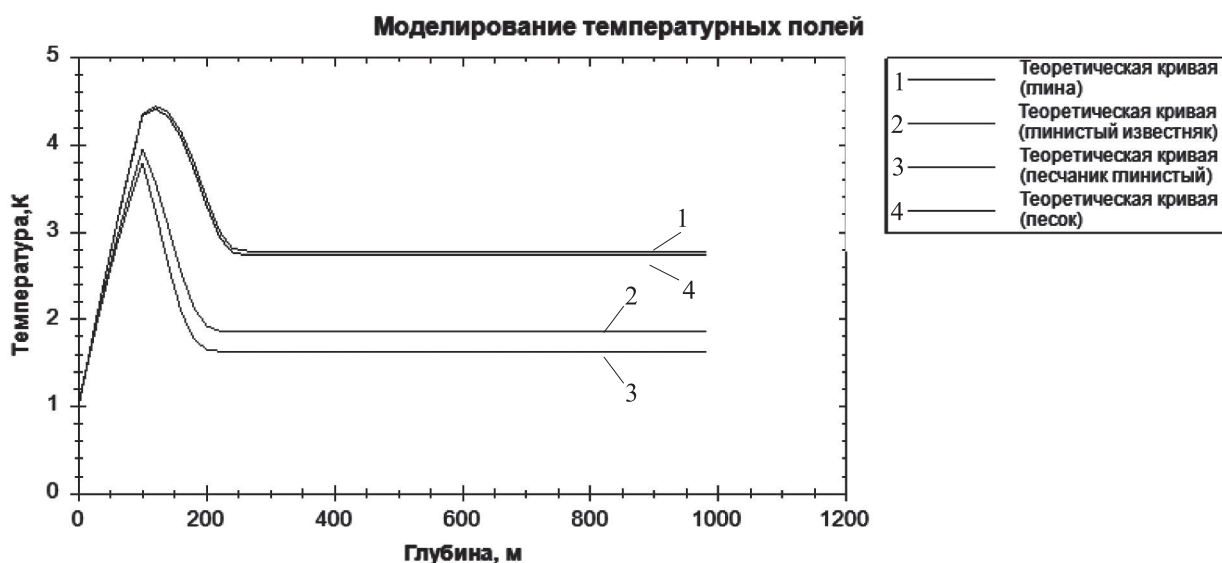


Рисунок 2. Результаты построения теоретических кривых при различных средах

Результаты применения описанной методики показаны на рисунке 2. Представлены четыре кривые, изображающие динамику температурного поля в скважине для раз-

личных сред: глинистый известняк, глины, песчаник глинистый, песок. Расчеты проведены при параметрах, представленных в таблице 1.

Таблица 1. Параметры расчета построения кривых

Наименование параметра	Глинистый известняк	Глина	Песчаник глинистый	Песок
Глубина (z), м	0–1000	0–1000	0–1000	0–1000
Дебит (Q), м ³ /сут	50	50	50	50
Радиус (r), м	1,5	1,5	1,5	1,5
Плотность (ρ), кг/м ³	2400	2000	1800	1500
Теплопроводность (λ), Вт/мК	2	0,67	3,4	1,13
Теплоемкость (c), Дж/К	840	950	920	790

При построении теоретических кривых температуры взяты следующие значения параметров: $D = 2000$ м, $r_0 = 0,1$ м, $\Gamma = 0,04$ К/м, $c_l = 950$ Дж/(К · кг), $\rho_l = 2000$ кг/м³, $\lambda_l = 0,67$ Вт/(м · К); предполагается, что скважина заполнена нефтью с параметрами $c = 2000$ Дж/(К · кг), $\rho = 900$ кг/м³, $\lambda = 0,15$ Вт/(м · К), $\mu = 0,038$ мПа · с.

В дальнейшем основным направлением развития программного комплекса является автоматизация анализа результата [7, 8]. Можно выделить несколько вариантов:

1) возможность ПО самой указывать на интервалы обводнения без непосредственного участия человека;

2) постоянное построение графиков в реальном времени без участия человека.

Вывод

Из всего вышесказанного можно сделать вывод о том, что данный программный комплекс призван повысить скорость и эффективность температурных исследований скважины путем учета новых эффектов, которые могут быть ошибочно приняты за интервалы заколонной циркуляции.

Авторы выражают особую благодарность доктору технических наук А. И. Филиппову и доктору технических наук О. В. Ахметовой за неоценимую помощь при разработке формул, положенных в основу расчетов.

Список литературы

1. Filippov A.I., Akhmetova O.V., Rodionov A.S. Quasi-one-dimensional nonstationary temperature field of a turbulent flow in a well // Journal of Engineering Thermophysics. 2012. Т. 21. № 3. С. 167–180.
2. Филиппов А.И., Ахметова О.В., Родионов А.С. Асимптотическое осреднение температуры турбулентного потока в скважине // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2012. № 4. С. 6–13.
3. Филиппов А.И., Ахметова О.В., Родионов А.С. Температурные поля ламинарных и турбулентных потоков жидкости в скважинах. Уфа: УГНТУ, 2013. 121 с.
4. Филиппов А.И., Ахметова О.В., Родионов А.С., Горюнова М.А. Исследование температурных полей в трубах переменного радиуса // Вестник Воронежского государ-

ственного технического университета. 2010. Т. 6. № 10. С. 171–178.

5. Филиппов А.И., Ахметова О.В., Зеленова М.А., Родионов А.С. Задача термокаротажа с заданным радиальным профилем скорости нефтяного потока в стволе скважины // Инженерно-физический журнал. 2013. Т. 86. № 1. С. 172–190.

6. Родионов А.С., Фархутдинов Р.И., Хусаинов И.Р. Программный комплекс моделирования температурных полей в скважине // Информационные технологии. Проблемы и решения. 2017. № 1 (4). С. 27–30.

7. Левина Т.М., Бажанова Т.В. Удаленное предоставление производственной информации по запросу пользователя // Сб. тез. докл. VI науч.-техн. конф. молодых специалистов ООО «БашНИПИнефть». 2016. С. 115–116.

8. Ураксеев М.А., Левина Т.М., Шамаев Ф.Ф., Кулябин А.С. Разработка волоконно-оптических систем для учета, мониторинга и прогнозирования работы высоко-

вольтного оборудования в СУБД с веб-интерфейсом // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2015. Т. 11. № 1. С. 97–103.

References

1. Filippov A.I., Akhmetova O.V., Rodionov A.S. Quasi-one-dimensional nonstationary temperature field of a turbulent flow in a well // *Journal of Engineering Thermophysics*. 2012. Т. 21. № 3. С. 167–180.
2. Filippov A.I., Ahmetova O.V., Rodionov A.S. Asimptoticheskoe osrednenie temperatury turbulentnogo potoka v skvazhine // *Vestnik Tjumenskogo gosudarstvennogo universiteta. Fiziko-matematicheskoe modelirovanie. Neft', gaz, jenergetika*. 2012. № 4. С. 6–13.
3. Filippov A.I., Ahmetova O.V., Rodionov A.S. Temperaturnye polja laminarnyh i turbulentnyh potokov zhidkosti v skvazhinah. Ufa: USPTU, 2013. 213 s.
4. Filippov A.I., Ahmetova O.V., Rodionov A.S., Gorjunova M.A. Issledovanie temperaturnyh polej v trubah peremennogo radiusa // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*. 2010. Т. 6. № 10. С. 171–178.
5. Filippov A.I., Ahmetova O.V., Zelenova M.A., Rodionov A.S. Zadacha termokarotazha s zadannym radial'nym profilem skorosti neftjanogo potoka v stvole skvazhiny // *Inženerno-fizičeskij zhurnal*. 2013. Т. 86. № 1. С. 172–190.
6. Rodionov A.S., Farhutdinov R.I., Husainov I.R. Programmnyj kompleks modelirovanija temperaturnyh polej v skvazhine // *Informacionnye tehnologii. Problemy i reshenija*. 2017. № 1 (4). С. 27–30.
7. Levina T.M., Bazhanova T.V. Udalennoe predostavlenie proizvodstvennoj informacii po zaprosu pol'zovatelja // *Sb. tez. dokl. VI nauch.-tehn. konf. molodyh specialistov OOO «Bash-NIPIneft'»*. 2016. С. 115–116.
8. Urakseev M.A., Levina T.M., Shamaev F.F., Kuljabin A.S. Razrabotka volokonno-optičeskikh sistem dlja ucheta, monitoringa i prognozirovanija raboty vysokovol'tnogo oborudovanija v SUBD s web-interfejsom // *Jelektrotehničeskije i informacionnye komplekсы i sistemy*. 2015. Т. 11. № 1. С. 97–103.



Гиниятуллин В. М.
Giniyatullin V. M.

кандидат технических наук, доцент кафедры
«Вычислительная техника
и инженерная кибернетика», ФГБОУ ВО
«Уфимский государственный нефтяной
технический университет»,
г. Уфа, Российская Федерация



Габитова Э. А.
Gabitova E. A.

магистрант кафедры «Вычислительная
техника и инженерная кибернетика»,
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный
нефтяной технический университет»,
г. Уфа, Российская Федерация

УДК 004.896

КЛАСТЕРИЗАЦИЯ ДАННЫХ ПО КРЕДИТНЫМ ЗАЯВКАМ В ТРОИЧНЫЙ ВЕКТОР

На текущий момент для принятия решения по выдаче кредита большинство банков используют скоринговые системы, в основе которых лежит присвоение баллов по каждой из характеристик потенциального заемщика и последующая оценка кредитоспособности путем определения суммы набранных баллов. На примере одного из банков выявлено, что скоринговая система дает заметное количество ошибочных решений. В связи с этим актуальным является вопрос снижения уровня невозврата кредитных средств. Для этого необходимо найти сильные и слабые стороны текущих моделей для дальнейшего анализа результатов специалистами по кредитным рискам. В статье описано исследование текущей скоринговой системы с помощью многослойного персептрона, реализующего функции троичной логики. В качестве исходных данных для исследовательской работы взяты обезличенные сведения по заявкам клиентов банка по продукту «Кредитная карта» за период с 2010 по 2017 гг. Основываясь на этих данных, построена обучающая выборка из 27552 обучающих пар (входных переменных и выходных значений). Из них в 47 % случаев было принято положительное решение по заявке, а в 53 % клиенту было отказано. В одном из свободно распространяемых инструментов для работы с нейронными сетями построен и обучен многослойный персептрон. Проверка работы персептрона на тестовой выборке показала, что величина ошибки не превышает 1 %, что говорит о том, что полученная сеть адекватна существующему алгоритму скоринга. Показано, что подмена непрерывной функции активации — гиперболический тангенс в скрытом слое нейросети — на пороговую трехзначную позволяет кластеризовать входные данные по потенциальным заемщикам банка, причем подавляющее большинство записей группируются всего в два кластера. Выявление наиболее значимых характеристик при принятии решения по выдаче кредита по текущему алгоритму скоринговой системы предложено произвести с помощью оценки полученных при обучении нейросети весов скрытого слоя. Показано, что максимальное значение матрицы весов соответствует наиболее значимому параметру.

Ключевые слова: скоринговые системы, кредит, заемщик, персептрон, нейросеть, кластер, пороговая функция активации — тангенс гиперболический, троичная логика.

CLUSTERIZATION OF DATA ON CREDIT APPLICATIONS IN THE TERNARY VECTOR

To date, for a decision on issuance of credit, most banks use a scoring system based on assigning points for each of the characteristics of the potential borrower and the subsequent credit rating

by determining the amount of points. On the example of one of the banks it was revealed that the scoring system gives a noticeable number of erroneous decisions. In this regard, the issue of reducing the level of non-repayment of credit funds is topical. To do this, it is necessary to find the strengths and weaknesses of the current models, for further analysis results by the experts on credit risks. The article describes a study of the current scoring system using a multilayer perceptron that implements the ternary logic function. The initial data for the research was taken depersonalized information on customer orders for the product «Credit card» for the period from 2010 through 2017. Based on these data was constructed from the training sample 27552 training pairs (input variables and output values). Of these, 47 % of the cases had a positive decision on the application, and 53 % — the client was refused. A multilayer perceptron was built and trained in one of the freely distributed tools for working with neural networks. Verification of perceptron operation on the test sample showed that the error value does not exceed 1 %, which indicates that the resulting network is adequate to the existing scoring algorithm. It is shown that the substitution of the continuous activation function — hyperbolic tangent in the hidden layer of a neural network to a three-digit threshold allows to cluster the input data on potential borrowers of the bank, with the vast majority of records grouped into only two clusters. Identification of the most significant characteristics in making decision on issuance of credit on the current scoring system algorithm is proposed to be carried out with the help of an estimate of the weights of a hidden layer obtained during the training of a neural network. It is shown that the maximum value of the weights matrix indicates the most important parameter.

Key words: scoring systems, credit, the borrower, perceptron, neural network, cluster, threshold activation function — the hyperbolic tangent, ternary logic.

Введение

В настоящее время все большее количество людей прибегает к услугам банков, оформляя кредиты на различные нужды. В каждом банке существует свой алгоритм проверки потенциального клиента и принятия решения по его заявке, в основном, используются скоринговые системы.

Скоринг, или скоринговая система, — это система оперативной оценки клиента (потенциального заемщика). Название происходит от английского слова «score», что означает зарабатывание/подсчет очков [1]. В основе скоринговой системы лежит математическая модель, позволяющая сопоставить характеристикам заемщика численное значение — скоринговый рейтинг, характеризующий кредитоспособность.

Среди представленных на рынке программных продуктов по скорингу физических лиц самыми популярными зарубежными продуктами являются: FICO, SAS Credit Scoring, EGAR Scoring, Transact SM (Experian-Scorex), K4Loans (KXEN), Clementine (SPSS). Решения российских разработчиков применяются реже, среди основных: Basegroup Labs и «Диасофт» [2].

Ни одна из перечисленных компаний-разработчиков скоринговых систем не говорит о том, какие методы заложены в их скоринго-

вую систему. Такая скрытность мотивируется тем, что мошенники могли бы обмануть систему, зная алгоритм принятия решения.

Построение и обучение нейронной сети

Анализ корректности определения заемщика к категории «надёжных» на примере одного из банков показал, что модели и алгоритмы, заложенные в основу используемой скоринговой системы, приводят к заметному количеству ошибочных решений.

На сегодняшний день искусственные нейронные сети используются во многих областях для решения различного рода задач [3, 4]. Способность искусственных нейронных сетей обучаться считается одним из основных преимуществ перед стандартными алгоритмами. В процессе обучения искусственная нейронная сеть обобщает и классифицирует прецеденты из обучающей выборки, а также находит в них закономерности между входными и выходными данными.

Применительно к задаче рассмотрения работы скоринговой системы нейросеть призвана дать категоризованную оценку степени кредитного риска, зная характеристики потенциального заемщика. В простейшем случае эта оценка бинарна: «выдать кредит» (или «заемщик кредитоспособен»), либо «отказать в выдаче кредита» (или «заемщик не кредитоспособен»).

На текущий момент банки предлагают множество различных продуктов кредитования: потребительские кредиты, ипотека, автокредиты и др. В данной статье будут рассмотрены анализ данных и построение нейронной сети, способной принимать решение по выдаче кредита по продукту «Кредитная карта».

В качестве исходных данных для исследовательской работы были взяты обезличенные сведения по заявкам клиентов банка за период с 2010 по 2017 гг. Основываясь на этих данных, была построена обучающая выборка из 27552 обучающих пар (входных переменных и выходных значений). Из них в 47 % случаев было принято положительное решение по заявке, а в 53 % клиенту было отказано.

Обучающая выборка характеризуется наличием записей о потенциальных заемщиках, в каждой из которых представлены 50 признаков:

- бинарные (пол, наличие транспортного средства, наличие имущества в собственности, наличие загранпаспорта и др.);
- числовые (возраст, доход по основному месту работы, среднемесячный совокупный доход семьи, количество детей и др.);
- категоризированные (отношение к воинской службе, образование, должность в организации, мнение эксперта и др.).

К категоризированным признакам также относятся признаки, отражающие результаты проверки данных о потенциальном заемщике службой безопасности и проверки документов юридической службой.

При проецировании данных в нейросетевой базис каждая из характеристик была закодирована в диапазоне от -1 до 1 . Например, характеристика «Информация о трудоустройстве» имеет 5 возможных значений: безработный/временно не работаю, гражданин, ведущий личное подсобное хозяйство, пенсионер, работаю, другое. Данные признаки были закодированы следующими значениями: $1, 0.5, 0, -0.5, -1$.

После того как данные по клиентам банка были приведены в соответствие с нейросетевым базисом, в одном из свободно распространяемых инструментов для работы с нейронными сетями — программой Multiple

Back-Propagation [5] — была определена структура персептрона. Пространство входов содержит 50 параметров, первый и второй скрытые слои включают в себя 10 и 5 нейронов соответственно, на выходе один нейрон. Сеть была обучена по алгоритму обратного распространения ошибки (back propagation) [6]. В качестве функции активации использовался гиперболический тангенс.

Затем полученная нейронная сеть была проверена на тестовой выборке, содержащей 5000 записей. Величина ошибки не превысила 1 %, что говорит о том, что полученная сеть адекватна существующему алгоритму скоринга.

Подмена функции активации на пороговую функцию

В работе [7] описана процедура под названием «Контрастирование весов», которая направлена на сокращение количества знаков после запятой для упрощения аппаратной реализации нейронных сетей. В данной работе были контрастированы не веса нейронов, а результаты, полученные после работы функции активации.

Функция активации в первом скрытом слое построенной нейросети была подменена на пороговую функцию следующего вида [8, 10]:

$$f_a = \begin{cases} -1, < 0 \\ 0, = 0 \\ 1, > 0 \end{cases} \quad (1)$$

Проверка корректности работы персептрона производилась в электронных таблицах. Анализ результатов показал, что после подмены функции активации на пороговую вида (1) по всем записям обучающей выборки результат работы нейросети эквивалентен заданному значению.

После подмены непрерывной функции активации на пороговую были получены трехзначные дискретные данные. Это дает возможность найти строки обучающей выборки, которые в результате работы персептрона попадают в одну и ту же точку пространства входов второго скрытого слоя, образуя некий кластер.

Имея 10 троичных параметров, можно получить 310 кластеров. В ходе анализа полу-

ченных результатов обучения было обнаружено, что все записи по заявкам были распределены только на 7 кластеров, остальные кластеры остались незаселенными. В табли-

це 1 отражены значения, полученные после работы каждого из 10 нейронов первого скрытого слоя, результат работы всей сети и количество записей, попавших в кластер.

Таблица 1. Кластеры, образованные в ходе обучения персептрона

№	Значения, полученные в результате работы нейронов первого слоя										Выход нейросети	Количество записей в кластере
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	14038
2	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	324
3	-1	1	0	1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	25
4	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	238
5	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1
6	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	0	1	4
7	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	12922

Согласно полученным данным (таблица 1), можно выделить два самых больших кластера, в один из которых попало 12922 записи по заявкам клиентов, которым было принято решение выдать кредит, а в другой 14038 записей по клиентам, которым решено отказать в выдаче.

Практический анализ полученных значений крайне затруднителен, так как при другом наборе входных данных или при изменении кредитного продукта получается нейросеть другой структуры.

Считается, что работу нейронной сети можно рассматривать как черный ящик, так как неясно, почему она приходит к определенному решению [9]. В данной работе для уточнения принципов работы обученного персептрона предлагается отобразить полученные результаты наглядно.

Определение кластеров

Геометрическая интерпретация n -мерных функций возможна при количестве аргументов не более 3-х. В работе [8] было показано, что, если привести структуру персептрона к такому виду, чтобы скрытый слой содержал не больше трех нейронов, то появится возможность наглядного отображения результата. В данной работе для наглядного отображения результатов обучающая выборка сокращалась до тех пор, пока персептрон с одним скрытым слоем, содержащий три нейрона, не начал обучаться.

Персептрон с описанной выше структурой был обучен по выборке, содержащей 1000 записей по заявкам клиентов банка. После этого в электронных таблицах функ-

ция активации была подменена на пороговую функцию вида (1). В результате подмены функции активации значения, полученные на выходе нейросети, остались неизменными. Это означает, что выходной нейрон преобразует троичные входы в бинарный вектор, то есть реализует функцию 3–2 логики [8].

На рисунке 1 отражена получившаяся разделяющая плоскость нейрона выходного слоя.

Каждый из аргументов функции $f(x_1, x_2, x_3)$ соответствует одной из координат в пространстве, а значение функции соответствует точке на их пересечении. Точка обозначена треугольником, если значение функции в ней равно -1 , квадратом в случае 1 . Таким образом, из 27 точек получаем куб, который полностью визуализирует таблицу истинности этой функции. Как видно из рисунка 1, пространство выходного нейрона состоит из 27 знакомест, из которых заселенными оказались только 6 (на рисунке выделены черным цветом).

Это означает, что в результате обучения нейросети все записи, являющиеся входными векторами, были разделены на 6 кластеров. Входные значения нейрона выходного слоя и полученный результат обучения представлены в таблице 2. Видно, что даже после уменьшения обучающей выборки почти в 30 раз, как и в случае полной выборки, больших кластеров образовалось только два. Проверка показала, что в большие кластеры исходной выборки попадают те же записи, которые попадали в большие кластеры усеченной выборки.

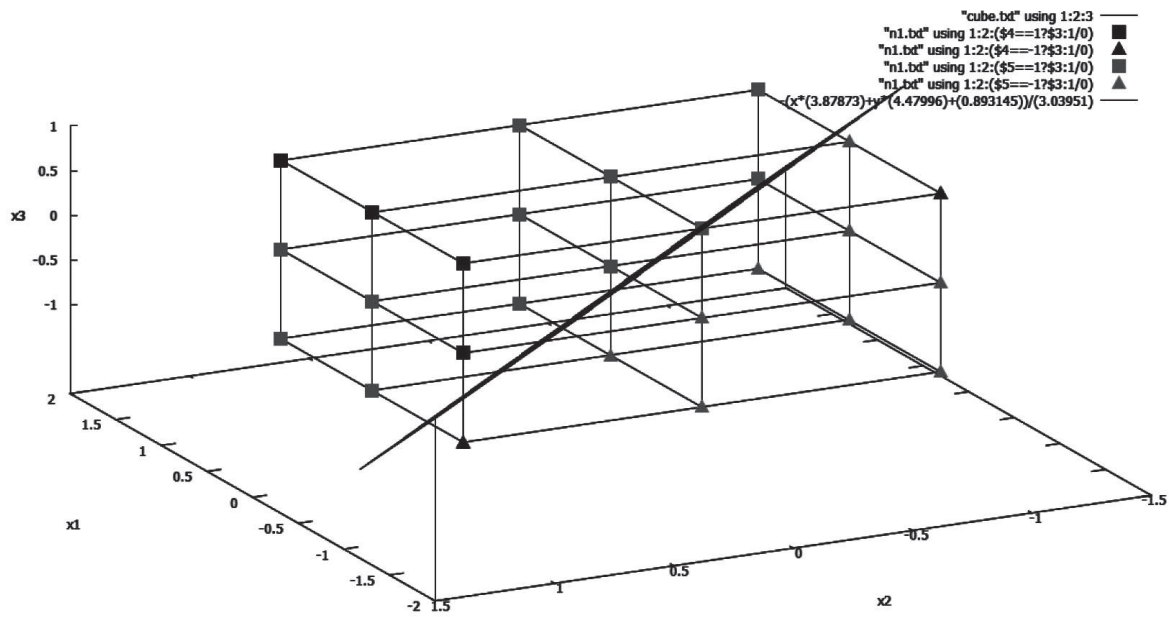


Рисунок 1. Разделяющая плоскость нейрона выходного слоя

Таблица 2. Кластеры, образованные при первом обучении персептрона

№	Выход 1 нейрона скрытого слоя	Выход 2 нейрона скрытого слоя	Выход 3 нейрона скрытого слоя	Выход нейросети	Количество заемщиков, образующих кластер
1	-1	-1	1	-1	448
2	-1	1	-1	-1	19
3	-1	1	0	1	1
4	-1	1	1	1	514
5	0	1	1	1	4
6	1	1	1	1	14

Анализируя данные таблицы 2, можно сказать, что принадлежность к самым большим кластерам (кластер 1 — 448 отказов и кластер 4 — 514 одобрений) определяет второй нейрон скрытого слоя, так как значения на выходе 1-го и 3-го нейронов для данных кластеров совпадают. Для выявления наиболее значимой характеристики было найдено максимальное значение веса второго нейрона скрытого слоя. Оно равно 79,25 и соответствует признаку «Мнение эксперта». Следующий по значимости признак имеет вес равный 9,56, который принадлежит признаку «Отношение к воинской службе».

Для проверки полученных результатов в двух кластерах, содержащих 19 и 448 записей по некредитоспособным клиентам, были обнулены значения признака «Мнение эксперта», в результате чего по каждой из этих

заявок персептрон принял положительное решение. Аналогичный результат был получен при проверке на значимость признака «Мнение эксперта» на кредитоспособных заемщиках, после обнуления признака результат изменился на противоположный.

Вывод

Было показано, что подмена непрерывной функции активации на пороговую позволяет провести кластеризацию входных данных, причем подавляющее большинство записей группируются всего в два кластера. Также выявлено, что единственный признак «Мнение эксперта» определяет результат работы персептрона.

В дальнейших исследованиях планируется выделить заемщиков, не возвращающих кредит в срок, в отдельный кластер.

Список литературы

1. Что такое скоринг и как он работает [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://hcpeople.ru/credit_scoring.
2. Рыбальченко Ю.С. Скоринг как инструмент оценки и минимизации кредитного риска // Молодой ученый. 2017. № 35. С. 37–40.
3. Akhmetshin R.M., Giniyatullin V.M. Identification of Structures of Organic Substances by Means of Complex-Valued Perceptron // Optical Memory & Neural Networks (Information Optics). 2012. Vol. 21, № 1. P. 11–25.
4. Арсланов И.Г., Дмитриев Г.Ю., Гиниятуллин В.М., Зайцева А.А. Прогнозирование химических соединений с комплексом необходимых свойств // Башкирский химический журнал. 2015. Т. 22, № 2. С. 80–85.
5. Multiple Back-Propagation [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://mbp.sourceforge.net>.
6. Werbos P.J. Beyond Regression: New Tools for Prediction and Analysis in the Behavioral Sciences. Ph.D. thesis, Harvard University, Cambridge, MA, 1974.
7. Гордиенко П.В. Стратегии контрастирования // Нейроинформатика и ее приложения: тез. докл. 5 Всеросс. семинара, 3–5 октября 1997 г. / Под ред. А.Н. Горбаня. Красноярск: Изд-во КГТУ, 1997. С. 69.
8. Гиниятуллин В.М. Троичная логика в нейросетевом базисе // Теоретико-методологические проблемы естественнонаучных методов в гуманитарных науках: матер. Междунар. науч.-практ. конф. 2014. С. 318–325.
9. Расшифровываем чёрный ящик нейронных сетей [Электронный ресурс]. http://www.xn-c1adanacpmdicbu3a0c.xn-p1ai/article_news?id=893.
10. Гиниятуллин В.М., Скрыпин А.Р., Тайсин Р.Р. Линейная делимость функций троичной логики // Актуальные проблемы науки и техники — 2015: матер. VIII Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых. 2015. С. 116–119.

References

1. Chto takoe skoring i kak on rabotaet [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: http://hcpeople.ru/credit_scoring.
2. Rybal'chenko Ju.S. Skoring kak instrument ocenki i minimizacii kreditnogo riska // Molodoj uchenyj. 2017. № 35. S. 37–40.
3. Akhmetshin R.M., Giniyatullin V.M. Identification of Structures of Organic Substances by Means of Complex-valued Perceptron // Optical Memory & Neural Networks (Information Optics). 2012. Vol. 21, № 1. P. 11–25.
4. Arslanov I.G., Dmitriev G.Ju., Giniyatullin V.M., Zajceva A.A. Prognozirovanie himicheskikh soedinenij s kompleksom neobhodimyh svojstv // Bashkirskij himicheskij zhurnal. 2015. T. 22, № 2. S. 80–85.
5. Multiple Back-Propagation [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://mbp.sourceforge.net>.
6. Werbos P.J. Beyond Regression: New Tools for Prediction and Analysis in the Behavioral Sciences. Ph.D. Thesis, Harvard University, Cambridge, MA, 1974.
7. Gordienko P.V. Strategii kontrastirovanija // Nejroinformatika i ee prilozhenija: Tez. dokl. 5 Vseross. seminar, 3–5 oktjabrja 1997 g. / Pod red. A.N. Gorbanja. Krasnojarsk: KGTU Publ., 1997. S. 69.
8. Giniyatullin V.M. Troichnaja logika v nejrosetevom bazise // Teoretiko-metodologicheskie problemy estestvennonauchnyh metodov v gumanitarnyh naukah: mater. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. 2014. S. 318–325.
9. Rasshifrovываем chjornyj jashhik nejronnyh setej [Jelektronnyj resurs]. http://www.xn-c1adanacpmdicbu3a0c.xn-p1ai/article_news?id=893.
10. Giniyatullin V.M., Skrypin A.R., Tajsin R.R. Linejnaja razdelimost' funkcij troichnoj logiki // Aktual'nye problemy nauki i tehniki — 2015: mater. VIII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. molodyh uchenyh. 2015. S. 116–119.



Фетисов В. С.
Fetisov V. S.

*доктор технических наук, профессор
кафедры «Информационно-измерительная
техника», ФГБОУ ВО «Уфимский
государственный авиационный
технический университет»,
г. Уфа, Российская Федерация*



Табет Науф Кайед Абдулла
Thabet Nayef Kayed Abdulla

*преподаватель
Аденского университета,
г. Аден,
Республика Йемен*

УДК 620.179.142.5

ПРОБЛЕМЫ ИЗМЕРЕНИЙ ТОЛЩИНЫ АСФАЛЬТОСМОЛОПАРАФИНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В НЕФТЕПРОВОДАХ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

В процессе эксплуатации нефтепроводов на внутренней поверхности труб происходит накопление асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО), существенно ухудшающих эффективность их работы. АСПО в нефтепроводах представляют собой серьезную проблему для всех нефтетранспортных компаний. Ежегодно тратятся огромные средства на очистку внутренних поверхностей трубопроводов от этих вредных отложений. Для планирования и эффективного проведения дорогостоящих мероприятий по очистке трубы от АСПО нужна достоверная информация о текущем состоянии отложений в трубе.

Сформулированы требования к средствам измерения толщины АСПО, среди которых следующие:

- метод измерения и конструкция должны быть подчинены принципу неразрушающего контроля, т.е. датчики должны устанавливаться на внешней поверхности трубы без врезки в нее;

- метод измерения должен обеспечивать измерения в широких диапазонах диаметров трубы и толщин отложений;

- должна быть обеспечена метрологическая надежность измерений, т.е. различные дестабилизирующие факторы, такие как флуктуирующий поток, изменения давления в трубе, колебания температуры внешней среды, наличие газовых пузырьков, неоднородность и неравномерность отложений и др., не должны помешать получать достоверные результаты.

Измерение толщины отложений может производиться устройствами, основанными на различных физических принципах. В статье кратко рассмотрены средства измерения на основе ультразвукового, диэлькометрического, радиационного и теплового методов измерения. Сделан вывод, что наиболее приемлемы датчики на основе ультразвукового и теплового методов.

Сочетание двух типов датчиков позволяет более эффективно выполнять измерения толщины отложений в разных диапазонах. В диапазоне малых толщин, где работа ультразвукового датчика осложнена наличием «мертвой зоны» (до 20 мм), предпочтительнее использовать информацию с теплового датчика. В диапазоне толщин более 20 мм эффективнее использовать ультразвуковой датчик.

Комплексирование сигналов указанных датчиков позволяет одновременно не только снизить уровень погрешности измерений толщины отложений и повысить их надежность, но и сохранить живучесть системы в случае отказа одного из датчиков.

Ключевые слова: асфальтосмолопарафиновые отложения (АСПО), парафин, нефтепровод, трубопровод, ультразвуковой метод, тепловой метод, комплексирование, измерение толщины, избыточность.

ISSUES OF OIL PIPELINES ASPHALTIC RESINOUS PARAFFIN SEDIMENTS THICKNESS MEASUREMENTS AND FEASIBLE SOLUTIONS

During operation of oil pipelines asphaltic resinous paraffin sediments (ARPS) grow on inner surface of pipes. Effectiveness of pipelines deteriorates considerably due to this phenomenon. ARPS in oil pipelines is the serious problem for all oil transport companies. Every year vast sums of money are spent for pipelines cleaning from such detrimental deposits. For planning and effective implementation of expensive operations for cleaning pipelines from ARPS it is necessary to get faithful information concerning paraffin sediments in pipes.

The requirements for instrumentation for ARPS thickness measurements are formulated, for example:

- the method and sensor design must comply with nondestructive testing principle, i.e. sensors must be install on the outer surface of pipe without cutting-in;
- the measuring method must provide measurements in wide range of pipe diameters and deposit thickness;
- the requirement of metrological reliability, i.e. various destabilizing factors, such as fluctuations of flow, instability of pressure, changes of temperature values, presence of gas bubbles, irregularity of paraffin deposits and others, must not intervene to get faithful results.

Measurements of ARPS thickness may be implemented with various sensors based on different principles. Instrumentation based on ultrasound, capacitive, radiative and thermal methods are considered briefly in this paper. It was found out that ultrasound and thermal sensors are more preferable.

Combination of two types of sensors provides good results of ARPS thickness measurements in different ranges. For small values of thickness, where ultrasound sensors can't work practically due to dead zone (up to 20 mm), it is more reasonable to use the thermal sensor. For greater values of thickness it is better to use the ultrasound sensor.

The described sensor fusion help to minimize errors of ARPS thickness measurements and to improve measurement reliability. Besides survivability of the system is obtained in case of any sensor failure.

Key words: asphaltic resinous paraffine sediments (ARPS), paraffin, oil pipeline, pipeline, ultrasound method, thermal method, sensor fusion, thickness measurement, redundancy.

В процессе эксплуатации нефтепроводов на внутренней поверхности труб происходит накопление асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО), существенно ухудшающих эффективность их работы. АСПО в нефтепроводах представляют собой серьезную проблему для всех нефтетранспортных компаний. Ежегодно тратятся огромные средства на очистку внутренних поверхностей трубопроводов от этих вредных отложений. Если вовремя не производить такую очистку, то просвет сечения нефтепровода может сильно сузиться, сильно затрудняя транспортировку нефти, или перекрыться вовсе (рисунок 1).

Состав АСПО зависит от сорта перекачиваемой нефти и условий их образования. В

таблице 1 показан пример состава АСПО, определенного путем лабораторного анализа пристенных парафиновых отложений одного из сборных нефтепроводов ОАО «Башнефть» [1, с. 14]. Плотность отложений составила 920 кг/м^3 (при 20°C), а температура плавления парафина 55°C . При этом перекачиваемая нефть содержала: парафина — 6,1 %, смол — 15,2 %, асфальтенов — 2,85 %.

Таблица 1. Состав внутритрубных отложений

Компоненты	Весовое содержание, %
Парафин	56,35
Смолы	14,50
Асфальтены	2,52
Масла	23,61
Прочие углеводороды	3,05



Рисунок 1. Образцы срезов нефтепроводов с АСПО

Для удаления парафина из труб применяют различные способы: механические (очистка с помощью специальных самоходных снарядов, перемещающихся внутри трубы и удаляющих парафиновые наросты скребками, щетками или поршнями — в англоязычной литературе этот метод именуется *rigging* [2]); тепловые (с помощью нагрева трубопровода по длине или прокачки горячей жидкости и растапливания тем самым парафиновые отложения); химические (с применением различных растворителей или ингибиторов парафинизации, закачиваемых в трубу) [1].

О механизмах образования и роста АСПО в нефтепроводах у исследователей до сих пор нет однозначного мнения. Основную часть отложений составляют кристаллы парафина, которые при определенных условиях образуются в самой нефти и затем прилипают к внутренней поверхности трубы или вырастают непосредственно на стенке трубы. Проводились также исследования, показавшие роль газовых пузырьков в парафинизации [3]. Видимо, влияние на эти процессы оказывают одновременно несколько факторов. Это температура нефти и температура внешней среды (важны здесь значения разности этих температур и скорости их изменения), скорость перекачки нефти, давление в трубе, наличие воды и газа в потоке. Конечно, большое значение имеет и сорт самой нефти.

Для планирования и эффективного проведения дорогостоящих мероприятий по

очистке трубы от АСПО нужны достоверная информация о текущем состоянии отложений в трубе и, по возможности, прогноз их развития.

К средствам измерения толщины АСПО предъявляются следующие требования:

1) метод измерения и конструкция должны быть подчинены принципу неразрушающего контроля, т.е. датчики должны устанавливаться на внешней поверхности трубы без врезки в нее;

2) метод измерения должен обеспечивать измерения в широких диапазонах диаметров трубы и толщин отложений;

3) должна быть обеспечена метрологическая надежность измерений, т.е. различные дестабилизирующие факторы, такие как флуктуирующий поток, изменения давления в трубе, колебания температуры внешней среды, наличие газовых пузырьков, неоднородность и неравномерность отложений и др., не должны помешать получать достоверные результаты;

4) средства измерения должны быть приспособлены к условиям удаленности коммуникационных кабелей и силовой сети от места их установки;

5) средства измерения должны быть просты в эксплуатации и безопасны.

Совмещение и одновременное выполнение всех этих требований довольно проблематично.

Измерение толщины отложений может производиться устройствами, основанными на различных физических принципах.

Рассмотрим здесь кратко средства измерения на основе ультразвукового, диэлектрического, радиационного и теплового методов измерения.

Ультразвуковой метод может быть основан на измерениях затухания или скорости распространения ультразвукового импульса, проходящего через поперечное сечение трубы. Оба способа реализуются без нарушения целостности трубы.

Первый способ, описанный в [4], основан на вычислении отношения интенсивности ультразвуковой волны, прошедшей через контролируемый материал, и интенсивностью, прошедшей через такое же вещество без отложений. По полученным значениям строят градуировочные кривые и судят о толщине отложений в трубопроводе. Недостатком данного способа является дополнительная погрешность при наличии газовой составляющей в нефти или в отложениях.

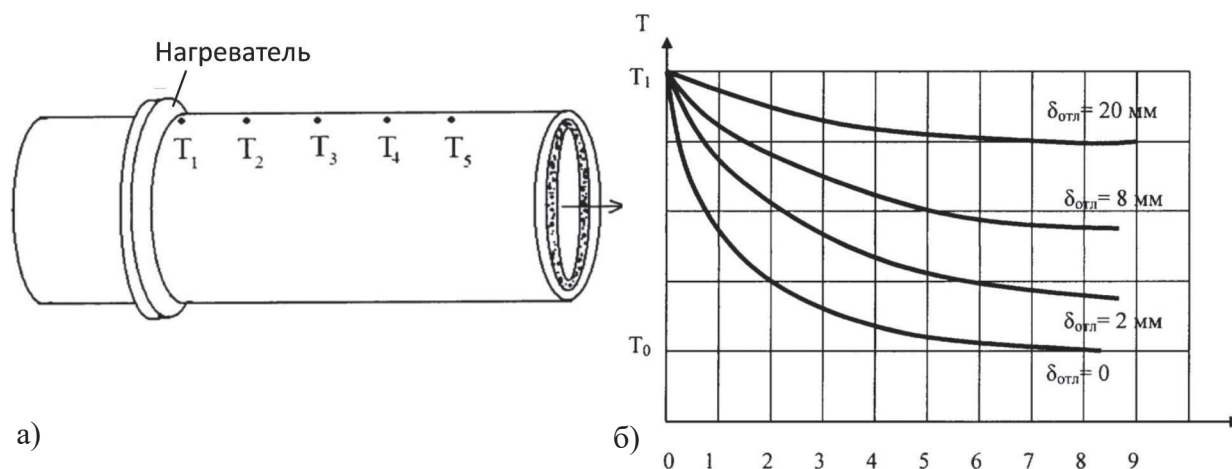
Способ, основанный на измерениях скорости ультразвука, реализован в устройстве УЛИС [5]. Датчик этого устройства на основе пьезокерамического преобразователя выполняет функции как излучателя зондирующих ультразвуковых импульсов, так и приемника импульсов, отраженных от противоположной стенки трубы. Временная задержка между излученным и принятым импульсами зависит от толщины твердых отложений, в слое которых скорость распространения ульт-

развука значительно отличается от его скорости в жидкости.

Диэлектрический метод [6] основан на измерении диэлектрической проницаемости субстрата, заключенного между двумя электродами, одним из которых является собственно труба, а второй изолирован от этой трубы. Он может располагаться, например, коаксиально трубопроводу. Этот метод не относится к разряду неразрушающих, так как в любом случае для установки второго электрода требуется нарушение целостности трубы.

Радиационный метод [7], в котором предполагается наличие источника радиационного излучения, проникающего сквозь стенку трубы, хорошо согласуется с принципом неразрушающих средств контроля. Недостатками метода являются необходимость обеспечения радиационной защиты и особые условия размещения и хранения радиоизотопного источника излучения.

Другим удобным неразрушающим методом является тепловой, который имеет множество модификаций. Например, в одной из его реализаций на трубопроводе соосно с ним устанавливают источник тепла в виде кольца, снимают градиент температуры в направлении от источника тепла вдоль трубопровода на его поверхности, по которому судят о размерах отложений внутри трубопровода [8].



а) расположение датчиков температуры на трубе;
б) градиент температуры для разных отложений

Рисунок 2. Один из видов реализации теплового метода измерения толщины отложений

Наиболее интересны для потребителя средства измерения отложений, основанные на методах неразрушающего контроля, т.е. такие, которые устанавливаются на внешней поверхности трубы без врезки в нее.

Главное требование к таким средствам измерений — это метрологическая надежность, которая может быть обеспечена путем их интеллектуализации, т.е. наделения их свойствами, позволяющими работать в условиях существенной неопределенности, сбоев и отказов отдельных подсистем. Это, в свою очередь, может быть обеспечено за счет избыточности. Например, за счет применения нескольких датчиков, основанных на различных физических принципах. Немаловажными требованиями являются также простота эксплуатации и безопасность.

Исходя из указанных требований авторы предложили интеллектуализированную систему измерения толщины парафиновых отложений на основе комплексирования сигналов, получаемых от ультразвуковых и тепловых датчиков.

Наиболее надежным методом измерения толщины парафиновых отложений на сегодня является ультразвуковой метод, основанный на излучении через стенку трубы ультразвукового импульса и регистрации отраженных сигналов от противоположной стенки. Важным достоинством метода является возможность установки измерительного устройства на наружной поверхности трубы без нарушения ее целостности. Причем для надежного измерения в условиях неравномерности отложений по длине окружности сечения трубы (см. правый пример на рисунке 1) желательно проведение измерений в двух и более направлениях, перпендикулярных поверхности трубы.

Датчики на основе двух названных методов нельзя назвать быстродействующими (время цикла измерения составляет несколько миллисекунд для ультразвукового метода и несколько секунд или минут для теплового), но в данном случае быстродей-

ствия и не требуется — медленная динамика накопления отложений вполне позволяет использовать такие датчики.

В алгоритм работы системы заложена процедура фильтрации с использованием фильтра Калмана. Результирующие значения толщины отложений вычисляются в виде взвешенной суммы результатов ультразвуковых и тепловых измерений, где весовые коэффициенты обратно пропорциональны дисперсиям оценок этих результатов. Эта процедура часто используется в авиационных системах [9].

В программное обеспечение модуля обработки сигналов ультразвукового датчика входит также процедура обнаружения некондиционности измерений, которая распознает такие ситуации, как прохождение по трубе объекта, вызывающего кратковременные аномальные изменения сигнала (прохождение воздушного пузыря или очистного устройства). Аналогичная процедура обнаружения критической помехи есть и в обработчике сигналов теплового датчика. В любом случае некондиционность сигналов приводит к изменению режима комплексирования результата: некондиционные текущие отсчеты вовремя исключаются из рассмотрения.

Сочетание двух типов датчиков позволяет более эффективно выполнять измерения толщины отложений в разных диапазонах. В диапазоне малых толщин, где работа ультразвукового датчика осложнена наличием «мертвой зоны» (до 20 мм), предпочтительнее использовать информацию с теплового датчика. В диапазоне толщин более 20 мм эффективнее использовать ультразвуковой датчик.

Комплексирование сигналов указанных датчиков позволяет одновременно не только снизить уровень погрешности измерений толщины отложений и повысить их надежность, но и сохранить живучесть системы в случае отказа одного из датчиков.

Список литературы

1. Хасанова К.И. Развитие технических средств и технологий очистки нефтепроводов от асфальтосмолопарафиновых отложений: дисс. ... канд. техн. наук. Уфа: Уфимский гос. нефтяной техн. университет, 2013.
2. Cordell J., Vanzant H. The Pipeline Pigging Handbook. 3rd Edition. Clarion Technical Publishers, Houston, 2003.
3. Дмитриев М.Е. Совершенствование систем мониторинга парафинизации нефтепроводов шельфовых месторождений: дисс. ... канд. техн. наук. Уфа: Уфимский гос. нефтяной техн. университет, 2011.
4. Пат. 2098754 РФ, МПК G 01 B 17/02. Способ измерения толщины слоя отложений на внутренних стенках водопроводных труб / В.Г. Саиткулов, Д.Л. Бурлаков (РФ). 94042611/28; заявл. 30.11.1994, опубл. 10.12.1997.
5. Индикаторы прохождения очистных устройств по нефтепроводу УЛИС/УЛИС-А: Сайт компании «Росэнергоучет». URL: http://www.rosenergouchet.ru/production/production_15.html. (Дата обращения: 05.09.2017).
6. Орлов А.И. Метод оперативного контроля состояния парафиновых отложений при очистке демонтированных нефтепроводных труб: дисс. ... канд. техн. наук. Казань: Казанский гос. энергетический университет, 2011.
7. Семенюк А.В., Коптева А.В. Неразрушающий метод контроля АСПО в магистральном нефтепроводе // Современная наука и практика. № 4 (9). 2016. С. 48–53.
8. Пат. 2344338 РФ, МПК F 17 D 1/16, G 01 B 17/02. Способ определения толщины отложений на внутренней поверхности трубопроводов / Г.Я. Ахмедов (РФ). 2007118355/28; заявл. 16.05.2007; опубл. 20.01.2009.
9. Борисов Е.Г., Турнецкий Л.С. Комплексование координатной информации в бортовой многодатчиковой системе наблюдения // Информационно-управляющие системы. 2012. № 2. С. 67–73.

References

1. Hasanova K.I. Razvitie tehniceskikh sredstv i tehnologij ochistki nefteprovodov ot asfal'tosmoloparafिनovыh otlozhenij: diss. kand. tehn. nauk. Ufa: Ufimskij gos. nef'tjanоj tehn. universitet, 2013.
2. Cordell J., Vanzant H. The Pipeline Pigging Handbook. 3rd Edition. Clarion Technical Publishers, Houston, 2003.
3. Dmitriev M.E. Sovershenstvovanie sistem monitoringa parafинizacii nefteprovodov shel'fovыh mestorozhdenij: diss. kand. tehn. nauk. Ufa: Ufimskij gos. nef'tjanоj tehn. universitet, 2011.
4. Pat. 2098754 RF, MPK G 01 B 17/02. Sposob izmereniya tolshchiny sloya otlozhenii na vnutrennikh stenkakh vodoprovodnykh trub / V.G. Saitkulov, D.L. Burlakov (RF). 94042611/28; zayavl. 30.11.1994, opubl. 10.12.1997.
5. Indikatory prohozhdenija ochistnyh ustrojstv po nefteprovodu ULIS/ULIS-A: Sajt kompanii «Rosjenergouchet». URL: http://www.rosenergouchet.ru/production/production_15.html. (assessed 05.09.2017).
6. Orlov A.I. Metod operativnogo kontrolja sostojanija parafинovыh otlozhenij pri ochistke demontirovannyh nefteprovodnyh trub: diss. kand. tehn. nauk. Kazan': Kazanskij gos. jenergeticheskij universitet, 2011.
7. Semenjuk A.V., Kopteva A.V. Nerazrushajushhij metod kontrolja ASPO v magistral'nom nefteprovode // Sovremennaja nauka i praktika. 2016. № 4 (9). S. 48–53.
8. Pat. 2344338 RF, MPK F 17 D 1/16, G 01 B 17/02. Sposob opredeleniya tolshchiny otlozhenii na vnutrennei poverkhnosti truboprovodov / G.Ya. Akhmedov (RF). 2007118355/28; zayavl. 16.05.2007; opubl. 20.01.2009.
9. Borisov E.G., Turneckij L.S. Kompleksirovanie koordinatnoj informacii v bortovoj mnogodatchikovoj sisteme nabljudenija // Informacionno-upravljajushhie sistemy. 2012. № 2. S. 67–73.



Денисова О. А.
Denisova O. A.

*доктор физико-математических наук,
доцент, профессор кафедры «Физика»,
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный
нефтяной технический университет»,
г. Уфа, Российская Федерация*



Абрамишвили Р. Л.
Abramishvili R. L.

*аспирант кафедры «Управление и сервис
в технических системах»,
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный
нефтяной технический университет»,
г. Уфа, Российская Федерация*

УДК 621.38:669

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ДЛЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

В статье мы предлагаем новую систему контроля сейсмической активности. Новизна системы состоит в применении акустооптического эффекта в жидких кристаллах (ЖК). ЖК-ячейка выступает индикатором, чье светопропускание зависит от амплитуды механических колебаний. Принцип работы системы состоит в том, что монохроматический пучок света, проходя через поляризатор, падает на ячейку с жидким кристаллом, сконструированную так, что жидкий кристалл находится между двумя прозрачными массивными пластинами, которые разделены прокладками. Используется жидкий кристалл нематического типа *n*-метоксибензильден-*n*-бутиланилин (МББА). Между пластинами помещена еще одна тонкая пластина, способная совершать сдвиговые колебания в плоскости ячейки. Она соединена волноводом с пьезоэлементом, воспринимающим колебания почвы, которые, в свою очередь, передаются по волноводу на подвижную пластину. Далее сдвиговые возмущения распространяются в жидком кристалле. Молекулы жидкого кристалла, изначально ориентированные гомеотропно, по достижении порогового значения амплитуды колебания отклоняются от нормали к ячейке. Свет, попадающий на ячейку, проходит через нее и фиксируется фотоприемником. Светопропускание ячейки зависит от величины амплитуды колебаний. Сигнал, обработанный контроллером, выводится на монитор в любом удобном виде.

Возникновение акустооптического эффекта является пороговым. Пороговое значение амплитуды воздействия не зависит от температуры, частоты и толщины ЖК-слоя. Зависимость угла отклонения директора жидкого кристалла от амплитуды вибрации носит линейный характер, это упрощает калибровку датчика. Так как время релаксации ориентационных эффектов в жидких кристаллах порядка 10^{-6} с, то системы на жидких кристаллах более чувствительные по сравнению с твердыми кристаллами. Использование ячейки на жидких кристаллах повысит точность и чувствительность системы контроля сейсмической активности.

Данная система может применяться для мониторинга землетрясений при добыче углеводородов в зонах повышенной сейсмической активности.

Ключевые слова: ЖК-ячейка, акустооптический эффект, ЖК-датчик, сейсмодатчик, система контроля сейсмической активности, индикация колебаний почвы.

SEISMIC ACTIVITY CONTROL SYSTEM FOR PETROLEUM AND GAS INDUSTRY

In the article we propose a new system for monitoring seismic activity. The novelty of the system is the use of the acousto-optic effect in liquid crystals (LC). The LC cell acts as an indicator, whose light transmission depends on the amplitude of the mechanical oscillations. The principle of the system is that a monochromatic light beam, passing through a polarizer, falls on a cell, with a liquid crystal, designed so that the liquid crystal is between two transparent massive plates that are separated by spacers. A liquid crystal of nematic type n-methoxybenzylidene-n-butylaniline (MBBA) is used. Between the plates one more thin plate is placed, capable of performing shear oscillations in the plane of the cell. It is connected by a waveguide with a piezoelectric element that perceives the oscillations of the soil, which, in turn, are transmitted along the waveguide to the movable plate. Further, the perturbations propagate in a liquid crystal. The molecules of the liquid crystal initially oriented homeotropically, after reaching the threshold value, the oscillation amplitude deviates from the normal to the cell. Light entering a cell passes through it and is fixed by a photodetector. The light transmission of the cell depends on the amplitude of the oscillations. The signal processed by the controller is displayed on the monitor in any convenient form.

The appearance of the acousto-optic effect is threshold. The threshold value of the amplitude of the action does not depend on the temperature, frequency and thickness of the LC layer. Dependence of the angle of deviation of the director of the liquid crystal from the amplitude of vibration is linear, this simplifies the calibration of the sensor. Since the relaxation time of the orientational effects in liquid crystals is 10^{-6} s, the systems on liquid crystals are more sensitive compared to solid crystals. Using a cell on liquid crystals will increase the accuracy and sensitivity of the seismic activity monitoring system.

This system can be used to monitor earthquakes in the production of hydrocarbons in areas of increased seismic activity.

Key words: LC cell, acousto-optic effect, LC sensor, seismic sensor, seismic activity monitoring system, indication of soil oscillations.

Введение

В настоящее время возникновение землетрясений происходит даже в регионах, которые традиционно не являются сейсмически активными, в том числе и в регионах, где ведется добыча углеводородов. В случае землетрясений появляется опасность разрушения нефтегазодобывающего оборудования, что может привести к утечке углеводородов и, соответственно, к авариям и жертвам. Для контроля сейсмической активности районов добычи, а также для своевременного предупреждения землетрясений, необходимо вести регулярный мониторинг.

Для решения подобных задач требуются приборы с высокой чувствительностью и быстродействием, а это требует новых научно-технических решений [1–5].

В настоящее время имеется большое количество систем, методов и приборов, основанных на различных физических явлениях и эффектах. Сейчас существует большое количество приборов и систем определения параметров вибрации, которые основаны на раз-

личных физических эффектах и явлениях [6–11].

Авторами разработана высокоэффективная система контроля и мониторинга сейсмической активности.

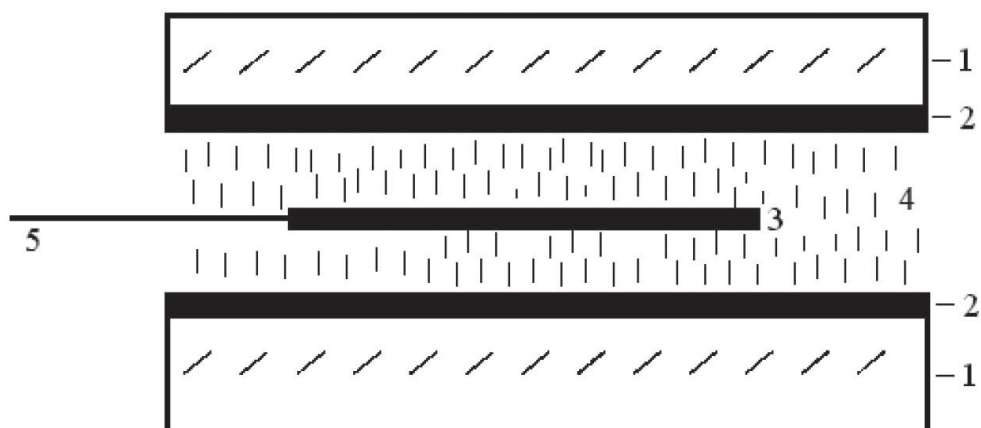
Разработка данной системы дала повышение чувствительности и быстродействия благодаря выраженному ориентационному эффекту в жидких кристаллах (ЖК) (время релаксации 10^{-6} с).

Описание метода контроля вибраций

В статье предлагается высокочувствительная система контроля сейсмической активности, основанная на акустооптическом эффекте в нематических жидких кристаллах. Акустооптический эффект наблюдается при воздействии звуковых волн на кристалл, в результате чего изменяется (появляется) оптический сигнал, прошедший через жидкий кристалл. Смысл системы заключается в том, что используется ячейка, которая содержит жидкий кристалл и является индикатором возникновения сдвиговых колебаний. Она выполнена в виде многослойной

конструкции (рисунок 1) и состоит из прозрачных массивных пластин, разделенных прокладками, находящихся по краям этой

конструкции. Между пластинами располагается тонкая пластина, совершающая колебания в плоскости ячейки [6–15].



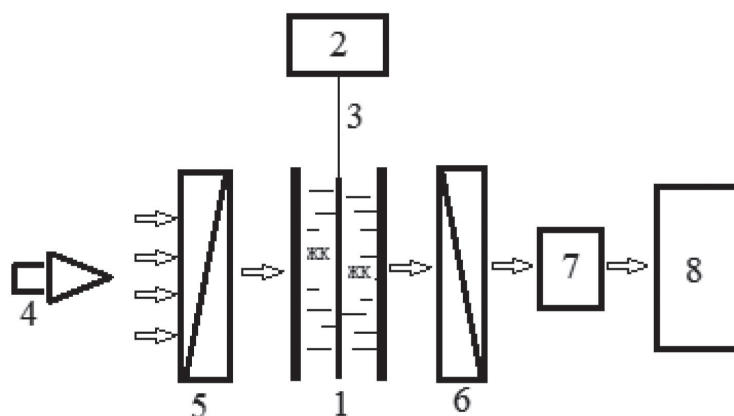
1 — массивные подложки; 2 — проводящее покрытие из металлического хрома; 3 — подвижная тонкая пластина; 4 — жидкий кристалл; 5 — волновод

Рисунок 1. Акустооптическая ячейка (вид сбоку)

В качестве мезофазы может использоваться любой нематический жидкий кристалл, например, *n*-метоксибензильден-*n*-бутиланилин (МББА). На подложки напылен хром для создания ориентации молекул ЖК перпендикулярно пластинам.

В предлагаемой структурной схеме (рисунок 2) подвижная пластина ЖК-ячейки 1, находящаяся посередине, соединяется с пьезоэлементом 2, воспринимающим шумы от сейсмической активности, с помощью волно-

вода 3. Через ячейку направлен пучок монохроматического поляризованного света (лазера) 4, луч которого, проходя через поляризатор 5 и ячейку 1, попадает в фотоприемник с анализатором 6, где преобразуется в аналоговый сигнал и обрабатывается микроконтроллером 7. Данные с него выводятся на автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора 8 в любом удобном виде (график, гистограмма, таблица).



1 — ячейка с ЖК; 2 — пьезоэлемент; 3 — волновод; 4 — источник света (лазер); 5 — поляризатор; 6 — анализатор с фотоприемником; 7 — микроконтроллер, в составе которого имеется усилитель, аналого-цифровой преобразователь и микропроцессор; 8 — монитор

Рисунок 2. Структурная схема системы регистрации механических колебаний, регистрирующим элементом которой является акустооптическая ячейка

Принцип работы акустооптической системы состоит в следующем. Директор жидкого кристалла ориентирован перпендикулярно пластинам ячейки. В таком случае при скрещенных поляризаторе и анализаторе световой пучок через ячейку не проходит. Когда возникает шум от сейсмической активности, он воспринимается пьезоэлементом и преобразуется в вибрации, которые через волновод передаются на среднюю пластину ЖК-ячейки. Когда амплитуда вибрации достигнет порогового значения в 0,8 мкм, директор начнет отклоняться от нормали на угол θ_c , и ориентация директора жидкого кристалла начинает резко изменяться (данный акустооптический эффект имеет пороговый характер возникновения) [12], в связи с чем светопропускание ЖК-ячейки будет изменяться. Фотоприемник зафиксирует поступивший сигнал, а контроллер, обработав его, выведет на АРМ оператора. Необходимо отметить, что данная система способна воспринимать даже минимальные изменения вибраций [13–15].

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Воздействие звуковой волны на ячейку, состоящую из двух слоев жидкого кристалла, из-за возникновения акустооптического эффекта приводит к появлению двойного лучепреломления.

Согласно Фурье-анализу и закону Малюса для анизотропных сред, в оптическом сигнале должны регистрироваться постоянная компонента и спектр гармоник интенсивности оптического сигнала, прошедшего через нематический жидкий кристалл:

$$S = S_o \left\{ \left[\sin^2 \frac{\pi hb}{\lambda} \langle \sin^2 \theta_c \rangle + \frac{\pi hb}{\lambda} [2 \langle \sin \theta_c \theta_i \rangle + \langle \theta_i^2 \rangle] \sin 2 \frac{\pi hb}{\lambda} \times \right. \right. \\ \left. \times \langle \sin^2 \theta_c \rangle + \left[\frac{\pi hb}{\lambda} \right]^2 [2 \langle \sin \theta_c \theta_i \rangle + \langle \theta_i^2 \rangle]^2 \times \right. \\ \left. \times \cos^2 \frac{\pi hb}{\lambda} \langle \sin^2 \theta_c \rangle \right\}, \quad (1)$$

где λ — длина падающей световой волны; постоянная b — константа (0,23); θ_c — постоянный угол наклона директора ЖК; θ_i —

осцилляционная компонента угла наклона молекул ЖК; h — толщина ЖК-слоя.

После проведения Фурье-анализа компоненты оптического сигнала S_c и переменные компоненты оптического сигнала $S_{i\omega}$:

$$S_c = S_o \left\{ \sin^2 \frac{\pi hb}{\lambda} \langle \sin^2 \theta_c \rangle + \frac{\pi hb}{\lambda} \frac{\theta_o^2}{2} \sin 2 \frac{\pi hb}{\lambda} \cdot \langle \sin^2 \theta_c \rangle + 2 \left[\frac{\pi hb}{\lambda} \right]^2 \times \right. \\ \left. \times \langle \sin \theta_c \theta_o \rangle^2 \cos^2 \frac{\pi hb}{\lambda} \cdot \langle \sin^2 \theta_c \rangle + \frac{3}{8} \left[\frac{\pi hb}{\lambda} \right]^2 \theta_o^4 \cos^2 \frac{\pi hb}{\lambda} \langle \sin^2 \theta_c \rangle \right\}, \quad (2)$$

$$S_{i\omega} = S_o \left\{ 2 \frac{\pi hb}{\lambda} \langle \sin \theta_c \theta_o \rangle \times \sin 2 \frac{\pi hb}{\lambda} \langle \sin^2 \theta_c \rangle + 3 \left[\frac{\pi hb}{\lambda} \right]^2 \langle \sin \theta_c \theta_o \rangle \times \right. \\ \left. \times \theta_o^2 \cos^2 \frac{\pi hb}{\lambda} \langle \sin^2 \theta_c \rangle \right\} \sin \omega t, \quad (3)$$

$$S_{2\omega} = S_o \left\{ -\frac{\pi hb}{\lambda} \frac{\theta_o^2}{2} \sin 2 \frac{\pi hb}{\lambda} \langle \sin^2 \theta_c \rangle - 2 \left[\frac{\pi hb}{\lambda} \right]^2 \times \right. \\ \left. \times \langle \sin \theta_c \theta_o \rangle^2 \cos^2 \frac{\pi hb}{\lambda} \langle \sin^2 \theta_c \rangle - \left[\frac{\pi hb}{\lambda} \frac{\theta_o^2}{2} \right]^2 \times \right. \\ \left. \times \cos^2 \frac{\pi hb}{\lambda} \langle \sin^2 \theta_c \rangle \right\} \cos 2\omega t. \quad (4)$$

Согласно оптике анизотропных сред и полученному выражению (3) сигнал, который регистрируется на частоте возбуждения ω , будет наблюдаться в том случае, когда директор отклонится на угол θ_c относительно нормали к ячейке. Возникновение акустооптического эффекта можно определить по появлению переменного сигнала $S_{i\omega}$ на частоте воздействия (рисунок 3). Это также позволяет измерить величину пороговой амплитуды ап звуковой волны в НЖК [16].

Нами были экспериментально получены зависимости постоянной компоненты оптического сигнала (рисунок 3). По экспериментальным данным постоянной составляющей оптического сигнала $S_{c(a)}$ и второй гармоники $S_{2\omega(a)}$ рассчитывался угол наклона директора θ_c от амплитуды (рисунок 4). Из нее следует, что при значении амплитуды механического сдвига 0,8 мкм функция $\theta_{c(a)}$ имеет порог, далее она монотонно возрастает.

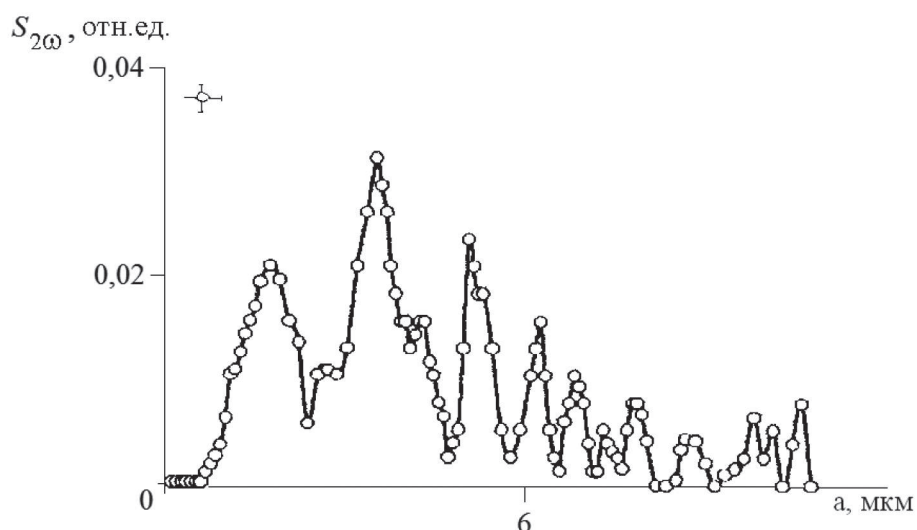


Рисунок 3. Амплитудная зависимость первой гармоники оптического сигнала

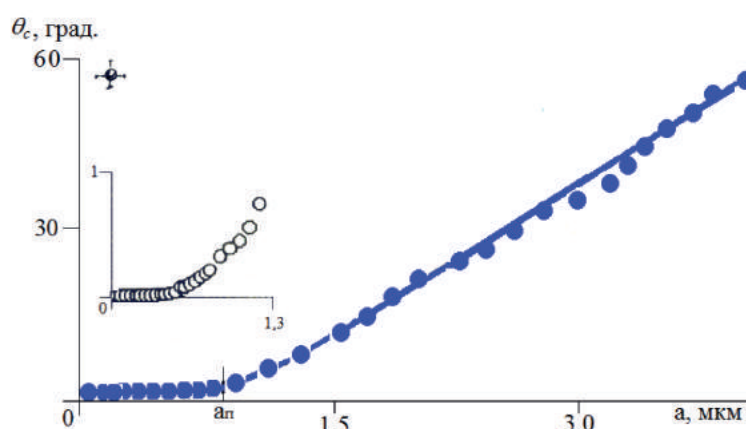


Рисунок 4. Зависимость угла наклона директора θ_c от амплитуды вибрации

Кроме того, экспериментально обнаружено, что акустооптический эффект, предлагаемый для рассматриваемого метода определения вибраций, не зависит от частоты в диапазоне 20 Гц–20 кГц, от температуры в диапазоне 18–45 °С, а также от толщины ЖК-слоя в диапазоне 20–125 мкм [11, 12, 14, 16]. Представленные результаты дают довольно широкие возможности использования нашего метода.

Вывод

В заключение необходимо отметить, что в статье описывается система контроля сейсмической активности, основанная на

акустооптическом эффекте в нематических жидких кристаллах. В этой системе использовалась жидкокристаллическая ячейка. Так как жидкие кристаллы очень чувствительны к внешним полям (термическим, магнитным, электрическим), то это предложение позволяет повысить чувствительность метода, эффективность измерений, а также его быстродействие. Полученные результаты можно использовать при разработке акустооптических датчиков для мониторинга сейсмической активности в районах нефтегазодобычи.

Список литературы

1. Вибрации в технике: справочник: в 6 т. / Ред. совет: В.Н. Челомей (пред.). М.: Машиностроение, 1981. Т. 5. Измерения и испытания / Под ред. М.Д. Генкина. 1981. 496 с.

2. Макаров А.Б. Практическая геомеханика. М.: Изд-во «Горная книга», 2006. 391 с.

3. Труды Международного научного симпозиума «Неделя горняка-2015»: Сб. ст. Отдельный выпуск научно-технического журнала «Горный информационно-аналити-

ческий бюллетень. М.: Изд-во «Горная книга», 2015. № ОВ1. 664 с.

4. Асланов Т.Г., Тагиров Х.Ю., Магомедов Х.Д. Влияние пространственного расположения сейсмодатчиков на точность определения гипоцентра землетрясения // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2016. № 4 (43). С. 73–84.

5. Shearer P.M. Introduction to Seismology. Cambridge University Press, 2009. 412 p.

6. Денисова О.А. Распространение ультразвуковых волн в твист — структурах жидких кристаллов // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2011. № 2. С. 62–65.

7. Денисова О.А., Чувывров А.Н. Резонансное изменение скорости поперечных акустических волн в твист-структурах жидких кристаллов // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2011. № 3. С. 25–29.

8. Денисова О.А., Чувывров А.Н. Оптические датчики вибрации на основе жидких кристаллов с гомеотропной ориентацией молекул // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2011. № 5. С. 367–375.

9. Денисова О.А., Чувывров А.Н. Релаксация директора при азимутальной неустойчивости жидких кристаллов // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2012. № 1. С. 52–58.

10. Денисова О.А., Чувывров А.Н. Структурные переходы в жидких кристаллах, влияние осциллирующих потоков и электрических полей. Германия, 2012.

11. Денисова О.А. Турбулентный режим течения жидких кристаллов при действии гармонического сдвига // Научное обозрение. 2013. № 1. С. 34–36.

12. Денисова О.А. Один из методов экспериментальных исследований жидких кристаллов // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2013. Т. 9. № 2. С. 107–113.

13. Денисова О.А., Чувывров А.Н. Акустический аналог перехода Фредерикса в быстро осциллирующих потоках жидких кристаллов // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2013. № 2 (44). С. 37–41.

14. Леонов В.В., Денисова О.А. Электродинамика сдвигового действия и реализация

режима турбулентности в конденсированных средах // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2015. № 2. С. 90–97.

15. Denisova O., Abramishvili R. Nonlinear orientation effect in liquid crystals to create a linear displacement sensor // MATEC Web of Conferences 13. Ser. «13th International Scientific-Technical Conference «Dynamic of Technical Systems». 2017. С. 02008.

16. Денисова О.А., Абрамишвили Р.Л. Жидкокристаллическая ячейка для индикации контроля и измерения уровня жидких сред // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2017. Т. 13. № 1. С. 98–111.

References

1. Vibratsii v tehnikе: spravochnik: v 6 Vol. / Red. sovet: V.N. Chelomej (pred.). М.: Mashinostroenie, 1981. Т. 5. Izmerenija i ispytaniya / Pod red. M.D. Genkina. 1981. 496 s.

2. Makarov A.B. Prakticheskaya geomexanika. posobie dlya gornyx inzhenerov. М.: Izd-vo «Gornaya kniga», 2006. 391 s.

3. Trudy mezhdunarodnogo nauchnogo simpoziuma «Nedelya gornyaka-2015»: sb. st. Otdelnyj vypusk nauchno-tehnicheskogo zhurnala «Gornogiy informacionno-analicheskij byulleten» [Scientific and Technical Journal «Mining Informational and Analytical Bulletin»]. М.: Izd-vo «Gornaya kniga». 2015. № 1. 664 s.

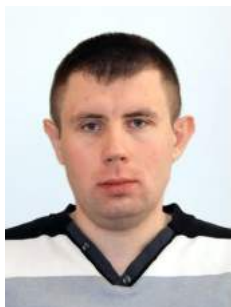
4. Aslanov T.G., Tagirov Kh.Yu., Magomedov Kh.D. Vliyanie prostranstvennogo raspolozheniya seysmodatchikov na tochnost' opredeleniya gipotsentra zemletryaseniya // Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2016. № 4 (43). S. 73–84.

5. Shearer P.M. Introduction to Seismology. Cambridge University Press, 2009. 412 p.

6. Denisova O.A., Chuvyrov A.N. Rezonansnoe izmenenie skorosti poperechnykh akusticheskikh voln v tvist-strukturah zhidkikh kristallov // Zhidkie kristally i ih prakticheskoe ispol'zovanie. 2011. № 3. S. 25–29.

7. Denisova O.A. Rasprostranenie ul'trazvukovykh voln v tvist — strukturah zhidkikh kristallov // Zhidkie kristally i ih prakticheskoe ispol'zovanie. 2011. V. 2. S. 62–65.

8. Denisova O.A., Chuvyrov A.N. Opticheskie datchiki vibratsii na osnove zhidkih kristallov s gomeotropnoj orientatsiej molekul // Elektronnyj nauchnyj zhurnal «Neftegazovoe delo». 2011. № 5. S. 367–375.
9. Denisova O.A., Chuvyrov A.N. Relaksatsija direktora pri azimutal'noj nestabil'nosti zhidkih kristallov // Zhidkie kristally i ih prakticheskoe ispol'zovanie. 2012. № 1. S. 52–58.
10. Denisova O.A., Chuvyrov A.N. Strukturnye perehody v zhidkih kristallah, vlijanie ostsillirujuschih potokov i elektricheskikh polej. Germanija, 2012.
11. Denisova O.A. Turbulentnyj rezhim techenija zhidkih kristallov pri dejstvii garmonicheskogo sdviga // Nauchnoe obozrenie. 2013. № 1. S. 34–36.
12. Denisova O.A. Odin iz metodov eksperimental'nyh issledovanij zhidkih kristallov // Elektrotehnicheskie i informatsionnye komplekсы i sistemy. 2013. T. 9. № 2. S. 107–113.
13. Denisova O.A., Chuvyrov A.N. Akusticheskij analog perehoda Frederiksa v bystro ostsillirujuschih potokah zhidkih kristallov // Zhidkie kristally i ih prakticheskoe ispol'zovanie. 2013. № 2 (44). S. 37–41.
14. Leonov V.V., Denisova O.A. Elektrodinamika sdvigovogo dejstvija i realizatsija rezhima turbulentsnosti v kondensirovannyh sredah // Elektrotehnicheskie i informatsionnye komplekсы i sistemy. 2015. № 2. S. 90–97.
15. Denisova O., Abramishvili R. Nonlinear orientation effect in liquid crystals to create a linear displacement sensor // MATEC Web of Conferences 13. Ser. «13th International Scientific-Technical Conference «Dynamic of Technical Systems». 2017. S. 02008.
16. Denisova O.A., Abramishvili R.L. Zhidkokristallicheskaja jachejka dlja indikatsii kontrolja i izmerenija urovnja zhidkih sred // Elektrotehnicheskie i informatsionnye komplekсы i sistemy. 2017. T. 13. № 1. S. 98–111.



Андреанов А. В.
Andrianov A. V.
начальник лаборатории,
АО «Таганрогский
научно-исследовательский
институт связи»,
г. Таганрог,
Российская Федерация



Зикий А. Н.
Zikiy A. N.
кандидат технических
наук, старший научный
сотрудник, доцент
кафедры «Информационная
безопасность
телекоммуникационных
систем» Института
компьютерных технологий
и информационной
безопасности,
ФГАОУ ВО «Южный
федеральный университет»,
г. Таганрог,
Российская Федерация



Зламан П. Н.
Zlaman P. N.
ведущий
инженер-конструктор,
Научно-конструкторское
бюро моделирующих
и управляющих систем,
ФГАОУ ВО «Южный
федеральный университет»,
г. Таганрог,
Российская Федерация

УДК 621.396.6

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СМЕСИТЕЛЯ НА МИКРОСХЕМЕ LTC5553

Проведено экспериментальное исследование смесителя на микросхеме LTC5553. Измерены потери преобразования в диапазоне входных частот 4–18 ГГц при преобразовании «вниз», а также потери преобразования в диапазоне выходных частот 4–18 ГГц при преобразовании «вверх». Они не превышают 13,3 дБ при преобразовании «вниз», и 16,3 дБ при преобразовании «вверх». Снята амплитудная характеристика смесителя, из которой видно, что она линейна для входных сигналов от минус 70 дБм до +10 дБм. Развязка между портами LO-IF составляет величину порядка 24 дБ, а между портами LO-RF 33 дБ. Спектр комбинационных частот на выходе смесителя не содержит паразитных продуктов преобразования выше минус 60 дБ по отношению к полезному сигналу в полосе 500 МГц. Смеситель LTC5553 рекомендуется использовать в приемо-передающей аппаратуре связи, радиолокации, радионавигации, радиоуправления и радиоэлектронной борьбы. Благодаря высоким электрическим параметрам он может найти применение в измерительной аппаратуре – измерительных приемниках и анализаторах спектра. Сравнение с другими моделями смесителей показывает явное преимущество LTC5553 по диапазону рабочих частот, малой потребляемой мощности гетеродина, высокой развязке между портами LO-RF. Малый ток потребления около 130 мА, низкое напряжение питания 3,3 В также являются аргументами в пользу выбора LTC5553.

Ключевые слова: смеситель, преобразование частоты «вниз» и «вверх», потери преобразования, амплитудно-частотная характеристика, амплитудная характеристика, развязка между портами.

EXPERIMENTAL STUDY OF THE MIXER LTC5553

An experimental study of the mixer on the LTC5553 chip was carried out. The conversion loss is measured in the range of 4–18 GHz input frequencies under «down» conversion and the conversion loss in the output frequency range 4–18 GHz under «up» conversion. They do not

exceed 13.3 dB when converting «down», and 16.3 dB when converting «up». The amplitude characteristic of the mixer is fixed from which it is seen that it is linear for input signals from minus 70 dBm to +10 dBm. The decoupling between the LO-IF ports is about 24 dB, and between the LO-RF ports is 33 dB. The combination frequencies spectrum at the output of the mixer contains parasitic conversion products above minus 60 dB with respect to the useful signal in the 500 MHz band. Mixer LTC5553 is recommended for use in transmitting and receiving communication equipment, radar, radio navigation, radio control and electronic warfare. Due to its high electrical parameters, it can be used in measuring equipment — measurements receivers and spectrum analyzers. Comparison with other mixer models shows the distinct advantage of LTC5553 over the range of operating frequencies, low power consumption of the local oscillator, high isolation between the LO-RF ports. A low current consumption of about 130 mA, a low supply voltage of 3.3 V are also arguments in favor of choosing the LTC5553.

Key words: mixer, frequency conversion «down» and «up», conversion loss, amplitude-frequency response, amplitude response, isolation between ports.

Объектом исследования в данной работе является смеситель на микросхеме LTC5553 [1], расположенной на тестовой плате фирмы Linear Technologies [2]. Схема смесителя приведена на рисунке 1.

Исследование такого смесителя представляет интерес по ряду причин, в том числе:

- микросхема является новой и еще не нашла широкого применения в отечественной радиоэлектронике;
- несмотря на обширный справочный листок [1], в нем указано не все, что интересует потребителя;
- методики измерений параметров смесителя за рубежом и в отечественной практике могут различаться.

Целью данной работы является экспериментальное исследование основных характеристик смесителя: потерь преобразования при преобразовании частоты «вниз» и «вверх», развязки между портами «гете-

родин-ПЧ» и «гетеродин-RF вход», амплитудной характеристики и др.

Эксперименты проводились на установке, структурная схема которой приведена на рисунке 2. В качестве источников сигнала и гетеродинной мощности использованы два генератора фирмы Agilent типа E8257D. В качестве индикатора спектра, измерителя мощности и частоты выходных сигналов применен анализатор спектра типа РХА фирмы Agilent Technologies. Источником питания служит прибор GPD-72303S. В первом эксперименте измерены потери преобразования частоты «вниз» в диапазоне входных частот от 4 до 18 ГГц, при изменении частот гетеродина от 5,25 до 18,75 ГГц и промежуточной частоте от 750 до 1250 МГц.

Результаты измерений занесены в таблицу 1. По данным таблицы 1 построен график на рисунке 3. Из этого рисунка видно, что потери смесителя в диапазоне частот меняются от 9 до 13,3 дБ.

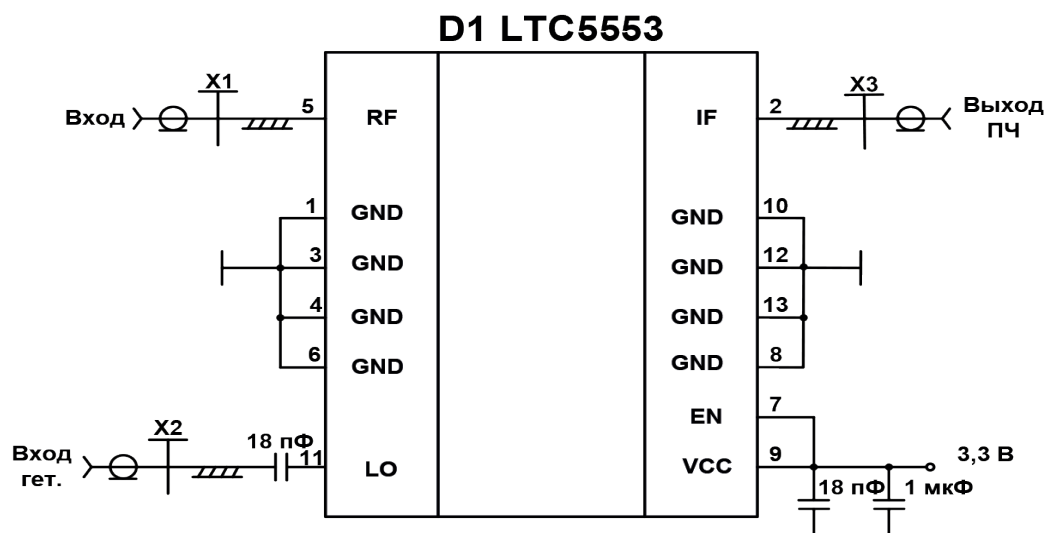


Рисунок 1. Принципиальная схема смесителя для случая преобразования «вниз»

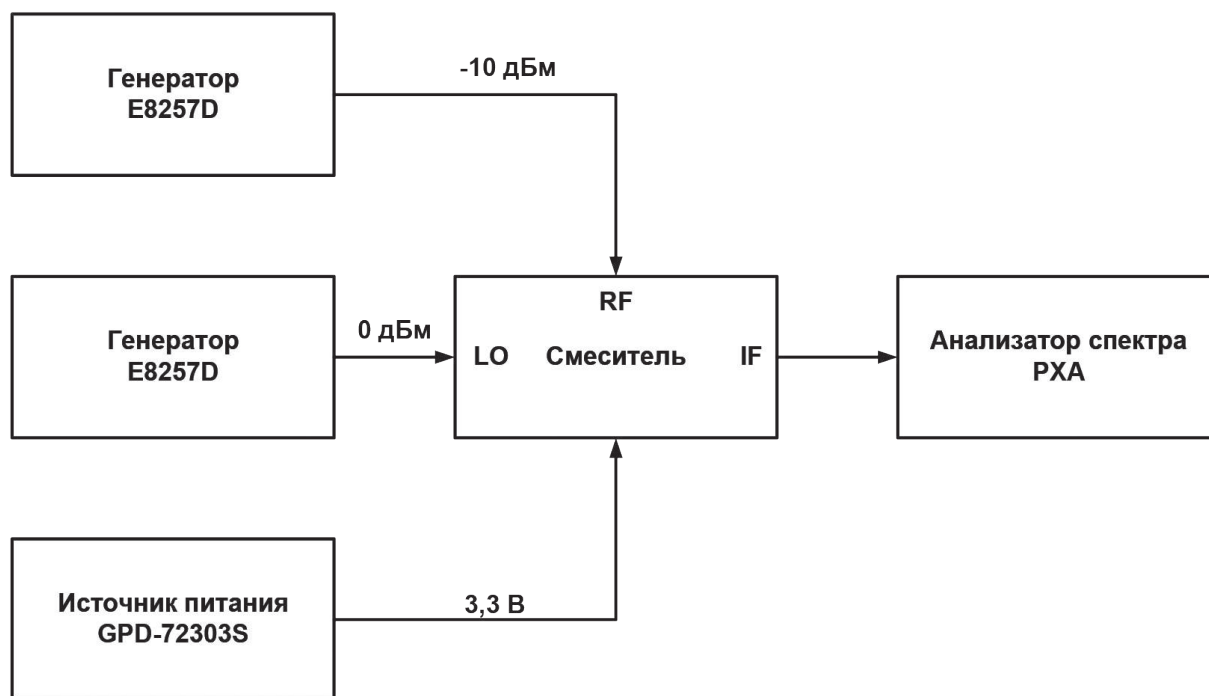


Рисунок 2. Структурная схема измерительной установки для случая преобразования «вниз»

Таблица 1. Потери преобразования смесителя LTC5553 при преобразовании «вниз», частотах ПЧ от 750 до 1250 МГц, мощности гетеродина 0 дБм и мощности сигнала минус 10 дБм

f_c , ГГц	f_r , ГГц	$P_{\text{вых}}$, дБм	Потери, дБ
4,25	5,25	-19,18	9,18
4,75	5,75	-19,03	9,03
5,25	6,25	-19,00	9,00
5,75	6,75	-19,05	9,05
6,25	7,25	-19,27	9,27
6,75	7,75	-19,00	9,00
7,25	8,25	-19,47	9,47
7,75	8,75	-19,56	9,56
8,25	9,25	-20,70	10,70
8,75	9,75	-19,80	9,80
9,25	10,25	-19,98	9,98
9,75	10,75	-20,15	10,15
10,25	11,25	-20,36	10,36
10,75	11,75	-20,73	10,73
11,25	12,25	-20,03	10,03
11,75	12,75	-21,30	11,30
12,25	13,25	-21,96	11,96
12,75	13,75	-22,18	12,18
13,25	14,25	-22,91	12,91
13,75	14,75	-22,77	12,77
14,25	15,25	-23,50	13,50
14,75	15,75	-23,02	13,02
15,25	16,25	-22,90	12,90
15,75	16,75	-22,87	12,87
16,25	17,25	-23,17	13,17
16,75	17,75	-23,17	13,17
17,25	18,25	-23,07	13,07
17,75	18,75	-23,31	13,31



Рисунок 3. Потери преобразования частоты «вниз»

Во втором эксперименте измерены потери преобразования частоты «вверх» в диапазоне выходных частот от 4 до 18 ГГц, при изменении частот гетеродина от 5,25 до 18,75 ГГц и входной частоте $1 \pm 0,25$ ГГц. Для проведения этого эксперимента в структурной схеме на

рисунке 2 поменяли местами порты RF и IF. Результаты измерений помещены в таблицу 2. По данным таблицы 2 построен график на рисунке 4. Из этого рисунка видно, что потери смесителя в диапазоне частот составляют от 9,16 до 16,32 дБ.

Таблица 2. Потери преобразования смесителя LTC5553 при преобразовании «вверх», мощности гетеродина 0 дБм и мощности сигнала минус 10 дБм. Ток потребления 129 мА

f_c , ГГц	f_r , ГГц	$f_{\text{вых}}$, ГГц	$P_{\text{вых}}$, дБм	Потери, дБ
1	5,25	4,25	-19,26	9,26
1	5,75	4,75	-19,16	9,16
1	6,25	5,25	-19,35	9,35
1	6,75	5,75	-19,47	9,47
1	7,25	6,25	-19,76	9,76
1	7,75	6,75	-20,20	10,20
1	8,25	7,25	-20,41	10,41
1	8,75	7,75	-20,53	10,53
1	9,25	8,25	-20,76	10,76
1	9,75	8,75	-21,25	11,25
1	10,25	9,25	-21,36	11,36
1	10,75	9,75	-21,78	11,78
1	11,25	10,25	-22,16	12,16
1	11,75	10,75	-22,19	12,19
1	12,25	11,25	-22,62	12,62
1	12,75	11,75	-23,46	13,46
1	13,25	12,25	-24,42	14,42
1	13,75	12,75	-24,97	14,97
1	14,25	13,25	-24,88	14,88
1	14,75	13,75	-23,63	13,63
1	15,25	14,25	-23,47	13,47
1	15,75	14,75	-23,76	13,76
1	16,25	15,25	-24,38	14,38
1	16,75	15,75	-24,12	14,12
1	17,25	16,25	-24,36	14,36
1	17,75	16,75	-24,20	14,20
1	18,25	17,25	-25,13	15,13
1	18,75	17,75	-26,32	16,32

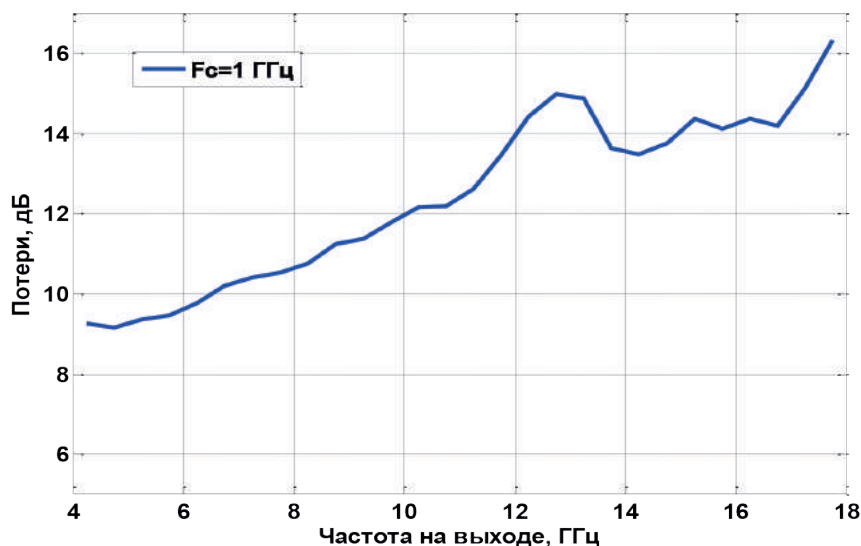


Рисунок 4. Потери преобразования частоты «вверх»

В третьем эксперименте была снята амплитудная характеристика смесителя при преобразовании частоты «вверх», $f_c = 1$ ГГц, $f_r = 5,25$ ГГц, $f_{\text{вых}} = 4,25$ ГГц, мощности гетеродина 0 дБм. Мощность входного сигнала

менялась от минус 70 дБм до +20 дБм. Результаты измерения выходной мощности заносились в таблицу 3. По данным таблицы 3 построен график на рисунке 5.

Таблица 3. Амплитудная характеристика смесителя

$P_{\text{вх}}$, дБм	$P_{\text{вых}}$, дБм	Потери, дБ
-70	-80	10
-60	-69,54	5,54
-50	-59,59	5,59
-40	-49,57	5,57
-30	-39,57	9,57
-20	-29,57	9,57
-10	-19,57	9,57
-5	-14,58	9,58
0	-9,61	9,61
+5	-4,48	9,48
+10	0,39	9,61
+15	4,73	11,27
+20	7,16	12,84

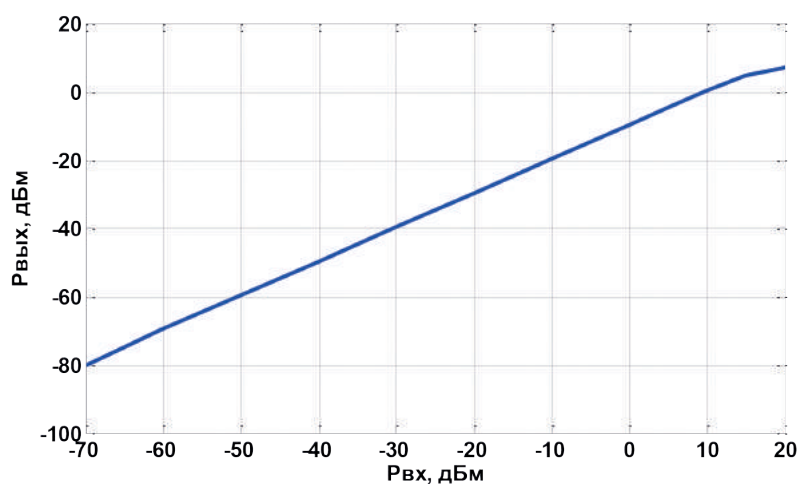


Рисунок 5. Амплитудная характеристика смесителя при преобразовании сигнала «вверх»

Амплитудная характеристика смесителя на рисунке 5 линейна в диапазоне входных мощностей от минус 70 дБм до +10 дБм. Сравнение исследованного смесителя с дру-

гими [3–10] известными смесителями, приведенное в таблице 4, позволяет выявить его достоинства и недостатки.

Таблица 4. Сравнение моделей смесителей по основным параметрам [5, 11]

Тип смесителя	Диапазон частот сигнала, ГГц	Диапазон частот гетеродина, ГГц	Диапазон частот ПЧ, ГГц	Коэффициент передачи, дБ	Точка перехвата IP3	Развязка LO/RF, дБ	Развязка LO/IF, дБ	Коэф. шума, дБ	Точка компрессии P1дБ, дБм	Мощность гетеродина, дБм	Тип корпуса
HMC773A	6–26	6–26	0–8	–9	19	37	37	9	10	13	3x3 LFCSP
LTC5553	3–20	1–20	0,5–9	–11,5	21,5	32	20	12,1	14,8	0	3x2 QFN
LTC5552	3–20	1–20	0–6	–10,8	18,5	24	19	11,7	14,8	0	3x2 QFN
HMC1048A	2–18	2–18	0–4	–10	22	37	25	10	12	13	3x3 LFCSP
1324ПС8	6–18	6–18	0,01–10	–8	–	–	–	–	–	–	–
MM1–0424S	4,5–24	4,5–24	0–4	–8	25	49	25–29	–	14	17	–
MM1–0626h	6–26	6–26	0–9	–8	21	–	30	–	9	12	–
MD616	5–26	5–26	0–2	–	–	–	35	–	–	–	–

Выводы

1. Потери смесителя при преобразовании частоты «вниз» на $f_{пч} = 1$ ГГц составляют от 9 до 13,3 дБ.
2. Потери смесителя при преобразовании частоты «вверх» и $f_c = 1$ ГГц составляют от 9,16 до 16,32 дБ.
3. Амплитудная характеристика смесителя линейна в диапазоне входных мощностей от минус 70 дБм до +10 дБм.
4. Спектр выходных частот не содержит комбинационных частот в полосе

500 МГц и динамическом диапазоне выше минус 50 ... минус 60 дБ по отношению к полезному продукту при $P_{с.вх} = -10$ дБм.

5. Развязка между портами LO-IF составляет величину порядка 24 дБ, а между портами LO-RF 33 дБ.

Авторы благодарят фирму PT-Electronics и лично руководителя направления активных компонентов Башмакова Павла Александровича за предоставление тестовой платы смесителя для испытаний.

Список литературы

1. Microwave Mixer LTC5553. Linear Technology. Data Sheet. 16 p.
2. Demo Manual DC2566A. Passive Bidirectional Mixer. Linear Technology. 6 p.
3. Андрианов А.В., Зикий А.Н., Зламан П.Н. Исследование динамического диапазона смесителя по комбинационным составляющим // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2017. № 2. С. 74–78.
4. Зикий А.Н., Пленкин А.П. Смеситель дециметрового диапазона на комбинации линий передачи // Инженерный вестник Дона. 2016. № 3.
5. Дроздов А.В., Дроботун Н.Б., Гошин Г.Г., Хорошилов Е.В. МИС ДБС диапа-

зона частот 5-26 ГГц // Доклады ТУСУРа. 2017. Т. 20, № 1. С. 23–25.

6. Maas S. Microwave Mixers. Boston, Artech House, 1986. 355 p.

7. Зикий А.Н., Зламан П.Н., Булгакова О.И., Пленкин А.П.. Смеситель с большим динамическим диапазоном // Вопросы специальной радиоэлектроники. Серия «Общие вопросы радиоэлектроники». 2013. № 2. С. 118–124.

8. Зикий А.Н., Додаев С.Э., Курилкин Н.В., Шакунов С.А. Экспериментальное исследование смесителя на микросхеме K174ПС4 // Вопросы специальной радиоэлектроники. Серия «Общие вопросы радиоэлектроники». 2004. № 1. С. 14–17.

9. Зикий А.Н., Додаев С.Э., Курилкин Н.В., Шакунов С.А. Экспериментальное исследование смесителя на микросхеме IAM81008 // Вопросы специальной радиоэлектроники. Серия «Общие вопросы радиоэлектроники». 2004. № 1. С. 74–77.

10. Зикий А.Н., Зламан П.Н., Матвиенко Р.Н., Сивокос Е.В. Экспериментальное исследование монолитного смесителя // Актуальные научные исследования в современном мире: матер. Междунар. науч.-практ. интернет-конф. 13–14 июня 2015 г. Переяслав-Хмельницкий, Украина, 2015. Вып. 1, Ч. 2. С. 63–67.

11. RF, Microwave and Millimeter Wave IC. Selection Guide 2017. Analog Devices. 56 p.

References

1. Microwave Mixer LTC5553. Linear Technology. Data Sheet. 16 p.

2. Demo Manual DC2566A. Passive Bidirectional Mixer. Linear Technology. 6 p.

3. Andrianov A.V., Zikij A.N., Zlaman P.N. Issledovanie dinamicheskogo diapazona smesitelja po kombinacionnym sostavljajushhim. Jeletrotehničeskie i informacionnye komplekсы i sistemy. 2017. № 2. P. 74–78.

4. Zikij A.N., Plenkin A.P. Smesitel' decimetrovogo diapazona na kombinacii linij poredachi // Inženernyj vestnik Dona. 2016. № 3.

5. Drozdov A.V., Drobotun N.B., Goshin G.G., Horoshilov E.V. MIS DBS diapazona chastot 5–26 GGc // Doklady TUSURa. 2017. Vol. 20, No. 1. P. 23–25.

6. Maas S. Microwave Mixers. Boston, Artech House, 1986. 355 p.

7. Zikij A.N., Zlaman P.N., Bulgakova O.I., Plenkin A.P. Smesitel' s bol'shim dinamicheskim diapazonom // Voprosy special'noj radiojelektroniki. Ser. «Obshhie voprosy radiojelektroniki». 2013. № 2. P. 118–124.

8. Zikij A.N., Dodaev S.Je., Kurilkin N.V., Shapunov S.A. Jeksperimental'noe issledovanie smesitelja na mikrosheme K174PS4 // Voprosy special'noj radiojelektroniki. Ser. «Obshhie voprosy radiojelektroniki». 2004. № 1. P. 14–17.

9. Zikij A.N., Dodaev S.Je., Kurilkin N.V., Shapunov S.A. Jeksperimental'noe issledovanie smesitelja na mikrosheme IAM81008 // Voprosy special'noj radiojelektroniki. Ser. «Obshhie voprosy radiojelektroniki». 2004. № 1. P. 74–77.

10. Zikij A.N., Zlaman P.N., Matvienko R.N., Sivokoz E.V. Jeksperimental'noe issledovanie monolitnogo smesitelja // Aktual'nye nauchnye issledovanija v sovremennom mire: матер. Mezhdunar. nauch.-prakt. internet-konf., 13–14 ijunya 2015 g. Perejaslav-Hmel'nickij, Ukraina, 2015. Vyp. 1. Ch. 2. P. 63–67.

11. RF, Microwave and Millimeter Wave IC. Selection Guide 2017. Analog Devices. 56 p.



Рыжиков О. Л.

Ryzhikov O. L.

кандидат технических наук,

доцент кафедры «Физическая электроника и нанофизика»,

ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет»,

г. Уфа, Российская Федерация

УДК 621.317.2

СКАНИРУЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЗОНДОВОГО МИКРОСКОПА С УПРАВЛЕНИЕМ ИЗ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОЙ СРЕДЫ NI ELVIS II

Целью данной работы является разработка сканирующих устройств зондовых микроскопов для исследования наноматериалов и применения их в перспективных изделиях современной электроники. В качестве примера можно выбрать материалы для холодных катодов. Интерес представляет также исследование туннельных эффектов в различных органических полупроводниках, например в асфальтенах. Для решения поставленной задачи автором разработаны аппаратура и программное обеспечение для сканирования в нанодиапазоне на основе биморфных пьезоэлектриков. Данная конструкция обеспечивает значительные перемещения в диапазоне до 100 мкм при управляющем напряжении порядка 100 В, характерные недостатки – низкая жесткость и малая блокирующая сила — несущественны для данного приложения. Управление наноперемещениями кроме собственно изгибного пьезокерамического биморфа требует также разработки регулируемых высоковольтных источников напряжения и программного обеспечения для автоматизации исследования и отображения результатов. В качестве такого источника используется типовая схема step-up преобразователя, в канал обратной связи которого кроме параметра выходного напряжения подается также напряжение управления. Для измерения туннельных токов рассматривается усилитель базе микросхемы LMP7712 с отличными параметрами входных цепей для измерения токов в фемто-пикодиапазоне для комнатных температур. Компьютерное обеспечение выполнено на базе программно-аппаратной среды NI ELVIS II. В работе приведена интеграция установки в макетную плату комплекса, для электропитания используются встроенные источники, также цифро-аналоговое и аналого-цифровое преобразование информации осуществляется соответствующими каналами комплекса NI ELVIS II. Передняя панель виртуального инструмента содержит необходимые элементы для управления и отображения результатов исследования. Программное обеспечение выполнено в среде графического программирования LabVIEW. Результаты данной разработки использованы для исследования возможности применения асфальтенов нефтяного сырья в качестве органических полупроводников и электропроводящих наноматериалов для приборов микро- и нанoeлектроники.

Ключевые слова: пьезоэлектрик, биморф, асфальтены, сканер, step-up преобразователь, туннельные токи, холодный катод, NI ELVIS, LabVIEW, виртуальный инструмент.

SCANNING ELEMENTS OF A PROBE MICROSCOPE UNDER NI ELVIS DAQ SYSTEM HARDWARE AND SOFTWARE ENVIRONMENT

In this paper an investigation of the usage of piezoelectric bimorphs for probe microscope scanners is reported. More specifically, the current approach aims to determine the behavior of the piezoelectric bimorphs in order to utilize them as a scanning system. The research in the field of nanomaterials for cold cathode or tunnel currents in organic matters such as asphaltenes may be taken as examples. To solve the problem, the author developed equipment to control high voltage applied to the piezoelectric bimorphs on the base of step-up dc-dc converter. It

accepts an input 15 V and converts it into a regulated output up to 100 V forcing the scanner to move up to 100 micrometers. The output voltage can be adjusted between 10 V and 100 V by inserting in the feedback channel control voltage from DAQ system. To measure the tunnel currents considered amplifier chip LMP7712 with excellent parameters of input circuits for measuring currents in the Femto-Pico range. The paper shows the integration to the NI ELVIS DAQ system bread-board, for power supply, built-in sources are used, as well as digital-analog and analog-to-digital information conversion is carried out by the appropriate channels of the complex. The front panel of the virtual tool contains the necessary elements to manage and display the results of the study. Labview software was utilized to process the acquired data from the NI ELVIS DAQ system. The results of this development are used to study the possibility of using petroleum raw asphaltene as organic semiconductors and electroconducting nanomaterials for micro- and nanoelectronic devices.

Key words: piezoelectric, bimorph, asphaltene, scanner, step-up converter, tunnel currents, cold cathode, NI ELVIS, LabVIEW, virtual instruments.

Введение

Для работы зондовых микроскопов необходимо контролировать рабочее расстояние в системе «зонд – образец» и осуществлять перемещения зонда в плоскости образца с высокой точностью. Аналогичная задача возникает при исследовании фазовых переходов электропроводности органических материалов [1] и методов увеличения долговечности и надежности холодных катодов для источников свободных электронов [2]. Эти устройства, работающие на основе явления автоэлектронной эмиссии, являются важным функциональным элементом многих приборов в микроэлектронике. В настоящее время эта задача решается в основном с помощью специальных манипуляторов — сканирующих элементов. Сканеры изготавливаются в основном из пьезоэлектриков — материалов, обладающих пьезоэлектрическими свойствами, то есть способностью изменять свои размеры во внешнем электрическом поле. Автоматизированное управление такими устройствами целесообразно осуществлять с помощью аппаратуры корпорации National Instruments, использующей графическую среду программирования LabVIEW [3]. В настоящей работе рассматриваются применение биморфных пьезоэлектриков и аппаратура для управления и измерения сканерами на их основе.

Постановка задачи

Если ход одиночного пьезокерамического элемента обычных размеров (порядка

нескольких миллиметров) измеряется в микронах, то для нескольких таких элементов, собранных вместе в пакет, ход увеличивается. Поэтому для получения достаточных перемещений зонда приходится либо применять напряжения порядка тысяч вольт для одиночного пьезоэлемента, либо пакетировать слои толщиной порядка 0,1 мм. И то, и другое приводят к определенным конструктивным сложностям [4].

В данной работе рассматривается реализация сканирующего элемента на основе изгибного пьезокерамического биморфа. Отличительной особенностью элементов такой конструкции является их специфическое крепление (защемление). Данная конструкция обеспечивает значительные перемещения в диапазоне до 100 мкм при управляющем напряжении порядка 100 В, характерные недостатки — низкая жесткость и малая блокирующая сила — несущественны для нашего приложения. Таким образом, разработка аппаратуры для управления такой конструкцией позволила бы проводить исследования в значительно более комфортных условиях.

Результаты разработки

Биморфная конструкция состоит из двух тонких пьезоэлементов, из которых один при подаче напряжения растягивается, а другой сжимается. Чаще всего между пьезоэлементами клеивается третий элемент — металлическая мембрана. Металл придает прочность конструкции. Ещё чаще бывает

достаточно использовать один пьезоэлемент, а в качестве второго элемента биморфа служит сама мембрана (рисунок 1).

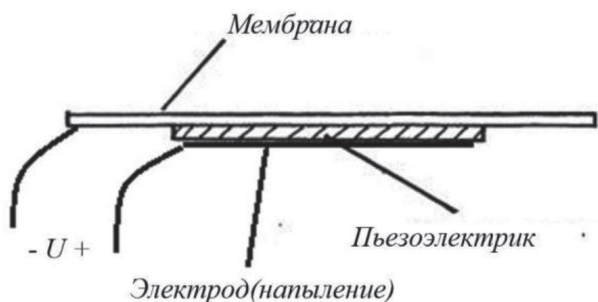


Рисунок 1. Биморфная конструкция

Обычные размеры таких биморфов, широко применяемых излучателях звука, составляют 10–60 мм в диаметре и 0,2–1,5 мм по толщине. При этом диаметр пьезоэлемента обычно в 1,5–2,0 раза меньше диаметра мембраны. При подаче на пьезоэлемент напряжения его диаметр, в зависимости от полярности, либо увеличивается, либо уменьшается. Порядок изменения диаметра составляет 0,05 мкм на каждые 10 В напряжения. Однако, вследствие изгиба, края мембраны приподнимутся или опустятся на 20 мкм (рисунок 2). Таким образом, малое расширение пьезоэлемента преобразуется в 400 раз большее изгибное смещение [5].

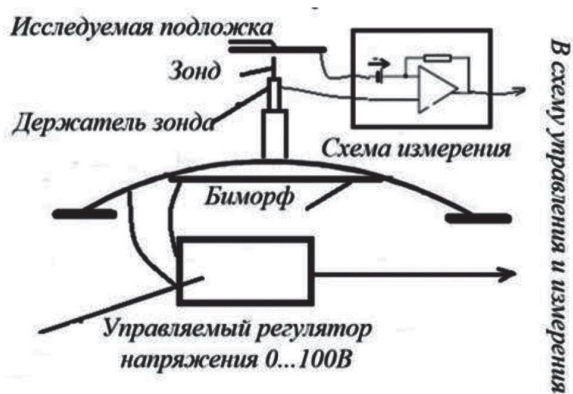


Рисунок 2. Применение биморфа в схеме зондирования

Следующим вопросом, который придется решать при создании практического устройства, является разработка высоковольтного управляемого (от компьютера) регулятора напряжения для питания собственно биморфа. Типичная схема такого регулятора приведена на рисунок 3.

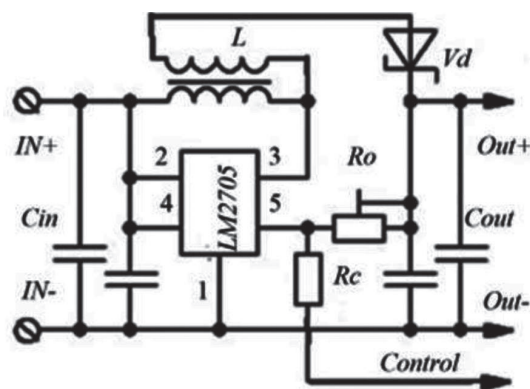


Рисунок 3. Высоковольтный регулятор напряжения

Входное напряжение U_{in} подается на входной фильтр C_{in} и поступает на последовательно соединенные катушку индуктивности L и микросхему $LM2705$, в состав которой включен силовой полевой транзистор. В точку соединения катушки и стока транзистора подключена вторичная повышающая обмотка по автотрансформаторной схеме. Диод V_d подключен к этой повышающей обмотке, соотношение витков первичной и вторичной обмоток позволяет получить высокое напряжение порядка сотен вольт. К другому выводу диода подключены нагрузка и шунтирующий конденсатор C_{out} . Такая конструкция имеет устойчивое название *step-up dc-dc преобразователь* [6].

Схема управления $LM2705$ вырабатывает сигнал управления стабильной частоты с регулируемым коэффициентом заполнения. Диод V_d в нужные моменты времени блокирует нагрузку от ключевого транзистора.

Когда открыт ключевой транзистор, правый по схеме вывод катушки L соединяется с отрицательным полюсом источника питания U_{in} . Нарастающий ток (сказывается влияние индуктивности) от источника питания протекает через катушку и открытый транзистор, в катушке накапливается энергия.

В это время диод VD блокирует нагрузку и выходной конденсатор от ключевой схемы, тем самым предотвращая разряд выходного конденсатора через открытый транзистор. Нагрузка в этот момент питается энергией, накопленной в конденсаторе C_{out} . Естественно, что напряжение на выходном конденсаторе падает.

Как только напряжение на выходе станет несколько ниже заданного (определяется

настройками схемы управления), ключевой транзистор закрывается, и энергия, запасенная в дросселе, через диод VD подзаряжает конденсатор C_{out} , который подпитывает нагрузку. При этом ЭДС самоиндукции катушки L складывается с входным напряжением и передается в нагрузку. Следовательно, напряжение на выходе получается больше входного напряжения. Этот эффект еще более усиливается применением дополнительной обмотки с автотрансформаторным включением. По достижении выходным напряжением установленного уровня стабилизации схема управления открывает транзистор, и процесс повторяется с фазы накопления энергии.

Уровень стабилизации определяется внутренним стабилизатором микросхемы 1,25 В. Таким образом, работа схемы за счет широтно-импульсной модуляции поддерживает этот уровень на входе 5 микросхемы.

Рассмотрим управление выходным напряжением с входа CONTROL, учитывая, что микросхема имеет высокое входное сопротивление, легко найти зависимость выходного напряжения U_{out} от управляющего U_c :

$$U_{out} = (1,25 - U_c) R_0 / R_c, \quad (1)$$

где R_0 — сопротивление в цепи обратной связи; R_c — сопротивление в управляющей цепи.

При соотношении $R_0 / R_c = 10$ и отрицательном напряжении управления 10 В выходное напряжение достигает 125 В, минимальное напряжение управления 0 В обеспечивает величину выходного напряжения 15 В. Необходимо также учитывать, что соотношение витков первичной и вторичной обмоток трансформатора должно быть 1:5 при входном напряжении 15 В.

Рассмотрим вопрос подключения схемы питания сканера к макетной панели NI ELVIS II (рисунок 4). На панели находятся источник напряжения 15 В и аналоговый выход А00, позволяющий программировать выходное напряжение (-10...+10) В.

Макетная плата NI ELVIS [7] содержит все необходимые элементы для построения компьютеризированной системы для управления перемещением в микро-нано диапазоне и измерения туннельных токов или токов холодного катода. Используется источник питания +15 В для преобразователя 100 В. Управление биморфным пьезоэлементом осуществляется от аналогового вывода А01. Вывод +5 В используется для питания измерительной схемы.

Измерительная схема построена на базе микросхемы LMP7712 с отличными параметрами входных цепей для измерения токов в фемто-пико диапазоне для комнатных температур [8]: VOS Input Offset Voltage $\pm 20 \mu\text{V}$, IB

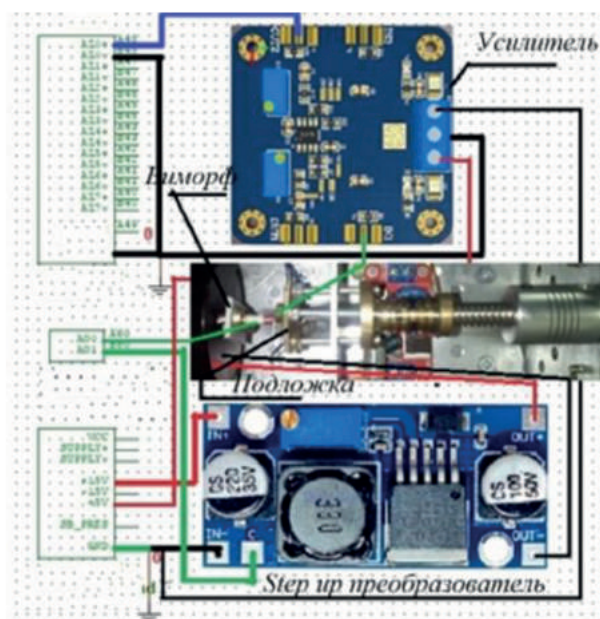


Рисунок 4. Интеграция сканера с макетной платой NI ELVIS

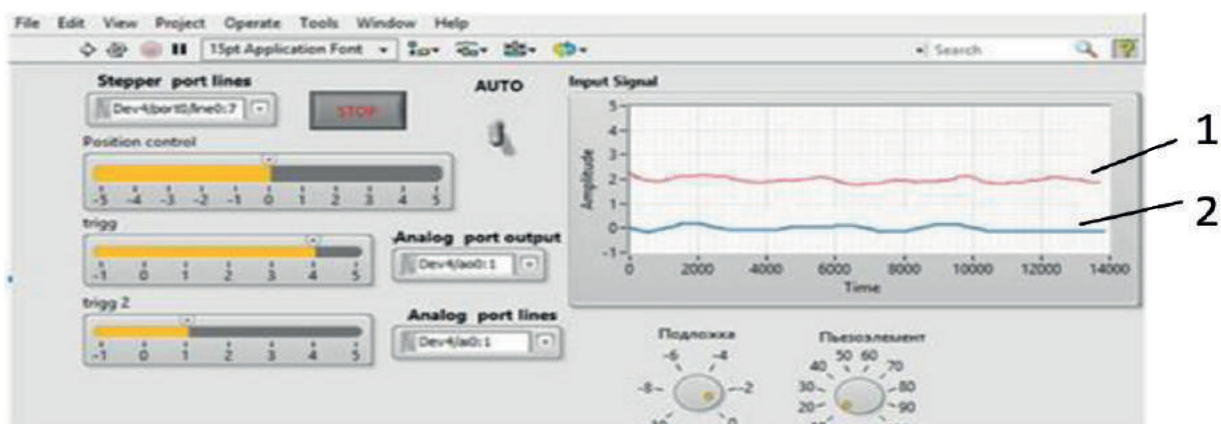
Input Bias Current 0.05 pA , IOS Input Offset Current 0.006 pA.

На подложку подается отрицательное напряжение с аналогового выхода АОО, первый каскад двухкаскадного усилителя измерительной схемы работает в режиме преобразователя ток — напряжение, второй — в режиме неинвертирующего усилителя. С выхода усилителя напряжение, пропорциональное входному току, подается на аналоговый вход макетной платы. Кроме этих элементов на плате расположена шарико-винтовая передача от шагового дви-

гателя для управления грубым перемещением подложки.

На рисунке 5 приведена разработанная в программной среде LabVIEW [9] передняя панель виртуального инструмента для исследования электропроводимости. В левой части содержатся настройки портов ввода и вывода данных и элементы управления грубым перемещением подложки.

В правой части — результаты измерений токов (1) и отображение перемещения зонда пьезоэлемента (2) в режиме автоматической стабилизации тока.



1 — результаты измерений токов;
2 — отображение перемещения зонда пьезоэлемента

Рисунок 5. Передняя панель виртуального инструмента исследования

Вывод

Предложенное в данной работе устройство основано на учебной платформе NI ELVIS II корпорации NATIONAL INSTRUMENTS и дополнено доступной для приобретения электроникой, что позволяет организовать на этой базе лабораторные и исследовательские работы для студентов и

аспирантов. Результаты этих работ отражены в опубликованных материалах [10, 11].

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 17-42-020616: Исследование возможности использования асфальтенов нефтяного сырья в качестве органических полупроводников и электропроводящих наноматериалов для приборов микро- и нанoeлектроники.

Список литературы

1. Доломатов М.Ю., Шуткова С.А., Кавыев А.Г., Юсупов Э.А., Гордеев В.Н., Челноков Ю.В. Особенности электропроводности и свойств аморфных полупроводников на основе асфальтенов // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2013. Т. 9. № 3. С. 109–114.
2. Фурсей Г.Н., Баскин Л.М. Особенности полевой эмиссии полупроводников // Микроэлектроника. 1997. Т. 26. № 2. С. 117–122.

3. National Instruments Corporate. LabVIEW: Data Acquisition. Basics Manual. National Instruments, 1998. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ni.com>.
4. Панич А.Е. Пьезокерамические актюаторы: учеб. пособие. Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2008. 159 с.
5. Гейер А.Ф. Пьезокерамические излучатели звука (звонки, оповещатели) [Электронный ресурс]. URL: http://avrorabinib.ru/index.php?option=com_content&task=view&&id=81&Itemid=36.

6. LM2705 Micropower Step-up DC-DC Converter with 150-mA Peak Current Limit Datasheet (Rev. F). [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ti.com>.

7. NI ELVIS II. Руководство пользователя [Электронный ресурс]. National Instruments. 2008. URL: http://flp.ni.com/pub/bmnches/russia/ni_elvis/ni_elvis_2_user_guide.pdf.

8. Single and Dual Precision, 17 MHz, Low Noise, CMOS Input Amplifiers [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lmp7711.pdf>.

9. Евдокимов Ю.К., Линдваль В.Р., Щербачков Г.И. LabVIEW для радиоинженера: от виртуальной модели до реального устройства: учеб. пособие. М.: ДМК-Пресс, 2007. 410 с.

10. Petrov A.M., Dolomatov M.Yu., Bakh-tizin R.Z., Ryzhikov O.L., Khayrudinov I.R. Features of Temperature Dependence of Electrical Conductivity in Multicomponent Organic Spin Glasses // *Inorganic Materials: Applied Research*. 2016. Vol. 7. Issue 4. P. 453–457.

11. Долوماتов М.Ю., Петров А.М., Рыжиков О.Л., Бахтизин Р.З. Электрофизические свойства асфальтенсодержащих аморфных органических материалов // *Материаловедение*. 2015. № 2. С. 15–18.

References

1. Dolomatov M.Ju., Shutkova S.A., Kavuev A.G., Jusupov Je.A., Gordeev V.N., Chelnokov Ju.V. Osobennosti jelektroprovodnosti i svojstv amorfnyh poluprovodnikov na osnove asfal'tenov // *Jelektrotehnicheskie i informacionnye komplekсы i sistemy*. 2013. T. 9. № 3. S. 109–114.

2. Fursej G.N., Baskin L.M. Osobennosti polevoj jemissii poluprovodnikov // *Mikroelektronika*. 1997. T. 26. № 2. S. 117–122.

3. National Instruments Corporate. LabVIEW: Data Acquisition. Basics Manual. National Instruments, 1998 [Jelektronnyj Resurs]. URL: <http://www.ni.com>.

4. Panich A.E. P'ezokeramicheskie aktjuatory: ucheb. posobie. Rostov-na-Donu: JuFU, 2008. 159 s.

5. Gejer A.F. P'ezokeramicheskie izluchateli zvuka (zvonki, opoveshhateli) [Jelektronnyj Resurs]. URL: http://avrora-binib.ru/index.php?option=com_content &task=view&&id=81&Itemid=36.

6. LM2705 Micropower Step-up DC-DC Converter With 150-mA Peak Current Limit datasheet (Rev. F) [Jelektronnyj Resurs]. URL: <http://www.ti.com>.

7. NI ELVIS II. Rukovodstvo pol'zovatelja [Jelektronnyj Resurs]. National Instruments. 2008. URL; ftp://flp.ni.com/pub/bmnches/russia/ni_elvis/ni_elvis_2_user_guide.pdf.

8. Single and Dual Precision, 17 MHz, Low Noise, CMOS Input Amplifiers [Jelektronnyj Resurs]. URL: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lmp7711.pdf>.

9. Evdokimov Ju.K., Lindval' V.R., Shherbakov G.I. LabVIEW dlja radioinzhenera: ot virtual'noj modeli do real'nogo ustrojstva: ucheb. posobie. М.: ДМК-Press, 2007. 410 с.

10. Petrov A.M., Dolomatov M.Yu., Bakh-tizin R.Z., Ryzhikov O.L., Khayrudinov I.R. Features of temperature dependence of electrical conductivity in multicomponent organic spin glasses // *Inorganic Materials: Applied Research*. 2016. Vol. 7. Issue 4. P. 453–457.

11. Dolomatov M.Ju., Petrov A.M., Ryzhikov O.L., Bahtizin R.Z. Jelektrofizicheskie svojstva asfal'tensoderzhashhih amorfnyh organicheskikh materialov// *Materialovedenie*. 2015. № 2. S. 15–18.



Шатуновский В. Л.
Shatunovskiy V. L.

кандидат технических наук,
доктор педагогических
наук, профессор, профессор
кафедры теоретической
электротехники
и электрификации нефтяной
и газовой промышленности,
ФГБОУ ВО «Российский
государственный
университет нефти
и газа (национальный
исследовательский
университет)
имени И.М. Губкина»,
г. Москва,
Российская Федерация



Портнягин Н. Н.
Portnyagin N. N.

доктор технических
наук, доцент, профессор
кафедры теоретической
электротехники и
электрификации нефтяной
и газовой промышленности,
ФГБОУ ВО «Российский
государственный
университет нефти
и газа (национальный
исследовательский
университет)
имени И.М. Губкина»,
г. Москва,
Российская Федерация



Мелик-Шахназарова И. А.
Melik-Shakhnazarova I. A.

кандидат технических
наук, доцент, заведующая
кафедрой теоретической
электротехники
и электрификации нефтяной
и газовой промышленности,
ФГБОУ ВО «Российский
государственный
университет нефти
и газа (национальный
исследовательский
университет)
имени И.М. Губкина»,
г. Москва,
Российская Федерация

УДК 681.325.55-181

КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРНЫХ ПЛАТ «АРДУИНО»

Тенденция увеличения доли нелинейной нагрузки в современных системах электроснабжения приводит к повышению мощности искажений синусоидальных токов и напряжений сети и требует проведения исследований систем электропитания с целью оценки их влияния на источники и потребители электроэнергии. Для повышения эффективности научных исследований аспирантов и соискателей требуется оснастить исследовательские лаборатории соответствующей аппаратурой регистрации мгновенных значений токов и напряжений с возможностью накопления и архивации исходных файлов, содержащих временные выборки кривых тока и напряжения в узлах нагрузки. Для исследований крайне важным остается вопрос о качестве поставляемой и потребляемой электроэнергии. Последний вариант российского ГОСТ 32144-2013 по показателям качества электроэнергии устанавливает эти показатели на уровне типовых подстанций, но при проведении исследований часто требуется наблюдение за качеством электроэнергии и в сетях нижнего уровня. Рассмотрены технические и методические подходы к разработке приборов для измерения параметров качества электрической энергии при работе приемников в системе электроснабжения. Обращено внимание на методическую сторону проектирования приборов для мониторинга качества электроэнергии: на работу основных узлов приборов — датчика напряжения, аналого-цифрового преобразователя, устройств передачи сигналов от платы «Ардуино» к приемникам, визуализирующим данные измерений. Разработаны и предложены программные средства, выполняющие преобразование, передачу, получение и визуализацию данных о состоянии электрических цепей в узле нагрузки. Предлагаемый подход позволяет использовать общедоступную технологию смартфонов или айфонов для регистрации и накопления файлов с целью их дальнейшей обработки с применением процедур диагностирования. В ходе проведенной разработки

решены следующие задачи: проведен анализ использования микроконтроллеров для создания мобильных систем регистрации мгновенных значений токов и напряжений в системах электропитания на примере микроконтроллеров «Ардуино», создан рабочий макет мобильного устройства регистрации мгновенных значений тока и напряжения в сетях 0,4 кВ, произведено опробование рабочего макета устройства с целью применения его для построения компьютерных экспериментов по диагностированию электротехнических систем в диссертационных исследованиях аспирантов и магистрантов.

Ключевые слова: качество электроэнергии (КЭ), параметры качества электрического напряжения, узел нагрузки, электроприемники, электроснабжение, мониторинг КЭ, передача сигналов и данных по каналам связи, визуализация, программные средства, микроконтроллеры и микроконтроллерные платы.

SYSTEM FOR MEASUREMENT OF ELECTRICAL QUANTITIES IN POWER SYSTEMS ON THE BASIS OF THE MICROCONTROLLER BOARDS ARDUINO

The trend of increasing share of nonlinear loads in modern power supply systems leads to increased power distortion sinusoidal currents and voltages of the network, and requires studies of power supply systems, to assess their impact on the sources and consumers of electricity. To improve the efficiency of scientific research of PhD students is required to equip research laboratories with appropriate recording of instantaneous values of currents and voltages with the ability to accumulate and archive the source files containing the temporal sampling of the curves of current and voltage in the load balancing nodes. Research is extremely important. The question remains about the quality of the supplied and consumed energy. The latest version of the Russian GOST 32144-2013 in terms of power quality that sets these indicators at the level of typical substations, but research often requires observation of the quality of electricity in the networks of the lower level. Discuss technical and methodological approaches to the development of instruments for measuring quality parameters of electric energy during operation of the receivers in the power supply system. Attention is drawn to the methodical way of designing devices for monitoring electric power quality: the operation of the basic units of devices, voltage sensor, analog-to-digital converter, devices send signals from the Board «Arduino» to the receivers, visualizing the measurement data. Developed and proposed the software that performs the conversion, transmission, receipt and visualization of data on the status of the electrical circuits in the load center. The proposed approach allows to use the shared technology of the smartphones or iPhones for recording and accumulation files for further processing with application of procedures of diagnosis. In the course of the development of the following tasks: the analysis of the use of microcontrollers to create mobile registration systems instantaneous values of currents and voltages in power supply systems on the example microcontroller «Arduino» created a working model of the mobile device registering the instantaneous values of current and voltage in 0.4 kV networks, the testing of the layout of the device, with the purpose of using it to build computer experiments on diagnosis of electrical systems in the dissertation research of graduate students and masters.

Key words: power quality, quality parameters of electric voltage, the load unit, the power consumers, electricity supply, monitoring of the power quality, transmission of signals and data via communication channels, visualization, software tools, microcontrollers and microcontroller boards.

При проведении научных исследований электрических цепей электропитания используется аппарат теории электрических цепей, методы математического моделирования, численные методы и различные комплексы программ [1, 2]. Применение этих методов требует экспериментального подтверждения разрабатываемых методов оцен-

ки состояния цепей и их диагностирования [3–5]. Практика защит диссертаций по специальности 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы» за последнее время выявила значительные трудности у магистрантов и аспирантов при организации экспериментальных методов оценки состояния исследуемых электрических систем. Суще-

вующая в настоящее время измерительная аппаратура имеет высокую стоимость при комплексном характере регистрации мгновенных значений токов и напряжений в узлах и ветвях исследуемой электрической цепи, и, зачастую, недоступна аспирантам и магистрантам, проводящим такие исследования. В связи с изложенным на кафедре теоретической электротехники и электрификации нефтяной и газовой промышленности РГУ нефти и газа имени И. М. Губкина проведен комплекс работ по созданию мобильного и доступного технического комплекса для измерения электрических величин в цепях электропитания.

Для исследований крайне важным остается вопрос о качестве поставляемой и потребляемой электроэнергии. Последний вариант ГОСТ 32144-2013 по показателям качества электроэнергии устанавливает эти показатели на уровне типовых подстанций, но при проведении исследований часто требуется наблюдение за качеством электроэнергии и в сетях нижнего уровня 0,4 кВ.

Электрическая энергия используется при создании подавляющего большинства видов промышленной продукции. Она обладает совокупностью специфических свойств и, как любой товар, нуждается в определении и оценке качества. Каждый электроприемник, подключенный к сети электроснабжения общего назначения, так или иначе может повлиять на один или несколько параметров электроэнергии в точке своего подключения; таким образом, качество электроэнергии на месте ее производства не гарантирует это качество в месте ее потребления.

Можно выделить следующие существенные показатели качества электрической энергии:

- степень отклонения напряжения на нагрузке от номинального;
- диапазон колебания напряжения на нагрузке;
- несинусоидальность напряжения в узле нагрузки;
- несимметрия напряжений в фазах питающей сети;
- отклонение частоты напряжения от 50 Гц;

- провалы напряжения;
- временные перенапряжения.

Важной особенностью разрабатываемого измерительного комплекса является возможность одновременного наблюдения за напряжениями и токами в цепях питания нагрузки в системах различного назначения, что необходимо при проведении научных исследований по диагностированию состояний различных режимов работы сети.

Развитие элементной базы современной промышленной электроники и микроконтроллерной техники позволяет создавать на их базе все более совершенные и миниатюрные устройства [6, 7], способные выполнять измерения всех показателей качества электрической энергии и долгое время хранить результаты этих измерений в своих архивах. Иными словами, появляется возможность производить учет качества электрической энергии в точке подключения каждого электроприемника. Широкое распространение сети «Интернет» дает возможность прибору, осуществляющему сбор информации о качестве электрической энергии в точке подключения отдельного электроприемника, передавать эту информацию через одну из сетей связи (локальную, сотовую, спутниковую) на компьютер-сервер, программное обеспечение которого будет накапливать и анализировать поступающую информацию, а также осуществлять передачу и визуализацию этой информации для хозяина электроприемника на его компьютер, планшет или смартфон. Схема построения такой системы представлена на рисунке 1.

Программное обеспечение компьютера-сервера должно обрабатывать и предоставлять информацию о качестве электрической энергии (КЭ) по запросу (операторов, диспетчеров, пользователей), а также должно генерировать различные события при выходе каких-либо параметров качества электрической энергии за установленные и согласованные нормы.

Примером таких событий может служить звонок или СМС на телефон оператора, диспетчера или пользователя в случае приближения частоты сети на вводе одного из электроприемников к граничной отметке

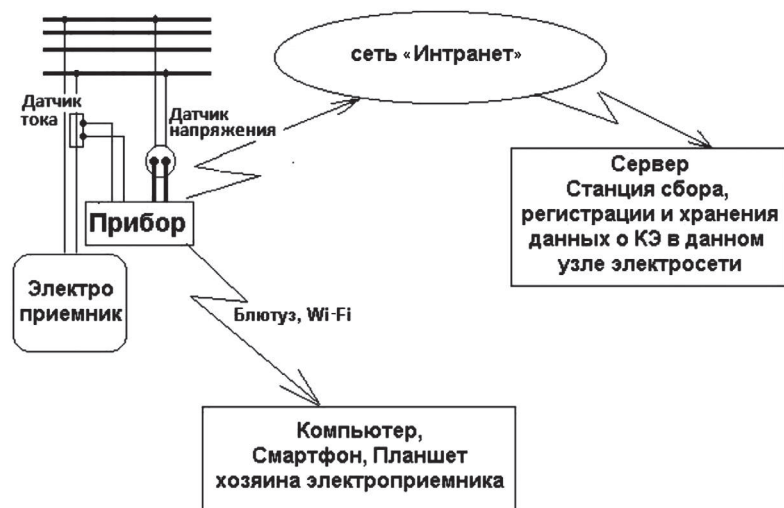


Рисунок 1. Функциональная схема соединений измерительного комплекса

и озвучивание фразы из набора заранее оцифрованных и записанных в память компьютера.

Кроме того, при подключении к прибору по каналам локальной связи (Wi-Fi, Bluetooth, USB) пользователь может получать на свой компьютер, планшет или смартфон информацию о КЭ в любом удобном виде — значения параметра в цифровом виде, в виде графика, гистограммы, а также с указанием референтных (допустимых) значений.

Рассмотрим построение такого прибора на базе микроконтроллерных плат типа «Ардуино» [7, 8]. Разработанный прибор производит измерение мгновенных значений напряжения питания и токов в контролируемых цепях в течение n -периодов с шагом в один градус и отправку полученных данных на сервер сбора статистики.

Функционально прибор состоит из нескольких блоков:

- блок питания (БП);
- блок датчика и аналого-цифрового преобразователя платы «Ардуино»;
- блок микроконтроллера «Ардуино»;
- блок устройств (плат) для передачи данных на сервер сбора статистики.

Программное обеспечение работы прибора включает:

- программу сбора и подготовки данных электрических измерений платой «Ардуино»;
- приложение для визуализации данных о КЭ в данном узле электроснабжения на

компьютере, планшете или смартфоне локального пользователя;

- библиотеки для программ работы каналов связи (Bluetooth, Wi-Fi, передач по последовательному порту — USB).

Схема соединения элементов в приборе на базе МК плат «Ардуино» представлена на рисунке 2.

Программа чтения данных со входа аналогоцифрового преобразователя (АЦП) «Ардуино» имеет вид:

```
int potPin = A0; //порт A0 — АЦП
int ledPin = 9; // порт 9 — индикация работы программы
float Step = 5.0F / 1024; // приведение единиц
void setup() {
// порт для светодиода — выход
pinMode(ledPin, OUTPUT);
// запуск процедуры связи по последовательному порту
Serial.begin(9600);
}
void loop() {
//читаем порт АЦП
rotation = analogRead(potPin);
float voltageValue = rotation * Step;
// В итоге мы получим целое число от 0 до 255
brightness = rotation / 4;
// выдаём результат на светодиод
analogWrite(ledPin, brightness);
// выводим результат в Serial Monitor
Serial.println(voltageValue);
delay(100); // задержка для стабильности процесса вывода данных
} // конец блока loop().
```

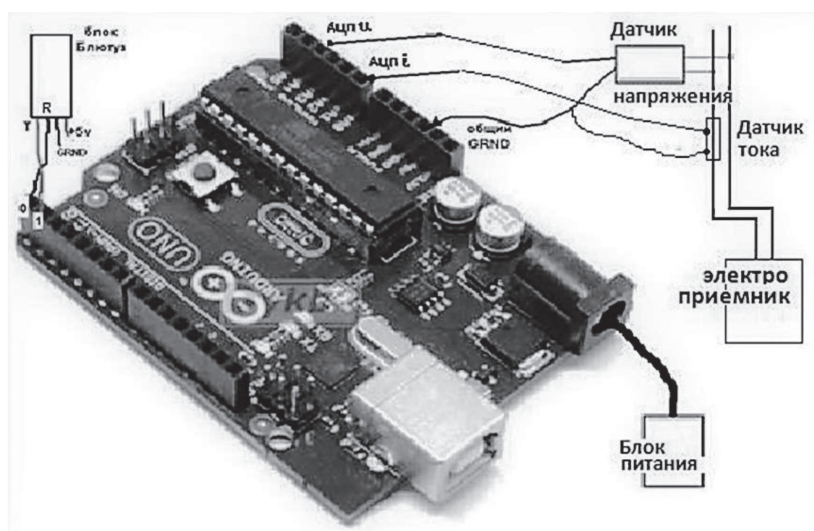


Рисунок 2. Внешний вид платы контроллера «Ардуино» с внешними соединениями

В качестве средства визуализации процесса чтения мгновенных значений напряжения и тока в узле нагрузки на первой стадии разработки прибора используется встроенный в программную среду (IDE) «Ардуино»

[9, 10] плоттер по последовательному соединению, включение этого средства визуализации позволяет наблюдать за изменением напряжения в узле нагрузки по графику, показанному на рисунке 3.

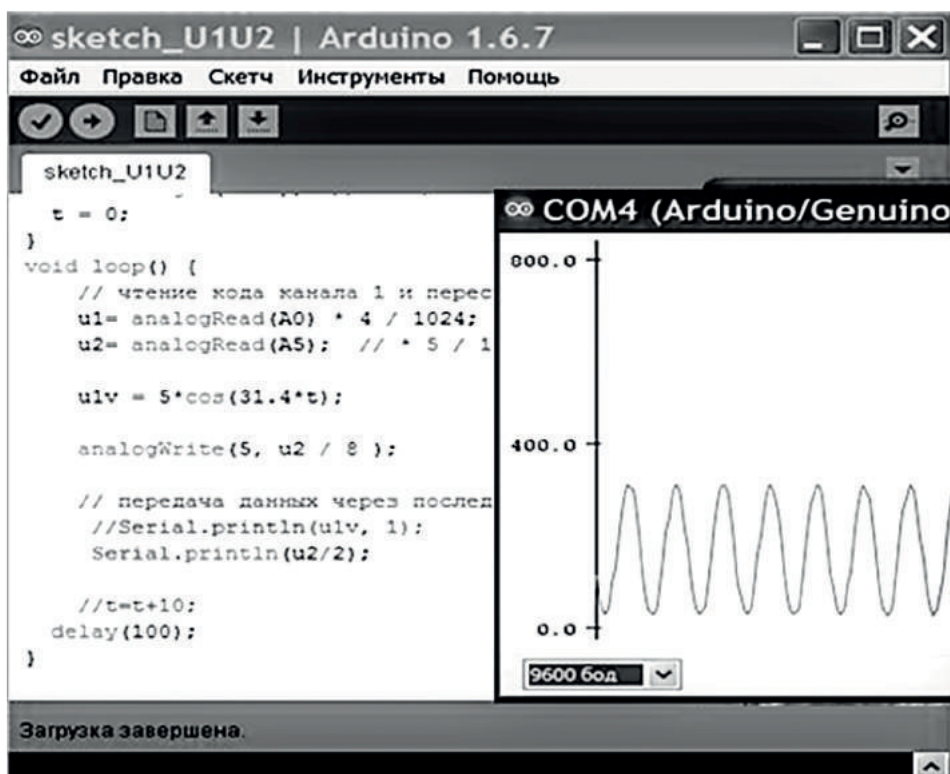


Рисунок 3. Пример графического отображения мгновенных значений напряжения в узле нагрузки с помощью встроенного плоттера

Данные, полученные по каналу USB-соединения с компьютером, могут обрабатываться и с помощью широко известных средств (Excel, MatLab, и др.) для выдачи на

экран компьютера, смартфона или планшета значений параметров электрического напряжения за период измерения.

Очевидно, такой способ мониторинга качества питающего напряжения возможен только с применением мобильных компьютеров и местного USB-соединения.

Для практики удобнее иметь в составе микроконтроллера устройство для передачи данных по одному из каналов дистанционной связи — блютуз, Wi-Fi, сотовая связь. Приемником данных в этом случае должно быть мобильное устройство (смартфон, планшет, нетбук и т.п.). И, следовательно, должно быть создано приложение (программа) для обработки данных и представле-

ния на экранах этих устройств параметров регистрируемого напряжения. Одной из возможных программ-приложений может быть «Arduino Centrale Free» [6], результаты работы которой представлены на рисунке 4.

Здесь регистрируется изменение поступающего от микроконтроллера аналогового сигнала (напряжения) и имеется возможность записи мгновенных значений этого сигнала в файл-таблицу, которую следует обработать известными математическими пакетами и представить результаты на экран пользователя.

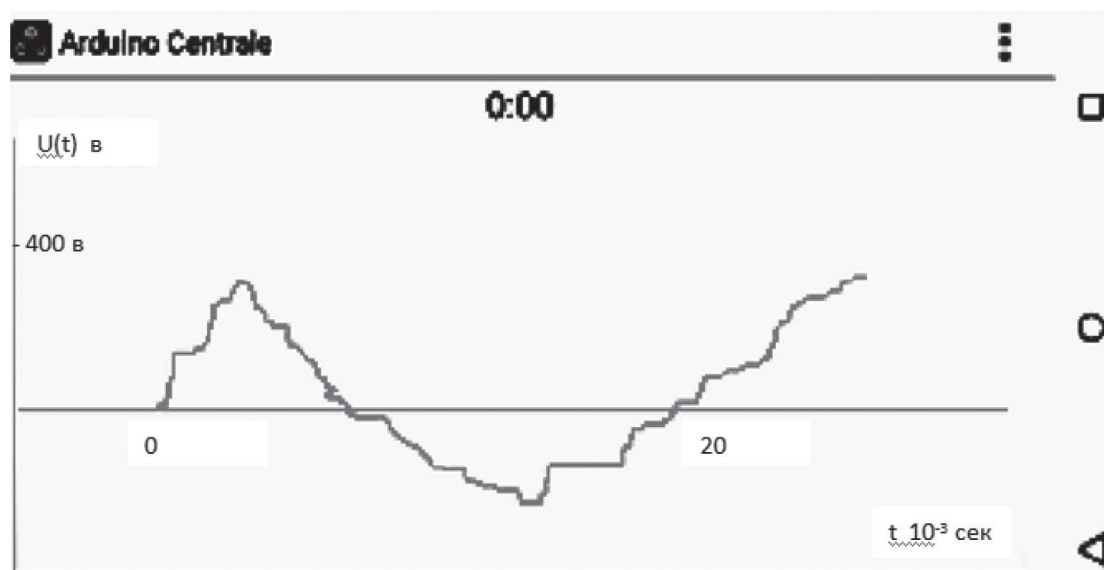


Рисунок 4. Пример графического отображения мгновенных значений напряжения в узле нагрузки при высоком значении коэффициента нелинейных искажений

Вывод

В ходе проведенной разработки решены следующие задачи:

— проведен анализ использования микроконтроллеров для создания мобильных систем регистрации мгновенных значений токов и напряжений в системах электропитания 0,4 кВ;

— на примере микроконтроллеров «Ардуино» создан рабочий макет мобиль-

ного устройства регистрации мгновенных значений тока и напряжения в сетях 0,4 кВ;

— произведено опробование рабочего макета устройства с целью применения его для построения компьютерных экспериментов по диагностированию электротехнических систем в диссертационных исследованиях аспирантов и магистрантов.

Список литературы

1. Горева Т.И., Портнягин Н.Н., Пюкке Г.А. Нейросетевые модели диагностики технических систем // Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки. 2012. Т. 4. № 1. С. 31–43.

2. Портнягин Н.Н., Пюкке Г.А., Кузнецов С.Е. Диагностирование электрических цепей методом изовар // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 1998. № 1. С. 35.

3. Портнягин Н.Н. Определение области работоспособности судовых электрических средств автоматизации методом статистических испытаний // Вестник Камчатского государственного технического университета. 2002. № 1. С. 148-152.

4. Портнягин Н.Н., Марченко А.А. Исследование процессов динамического нагружения электрических машин при неисправностях в обмотке статора // Вестник Камчатского государственного технического университета. 2013. № 24. С. 16–21.

5. Портнягин Н.Н., Ершов М.С., Барбасов П.Ю., Чернев М.Ю. Моделирование влияния величины нелинейной нагрузки на качество электроэнергии промышленных электротехнических систем // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2017. Т. 60. № 1. С. 61–66.

6. Баранов В.Н. Применение микроконтроллеров AVR: схемы, алгоритмы, программы. 2-е изд. испр. М.: Издательский дом «Додека-XXI», 2006. 288 с.

7. Белов А.В. Конструирование устройств на микроконтроллерах. СПб.: Наука и техника, 2005. 256 с.

8. Белов А.В. Микроконтроллеры AVR: от азов программирования до создания практических устройств. М.: Изд-во НИТ, 2016. 544 с.

9. Виктор Петин. Проекты с использованием контроллера Arduino, 2-е изд. СПб.: Изд-во: БХВ-Петербург, 2015.

10. Улли Соммер. Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freeduino. СПб.: Изд-во: БХВ-Петербург, 2012.

References

1. Goreva T.I., Portnjagin N.N., Pjukke G.A. Nejrosetevye modeli diagnostiki tehni-cheskih system // Vestnik KRAUNC. Fiziko-

matematicheskie nauki. 2012. T. 4. № 1. S. 31-43.

2. Portnjagin N.N., Pjukke G.A., Kuzne-cov S.E. Diagnostirovanie jelektricheskikh cepej metodom izovar // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Jeлектromehanika. 1998. № 1. S. 35.

3. Portnjagin N.N. Opredelenie oblasti rabotosposobnosti sudovyh jelektricheskikh sredstv avtomatizacii metodom statisticheskikh ispytaniy // Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. 2002. № 1. S. 148–152.

4. Portnjagin N.N., Marchenko A.A. Issle-dovanie processov dinamicheskogo nagruzhenija jelektricheskikh mashin pri neispravnostjakh v obmotke statora // Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. 2013. № 24. S. 16–21.

5. Portnjagin N.N., Ershov M.S., Barba-sov P.Ju., Chernev M.Ju. Modelirovanie vlijaniya velichiny nelinejnoj nagruzki na kachestvo jelektrojenergii promyshlennyh jelektro-tehničeskikh system // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Jeлектromehanika. 2017. T. 60. № 1. S. 61–66.

6. Baranov V.N. Primenenie mikrokontro-llerov AVR: shemy, algoritmy, programmy. 2-e izd. ispr. M.: Izdatel'skij dom «Dodeka-XXI», 2006. 288 s.

7. Belov A.V. Konstruirovanie ustrojstv na mikrokontrollerah. SPb.: Nauka i Tehnika, 2005. 256 s.

8. Belov A.V. Mikrokontrollery AVR: ot azov programmirovaniya do sozdaniya prakti-cheskih ustrojstv. M.: Izd-vo NIT, 2016. 544 s.

9. Viktor Petin. Proekty s ispol'zovaniem kontrollera Arduino. 2-e izd. SPb.: Izd-vo: BHV-Peterburg, 2015.

10. Ulli Sommer. Programmirovanie mikro-kontrollernykh plat Arduino/Freeduino. SPb.: Izd-vo: BHV-Peterburg, 2012.



Федосов А. В.
Fedosov A. V.

кандидат технических наук, доцент
кафедры «Промышленная безопасность
и охрана труда», ФГБОУ ВО «Уфимский
государственный нефтяной технический
университет»,
г. Уфа, Российская Федерация



Федосов В. А.
Fedosov V. A.

кандидат технических наук, доцент
кафедры «Управление и сервис в технических
системах» Института экономики и сервиса,
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный
нефтяной технический университет»,
г. Уфа, Российская Федерация



Бадртдинова И. И.
Badrtidinova I. I.

студент кафедры «Промышленная
безопасность и охрана труда»,
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный
нефтяной технический университет»,
г. Уфа, Российская Федерация



Мухаметзянов Н. З.
Mukhametzyanov N. Z.

студент кафедры «Бурение нефтяных
и газовых скважин»,
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный
нефтяной технический университет»,
г. Уфа, Российская Федерация

УДК 006.915

МЕСТО НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ В СИСТЕМЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Невозможно определить абсолютно точное значение измерения. На результат измерения влияют различные факторы, такие как измерительная система, методика измерения, квалификация оператора, внешние условия и другие. Для любого измерения необходимо достаточно точно представить полученный результат. До разработки GUM (Руководства по выражению неопределенности измерения) применялся подход, указывающий случайные и систематические погрешности, используя оценки измеряемой величины. GUM разработала другой подход к предоставлению полученного измерения, в частности к выражению качества результатов измерения. Подход, который был разработан GUM, предлагает выразить результаты измерений в виде наилучшей оценки измеряемой величины с соответствующей неопределенностью измерения.

Неопределенность, используемая в качестве количественной характеристики, является весьма новым понятием в истории измерений, несмотря на то, что такие понятия, как «погрешность» и «анализ погрешностей» в метрологической практике употребляются уже давно. В данной статье продемонстрирован анализ понятия «неопределенности измерения» как в широком, так и в узком смыслах. Также приводится сравнительная характеристика

понятий «погрешности измерения» и «неопределенности измерения». Рассмотрен один из способов расчета неопределенности для определения оценки измеряемой величины полученного результата измерения. Рассмотрены основные этапы оценки и расчета неопределенности. Показано, что применение способа оценки неопределенности по GUM усложняется при определении частных производных (или их численных приближений) для сложной модели измерений, что необходимо для употребления закона трансформирования неопределенностей, в частности при расчете производных высших порядков. В указанном случае метод Монте-Карло считается наиболее соответствующим и удобным для применения по сравнению с остальными существующими методами. Представленный в статье подход гармонизирован с международными нормативными документами.

Ключевые слова: единство измерений, погрешность/неопределенность измерения, результат измерения, математическая модель, GUM.

THE PLACE OF UNCERTAINTY IN THE SYSTEM FOR MEASUREMENT UNIFORMITY ENSURANCE

It is impossible to define absolutely precise value of measurement. The result of measurement is influenced by various factors, such as measuring system, measuring technique, qualification of the operator, external conditions and others. For any measurement it is necessary to present rather precisely received result. Before development of GUM (The guides for uncertainty of measurement), the approach specifying casual and systematic errors was applied, using measurement and estimates. GUM developed other approach to providing the received measurement, in particular, to expression of quality of results of measurement. Approach which was developed by GUM suggests to express observed data as the best assessment of a measurement with the corresponding uncertainty of measurement.

The uncertainty used as the quantitative characteristic is very new concept in the history of measurements in spite of the fact that such concepts as «error» and «error analysis» of metrological practice it is used for a long time. In this article the analysis of a concept of «uncertainty of measurement» both in wide, and in narrow meanings is shown. Also the comparative characteristic of the concepts «biases» and «uncertainty of measurement» is provided. One of ways of uncertainty for definition of assessment of a measurement of the discharged result of measurement is considered. The main evaluation stages and uncertainty calculation are considered. It is shown that application of a way of assessment of uncertainty on GUM becomes complicated when determining partial derivatives (or their numerical approximations) for the composite model of measurements that is necessary for the use of the law of transformation of indeterminacies, in particular, when calculating derivative higher orders. In the specified case, the Monte-Carlo method is considered the most corresponding and convenient for application, in comparison with other existing methods. The approach presented in article is harmonized with the international normative documents.

Key words: unity of measurement, uncertainty/error of measurement, result of measurement, mathematical model, GUM.

Единство измерений — состояние измерений, при котором результаты измерений выражаются в допускаемых к применению единицах величин, а показатели точности результатов измерений входят в установленные границы [1].

Неопределенность — неотрицательный параметр, который характеризует рассеяние значений величины, которое приписывается измеряемой величине, в результате полученной информации [2].

Неопределенность — состояние полного или частичного отсутствия информации, которое необходимо для достоверного анализа событий, их последствий и вероятностей [3].

Целью измерения является определение и установление измеряемой величины. Вследствие этого, измерение определяется измеряемой величиной, методом измерения и методикой измерения.

Невозможно определить точные значения измеряемой величины. Результаты измерений

зависят от множества факторов, таких как измерительные системы, методики проведения измерений, квалификации и опыта оператора, воздействия внешних условий других. Таким образом, результат измерения представляет собой лишь аппроксимацию или оценку значения измеренной величины, и вследствие этого считается полным в случае, если указываются неопределенности этих оценок.

Правило, при котором преобразуются численные значения определенной величины в соответствующее значение величины, которую необходимо измерить, называют моделью измерений [2].

Составление математической считается одним из важных этапов, которая позволяет совокупность повторных наблюдений преобразовать в результат измерения. Значимость данного этапа заключается в том, что кроме наблюдений в результат измерения необходимым является и включение различных величин, абсолютно точные значения которых не могут быть определены. Указанная неизвестность и определяет неопределенность результата измерений вместе с изменчивым характером результатов наблюдений, проведенных при повторных исследованиях, а также связана с неточным определением самой математической модели.

Понятие неопределенности в качестве количественной характеристики весьма новое в истории измерений, несмотря на то, что понятия погрешности и анализа погрешностей уже давно употребляются в метрологической практике. После определения оценок всех ожидаемых составляющих погрешности измерения и внесения в результат измерения соответствующих поправок, все равно присутствует некоторая неопределенность по отношению полученного результата измерения, то есть сомнение в том, насколько точно данное значение соответствует значению измеряемой величины.

Погрешность результата измерений обусловлена несовершенством процедуры измерения. Погрешность определяется в виде суммы случайной и систематической составляющих погрешности измерения [4].

Предполагают, что источником случайной погрешности являются непредсказуемые

временные или пространственные изменения влияющих величин. Эти изменения обуславливаются измерениями, проведенными при повторных наблюдениях. Возникновения систематической погрешности связано с установленным действием влияющей величины на результат измерения. Это влияние может быть количественно оценено, и в случае, если оно существенно по отношению к требуемой точности измерения, необходимо вносить поправку или поправочный коэффициент с целью его компенсации.

Понятие «неопределенность» в широком смысле указывает на сомнение в достоверности полученных результатов измерения. Термины для характеристики количественной меры сомнения достоверности величин (к примеру стандартного отклонения) отсутствуют, вследствие этого «неопределенность» используется как в широком смысле, так и в смысле некоторой количественной меры.

Приведенное определение «неопределенности измерения» является рабочим, которое привязано к таким понятиям, как «результат измерения» и «оценка неопределенности измерения».

Неопределенность результатов измерения являются отражением отсутствия необходимой информации о значениях измеряемой величины. Даже после внесения в результат измерения соответствующих поправок на установленные систематические составляющие результат остается лишь оценкой значений измеряемой величины, поскольку содержит неопределенности, которые связаны со случайными эффектами и недостаточной точностью поправок результата измерений на систематические эффекты.

Источниками неопределенности измерения служат следующие условия:

- a) недостаточно полно установлена измеряемая величины;
- b) невозможность совершенного определения измеряемой величина;
- c) недостаток информации о влиянии условий окружающей среды на результат измерения или неточность в определении величин, которые характеризуют данные условия;

д) субъективная систематическая погрешность (вносится оператором при установлении показаний приборов аналогового типа);
 е) изменчивость величины измерения, даже при сохранении условий измерения и др. [4].

В некоторых публикациях выделяют «случайные» и «систематические» составляющие неопределенности измерения, тем самым связывая неопределенность измерения с погрешностью, складывающейся из случайных и систематических эффектов. Такое классифицирование составляющих неопределенности приводит к весьма неоднозначному толкованию при практическом использовании неопределенности. Так, например, «случайная» составляющая неопределенности одного измерения может быть преобразована в «систематическую» в другом измерении, в котором результат первого измерения может быть использован в качестве входных данных.

Для неопределенности установлена специальная классификация по типам А и В.

Данная классификация указывает на существование двух разных способов оценки составляющих неопределенности измерения. Интерпретация данной классификации в виде различия в природе составляющих измерения неправильна. Как способ оценки по типу А, так и по типу В, основываются на распределениях вероятностей, а также могут быть количественно охарактеризованы одним параметром: дисперсией или стандартным отклонением.

Международное единство для оценивания и выражения неопределенности измерения могло бы обеспечить необходимый анализ и правильное употребление широких спектров результатов измерений в различных сферах жизни и деятельности человека.

Идеальный метод оценки и определения неопределенности измерения должен быть универсальным, применимым ко всем видам измерений и всем видам входной информации, используемой в измерениях.

Величина, необходимая для определения неопределенности, должна быть:

— внутренне согласованной, то есть должна быть выведена из составляющих ее

компонентов и не зависеть от того, как эти компоненты группируются и как они делятся на подкомпоненты;

— переносимой, то есть допускающей непосредственное употребление неопределенности, вычисленной для одного результата измерения, в качестве составляющей неопределенности другого измерения, в котором используется первый результат [5].

Таким образом, идеальный метод при оценивании и выражении неопределенности измерения должна предоставить такой интервал, который был бы действительно близок к доверительному интервалу с заданным уровнем доверия.

Рассмотрим нахождение стандартной неопределенности.

Выходная величина Y , для которой необходимо получение информации, связана с входными величинами X_1, \dots, X_N . Данная связь может быть представлена моделью в виде функции измерения:

$$Y = f(X_1, \dots, X_N). \quad (1)$$

Указанная выше формула в общем виде выглядит следующим образом:

$$h(Y, X_1, \dots, X_N) = 0. \quad (2)$$

При определении неопределенности может быть использовано одно из двух представлений распределения вероятностей случайно величины X :

— через функцию распределения, устанавливающую для значений аргумента вероятность того, что X меньше или равна этому значению;

— через функцию плотности вероятностей, которая является производной от функции распределения [2].

Для каждой входной величины X_i в модели измерений задаются информация в виде наилучшего значения оценки x_i и связанная с этой оценкой стандартная неопределенность $u(x_i)$. В том случае, если входные величины являются зависимыми, то информация должна выражать меру тесноты их связей и выражаться через ковариацию или корреляцию случайных величин. В случае если величины X_i и X_j являются независимыми, то ковариация или корреляция случайных величин будет равна нулю.

Информацию о входной величине X_i в модели измерений можно установить при оценке неопределенности одним из двух методов классификации: либо по типу А, либо по типу В.

При вычислении оценки неопределенности по типу А предполагают, что распределение, которое соответствует входной величине X , при условии, что имеются повторные независимые показания, представляет собой распределение Гаусса. В данном случае входную величину X характеризуют математическое ожидание и стандартное отклонение. Наилучшая оценка математического ожидания представлена средним арифметическим показаний, а стандартное отклонение отождествляется стандартным отклонением среднего арифметического значений. При оценке неопределенности при малых показаниях распределение входной величины соответствует t -распределению. На рисунке 1 сплошной линией представлена плотность вероятности при распределении входной величины по Гауссу и пунктирной линией t -распределения с четырьмя степенями свободы. Указанное выше будет справедливо лишь в том случае, при котором показания определяются зависимыми.

При оценивании неопределенности по типу В информация о входной величине X может быть представлена тем, что она принадлежит конкретному интервалу $[a, b]$. В данном случае распределение входной вели-

чине X соответствует прямоугольному распределению вероятностей с границами a и b (рисунок 2) [6].

После того как выбрана соответствующая математическая модель измерения и определено распределение случайных входных величин X_1, \dots, X_N , следует определить распределение вероятностей выходной величины Y . Чтобы оценить измеряемую величину Y применяют математическое ожидание, а в качестве связанной с этой оценкой стандартной неопределенности, используют стандартное отклонение данной выходной величины.

Определив распределение вероятностей для измеряемой величины, можно указать интервал охвата, который содержит данную выходную величину с заданной вероятностью охвата.

Влияния небольших изменений значений оценок x_1, \dots, x_N входных величин X_1, \dots, X_N на значение оценки y выходной величины Y определяются коэффициентами чувствительности c_1, \dots, c_N .

Так, линейную функцию измерения можно представить в следующем виде:

$$Y = c_1 X_1 + \dots + c_N X_N. \quad (3)$$

Для независимых входных величин X_1, \dots, X_N изменение значения оценки x_i на значение величину $u(x_i)$ приводит к изменению значения оценки выходной величины y на величину $c_i u(x_i)$. Необходимо указать,

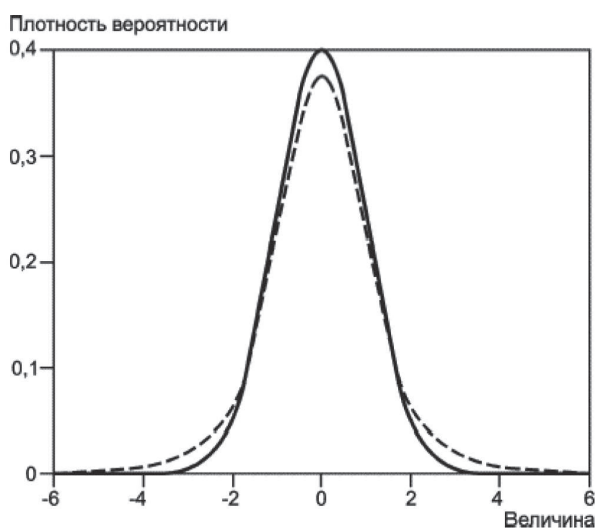


Рисунок 1. Распределение Гаусса (сплошная линия) и t -распределение с четырьмя степенями свободы (пунктирная линия)

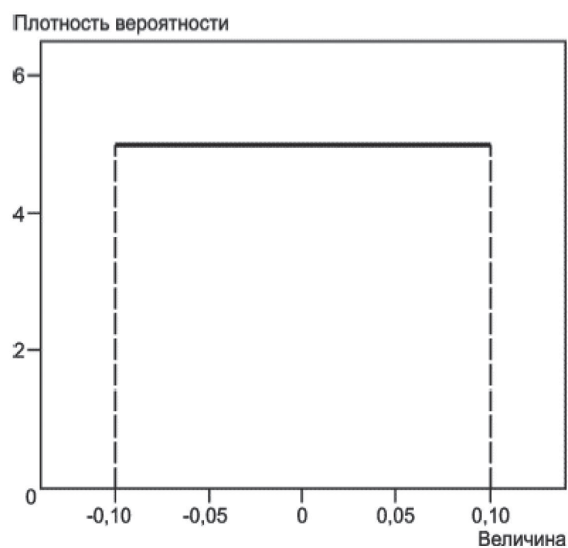


Рисунок 2. Прямоугольное распределение, соответствующее интервалу $[-0,10; 0,10]$

что данное утверждение является справедливым при некоторых приближениях для моделей, которые описываются формулами (1) и (2). Сравнивая значения $|c_i|u(x_i)$ для разных i можем оценить, какое место занимает каждая входная величина в стандартной неопределенности $u(y)$, ассоциированной с y .

Суммированием квадратов $|c_i|u(x_i)$ можем получить значение стандартной неопределенности $u(y)$, ассоциированной со значением оценки выходной величины y :

$$u^2(y) = c_1^2 u^2(x_1) + \dots + c_N^2 u^2(x_N). \quad (4)$$

Этапы оценивания неопределенности

Основные этапы оценивания неопределенности измерения включают в себя как формулировку измерительной задачи, так и этап вычисления.

Для осуществления измерительной задачи необходимо выполнить ряд операций:

- a) задать выходную величину Y ;
- b) выявить входные величины, от которых зависит входная величина Y ;
- c) составить модели измерения, которое будет определять соотношение Y с входными величинами;
- d) установить распределения вероятностей входных величин на основе выявленной информации [7, 8]

Этап вычислений состоит из трансформирования распределений вероятностей для входных величин X_1, \dots, X_N в распределение вероятностей для выходной величины Y и последующего применения этого распределения для того, чтобы определить следующие значения:

- a) математическое ожидание выходной величины, которое принимается в качестве оценки этой величины;
- b) стандартное отклонение выходной величины, которая принимается в качестве стандартной неопределенности $u(y)$, связано с оценкой выходной величины y ;
- c) интервал охвата, который содержит выходную величину с заданной вероятностью охвата.

Трансформирование распределений и вычисление значений оценок

Как было сказано выше, трансформирование распределения вероятностей является процедурой, которую включает в себя этап

вычислений. Данная процедура реализуется одним из следующих способов:

- a) используемым в GUM законом трансформирования неопределенностей, содержащих описание случайной величины, ассоциированной с выходной величиной Y , распределением Гаусса или t -распределением;
- b) аналитическим выводом формы распределения вероятностей для выходной величины Y математическими методами анализа;
- c) методом Монте-Карло, в котором приближенную функцию распределения для выходной величины Y получают численным моделированием, генерируя случайные значения из распределений вероятностей для входных величин и преобразуя их в значения измеряемой величины посредством модели измерений.

Рассмотрим способ расчета неопределенности по GUM

Оценивание неопределенности измерения методом GUM схематично показано на рисунке 3. В данном способе, чтобы получить значение оценки y выходной величины Y и ассоциированной с ней величины стандартной неопределенности $u(y)$ необходимо использовать:

- a) наиболее подходящие значения оценок x_1, \dots, x_N входных величин X_1, \dots, X_N ;
- b) стандартные неопределенности $u(x_i)$, связанные с оценками входных величин;
- c) коэффициенты чувствительности c_i , показывающие влияние изменений значений оценок x_1, \dots, x_N входных величин X_1, \dots, X_N на значение оценки y выходной величины Y .

Вычисление неопределенности измерения по GUM позволяет определять весьма точные значения результатов, если представлена линейная функция измерения для входных величин и распределение этих величин соответствует нормальному закону распределения вероятностей. Однако бывают исключения, при которых хотя и не соблюдены необходимые условия для данного случая, способ расчета неопределенности по GUM может достаточно хорошо применяться на практике.

При проведении измерений не исключены ситуации, в случае которых способ оценки

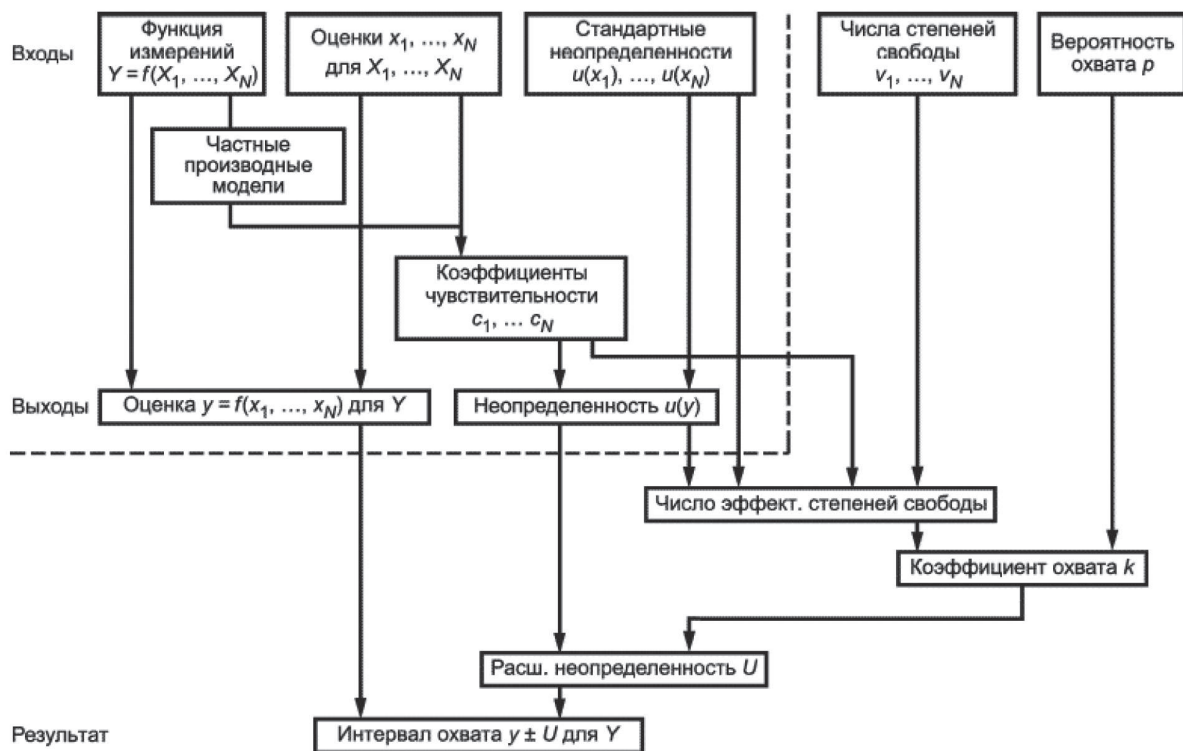


Рисунок 3. Способ расчета неопределенности по GUM (левая часть, обведенная пунктирной линией, относится к получению значения оценки y и связанной с этой оценкой стандартной неопределенности $u(y)$, а правая часть указывает на получение интервала охвата для выходной величины Y)

неопределенности измерения по GUM не может быть использован. Такие исключения будут в следующих случаях:

- функция измерения представляет собой нелинейную функцию;
- вероятности входных величин распределены асимметрично;
- значения $|c_i|u(x_i), \dots, |c_N|u(x_N)$, играющие определенную роль в неопределенности, не являются величинами приблизительно одного порядка;
- распределение вероятности для выходной величины либо асимметричное, либо существенно отличающееся от нормального распределения или t -распределения.

В данном случае необходимо применять другие способы расчета неопределенности:

Список литературы

- Федеральный закон Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений» от 26.06.2008 N 102-ФЗ (ред. от 13.07.2015).
- ГОСТ Р 54500.1-2011/Руководство ИСО/МЭК 98-1:2009. Неопределенность

или по аналитическому методу, или по методу Монте-Карло [9, 10].

Вывод

В любых видах человеческой деятельности необходимо проведение и использование измерений тех или иных величин, будь то наука, промышленность, обеспечение безопасности, охрана окружающей среды и многое другое. Знание неопределенности измерения позволяет сопоставлять результаты измерений с установленными требованиями при оценке соответствия, находить вероятности принятия правильных решений и с их учетом управлять возникающими рисками. Представленный в данной статье подход гармонизирован с международными нормативными документами, имеющими статус добровольного применения.

измерения. Введение в руководства по неопределенности измерения.

3. ГОСТ Р 51897-2011. Менеджмент риска. Термины и определения.

4. ГОСТ Р 54500.3-2011/Руководство ИСО/МЭК 98-3:2008. Неопределенность измерения. Руководство по выражению неопределенности измерения.

5. Козлова А.В., Федосов А.В. Неопределенность как один из элементов при измерении производственного шума // Актуальные проблемы науки и техники – 2015: матер. VIII Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых. 2015. С. 191–194.

6. Федосов А.В., Вадулина Н.В., Рямова С.М., Новикова А.И., Хизбуллина А.А. Измерение уровней вредных производственных факторов. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2015. 333 с.

7. Федосов А.В., Вадулина Н.В., Шарфутдинова Г.М., Абдрахманов Н.Х., Расулов С.Р. Охрана труда: в 2 ч. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2017. 239 с.

8. Федосов А.В., Федосов В.А., Шаймухаметов Э.Ф. Современные средства измерения, применяемые при проведении экспертизы промышленной безопасности технических устройств на опасных производственных объектах // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2016. Т. 12. № 1. С. 117–123.

9. Abdrakhmanov N.Kh., Vadulina N.V., Fedosov A.V., Ryamova S.M., Gaysin E.Sh. A New Approach for a Special Assessment of the Working Conditions at the Production Factors' Impact Through Forecasting the Occupational Risks // *Man in India*. 2017. Vo. 97. Issue 20. P. 495–511.

10. Fedosov A., Kozlova A., Fedosov V., Abdrakhmanov N. The Place of Measurement Uncertainty in the Analysis of Industrial Safety State // *Norwegian Journal of Development of the International Science*. 2018. № 15. Vol. 1. P. 58–61.

References

1. Federal'nyj zakon Rossijskoj Federacii «Ob obespechenii edinstva izmerenij» ot 26.06.2008 N 102-FZ (red. ot 13.07.2015).

2. GOST R 54500.1-2011/Rukovodstvo ISO/MJeK 98-1:2009. Neopredelennost' izme-

renija. Vvedenie v rukovodstva po neopredelennosti izmerenija.

3. GOST R 51897-2011. Menedzhment riska. Terminy i opredelenija.

4. GOST R 54500.3-2011/Rukovodstvo ISO/MJeK 98-3:2008. Neopredelennost' izmerenija. Rukovodstvo po vyrazheniju neopredelennosti izmerenija.

5. Kozlova A.V., Fedosov A.V. Neopredelennost' kak odin iz jelementov pri izmerenii proizvodstvennogo shuma // Aktual'nye problemy nauki i tehniki — 2015: materialy VIII mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii molodyh uchenyh. 2015. S. 191–194.

6. Fedosov A.V., Vadulina N.V., Ryamova S.M., Novikova A.I., Hizbullina A.A. Izmerenie urovnej vrednyh proizvodstvennyh faktorov. Ufa: Izd-vo UGNTU, 2015. 333 s.

7. Fedosov A.V., Vadulina N.V., Sharafutdinova G.M., Abdrakhmanov N.H., Rasulov S.R. Ohrana truda: v 2 ch. Ufa: Izd-vo UGNTU, 2017. 239 s.

8. Fedosov A.V., Fedosov V.A., Shajmuhametov Je.F. Covremennye sredstva izmerenija, primenjaemye pri provedenii jekspertizy promyshlennoj bezopasnosti tehniceskikh ustrojstv na opasnyh proizvodstvennyh ob'ektah // Jelektrotehniceskije i informacionnye kompleksy i sistemy. 2016. T. 12. № 1. S. 117–123.

9. Abdrakhmanov N.Kh., Vadulina N.V., Fedosov A.V., Ryamova S.M., Gaysin E.Sh. A New Approach for a Special Assessment of the Working Conditions at the Production Factors' Impact Through Forecasting the Occupational Risks // *Man in India*. 2017. Vol. 97. Issue 20. P. 495–511.

10. Fedosov A., Kozlova A., Fedosov V., Abdrakhmanov N. The Place of Measurement Uncertainty in the Analysis of Industrial Safety State // *Norwegian Journal of Development of the International Science*. 2018. № 15. Vol. 1. P. 58–61.



Шмелев А. А.

Shmelev A. A.

*аспирант кафедры «Информационно-измерительная техника»
Факультета авионики, энергетики и инфокоммуникаций,
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный
авиационный технический университет»,
г. Уфа, Российская Федерация*

УДК 65.011.56

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ ДАТЧИКОВ В ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЕ

В настоящей статье приведен обзор интеллектуальных датчиков, на что они способны и какую пользу могут они принести, применив их в геофизическом оборудовании, в частности профилимерах. Подробно описан принцип работы интеллектуальных датчиков. Описаны все преимущества интеллектуальных датчиков по сравнению с традиционными датчиками. Показано, насколько является необходимым применение новых решений для получения геофизического оборудования нового поколения. Отмечена большая важность в разработке геофизической аппаратуры нового поколения, что позволит повысить эффективность получения информации, тем самым увеличив доходность сервисных геофизических компаний. Проанализированы и отмечены пути развития интеллектуальных датчиков и систем. Представлена и описана конструкция первичного магнитоотрицательного преобразователя линейных перемещений. Описан принцип работы магнитоотрицательного преобразователя линейных перемещений. Представлены эксперименты, демонстрирующие эффективность интеллектуальных датчиков, в частности использование магнитоотрицательных преобразователей линейного перемещения под влиянием электромагнитных помех. Продемонстрировано, как с помощью интеллектуальной системы можно выделить полезный сигнал из сильно зашумленного сигнала с первичного преобразователя, в частности магнитоотрицательного преобразователя линейных перемещений. Выявлена закономерность возникновения помехи от воздействия электромагнитного излучения на магнитоотрицательный преобразователь линейных перемещений. Отмечена эффективность режима самокалибровки интеллектуального магнитоотрицательного преобразователя линейных перемещений.

Ключевые слова: интеллектуальные датчики, магнитоотрицательные преобразователи перемещения, обработка сигнала, самокалибровка, профилимер, геофизическое оборудование.

INTELLIGENT MAGNETOSTRICTIVE SENSORS APPLICATION IN GEOPHYSICAL EQUIPMENT

This article provides an overview of intelligent sensors, what they are capable of and how they can benefit by using them in geophysical equipment, in particular, profilers. The principle of operation of intelligent sensors is described in detail. All advantages of smart sensors in comparison with traditional sensors are described. It is shown how necessary is the use of new solutions to obtain geophysical equipment of a new generation. Of great importance in the development of geophysical instrument of new generation that will improve the efficiency of obtaining information, thereby increasing the yield of the geophysical service companies. The ways of development of intelligent sensors and systems are analyzed and marked. The construction of the primary magnetostrictive linear displacement transducer is presented and described. The principle of operation of magnetostrictive linear displacement transducer is described. Experiments demonstrating the efficiency of intelligent sensors, in particular the use of magnetostrictive linear displacement transducers under the influence of electromagnetic interference, are presented. It is demonstrated how with the help of an intelligent system it is possible

to distinguish a useful signal from a strongly noisy signal from the primary converter, in particular the magnetostrictive linear displacement transducer. The regularity of occurrence of interference from electromagnetic radiation influence on magnetostrictive linear displacement transducer is revealed. The efficiency of self-calibration mode of intelligent magnetostrictive linear displacement transducer is noted.

Key words: intelligent sensors, magnetostrictive displacement transducers, signal processing, self-calibration, profiler, geophysical equipment.

На сегодняшний момент классическое исполнение геофизической аппаратуры практически достигло своего предела и для развития этого направления необходимо внедрять интеллектуальные измерительные системы (ИИС). Это также актуально для набирающих популярность LWD и MWD аппаратур, используемых в процессе бурения. Они используются с беспроводным каналом связи, поэтому объем передаваемой информации ограничен [1]. Это, в свою очередь, не дает возможность оператору полноценно оценить правильность работы аппаратуры.

Кроме того, использование интеллектуальных датчиков для традиционных методов позволит выйти на новый уровень развития аппаратуры.

Использование интеллектуальных датчиков позволит решать следующие задачи [2–7]:

- самодиагностика;
- самокалибровка;
- использование адаптивной обработки информационных сигналов;
- расчет и анализ полученных данных;
- оценка правильности зарегистрированных сигналов;
- определение информации, которую необходимо отправить оператору (важно для методов с ограниченной скоростью передачи информации).

Согласно ГОСТ Р 8.673-2009, интеллектуальный датчик — устройство, способное автоматически адаптироваться к источнику сигнала и окружающей среде, контролировать свои функции, производить корректировку ошибок измерений.

Интеллектуальный датчик представляет собой электронное устройство, имеющее в своем составе средства микропроцессорной техники, чувствительные элементы и схемы преобразования сигналов.

Микропроцессоры в составе датчиков улучшают эксплуатационные и метрологические характеристики.

Создание исполнительных механизмов нового поколения происходит путем переноса функциональной нагрузки от механических элементов к интеллектуальным (электронным, компьютерным и информационным) компонентам, легко перепрограммируемым под новые цели и задачи.

Современное представление об интеллектуальном датчике подразумевает датчик со встроенной электроникой, имеющей в своем составе цифровой сигнальный процессор, микропроцессор, АЦП и т. д., и программное обеспечение. При этом он может использоваться по проводному или беспроводному каналу связи.

Интерфейс интеллектуального датчика позволяет не только включить его в сеть, но и выполнять диагностику датчика, подбирать режим работы, а также настраивать его. Возможность удаленно провести эти операции является преимуществом интеллектуальных датчиков. Они оказываются проще в обслуживании и в эксплуатации.

На рисунке 1 приведена структурная схема интеллектуального датчика с минимально необходимым набором основных блоков, чтобы датчик можно было считать таковым. Поступающий сигнал (возможно несколько) с первичного преобразователя усиливается и преобразуется в цифровой сигнал с последующей обработкой.

В памяти хранятся калибровочные данные, микропроцессор соотносит поступившие данные с данными калибровки, производит их коррекцию и преобразует в необходимые единицы измерения, — тем самым компенсируя погрешность, связанную с влиянием таких факторов, как температура,

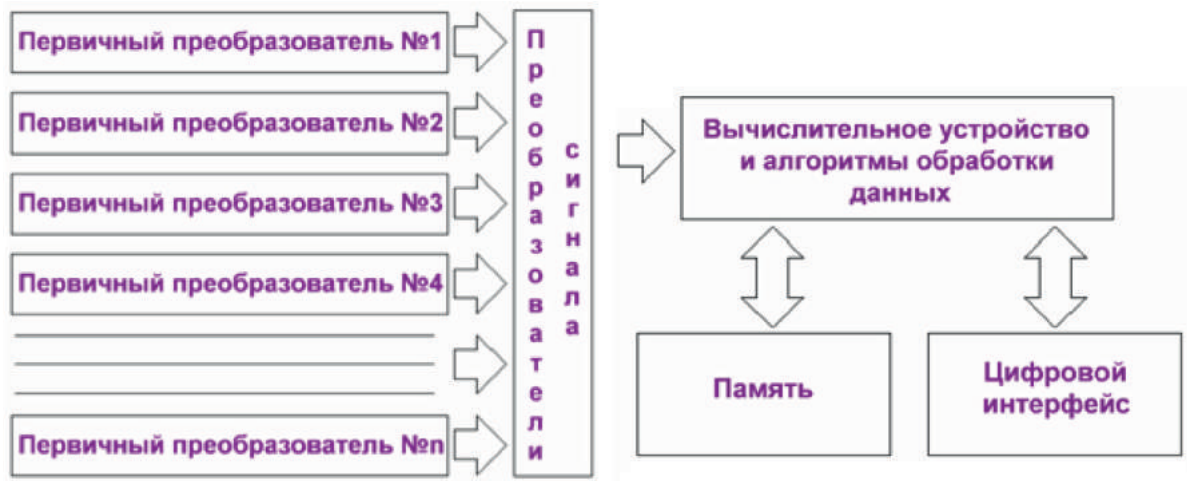


Рисунок 1. Структурная схема интеллектуального датчика

дрейф нуля и т. д. Одновременно с этим оценивается состояние первичного преобразователя, которое может повлиять на достоверность конечного результата.

Полученная информация передается по цифровому интерфейсу, по протоколу пользователя. Пользователь может получать информацию о текущем состоянии датчика, результатах проведенных измерений, задавать параметры датчика [8, 9].

В настоящий момент развитие интеллектуальных датчиков идет по следующим направлениям.

1. Перспективность беспроводных датчиков очевидна. Движущиеся объекты, распределенные в пространстве, требуют беспроводной связи со средствами их автоматизации, с контроллерами. Радиотехнические устройства дешевеют, их качество повышается, беспроводная связь часто экономичнее проводной.

2. Новые методы измерений, требующие мощной вычислительной обработки внутри датчика. Это позволит установить сенсоры за пределами измеряемой среды, что повысит стабильность показаний, снизит потери при эксплуатации. У сенсоров отсутствуют подвижные части, что позволяет повысить надежность и упростить обслуживание. Таким образом, сама конструкция объекта измерения никак не влияет на работу датчика, удешевляется установка.

3. Датчики объемом в несколько кубических миллиметров можно встраивать в промышленное оборудование, и средства авто-

матизации станут внутренней неотъемлемой частью оборудования, выполняющего технологический процесс. Миниатюрные датчики измерят необходимые параметры (температуру, давление, влажность и т. д.), обработают данные и передадут информацию в сеть. Это повысит точность и качество работы приборов.

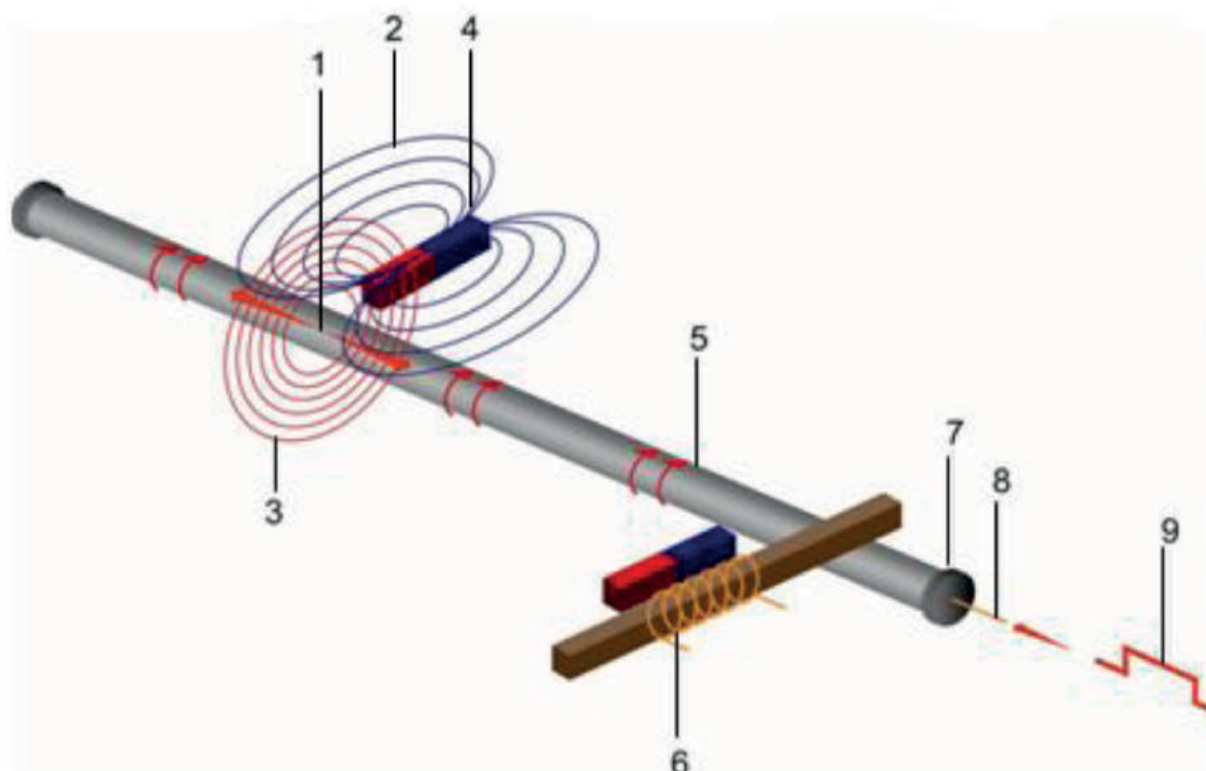
4. Степень интеллектуальности датчиков будет непрерывно повышаться (прогнозирование значений, более мощная обработка и анализ информации, прогноз появления неисправностей, полная самодиагностика, рекомендации по техническому обслуживанию, логическое управление и регулирование).

5. Преимущество многосенсорных датчиков бесспорно. Один многофункциональный преобразователь сможет сравнить и обработать данные с нескольких сенсоров.

Современная микроэлектроника позволила помимо элементов интегрировать в датчики АЦП и микропроцессоры, иначе решая проблему распределения функций между элементами систем управления и контроля.

Объединение микропроцессоров и цифровых схем в одном устройстве позволяет производить усиление, коррекцию и частично обработку информации непосредственно в самом датчике.

Такие датчики могут осуществлять контроль и оценку измеряемых величин, проводить коррекцию по определенным критериям, контролировать заданные характеристики, передавать измеренные значения



1 — направления распространения ультразвуковой волны; 2 — магнитное поле постоянного магнита-позиционера; 3 — магнитное поле, создаваемое возбуждающим импульсом тока; 4 — постоянный магнит; 5 — волновод; 6 — преобразователь крутильных волн в продольные; 7 — акустический демпфер; 8 — контакт ввода возбуждающего импульса тока; 9 — форма возбуждающего импульса тока

Рисунок 2. Конструкция МПП

в цифровой форме, принимать и отправлять команды, работать в режиме диалога с центральной системой управления.

Интеллектуальный датчик позволяет обеспечить либо выполнение соответствующих функций, повышающих информативность выходного сигнала до определенного уровня, либо формирование потока данных с нужной достоверностью на основе анализа большого количества результатов отдельных, относительно недостоверных измерений. Таким образом, метрологические характеристики интеллектуальных датчиков оказываются существенно выше, чем у традиционных датчиков. Интеллектуальный датчик — это совокупность программных и аппаратных средств, которые позволяют отображать свойства объекта в формате структуры данных, полученных путем обработки по определенному алгоритму выходного сигнала первичного преобразователя.

В автоматических системах управления и контроля интеллектуальные датчики решают следующие задачи:

— преобразование полученного сигнала в форму, обеспечивающую помехозащищенную передачу к устройству обработки данных по каналу связи;

— преобразование входного сигнала в сигнал требуемого вида с воспроизводимой функциональной связью между ними;

— выборочную регистрацию и предварительную обработку выходного сигнала;

— реагирование на изменение условий в точках контроля;

— фильтрация помех в рамках решаемых задач;

— обеспечение и контроль собственного функционирования.

В настоящей работе рассмотрим пример использования интеллектуально-измерительной системы в профилемере, у которого в качестве датчика перемещения используется магнитострикционный преобразователь перемещений (МПП).

МПП, относящиеся к ультразвуковому локационному типу преобразователей, являются на сегодняшний день весьма перспек-

тивными по сравнению с такими часто применяемыми типами преобразователей линейного перемещения, как индуктивные, трансформаторные, потенциометрические, емкостные, оптические. К преимуществам МПП относятся достаточно высокая разрешающая способность менее 0,1 мм и малая погрешность преобразования при широком диапазоне преобразуемых перемещений (единицы — десятки метров), возможность бесконтактного преобразования в широком диапазоне рабочих температур, высокая степень линейности, невысокая стоимость.

На рисунке 2 представлен первичный МПП, который состоит из основных частей:

- волновод;
- позиционер, содержащий постоянный магнит;
- преобразователь крутильных волн в продольные;
- демпфирующий узел.

Волновод датчика изготовлен из магнестрикционного материала. При прохождении импульса тока по волноводу вокруг него образуется радиальное магнитное поле. Это поле при взаимодействии с магнитным полем постоянного магнита вызывает ультразвуковую

волну, которая распространяется от места возникновения в оба конца волновода. В одном из концов волна демпфируется, что позволяет исключить помехи от отраженных волн. Преобразователь крутильных волн преобразует ультразвуковую волну в электрический сигнал. Этот преобразователь состоит из расположенной поперек волновода и жестко связанной с ним пластины из магнестрикционного материала, катушки индуктивности на этой пластине и неподвижного постоянного магнита. Информационный сигнал с приемного преобразователя крутильных волн подвергается дальнейшей обработке и представлен на осциллограмме (рисунок 3).

Проведены эксперименты с МПП. Получены осциллограммы информационного сигнала МПП при нормальных условиях (рисунок 4) и при воздействии электромагнитного излучения (рисунок 5) [10–13].

Самой сложной при интерпретации помехи является помеха, вызванная электромагнитным излучением. Это связано с тем, что такая помеха схожа с информационным сигналом (и по периоду, и по амплитуде). Для определения электромагнитной помехи было

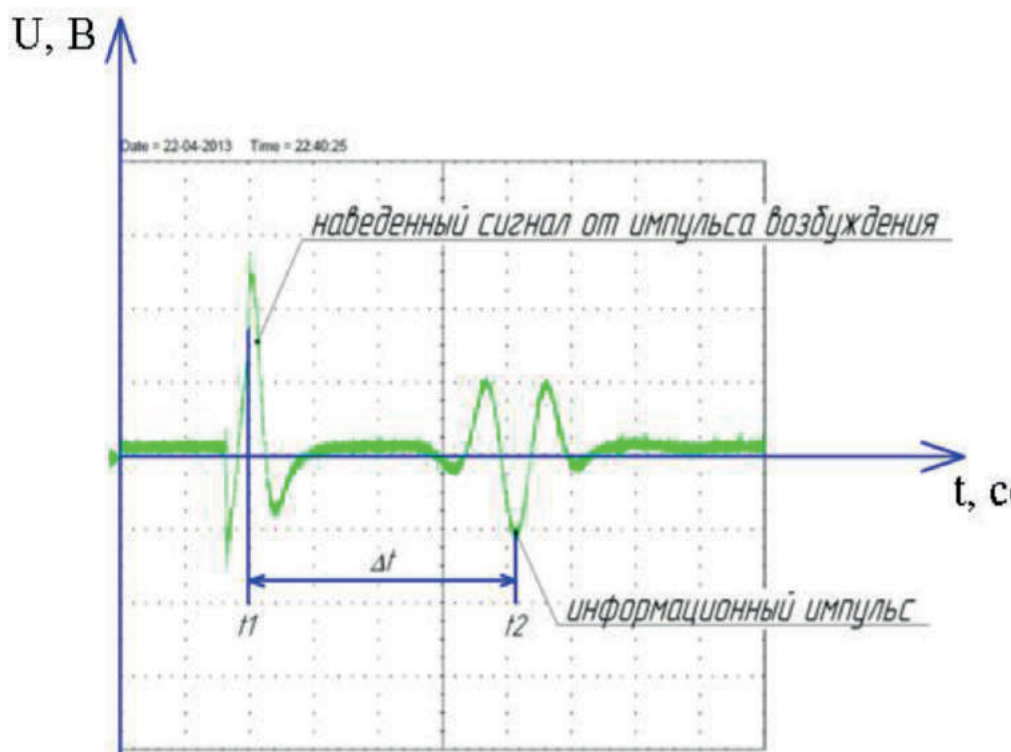


Рисунок 3. Осциллограмма сигнала в приемной обмотке, наведенного от импульса возбуждения и информационного сигнала

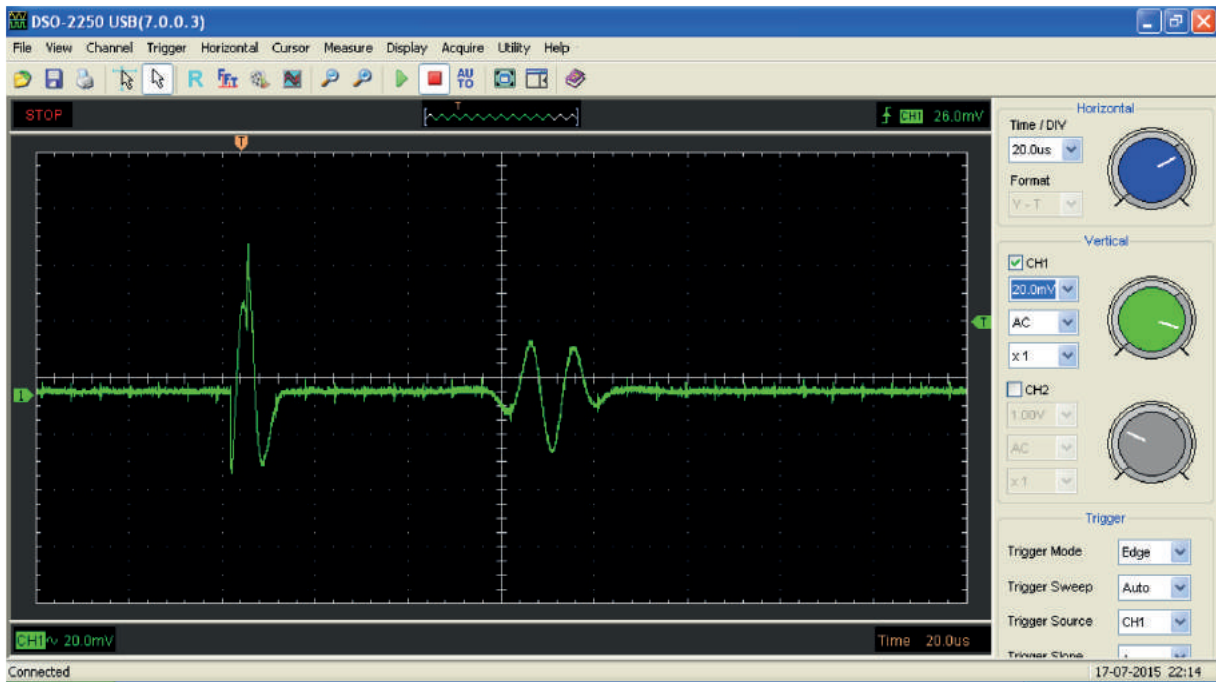


Рисунок 4. Сигнал с реального МПП при нормальных условиях

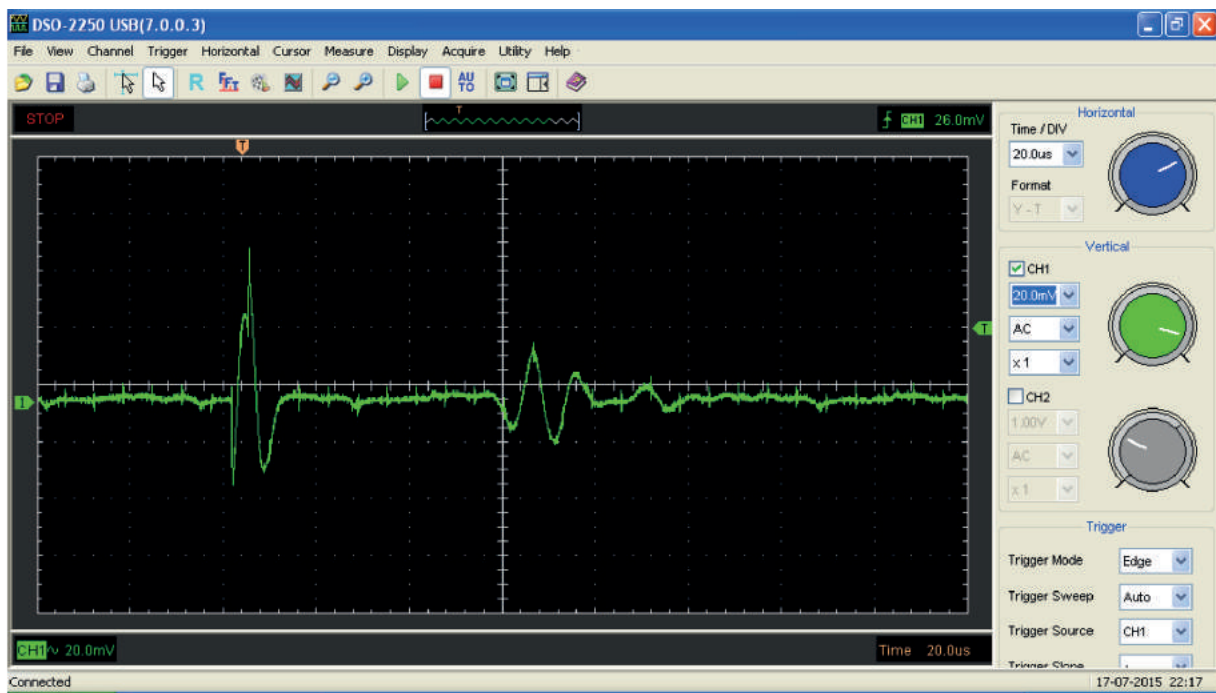


Рисунок 5. Сигнал с реального МПП при воздействии электромагнитного поля

произведено вычитание информационного сигнала МПП при нормальных условиях (рисунок 4) из сигнала с реального МПП при воздействии электромагнитного поля (рисунок 5) [4]. Сравнение сигналов представлено на рисунке 6.

Было выявлено, что у данного типа помех есть одна особенность — после колоколообразного импульса идет затухающее коле-

бание, что отсутствует в информационном сигнале (рисунок 6 — помеха) [13].

Использование интеллектуальной измерительной системы позволило получить достоверную информацию о перемещении. Без использования ИИС было бы невозможно определить разницу между сигналом чистым и с помехой, так как в данном случае помеха была вызвана электромаг-

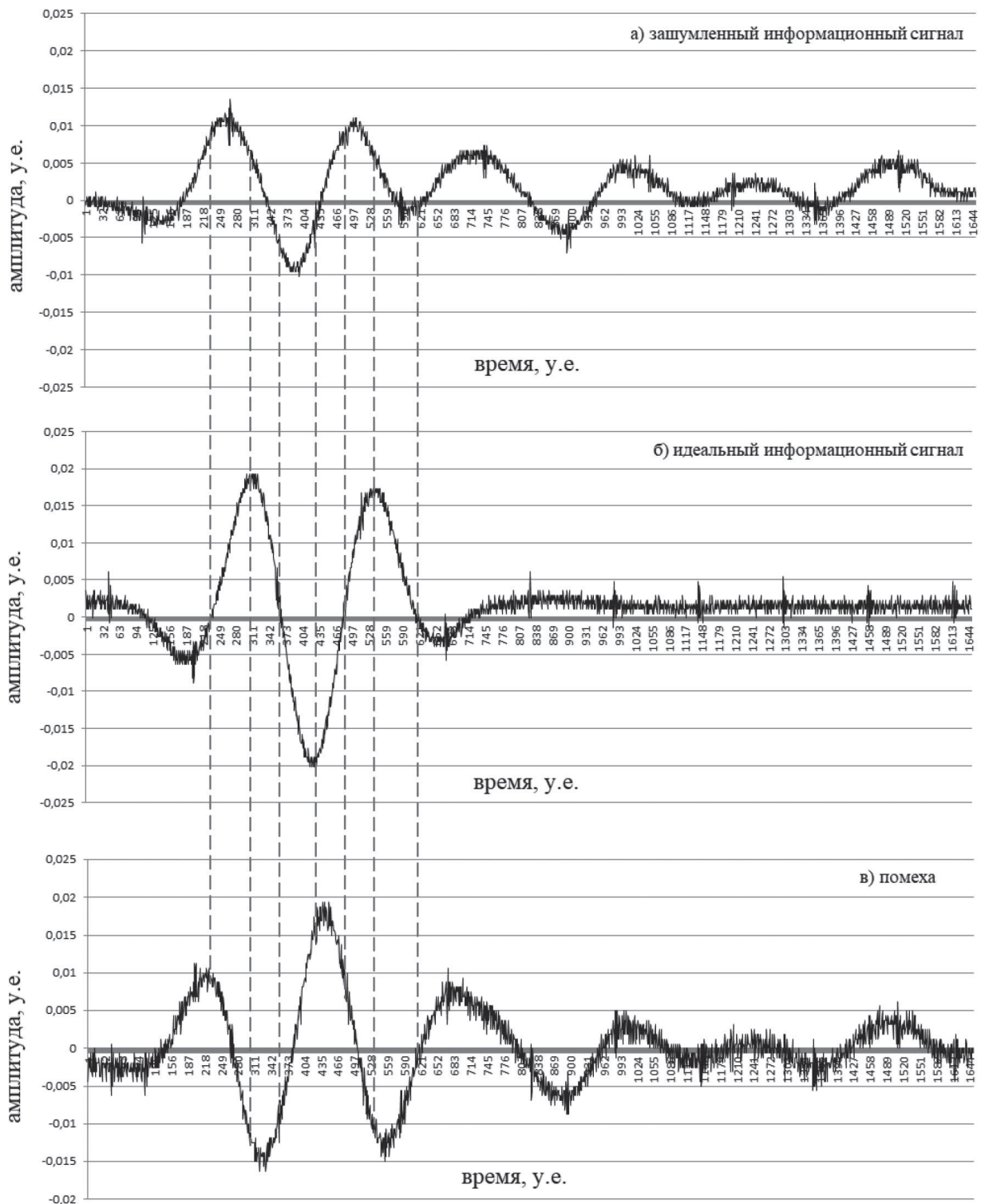


Рисунок 6. Сравнение сигналов с МПП при нормальных условиях, при воздействии электромагнитного поля и их разница

нитным излучением, схожим с магнитным полем постоянного магнита измерительного МПП. ИИС МПП смогла выявить помеху, за счет того, что у нее в конце имелся затухающий хвост.

$$R(t) = R_0 \cdot e^{-\beta t} \cdot \cos[\theta t + \delta], \quad (1)$$

где $R(t)$ — затухающее колебание; R_0 — амплитуда колебания; β — коэффициент затухания; θ — частота затухающего колебания.

Использование интеллектуальных магнитострикционных датчиков перемещения позволяет осуществлять стабильно высоко-

точное измерение на протяжении всего срока службы датчика и обеспечивать характеристики, полученные при заводской калибровке. Это возможно благодаря самокалибровке датчика. Точность измерений профилемера очень важна, так как на основе его показаний вводят поправочные коэффициенты для других геологических приборов.

Принцип построения интеллектуального магнестрикционного датчика можно перенести на все датчики, используемые в геофизической аппаратуре. Это позволит связать их в одну интеллектуальную измери-

тельную систему и выведет геофизическую аппаратуру на новый уровень.

Вывод

Применение интеллектуальных датчиков позволит вывести геофизическую аппаратуру на новый уровень, тем самым расширив функции аппаратуры. Интеллектуальные датчики позволят проводить анализ получаемых данных непосредственно с первичных преобразователей. Это, в свою очередь, приведет к повышению качества получаемой информации, а это – главный критерий при геофизической разведке.

Список литературы

1. Шмелев А.А., Ясовеев В.Х., Цзэн А.Т. Применение энергоэффективных магнестрикционных преобразователей перемещения в автономных каверномерах // Мавлютовские чтения: матер. Всеросс. молодежн. науч. конф. Уфа, 2014. С. 57–58.
2. Шмелев А.А., Ясовеев В.Х. Способы реализации самокалибровки в интеллектуальных магнестрикционных преобразователях линейных перемещений // Матер. 2-ой Междунар. уральск. конф. по измерениям. Челябинск, 2017. С. 39–46.
3. Шмелев А.А., Ясовеев В.Х. Интеллектуальный магнестрикционный датчик линейных перемещений // Датчики и системы. 2014. № 12. С. 12–15.
4. Шмелев А.А., Ясовеев В.Х., Мухаметова Г.З. Обработка сигнала интеллектуализированного магнестрикционного преобразователя перемещений в режиме самокалибровки // Промышленные АСУ и контроллеры. 2014. № 11. С. 39–43.
5. Шмелев А.А., Ясовеев В.Х., Мукаев Р.Ю. Система калибровки магнестрикционных преобразователей линейных перемещений // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2015. № 1. С. 55–61.
6. Шмелев А.А., Ясовеев В.Х., Мухаметова Г.З. Математическая обработка в интеллектуальной измерительной системе магнестрикционных преобразователей линейных перемещений // Промышленные АСУ и контроллеры. 2015. № 8. С. 39–43.
7. Шмелев А.А., Ясовеев В.Х. Математическая модель генератора сигнала магнестрикционного преобразователя линейных перемещений при воздействии на него электромагнитной помехи // Промышленные АСУ и контроллеры. 2016. № 11. С. 21–25.
8. Герасимова Л.А., Ясовеев В.Х. Повышение точности и быстродействия ультразвуковых магнестрикционных уровнемеров // Датчики и системы. 2008. № 10. С. 51–53.
9. Захаров В.Н. Интеллектуальные системы управления: основные понятия и определения // Известия Академии наук. Теория и системы управления. 1997. № 3. С. 138–145.
10. Шмелев А.А., Ясовеев В.Х. Магнестрикционные преобразователи перемещений // Инновации и перспективы сервиса: матер. VIII Междунар. науч.-техн. конф. Уфа, 2011. С. 120–124.
11. Шмелев А.А. Интеллектуальный магнестрикционный преобразователь перемещения с комбинированным методом обработки информационного сигнала // Актуальные проблемы в науке и технике. Информационные и инфокоммуникационные технологии: сб. науч. тр. Седьмой Всеросс. зимн. школы-семинара аспирантов и молодых ученых. Уфа, 2012. С. 244–245.
12. Шмелев А.А., Ясовеев В.Х. Интеллектуализация магнестрикционных датчиков перемещения // Интеллектуальные технологии обработки информации и управления: матер. Второй междунар. конф. Уфа, 2014. С. 151–154.

13. Пат. 2584577 РФ, G 01 B 17/00, H 04 R 15/00. Способ калибровки магнотриксционных преобразователей линейных перемещений и устройство его реализации / А.А. Шмелев, В.Х. Ясовеев, Р.Ю. Мукаев. Оpubл. 20.05.2016. Бюл. № 14.

References

1. Shmelev A.A., Jasoveev V.H., Czjen A.T. Primenenie jenergojefektivnyh magnitostrikcionnyh preobrazovatelej peremeshhenija v avtonomnyh kavernomerah // Mavljutovskie chtenija: mater. Vseross. molodezhn. nauch. konf. Ufa, 2014. S. 57–58.
2. Shmelev A.A., Jasoveev V.H. Sposoby realizacii samokalibrovki v intellektual'nyh magnitostrikcionnyh preobrazovateljah linejnyh peremeshhenij // Mater. 2-oi Mezhdunar. ural'sk. konf. po izmerenijam. Cheljabinsk, 2017. S. 39–46.
3. Shmelev A.A., Jasoveev V.H. Intellektual'nyj magnitostrikcionnyj datchik linejnyh peremeshhenij // Datchiki i sistemy. 2014. № 12. S. 12–15.
4. Shmelev A.A., Jasoveev V.H., Muhametova G.Z. Obrabotka signala intellektualizirovannogo magnitostrikcionnogo preobrazovatelja peremeshhenij v rezhime samokalibrovki // Promyshlennye ASU i kontrollery. 2014. № 11. S. 39–43.
5. Shmelev A.A., Jasoveev V.H., Mukaev R.Ju. Sistema kalibrovki magnitostrikcionnyh preobrazovatelej linejnyh peremeshhenij // Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika. 2015. №1. S. 55–61.
6. Shmelev A.A., Jasoveev V.H., Muhametova G.Z. Matematicheskaja obrabotka v intellektual'noj izmeritel'noj sisteme magnitostrikcionnyh preobrazovatelej linejnyh peremeshhenij // Promyshlennye ASU i kontrollery. 2015. № 8. S. 39–43.
7. Shmelev A.A., Jasoveev V.H. Matematicheskaja model' generatora signala magnitostrikcionnogo preobrazovatelja linejnyh peremeshhenij pri vozdejstvii na nego jelektromagnitnoj pomehi // Promyshlennye ASU i kontrollery. 2016. № 11. S. 21–25.
8. Gerasimova L.A., Jasoveev V.H. Povyshenie tochnosti i bystrodejstvija ul'trazvukovyh magnitostrikcionnyh urovnemerov // Datchiki i sistemy. 2008. № 10. S. 51–53.
9. Zaharov V.N. Intellektual'nye sistemy upravlenija: osnovnye ponjatija i opredelenija // Izvestija Akademii nauk. Teorija i sistemy upravlenija. 1997. № 3. S. 138–145.
10. Shmelev A.A., Jasoveev V.H. Magnitostrikcionnye preobrazovateli peremeshhenij // Innovacii i perspektivy servisa: mater. VIII Mezhdunar. nauch.-tehn. konf. Ufa, 2011. S. 120–124.
11. Shmelev A.A. Intellektual'nyj magnitostrikcionnyj preobrazovatel' peremeshhenija s kombinirovannym metodom obrabotki informacionnogo signala // Aktual'nye problemy v nauke i tehnike. Informacionnye i infokomunikacionnye tehnologii: sb. nauch. tr. Sed'moj vseross. zimnej shkoly-seminara aspirantov i molodyh uchenyh. Ufa, 2012. S. 244–245.
12. Shmelev A.A., Jasoveev V.H. Intellektualizacija magnitostrikcionnyh datchikov peremeshhenija // Intellektual'nye tehnologii obrabotki informacii i upravlenija: mater. Vtoroi mezhdunar. Konf. Ufa, 2014. S. 151–154.
13. Pat. 2584577 RF, G 01 B 17/00, H 04 R 15/00. Sposob kalibrovki magnitostrikcionnyh preobrazovatelej linejnyh peremeshhenij i ustrojstvo ego realizacii / A.A. Shmelev, V.H. Jasoveev, R.Ju. Mukaev. Opubl. 20.05.2016. Bjul. № 14.

ОБ АВТОРАХ

Абрамишвили Роман Лаврентьевич

аспирант кафедры «Управление и сервис в технических системах», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет», e-mail: abramishvili.rl@mail.ru, г. Уфа, Российская Федерация

Алексеев Виктор Юрьевич

кандидат технических наук, доцент кафедры «Электротехника и электрооборудование предприятий», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет», e-mail: vik120212@gmail.com, г. Уфа, Российская Федерация

Андрианов Артур Валерьевич

начальник лаборатории, Акционерное общество «Таганрогский научно-исследовательский институт связи», e-mail: otdel24d@nkbmius.ru, г. Таганрог, Российская Федерация

Бадртдинова Ильзида Илсуровна

студент кафедры «Промышленная безопасность и охрана труда», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет», e-mail: b.ilzida99@mail.ru, г. Уфа, Российская Федерация

Габитова Элина Аликовна

магистрант кафедры «Вычислительная техника и инженерная кибернетика», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет», e-mail: GadylshinaEA@mail.ru, г. Уфа, Российская Федерация

Гиниятуллин Вахит Мансурович

кандидат технических наук, доцент кафедры «Вычислительная техника и инженерная кибернетика», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет», e-mail: fentazer@mail.ru, г. Уфа, Российская Федерация

Глушко Дмитрий Вячеславович

магистрант, Костанайский государственный университет им. А. Байтурсынова, e-mail: koshkin@mail.kz, г. Костанай, Республика Казахстан

Городских Александр Андреевич

аспирант кафедры «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева», e-mail: viktor52-chimesh@yandex.ru, г. Курган, Российская Федерация

Денисова Ольга Аркадьевна

доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры «Физика», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет», e-mail: denisovaolga@bk.ru, г. Уфа, Российская Федерация

Евдокимов Александр Андреевич

кандидат технических наук, инженер, АО «Сургутнефтегаз» трест «Сургутремстрой», e-mail: viktor52-chimesh@yandex.ru, г. Сургут, Российская Федерация

Зикий Анатолий Николаевич

кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры «Информационная безопасность телекоммуникационных систем» Института компьютерных технологий и информационной безопасности, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет», e-mail: zikiy50@mail.ru, г. Таганрог, Российская Федерация

Зламан Павел Николаевич

ведущий инженер-конструктор, Научно-конструкторское бюро моделирующих и управляющих систем, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет», e-mail: otdel24d@nkbmius.ru, г. Таганрог, Российская Федерация

Игнатъев Сергей Григорьевич

инженер, Курганский институт железнодорожного транспорта, филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения», e-mail: viktor52-chimesh@yandex.ru, г. Курган, Российская Федерация

Климаш Владимир Степанович

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Промышленная электроника», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет», e-mail: socel@mail.ru, г. Комсомольск-на-Амуре, Российская Федерация

Кошкин Игорь Владимирович

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Электроэнергетика и физика», Костанайский государственный университет им. А. Байтурсынова, e-mail: koshkin@mail.kz, г. Костанай, Республика Казахстан

Кушнир Валентина Геннадьевна

доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Машины, тракторы и автомобили», Костанайский государственный университет им. А. Байтурсынова, e-mail: valkush@mail.ru, г. Костанай, Республика Казахстан

Леонтьева Татьяна Анатольевна

доцент кафедры «Электротехника и электрооборудование предприятий», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет», e-mail: tan_bat@mail.ru, г. Уфа, Российская Федерация

Мелик-Шахназарова Ирена Александровна

кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой теоретической электротехники и электрификации нефтяной и газовой промышленности, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина», г. Москва, Российская Федерация

Мухаметзянов Назар Зинурович

студент кафедры «Бурение нефтяных и газовых скважин», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Уфа, Российская Федерация

Портнягин Николай Николаевич

доктор технических наук, доцент, профессор кафедры теоретической электротехники и электрификации нефтяной и газовой промышленности, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина», e-mail: pornic1@yandex.ru, г. Москва, Российская Федерация

Резник Елена Сергеевна

ассистент кафедры «Электротехника и электрооборудование предприятий», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет», e-mail: reznikes@yandex.ru, г. Уфа, Российская Федерация

Родионов Артем Сергеевич

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Общенаучные дисциплины», Филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет» в г. Салавате, e-mail: artrodionov@mail.ru, г. Салават, Российская Федерация

Рыжиков Олег Леонидович

кандидат технических наук, доцент кафедры «Физическая электроника и нанофизика», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный университет», e-mail: o_ryzhikov@mail.ru, г. Уфа, Российская Федерация

Саттаров Роберт Радикович

доктор технических наук, профессор кафедры «Электромеханика», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет», e-mail: viktor52-chimesh@yandex.ru, г. Уфа, Российская Федерация

Соколовский Михаил Александрович

аспирант кафедры «Промышленная электроника», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет», г. Комсомольск-на-Амуре, Российская Федерация

Табет Наиф Кайед Абдулла

преподаватель Аденского университета, e-mail: fet777@mail.ru, г. Аден, Республика Йемен

Талыбов Натиг Гасаноглы

кандидат технических наук, проректор по организации учебного процесса и технологии обучения, Сумгаитский государственный университет, e-mail: malaxat_70@mail.ru, г. Сумгаит, Азербайджанская Республика

Фархутдинов Рамиль Ильдарович

студент группы БАБ-16-21, Филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет» в г. Салавате, e-mail: tattin76@mail.ru, г. Салават, Российская Федерация

Федосов Артем Васильевич

кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленная безопасность и охрана труда», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет», e-mail: pbot@mail.ru, г. Уфа, Российская Федерация

Федосов Василий Андреевич

кандидат технических наук, доцент кафедры «Управление и сервис в технических системах» Института экономики и сервиса, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет», e-mail: pbot@mail.ru, г. Уфа, Российская Федерация

Фетисов Владимир Станиславович

доктор технических наук, профессор кафедры «Информационно-измерительная техника», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет», e-mail: fet777@mail.ru, г. Уфа, Российская Федерация

Хусаинов Ильнар Рамилевич

студент группы БАБ-16-21, Филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет» в г. Салавате, e-mail: tattin76@mail.ru, г. Салават, Российская Федерация

Чарыков Виктор Иванович

доктор технических наук, профессор кафедры «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Курганская государственная сельскохозяйственная академия имени Т.С. Мальцева», e-mail: viktor52-chimesh@yandex.ru, г. Курган, Российская Федерация

Шабанов Виталий Алексеевич

кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой кафедры «Электротехника и электрооборудование предприятий», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет», e-mail: ShabanovVA1@yandex.ru, г. Уфа, Российская Федерация

Шатуновский Валерий Леонидович

кандидат технических наук, доктор педагогических наук, профессор, профессор кафедры теоретической электротехники и электрификации нефтяной и газовой промышленности, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина», e-mail: pornic1@yandex.ru, г. Москва, Российская Федерация

Шмелев Александр Александрович

аспирант кафедры «Информационно-измерительная техника» Факультета авионики, энергетики и инфокоммуникаций, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет», e-mail: sasha_sh_88@mail.ru, г. Уфа, Российская Федерация

ABOUT THE AUTHORS

Abramishvili Roman L.

Post-Graduate Student of Management and Service in the Technical Systems Chair, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ufa State Petroleum Technological University», e-mail: abramishvili.rl@mail.ru, Ufa, Russian Federation

Alekseev Viktor Yu.

Cand. Sci. Tech., Assistant Professor of Electrical Equipment and Facilities of Enterprises Chair, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ufa State Petroleum Technological University», e-mail: vik120212@gmail.com, Ufa, Russian Federation

Andrianov Artur V.

Head of Laboratory, Joint Stock Company «Taganrog Scientific-Research Institute of Communication», e-mail: otдел24d@nkbmius.ru, Taganrog, Russian Federation

Badrtdinova Ilzida I.

Student of Industrial Safety and Labor Protection Chair, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ufa State Petroleum Technological University», e-mail: b.ilzida99@mail.ru, Ufa, Russian Federation

Charykov Viktor I.

Dr. Sci. Tech., Professor of Electrification and Automation of Agriculture Chair, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kurgan State Agricultural Academy by T.S. Maltsev», e-mail: viktor52-chimesh@yandex.ru, Kurgan, Russian Federation

Denisova Olga A.

Dr. Sci. Phys.-Math., Associate Professor, Professor of Physics Chair, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ufa State Petroleum Technological University», e-mail: denisovaolga@bk.ru, Ufa, Russian Federation

Evdokimov Aleksandr A.

Cand. Sci. Tech., Engineer, JSC «Surgutneftegas» Trust «Surgutremstroy», e-mail: viktor52-chimesh@yandex.ru, Kurgan, Russian Federation

Farkhutdinov Ramil I.

Student of BAB-16-21 Group, General Scientific Disciplines Chair, Branch of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ufa State Petroleum Technological University» in Salavat, e-mail: tattin76@mail.ru, Salavat, Russian Federation

Fedosov Artem V.

Cand. Sci. Tech., Assistant Professor of Industrial Safety and Labor Protection Chair, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ufa State Petroleum Technological University», e-mail: pbot@mail.ru, Ufa, Russian Federation

Fedosov Vasily A.

Cand. Sci. Tech., Assistant Professor of Management and Service in the Technical Systems Chair, Institute of Economics and Service, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ufa State Petroleum Technological University», e-mail: pbot@mail.ru, Ufa, Russian Federation

Fetisov Vladimir S.

Dr. Sci. Tech., Professor of Information and Measuring Techniques Chair, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ufa State Aviation Technical University», e-mail: fet777@mail.ru, Ufa, Russian Federation

Gabitova Elina A.

Undergraduate Student of Computer Science and Engineering Cybernetics Chair, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ufa State Petroleum Technological University», e-mail: gadylshinaea@mail.ru, Ufa, Russian Federation

Giniyatullin Vakhit M.

Cand. Sci. Tech., Assistant Professor of Computer Science and Engineering Cybernetics Chair, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ufa State Petroleum Technological University», e-mail: fentazer@mail.ru, Ufa, Russian Federation

Glushko Dmitriy V.

Undergraduate Student, Kostanay State University named after A. Baitursynov, e-mail: koshkin@mail.kz, Kostanay, Republic of Kazakhstan

Gorodskikh Aleksander A.

Post-Graduate Student of Electrification and Automation of Agriculture Chair, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kurgan State Agricultural Academy by T.S. Maltsev», e-mail: viktor52-chimesh@yandex.ru, Kurgan, Russian Federation

Ignatyev Sergey G.

Engineer, Kurgan Institute of Railway Transport, Branch of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ural State University of Railway Transport», e-mail: viktor52-chimesh@yandex.ru, Kurgan, Russian Federation

Khusainov Ilnar R.

Student of BAB-16-21 Group, General Scientific Disciplines Chair, Branch of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ufa State Petroleum Technological University» in Salavat, e-mail: tattin76@mail.ru, Salavat, Russian Federation

Klimash Vladimir S.

Dr. Sci. Tech., Professor, Professor of Industrial Electronics Chair, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Komsomolsk-on-Amur State University», e-mail: socel@mail.ru, Komsomolsk-on-Amur, Russian Federation

Koshkin Igor V.

Cand. Sci. Tech., Associate Professor, Head of Electric Power and Physics Chair, Kostanay State University named after A. Baitursynov, e-mail: koshkin@mail.kz, Kostanay, Republic of Kazakhstan

Kushnir Valentina G.

Dr. Sci. Tech., Professor, Head of Machinery, Tractors and Automobiles Chair, Kostanay State University Named after A. Baitursynov, e-mail: valkush@mail.ru, Kostanay, Republic of Kazakhstan

Leontyeva Tatyana A.

Assistant Professor of Electrical Equipment and Facilities of Enterprises Chair, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ufa State Petroleum Technological University», e-mail: tan_bat@mail.ru, Ufa, Russian Federation

Melik-Shakhnazarova Irena A.

Cand. Sci. Tech., Assistant Professor, Head of Theoretical Electrical Engineering and Electrification of Oil and Gas Industry, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University)», e-mail: pornic1@yandex.ru, Moscow, Russian Federation

Mykhametzyanov Nazar Z.

Student of Drilling of Oil and Gas Wells Chair, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ufa State Petroleum Technological University», Ufa, Russian Federation

Portnyagin Nikolay N.

Dr. Sci. Tech., Associate Professor, Professor of Theoretical Electrical Engineering and Electrification of Oil and Gas Industry, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University)», e-mail: pornic1@yandex.ru, Moscow, Russian Federation

Reznik Elena S.

Assistant of Electrical Equipment and Facilities of Enterprises Chair, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ufa State Petroleum Technological University», e-mail: reznikes@yandex.ru, Ufa, Russian Federation

Rodionov Artem S.

Cand. Sci. Phys.-Math., Assistant Professor of General Scientific Disciplines Chair, Branch of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ufa State Petroleum Technological University» in Salavat, e-mail: artrodionov@mail.ru, Salavat, Russian Federation

Ryzhikov Oleg L.

Cand. Sci. Tech., Assistant Professor of Physical Electronics and Nanophysics Chair, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State University», e-mail: o_ryzhikov@mail.ru, Ufa, Russian Federation

Sattarov Robert R.

Dr. Sci. Tech., Professor of Electromechanics Chair, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ufa State Aviation Technical University», e-mail: viktor52-chimesh@yandex.ru, Ufa, Russian Federation

Shabanov Vitaliy A.

Cand. Sci. Tech., Professor, Head of Electrical Equipment and Facilities of Enterprises Chair, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ufa State Petroleum Technological University», e-mail: shabanovva1@mail.ru, Ufa, Russian Federation

Shatunovskiy Valery L.

Cand. Sci. Tech., Dr. Sci. Ped., Professor, Professor of Theoretical Electrical Engineering and Electrification of Oil and Gas Industry, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University)», e-mail: pornic1@yandex.ru, Moscow, Russian Federation

Shmelev Aleksandr A.

Post-Graduate Student of Information and Measuring Techniques Chair, Faculty of Avionics, Energy and Infocommunications, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ufa State Aviation Technical University», e-mail: sasha_sh_88@mail.ru, Ufa, Russian Federation

Sokolovsky Mikhail A.

Post-Graduate Student of Industrial Electronics Chair, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Komsomolsk-on-Amur State University», e-mail: socel@mail.ru, Komsomolsk-on-Amur, Russian Federation

Talibov Natig G.

Cand. Sci. Tech., Vice-Rector on Teaching Organization and Training Technologies, Sumgait State University, e-mail: malaxat_70@mail.ru, Sumgait, Azerbaijan Republic

Thabet Nayef Kayed Abdulla

Lecturer, University of Aden, e-mail: fet777@mail.ru, Aden, Republic of Yemen

Zikiy Anatoliy N.

Cand. Sci. Tech., Senior Researcher, Assistant Professor of Information Security of Telecommunication Systems Department, Institute of Computer Technologies and Information Security, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Southern Federal University», e-mail: zikiy50@mail.ru, Taganrog, Russian Federation

Zlaman Pavel N.

Leading Design Engineer, Scientific Design Bureau of Modeling and Control Systems, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Southern Federal University», e-mail: otde124d@nkbmius.ru, Taganrog, Russian Federation

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 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: uor-ugaes@mail.ru.
7. Обязательно прислать фото авторов отдельными файлами.
8. К статье должны быть приложены на русском и английском языках: название статьи, аннотация (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 ВО «УГНТУ» 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 («»).

Помнить 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.

Requirements for the materials, provided for publication in the journal:

1. Articles provided by the authors in the Journal should match the profile of the magazine, be new, be interesting for a wide range of scientific community.
2. Revision accepted for publication only open materials in Russian and English (for foreign authors).
3. Fields — 2.5 cm on each side; font — Times New Roman, font size — 14, line spacing — one and a half; References in square brackets. If there is a list of literature references is required (in order of citation in accordance with GOST R 7.05-2008).
4. In the upper right corner in bold italics: surname, name, patronymic of the author (certainly in full), academic degree, academic rank, position, name of organization (in full), country, city.
5. Centered, bold capital letters: title of the article. UDC — in the upper right corner.
6. At the end of the article specify the e-mail address with ZIP code, name and initials of the recipient (the address will be sent to the magazine), telephone (mobile), e-mail of the contact person. Article File Contents: Surname N.P.doc (or docx). Send to the address: uop-ugaes@mail.ru.
7. Be sure to send color photos of the authors in separate files (at least 1 MB and not more than 5 MB).
8. To the article must be accompanied by the Russian and English languages: the article title, abstract (240 words, determine the theoretical value and practical novelty of the article), keywords (at least 10), references required (at least 5 sources).
9. Author agrees to play free of charge on the Internet at the website FSBEI HE «USPTU» electronic version of his article published in the journal «Electrical and data processing facilities and systems».
10. Graphical and table material should be presented in the annex to the WORD. For example, Microsoft Graph, without scanning; diagrams for applying a different shading, font size 10 or 11 pt, mathematical formulas should be made through the formula editor Microsoft Equation, and their numbers stamped on the right side. Table signed by the 12th print in the upper right corner, diagrams, drawings — at the bottom center.
11. Reductions of words of names usually are not permitted. Allowed only standard abbreviations measures, physical, chemical and mathematical quantities and terms, etc.
12. Received articles will necessarily be reviewed. Reviews of rejected papers are sent to the authors and contain a reasoned rejection of the publication. In reviews of works sent for revision, specify comments on the article.
13. All articles received by the editorial compulsorily tested in the «Anti-plagiarism».
14. Article volume with the summary and the list of references shouldn't exceed 12 pages.

Memo to authors

The article is highly recommended:

- NOT TO use the tab key (Tab);
- NOT TO place your paragraph styles (other than the defaults);
- NOT TO set automatic lists (with line numbers and paragraphs);
- NOT TO put double, triple and so. D. The spaces between words.

Recommended in the article is only one type of quotes («») or ("").

Remember that it is necessary to distinguish hyphens and dashes. Dash is exhibited by a combination of two keys («Ctrl» + «-»).

All quotations in the article should be correlated with the list of literature, with direct quotations necessarily indicate page numbers. References should not be confused with the notes that must be placed before the bibliography.

Articles that do not meet the requirements will be rejected for revision.