

ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ:

промышленность и транспорт

№ 2 (27)
2019



16+

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ





Издается
с января 2004 г.

Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт научно-технический журнал

ISSN 2500-0586

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору
в сфере связи, информационных технологий и массовых
коммуникаций (Роскомнадзор)
ПИ № ФС77-64543 от 22 января 2016 г.

Главный редактор журнала
В. И. Лысак – академик РАН,
д-р техн. наук, профессор

Редакционная коллегия:

И. И. Артюхов – д.т.н., проф., СГТУ
им. Гагарина Ю. А., г. Саратов
А. В. Баранов – д.ф.м.н., проф.,
РГУ нефти и газа, г. Москва.
А. Б. Голованчиков – д.т.н., проф., ВолГТУ
А. Е. Городецкий – д.т.н., проф., ИПМаш
РАН, г. Санкт-Петербург
А. П. Дарманиян – д.т.н., проф. ВГАУ,
г. Волгоград
А. М. Иванов – д.т.н., проф.,
МГТУ (МАДИ), г. Москва
В. В. Кортаев – д.т.н., проф., ИТМО,
г. Санкт-Петербург
О. Г. Котиев – д.т.н., проф., МВТУ
им. Н. Э. Баумана, г. Москва
А. А. Львов – д.т.н., проф., СГТУ
им. Ю. А. Гагарина, г. Саратов
Мертен Клеменс – д.т.н., проф.,
университет г. Штутгарт, Германия
В. А. Марков – д.т.н., проф., МВТУ
им. Н. Э. Баумана, г. Москва
А. В. Навроцкий – д.т.н., проф., ВолГТУ
Б. В. Скворцов – д.т.н., проф., СГАУ
им. академика С. П. Королева, г. Самара
О. А. Тишин – д.т.н., проф., ВолГТУ
Е. А. Федянов – д.т.н., проф., ВолГТУ
В. М. Шаповалов – д.т.н., проф. ВолГТУ;
В. М. Шарипов – д.т.н., проф., МГТУ
(МАМИ), г. Москва
А. Н. Шилин – д.т.н., проф., ВолГТУ

Ответственный секретарь
Ю. В. Аристова – доц., к.т.н.

Журнал распространяется
по подписке.
Индекс журнала по каталогу
Агентства «Роспечать»
для Российской Федерации –
94193(ОК+ЭК).

Тел. издательства ВолГТУ:
+7 (8442) 24-84-06,
fax: +7 (8442) 24-84-06,
e-mail: otr@vstu.ru

№ 2 (27)
Июнь
2019

УЧРЕДИТЕЛЬ:
ФГБОУ высшего образования
«Волгоградский государственный технический
университет»
Периодичность: четыре раза в год

Адрес редакции:
РФ, 400005, Волгоград, пр.В.И. Ленина,28
Гл. редактор: телефон: – (8442) 23-00-76
e-mail: rector@vstu.ru

Отв. секретарь: телефон: – (8442) 24-84-31
e-mail: pahp@vstu.ru

Официальный сайт Учредителя: www.vstu.ru

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Волгоградского государственного технического университета

Авторское право на журнал в целом принадлежит
Учредителю, на отдельные статьи – сохраняется за авторами

*Перепечатка из журнала «Энерго- и ресурсосбережение:
промышленность и транспорт» категорически запрещена без
оформления договора в соответствии с действующим
законодательством РФ*

*При перепечатке материалов ссылка на журнал «Энерго-
и ресурсосбережение: промышленность и транспорт» обязательна*

Статьи печатаются бесплатно



Published since
January 2004 г.

ISSN 2500-0586

Editor-in-chief

V. I. Lysak – Academician of
RAS Academician of RAS,
D. Sc. (Technical), Professor

Editorial Board:

I. I. Artuchov – D. Sc. (Engineering), Prof.,
SSTU, Saratov
A. V. Baranov – D. Sc. (Physical and Math.),
Prof., Gubkin University, Moscow.
A. B. Golovanchikov – D. Sc. (Engineering),
Prof., VSTU, Volgograd
A. E. Gorodetskij – D. Sc. (Engineering),
Prof., IPME, St. Petersburg
A. P. Darmanyan – D. Sc. (Engineering),
Prof. VSAU, Volgograd
A. M. Ivanov – D. Sc. (Engineering), Prof.,
MADI, Moscow
V. V. Korotaev – D. Sc. (Engineering), Prof.,
ITMO University, St. Petersburg
O. G. Kotiev – D. Sc. (Engineering), Prof.,
BMSTU, Moscow
A. A. L'vov – D. Sc. (Engineering), Prof.,
SSTU, Saratov
M. Clemens – D. Sc. (Engineering), Prof.,
University of Stuttgart, Germany
V. A. Markov – D. Sc. (Engineering), Prof.,
BMSTU, Moscow
A. V. Navrotsky – D. Sc. (Chemistry), Prof.,
VSTU, Volgograd
B. V. Skvortsov – D. Sc. (Engineering), Prof.,
Samara University, Samara
O. A. Tishin – D. Sc. (Engineering), Prof.,
VSTU, Volgograd
E. A. Fedyanov – D. Sc. (Engineering), Prof.,
VSTU, Volgograd
V. M. Shapovalov – D. Sc. (Engineering),
Prof., VSTU, Volgograd
V. M. Sharipov – D. Sc. (Engineering),
Prof., UMeCh, Moscow
A. N. Shilin – D. Sc. (Engineering),
Prof., VSTU, Volgograd

Executive Secretary
Yu. V. Aristova – PhD, Associate Prof.

The journal is distributed by subscription.
Index of the journal in the catalogue
of the Agency «Rospechat» for the Russian
Federation – 94193(OK+OK).

VSTU Publisher tel.:

+7 (8442) 24-84-06,
fax: +7 (8442) 24-84-06,
e-mail: otr@vstu.ru

© Volgograd State Technical University,
«Energo- e resursosberezhenie: promyshlennost' i transport», 2019

Energo- i resursosberezhenie: Promyshlennost' i transport (Energy and Resource Saving: Industry and Transport) science-technical journal

Journal is registered in the Federal Service for supervision
of communications, information technology and mass media
(Roscomnadzor) registration certificate:
ПИ .N° (ФЦ77-64543, registration date: 22 January 2016

№ 2 (27)
June
2019

FOUNDER:

**Federal State Budgetary Educational Institution of Higher
Education «Volgograd State Technical University»**

Periodicity: four times per year

Editorial office address:

Russia, 400005, Volgograd, Lenin avenue, 28. Editor-In-Chief:
tel.: +7 (8442) 23-00-76 e-mail: rector @vstu.ru

Executive Secretary: +7 (8442) 24-84-31 e-mail:
pahp@vstu.ru

Official website: www.vstu.ru

Published by the decision of editorial review board of Volgograd State
Technical University

***The copyright for the journal in general belongs to the Founder, for separate
articles – retained by the authors.***

*Reprint from the journal «Energo- i resursosberezhenie: promyshlennost'
i transport » is strongly forbidden -without conclusion of an agreement in accord-
ance with the current legislation of the Russia Federation.*

*When reprint the materials, the citation to the journal «Energo- i
resursosberezhenie: promyshlennost' i transport» is obligatory*

The articles are published for free.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Астунин С. К. 57
Беленков П. Г. 50
Бобров П. М. 50
Бондаренко Н. Е. 10
Водопьянов М. М. 50
Дементьев С. С. 6, 28
Дикарев П. В. 6, 31
Зайнутдинова Л. Х. 17
Иванов В. А. 13
Коняшов В. В. 44
Коптелова И. А. 20
Кузнецова Н. С. 28

Латышов К. В. 10
Макаров А. М. 31
Макартичан С. В. 40
Мустафа М. Н. 36
Нефедьев А. И. 54, 57
Сапрыкина Д. А. 24
Сницарук Д. Г. 44, 50
Стрижиченко А. В. 10, 13
Халяпин В. В. 60
Хлебцов А. П. 17, 20
Шилин А. А. 24, 28
Шилин А. Н. 36

AUTHOR INDEX

Astunin S. K. 57
Belenkov P. G. 50
Bobrov P. M. 50
Bondarenko N. E. 10
Dement'ev S. S. 6, 28
Dikarev P. V. 6, 31
Halyapin V. V. 60
Ivanov V. A. 13
Khlebtsov A. P. 17, 20
Konyashov V. V. 44
Koptelova I. A. 20
Kuznetsova N. S. 28

Latyshov K. V. 10
Makarov A. M. 31
Makartichyan S. V. 40
Mustafa M. N. 36
Nefed'ev A. I. 54, 57
Saprykina D. A. 25
Shilin A. A. 25, 28
Shilin A. N. 36
Snitsaruk D. G. 44, 50
Strizhichenko A. V. 10, 13
Vodopyanov M. M. 50
Zaynutdinova L. H. 17

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Дементьев С. С., Дикарев П. В.</i> «Умные» электромеханические системы в электроэнергетике.....	6
<i>Бондаренко Н. Е., Латышов К. В., Стрижиченко А. В.</i> Влияние высших гармонических составляющих напряжения на потери мощности в трансформаторе.....	10
<i>Иванов В. А., Стрижиченко А. В.</i> Обзор эффективности внедрения современных методов стабилизации диэлектрических масел.....	13
<i>Хлебцов А. П., Зайнутдинова Л. Х.</i> Анализ состояния износа электрооборудования подстанций и методы диагностирования аварийных режимов.....	17
<i>Хлебцов А. П., Коптелова И. А.</i> Экспертная система диагностики силовых трансформаторов.....	20
<i>Шилин А. А., Сапрыкина Д. А.</i> Анализ источников коммерческих потерь в энергосистеме.....	24
<i>Шилин А. А., Кузнецова Н. С., Дементьев С. С.</i> Математическое моделирование процессов прохождения прямоугольных импульсов в линиях с распределенными параметрами.....	28
<i>Дикарев П. В., Макаров А. М.</i> Расчет эффективности когенерационной электромеханической системы с адаптивной системой управления.....	31
<i>Шилин А. Н., Мустафа М. Н.</i> Тенденции и перспективы развития низкочастотных электромеханических вибропреобразователей.....	36
<i>Макартичан С. В.</i> Методика оценки погрешности определения тепловых потерь методом тепловой волны.....	40
<i>Сницарук Д. Г., Коняшов В. В.</i> Лабораторный стенд для исследования цифровых систем обработки информации на базе микроконтроллера STM32.....	44
<i>Сницарук Д. Г., Беленков П. Г., Бобров П. М., Водопьянов М. М.</i> Установка для испытания материалов на горючесть при локальном воздействии нагревательным элементом.....	50
<i>Нефедьев А. И.</i> Формирователь импульсов для электронной системы зажигания автомобиля.....	54
<i>Астунин С. К., Нефедьев А. И.</i> Ультразвуковая ванна.....	57
<i>Халяпин В. В.</i> Влияние зон разгрузки на состояние изоляционного покрытия магистрального газопровода.....	60

CONTENTS

<i>Dement'ev S. S., Dikarev P. V.</i> SMART ELECTROMECHANICAL SYSTEMS IN ELECTRIC ENERGY	6
<i>Bondarenko N. E., Latyshov K. V., Strizhichenko A. V.</i> THE INFLUENCE OF HIGHTER HARMONIC VOLTAGE COMPONENTS ON THE POWER LOSS IN A TRANSFORMER.....	10
<i>Ivanov V. A., Strizhichenko A. V.</i> REVIEW OF THE EFFECTIVENESS OF THE INTRODUCTION OF MODERN METHODS OF STABILIZATION OF DIELECTRIC OILS.....	13
<i>Khlebtsov A. P., Zaynutdinova L. H.</i> ANALYSIS OF THE CONDITION OF WEAR OF ELECTRICAL EQUIPMENT OF SUBSTANCES AND METHODS OF DIAGNOSTING EMERGENCY MODES.....	17
<i>Khlebtsov A. P., Koptelova I. A.</i> EXPERT DIAGNOSTIC SYSTEM FOR POWER TRANSFORMERS.....	20
<i>Shilin A. A., Saprykina D. A.</i> THE ANALYSIS OF THE SOURCES OF COMMERCIAL LOSSES IN THE POWER SYSTEM.....	25
<i>Shilin A. A., Kuznetsova N. S., Dementiev S. S.</i> MATHEMATICAL MODELING OF RECTANGULAR PULSE PROCESSES IN LINES WITH DISTRIBUTED PARAMETERS.....	28
<i>Dikarev P. V., Makarov A. M.</i> COGENERATION ELECTROMECHANICAL SYSTEM WITH ADAPTIVE CONTROL SYSTEM.....	31
<i>Shilin A. N., Mustafa M. N.</i> TENDENCIES AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF LOW-FREQUENCY ELECTROMECHANICAL VIBRO-CONVERTERS.....	36
<i>Makartichyan S. V.</i> METHODOLOGY FOR HEAT LOSSES ERROR ESTIMATING BY HEAT WAVE METHOD.....	40
<i>Snitsaruk D. G., Konyashov V. V.</i> LABORATORY BENCH FOR THE STUDY OF DIGITAL INFORMATION PROCESSING SYSTEMS BASED ON THE STM32 MICROCONTROLLER...	44
<i>Snitsaruk D. G., Belenkov P. G., Bobrov P. M., Vodopyanov M. M.</i> INSTALLATION FOR TESTING MATERIALS FOR FLAMMABIL-ITY TESTING METHOD OF A HEATED WIRE.....	50
<i>Nefed'ev A. I.</i> PULSE FORMERS FOR ELECTRONIC IGNITION SYSTEM OF CAR.....	54
<i>Astunin S. K., Nefed'ev A. I.</i> ULTRASONIC BATH.....	57
<i>Halyapin V. V.</i> INFLUENCE OF UNLOADING ZONES ON THE CONDITION OF THE INSULATING COATING OF THE MAIN GAS PIPELINE.....	60

С. С. Дементьев, П. В. Дикарев

**«УМНЫЕ» ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ
В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ***

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: dikarev.pavel@mail.ru

Снижение аварийности воздушных линий электропередачи (ВЛЭП) является одним из приоритетных направлений развития электроэнергетики. Надежность воздушных линий зависит от большого количества различных факторов, среди которых следует выделить экстремальные климатические нагрузки, приводящие к частым отказам ВЛЭП из-за обрыва проводов. Оперативное распознавание аварийных режимов линии, локализация неисправности и изоляция поврежденного участка сети являются основой оперативного восстановления электроснабжения. При внедрении интеллектуальных электрических сетей, одной из основных проблем является повышение достоверности срабатывания устройств релейной защиты при аварийных режимах. Это обусловлено тем, что на ток короткого замыкания, а следовательно, и на уставку влияет большое число внешних факторов, таких как влажность земли и атмосферы, температура внешней среды, состояние почвы, рельеф местности и т. д. Для успешного решения этой задачи предлагается использование «умной» электромеханической системы (SEMS), а именно устанавливаемого на опоре ВЛЭП коммутационного устройства, совмещенного с нейрокомпьютерным блоком обработки информации. Нейрокомпьютер на основе обработки информации с датчиков тока, напряжения и сенсоров метеопараметров и в случае аварии осуществляет управление переключением линий электропередачи. Отличие SEMS от обычного вакуумного выключателя с электроприводом с постоянной уставкой заключается в автоматической коррекции значения уставки, которое зависит от внешних факторов. Цель исследования: разработка алгоритма функционирования силового выключателя с нейрокомпьютером, обеспечивающим надежное срабатывание выключателя для отключения поврежденного участка ВЛЭП от сети. Предложена концепция SEMS в виде информационно-измерительной и управляющей системы, совмещенной с вакуумным коммутирующим устройством и предполагающей использование блока обработки информации, выполненного на базе искусственной нейронной сети. Современные коммутационные устройства, реализованные на жесткой логике с постоянным значением уставки, не обладают возможностью адаптации к условиям внешней среды. Внедрение SEMS как элемента в составе «интеллектуальной» сети (smart grid) позволит повысить надежность систем электроснабжения за счет сокращения времени восстановления аварий.

Ключевые слова: надежность электроснабжения, электрические сети, аварии ВЛЭП, определение места повреждения (ОМП) ВЛЭП, «умные» электромеханические системы (SEMS), искусственные нейронные сети, интеллектуальные электрические сети.

S. S. Dement'ev, P. V. Dikarev

SMART ELECTROMECHANICAL SYSTEMS IN ELECTRIC ENERGY

Volgograd State Technical University

Reducing the accident rate of overhead power lines (OPL) is one of the priority areas for the development of the power industry. The reliability of overhead lines depends on a large number of different factors, among which extreme climatic loads should be distinguished, leading to frequent failures of OPL due to wire breaks. The operative recognition of the emergency modes of the line, the localization of the fault and the isolation of the damaged site of the network are the basis for the operative restoration of power supply. When introducing smart grids, one of the main problems is to increase the reliability of operation of relay protection devices during emergency operation. This is due to the fact that a large number of external factors, such as the humidity of the earth and the atmosphere, ambient temperature, soil conditions, terrain, etc., affect the short-circuit current and the setpoint. For the successful solution of this task, the use of a smart electromechanical system (SEMS) is proposed, namely, a switching device mounted on an overhead transmission line support, combined with a neurocomputer information processing unit. Based on information processing from current sensors, voltage, and meteorological sensors, the neurocomputer also controls the switching of power lines in the event of an accident. The difference between the SEMS and the conven

© Дементьев С. С., Дикарев П. В., 2019

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-47-340002. В работе представлены результаты исследований, выполненных по программе Erasmus+ № 573879-EPP-1-2016-1-FREPPKA2-CBHE-JP «Internationalization of master Programs In Russia and China in Electrical engineering».

tional motorized vacuum switch with a constant set point is the automatic correction of the set value, which depends on external factors. The purpose of the research: development of an algorithm for the operation of a circuit breaker with a neurocomputer, which ensures reliable operation of the circuit breaker to disconnect the damaged section of the power lines from the network. The concept of SEMS is proposed in the form of an information-measuring and control system combined with a vacuum switching device and involving the use of an information processing unit based on an artificial neural network. Modern switching devices implemented on a rigid logic with a constant setpoint value do not have the ability to adapt to environmental conditions. The introduction of SEMS as an element in the smart grid will improve the reliability of power supply systems by reducing the time to disaster recovery.

Keywords: reliability of power supply, electrical networks, accidents of OPL, Determination of damage location (DDL) of OPL, smart electromechanical systems (SEMS), artificial neural networks, intelligent electric networks.

Введение

Основной показатель энергетической системы страны является ее надежность, а самым ненадежным элементом энергосистемы – воздушные линии электропередачи (ВЛЭП) из-за их большой протяженности и влияния на них различных внешних воздействий. В городских сетях около 85 % отключений приходится на долю ЛЭП, а в сельских сетях – 90–95 %. Отказом ЛЭП называется всякое вынужденное отключение при ее повреждениях. Причинами аварий могут быть природные условия, а также человеческий фактор [1]. Поэтому оперативность определения вида аварийного режима ВЛЭП и отключения линии или переключение потребителей на резервную линию позволяет сократить время простоя и тем самым повысить показатель надежности – коэффициент готовности или вероятность безотказной работы.

В настоящее время во многих развитых странах мира ведутся работы по созданию интеллектуальных электрических сетей (Smart Grid). Интеллектуальные сети представляют комплекс технических средств, работающих в автоматическом режиме и выявляющих наиболее слабые и аварийно опасные участки сети. В случае необходимости эти сети изменяют характеристики и схему сети с целью предотвращения аварии и снижения потерь. Интеллектуальные сети основаны на идеи о параллелизме передачи потоков электроэнергии и информации [1] и на использовании современных информационно-измерительных и управляющих систем. Одним из основных элементов интеллектуальные сети являются устройства релейной защиты и автоматики, которые в настоящее время не позволяют обеспечить надежность срабатывания релейной защиты.

Как известно, у реле защиты (РЗ) имеется два вида отказов: так называемые «несрабатывания» и «излишние срабатывания». Для предотвращения «несрабатывания» РЗ используют дублирование реле защиты, а именно для ответственных объектов применяют резервное реле,

включенное в другой точке системы электроснабжения, которое позволяет компенсировать ущерб от несрабатывания первого реле защиты. При втором виде отказов [2] возникает другая ситуация, при которой неисправное реле защиты в результате излишнего срабатывания может выдать ложную команду на отключение выключателя и тем самым искусственно вызвать прекращение нормального функционирования системы электроснабжения. При этом происходит не только отключение тысяч потребителей, сопровождающееся большим ущербом, сопоставимым по своим последствиям с аварийным режимом в системе электроснабжения, но и возникает опасность крупной системной аварии, вызванной внезапными перетоками мощностей в сложной и разветвленной энерго-системе [3].

Токовые защиты электрических систем от короткого замыкания

Для выявления и отключения аварийных участков используются устройства релейной защиты. Непрерывный мониторинг всех элементов энергетической системы с реакцией на появление повреждений и аварийные режимы есть главные функции релейной защиты.

Основные характеристики микропроцессорных защит значительно выше, чем у микроэлектронных, а тем более электромеханических. Так, мощность, потребляемая от измерительных трансформаторов тока и напряжения, находится на уровне 0,1–0,5 ВА, аппаратная погрешность – в пределах 2–5 %, коэффициент возврата измерительных органов составляет 0,96–0,97.

В электрических цепях энергосистемы устанавливаются специальные выключатели. Они выполняют отключение токов, которые появляются в результате повреждений и аварий. Защита должна определить участок с повреждением и воздействием на ближайший выключатель, который способен отключить участок от энергосистемы выполнить отключение [4].

Однако отключения – это не единственное назначение релейной защиты. Защитные устройства должны различать свойства нарушения

и по возможности либо автоматически выполнять действия для того, чтобы нормальный режим в энергосистеме был восстановлен, либо сигнализировать соответствующим службам,

которые смогут принять необходимые меры по этому нарушению. Типовая схема релейной защиты показана на рис. 1.

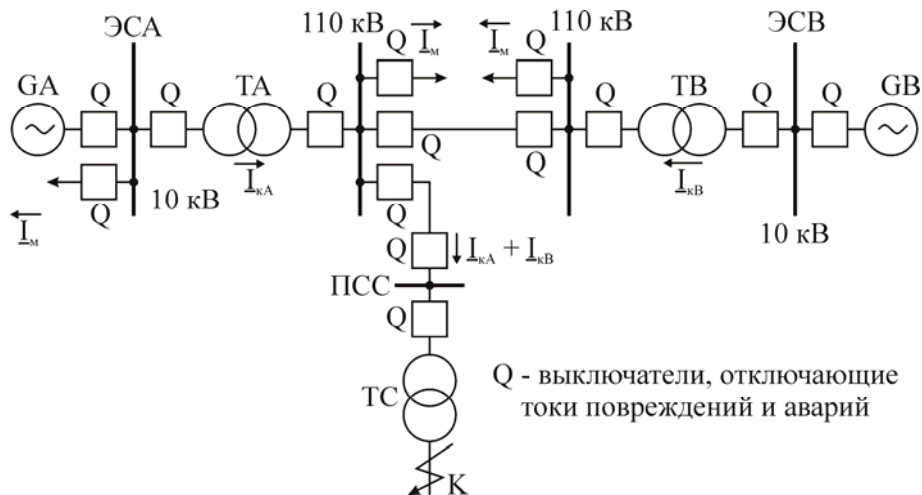


Рис. 1. Типовая схема релейной защиты

Критерии «интеллектуальности» релейной защиты

Понятие «интеллектуальная релейная защита» известно с конца 1990-х гг., при этом смысл, который вкладывается в данное определение, на протяжении последних лет изменялся не раз. Как отмечается в [5], на сегодняшний день в подавляющем большинстве случаев указанный термин используется для характеристики выпускаемых микропроцессорных устройств защиты. В ряде публикаций можно встретить суждение о том, что микропроцессорные устройства являются интеллектуальными системами, поскольку путем модернизации программного обеспечения и применения более перспективных алгоритмов имеют потенциал дальнейшего совершенствования и расширения функциональности [5].

Однако повысить эффективность работы устройства лишь посредством обновления его программного обеспечения и без связи с внешней средой невозможно. Для повышения интеллектуальности релейной защиты разработана «умная опора», которая представляет собой «умную» электромеханическую систему (SEMS) противоаварийной автоматики (рис. 2).

Опора воздушной линии электропередачи (ВЛЭП) оснащена коммутационным устройством, управляемым нейрокомпьютерным блоком обработки информации, получаемой с датчиков тока, напряжения и сенсоров метеопараметров.

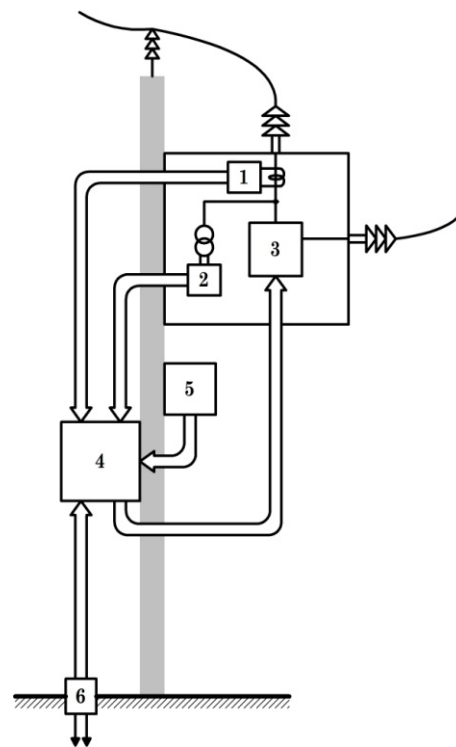


Рис. 2. Схема «умной» опоры:

1 – датчики тока; 2 – датчики напряжения; 3 – электромеханический блок коммутации; 4 – блок обработки информации; 5 – блок метеодатчиков (автоматическая метеостанция); 6 – датчик проводимости грунта

«Приспособляемость» устройства к условиям внешней среды. При проектировании релейной защиты классической конфигурации вне зависимости от типа применяемого реле (микропроцессорного или механического) исполь-

зуются усредненные данные о проводимости грунта, физических свойствах проводников и атмосферных условий, при этом значения данных показателей принимаются неизменными. Подобное допущение является причиной некорректного функционирования защиты, а именно ложного отключения линии или, напротив, несрабатывания вследствие несоответствия уставок защиты текущему состоянию электрической цепи короткого замыкания. В качестве примера приведем организацию максимальной токовой защиты (МТЗ), неадаптивной к внешним условиям эксплуатации.

В радиальной сети с односторонним питанием (рис. 3) МТЗ устанавливается на каждой линии. Защита наиболее удаленной от источника питания (ИП) линии имеет наименьший ток

срабатывания и наименьшую выдержку времени. Защита каждой последующей линии имеет выдержку времени большую, чем у предыдущей защиты. Например, при коротком замыкании (КЗ) в точке КЗ ток КЗ проходит по всем участкам сети, расположенным между источником и местом повреждения. В результате приходят в действие все защиты, расположенные на этом участке (1, 2, 3). Однако по условию селективности должна сработать только защита 3, установленная на поврежденной линии. При выполнении МТЗ с выдержками времени, нарастающими от потребителя к источнику, раньше других сработает защита 3, произведя отключение линии W3, а защиты 1, 2 вернутся в начальное положение, не успев подействовать на отключение.

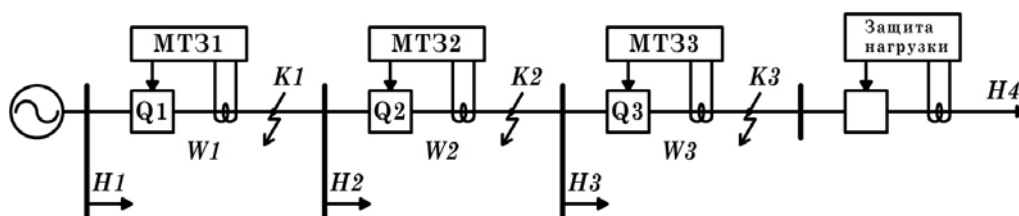


Рис. 3. Схема МТЗ сети с односторонним питанием

Применение в составе SEMS противоаварийной автоматики накладного модуля измерения температуры провода требует организации беспроводного канала связи между блоком обработки информации и датчиком, а также его электропитания. Температура провода зависит от протекающего по нему тока и атмосферных условий: температуры воздуха, скорости и направления ветра, солнечной радиации. Изменение погонных параметров воздушной линии требует обновления ее имитационной модели и соответствующего «переобучения» блока обработки информации (БОИ) через определенные промежутки времени с заданной дискретностью. В связи с этим органичным выглядит реализация БОИ в виде нейрокомпьютера, обученного на распознавание вида аварийных режимов и расстояния до неисправности [6]. Имитируя низкоуровневую структуру мозга, искусственная нейросеть (ИНС) также обладает способностью к обобщению полученных в результате «обучения» данных.

Таким образом, изображенная на рис. 2 SEMS противоаварийной автоматики отличается от реклоузера классической конструкции наличием датчиков метеопараметров, а также применением нейрокомпьютерного блока обработки информации.

Самодиагностика и взаимодействие нескольких устройств

Автоматическая диагностика состояния SEMS подразумевает обнаружение неисправностей линий связи в системе управления электромагнитным приводом выключателя, а также проверку системы его электропитания.

На сегодняшний день известно большое количество способов самодиагностики системы управления электроприводом, которые условно можно разделить на две группы: подразумевающих выявление скрытых дефектов, например, обрыв линии связи, при помощи бесконтактных и контактных датчиков сбоя, а также посредством последовательной подачи и анализа тестовых сигналов [7]. Для питания быстродействующих приводов электрических аппаратов используются емкостные накопители энергии (ЕНЭ), позволяющие получать импульсы тока большой амплитуды (10 кА и выше), в связи с этим существует объективная необходимость наличия датчиков заряда, целостности питающей линий, состояния аккумуляторной батареи. Целостность обмотки электропривода проверяется при кратковременной подаче на нее напряжения и контроле ее оттекания током.

Необходимость взаимодействия нескольких устройств противоаварийной автоматики про-

диктована не только потребностью более точного имитационного моделирования электрической сети, с учетом изменяющегося и неравномерного распределения климатического воздействия на ВЛЭП, но и возможностью оперативного переконфигурирования структуры релейной защиты сети при неисправности ее компонента на каком-либо участке – а именно, включения в основную зону, защищаемую более близкой к источнику питания сети SEMS, резервной.

Выводы

В современных коммутационных устройствах реализованный на жесткой логике блок обработки информации и управления приводом выключателя не обладает возможностью адаптации к условиям внешней среды, что является причиной ненадежности срабатывания устройства защиты. Предлагаемая «умная» электро-механическая система (SEMS) лишена этого недостатка за счет применения нейрокомпьютера, изменяет значение уставки релейной защиты по измеренной информации параметров влияющих факторов. «Умная опора», содержащая группу электро-механических систем (SEMS) противоаварийной автоматики, позволяет обеспечить нормальное групповое взаимодействие блоков максимальной токовой защиты (МТЗ) и, соответственно, повысить точность

регистрации аварийных режимов. Внедрение SEMS как элемента в составе «интеллектуальной» сети (*smart grid*) позволит повысить надежность систем электроснабжения за счет сокращения времени восстановления аварий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анищенко, В. А. Надежность систем электроснабжения: Учеб. пособие / В. А. Анищенко. – Мн.: УП «Технопринт», 2001. – 160 с.
2. Гуревич, В. И. Вопросы философии в релейной защите / В. И. Гуревич // Мир техники и технологии. – 2013. – № 1.
3. Ахмедова, О. О. Анализ ошибок срабатывания систем релейной защиты в энергетике / Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. – 2016. – № 3(15). – С. 19–22.
4. Дикарев, П. В. Релейная защита: состояние, проблемы, перспективы развития / П. В. Дикарев, О. О. Ахмедова // Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. – 2018. – № 4 (25) Декабрь. – 10–13.
5. Лачугин, В. Принципы построения интеллектуальной релейной защиты электрических сетей / В. Лачугин и др. // Известия Академии наук. Энергетика. – 2015. – Вып. 4. – С. 28–37.
6. Дементьев, С. С. Диагностика состояния воздушных линий электропередачи с применением нейрокомпьютера / С. С. Дементьев // Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. – 2017. – Вып. 2 (19). – С. 21–26.
7. Осипов, О. И. «Техническая диагностика автоматизированных электроприводов / О. И. Осипов. – Москва: Энергоатомиздат, 1991.

УДК 621.311.1

Н. Е. Бондаренко, К. В. Латышов, А. В. Стрижиченко

ВЛИЯНИЕ ВЫСШИХ ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЯ НА ПОТЕРИ МОЩНОСТИ В ТРАНСФОРМАТОРЕ

Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» (г. Волжский)

E-mail: bondarenkonatali1999@mail.ru

Рассмотрена проблема влияния искажения синусоидальной формы кривой напряжения на потери мощности в силовом трансформаторе; определены доли мощности потерь, обусловленные искажением качества электроэнергии.

Ключевые слова: качество электроэнергии, высшие гармонические составляющие напряжения, потери мощности в трансформаторе.

N. E. Bondarenko, K. V. Latyшов, A. V. Strizhichenko

THE INFLUENCE OF HIGHTER HARMONIC VOLTAGE COMPONENTS ON THE POWER LOSS IN A TRANSFORMER

Moscow Power Engineering Institute Branch in Volzhsky

In this paper the problem of the influence of the distortion of a sinusoidal voltage curve on the power loss in a power transformer is considered; the proportion of power loss due to power quality distortion are determined.

Keywords: power quality, higher harmonic voltage components, power loss in transformer.

Введение

Электроэнергетическая система является той электромагнитной средой, в которой электромагнитные помехи (ЭМП) создаются, распространяются и воздействуют на электроприемники (ЭП). В свою очередь, ЭП сами являются источниками ЭМП. Таким образом, качество электроэнергии (КЭ) – это совокупность свойств, которые характеризуют систему электроснабжения по уровню помех, называемых показателями качества электроэнергии (ПКЭ). Так же под качеством электроэнергии понимают степень соответствия характеристик электрической энергии в данной точке электрической системы совокупности нормированных показателей. ПКЭ регламентированы ГОСТ 32144-2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». Отклонения показателей качества электроэнергии от нормируемых значений являются причиной дополнительных потерь мощности в элементах системы электроснабжения, дополнительного нагрева обмоток электрических машин, сокращения срока службы электрооборудования.

На КЭ в системе электроснабжения влияют следующие факторы:

- схемы сети, включая систему заземления установок;
- параметры элементов системы электроснабжения, включая воздушные линии, трансформаторы, электроприемники, измерительные

преобразователи и компенсирующие установки;

- параметры электроприемников, являющихся источниками помех, схемы их соединения и режимы работы.

Для элементов систем распределения электроэнергии характерно наличие потерь, в частности, экономичность работы трансформатора в первую очередь определяется потерями мощности в нем. Для оценки эффективности передачи и распределения электроэнергии при ухудшенном КЭ необходимо учитывать ее дополнительные потери. Дополнительными потерями в трансформаторах являются потери мощности от искажений синусоидальности напряжений, которые в свою очередь обусловлены функционированием ЭП с нелинейной вольт-амперной характеристикой. Причиной таких потерь могут быть высшие гармоники напряжений, отклоняющиеся от нормально допускаемого предела (НДП) и предельно допускаемого значения (ПДП). Для выявления доли мощности потерь, обусловленной наличием высших гармонических составляющих, были сняты суточный график работы трансформатора ТМ-250 6/0,4 и измерены показатели качества электроэнергии (ПКЭ) при помощи анализатора качества электроэнергии Энергомонитор 3.3 Т1. Исследуемым параметром были коэффициенты n -й гармонической составляющей напряжения, нормируемые для первых 40 гармоник, по трем фазам. На рис. 1 представлены результаты измерений в виде гистограммы. Пунктирными линиями показаны значения НДП и ПДП.

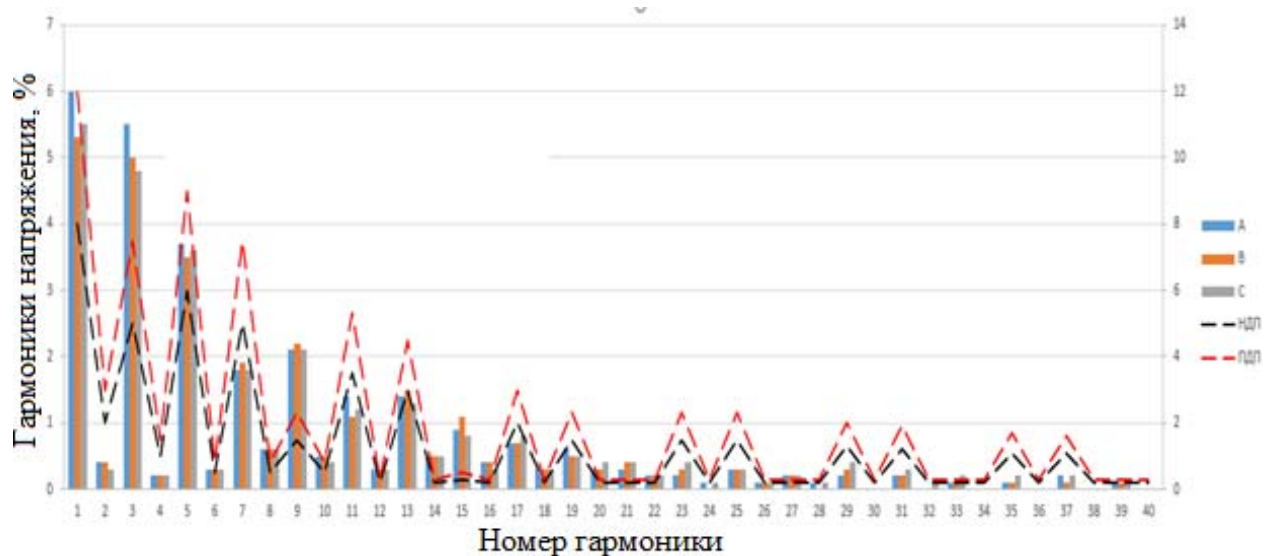


Рис. 1. Результаты измерений ПКЭ

Суточный график нагрузки трансформатора представлен на рис. 2.

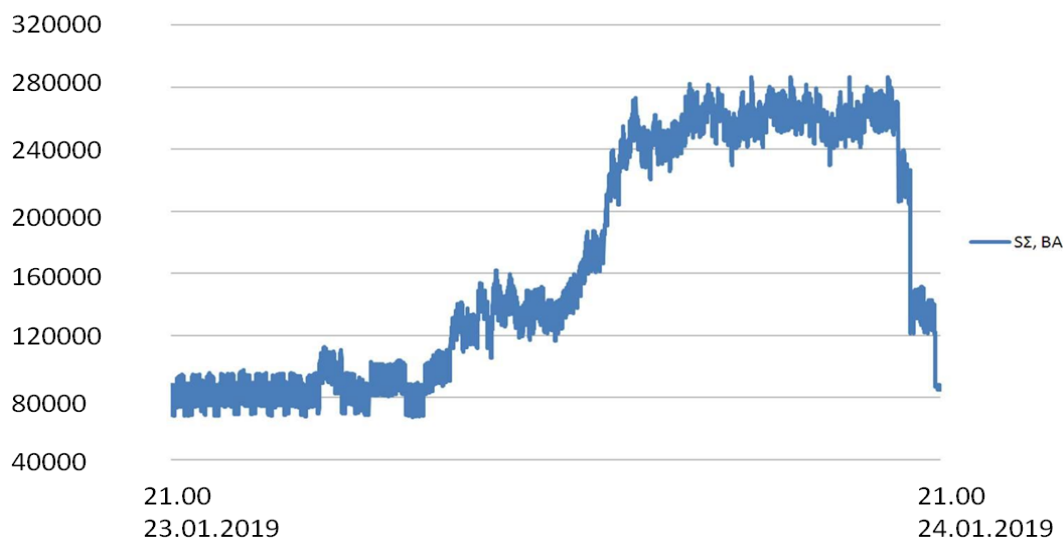


Рис. 2. Суточный график нагрузки трансформатора

Проинтегрировав график нагрузки трансформатора и поделив получившееся значение на количество часов в сутках, получили, что средняя потребляемая мощность $\Sigma S = 158,5$ кВА.

Дополнительные потери можно рассчитать по формуле [1]:

$$\delta P_T = \frac{S_{T,ном}}{10^{-4}} \cdot k_2 \cdot \sum_{\theta=2}^{\infty} \frac{1+0,05 \cdot \theta^2}{\theta \sqrt{\theta}} \cdot U_{\theta}^2 \quad (1)$$

где $k_2 = 0,3$; U_{θ} – напряжение θ -й гармоники, %; $S_{T,ном}$ – номинальная мощность трансформатора.

Так как полученный результат представлен в виде потерь активной мощности, необходимо поделить значение на коэффициент мощности для перевода из кВт в кВА.

Для трансформатора, через который проходят ток нагрузки I_2 и мощность S_2 , потери мощности рассчитываются по формулам (2)–(4):

$$\Delta P = \Delta P_x + \frac{\Delta P_k \cdot S_2^2}{S_{T,ном}^2} \quad (2)$$

$$\Delta Q = \frac{i_x \% \cdot S_{T,ном}}{100} + \frac{u_k \% \cdot S_2^2}{100 \cdot S_{T,ном}} \quad (3)$$

$$\Delta S = \sqrt{\Delta P^2 + \Delta Q^2} \quad (4)$$

где ΔP_x – потери холостого хода, Вт; ΔP_k – потери короткого замыкания, Вт; $S_{T,ном}$ – номинальная мощность трансформатора; i_x – ток холостого хода, %; u_k – напряжение короткого замыкания, %.

В результате получается, что $\delta S_T = 3519$ ВА, $\Delta S = 9090$ ВА.

Полученные потери мощности в трансформаторе и потери, обусловленные искажением синусоидальной формы кривой напряжения,

в процентном соотношении от общей мощности нагрузки представлены на рис. 3.

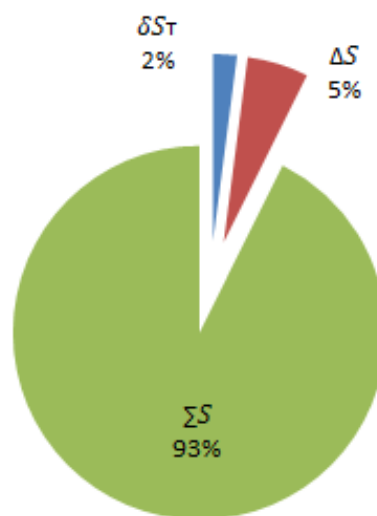


Рис. 3. Потери мощности в трансформаторе

Потери электроэнергии являются индикатором эффективности энергоснабжающих предприятий. Этот индикатор показывает, что в настоящее время проблема потерь энергии не устранена и требует решения. Высшие гармонические составляющие напряжения влияют на качество электроэнергии и приводят к дополнительным потерям мощности, а также дополнительному нагреву.

Снизить уровни высших гармоник до допустимых значений, нормируемых ГОСТ, позволяет применение фильтров. Также необходимо принимать меры по систематическому

контролю соответствия норм отклонения показателей качества электроэнергии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Железко, Ю. С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов / Ю. С. Железко. – М.: ЭНАС, 2009. – 456 с.

2. Идельчик, В. И. Электрические системы и сети: Учебник для вузов / В. И. Идельчик. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 592 с.

3. Карташев, И. И. Управление качеством электроэнергии / И. И. Карташев, В. Н. Тульский, Р. Г. Шамонов и др.; под ред. Ю. В. Шарова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 320 с.

УДК 621.577.2

В. А. Иванов, А. В. Стрижиченко

ОБЗОР ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ СТАБИЛИЗАЦИИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАСЕЛ

Филиал ФГБОУВО «НИУ «МЭИ» (г. Волжский)

E-mail: Strijichenko@yandex.ru

Рассмотрена проблема отработанных нефтяных масел, проведен обзор современных методов очистки, стабилизации и регенерации диэлектрических масел. Проведена оценка эффективности методов очистки (стабилизации) трансформаторного масла, методом «срока окупаемости».

Ключевые слова: отработанные масла, методы стабилизации и регенерации трансформаторного масла.

V. A. Ivanov, A. V. Strizhichenko

REVIEW OF THE EFFECTIVENESS OF THE INTRODUCTION OF MODERN METHODS OF STABILIZATION OF DIELECTRIC OILS

Moscow Power Engineering Institute Branch in Volzhsky

In this paper the problem of waste oil is considered, review of modern methods of purification, stabilization and regeneration of dielectric oils is carried out. Evaluation of the effectiveness of purification methods (stabilization) of transformer oil, using the “payback period” method is carried out.

Keywords: waste oil, methods of stabilization and regeneration of transformer oil.

Нефтяные масла получили широкое и разнообразное применение при эксплуатации современной техники в различных областях промышленности. С каждым годом увеличиваются объемы потребления смазочных материалов и, как следствие, объемы отработанных масел. Отработанные нефтепродукты токсичны, имеют низкую степень биоразлагаемости и являются опасными отходами, которые подлежат обязательному сбору и утилизации, а в отдельных случаях – уничтожению. Так, в 2018 году, по данным «Ассоциации Рециклинга Отходов», объем потребления масел в России составил порядка 2,5 млн тонн, отработанных масел образовалось более 1,2 млн тонн. И только 500 тысяч тонн, исходя из экологической отчетности Росприроднадзора, официально проходит по документам отходаобразующих предприятий, а из 1,2 млн тонн на глубокий рециклинг попадают лишь 5 %.

Несмотря на активное содействие контрольно-надзорных органов, а также всех участников рынка сбора, переработки и утилизации отработанных масел и смазочных материалов, ежегодно тысячи тонн отработанного масла нелегально сбрасываются в почву и водоемы, что несомненно приводит к экологическим проблемам.

Для многих предприятий топливно-энергетического комплекса, имеющих в своем составе большое количество маслonaполненного оборудования, остро стоит вопрос утилизации отработанного масла. В частности, вопросы по замене больших объемов отработанного масла, возможности его сбора, транспортировки и хранения, высокой стоимости свежего масла.

Исходя из существующих проблем следует предложить возможности выхода из сложившейся ситуации, провести оценку энерго- и ресурсоэффективности методов очистки (стабили-

лизации) трансформаторного масла, методом «срока окупаемости». Определить возможность экономической выгоды для предприятий с использованием данных методов.

Возможным выходом из сложившейся ситуации и решением данных проблем является внедрение новых технологий и методов очистки (стабилизации) и дальнейшей регенерации отработанных масел, с целью полного восстановления их первоначальных свойств непосредственно внутри предприятий ТЭК. Наибольшую часть отработанных масел составляют трансформаторные масла.

Трансформаторное масло предназначено для изоляции находящихся под напряжением частей и узлов силового трансформатора, отвода тепла от нагреваемых при работе трансформатора частей, а также предохранения изо-

ляции от увлажнения. Трансформаторные масла выполняют функции дугогасящей среды. Эксплуатационные свойства трансформаторного масла определяются его химическим составом, который зависит главным образом от химического состава сырья и применяемых способов его очистки. В процессе эксплуатации протекает процесс «старения» масла, изменения его химико-физических свойств. Для различного маслonaполненного оборудования разных уровней напряжения применяют разные по классу чистоты трансформаторные масла (см. таблицу). Класс чистоты определяется числом частиц загрязнителя в объеме жидкости, равной $(100 \pm 0,5) \text{ см}^3$, и размером этих частиц в мкм., при котором их количество не превышает определенных значений. Значения нормируются ГОСТ 17216-01.

Требования к классам чистоты трансформаторного масла

Напряжение, кВ	6–10	35–110	220–750
Класс чистоты масла	не более 14	не более 12	не более 9

Частицы, имеющие размер менее 5 мкм, являются наиболее опасными для трансформатора (при этом содержание их составляет примерно 80 % от общего числа загрязнителей в масле) и в основном являются продуктами окисления масла. Эти загрязнители полярны и имеют свойство притягиваться и налипать на внутренние поверхности трансформатора, что препятствует выходу воды, образующейся внутри бумажной изоляции обмоток и тем самым ускоряет процесс разрушения изоляции, препятствуют процессу теплообмена между обмотками трансформатора и маслом, увеличивая температуру наиболее нагретой точки трансформатора, и в следствие снижают допустимую нагрузку на трансформатор.

Достижение того или иного класса чистоты масла достигается использованием различных способов его очистки (стабилизации) и регенерации.

В настоящий момент научные институты и лаборатории, как, например, РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, ВНИИ НП, ООО НПО «РосТехЭнерго», ООО «МикронИнтер Сибирь», ОАО «НТЦ Электроэнергетика» и другие работают над созданием новых и усовершенствованием уже имеющихся методов очистки и регенерации и предлагают показавшие на практике высокую степень эффективности методы очи-

стки как трансформаторных, так и турбинных масел, как например:

- метод, состоящий в пропускании масла через электрическое поле сложной конфигурации, при котором полярные частицы осаждаются на электроды;
- сушка распылением в вакууме;
- различные методы фильтрования;
- метод центрифугирования;
- метод комплексной многоступенчатой очистки «Сверхглубокой очистки диэлектрических жидкостей».

Отечественные и иностранные разработчики предлагают различные стационарные и мобильные установки для стабилизации и дальнейшей регенерации отработанных масел с возможностью работы технологического процесса без вывода оборудования, с различными по производительности мощностями, с достижением различных классов чистоты масла.

На X Всероссийской конференции «Реконструкция энергетики-2018», посвященной практическим вопросам модернизации электростанций – ТЭЦ, ГРЭС, АЭС, ГЭС – представители предприятий ПАО «РусГидро», ПАО «Лукойл-ТГК», Государственной корпорации «Росатом» подтвердили эффективность и значительное достижение экономической выгоды после внедрения в части своих филиалов современных методов регенерации и очистки масел.

На сегодняшний день в России отсутствует законодательная база, которая бы четко регулировала вопросы обращения с нефтяными маслами и контролировала экологическую сторону этой сферы.

Проведем оценку энерго- и ресурсоэффективности методов очистки (стабилизации) трансформаторного масла, методом «срока окупаемости». Расчет срока окупаемости будет произведен приближенно, без использования дисконтированных коэффициентов. Также предположим, что замена масла производится раз в 6 лет, после капитального ремонта оборудования. Расходы на приобретение свежего масла учтены для текущего периода, и не отражают возможности роста цен на трансформаторное масло на 10–25 %.

Исходные данные:

Объем трансформаторного масла, подлежащего очистке (стабилизации):

$$V_{т.м} = 18 \text{ т. (1т. – 1237,1 л);}$$

Объем масла, подлежащего очистке:

$$V_{л.м.} = 18 \cdot 1234,3 = 22217,4 \text{ л}$$

Затраты на 1 кВт·ч электроэнергии –

$$Ц_{э.э.} = 1,70 \text{ руб}$$

Ежегодные потери масла от объема эксплуатации

$$П_{м.м} = 1,5 \%$$

Рассмотрим следующие методы:

1. Традиционная технология очистки масел с применением центрифуги (данный метод получил широкое применение и используется в настоящее время):

Мощность электродвигателя

$$P = 4,5 \text{ кВт·ч;}$$

Производительность центрифуги

$$Q_{ц} = 3000 \text{ л/час;}$$

Потери масла на центрифуге –

$$П_{м.м} = 0,6 \%;$$

Достижимый класс чистоты масла – 13.

2. Современная технология очистки масел (данная установка выбрана из числа предложенных на рынке установок различных производителей исходя из диапазона средних цен):

Установка – ФОДЖ КФ2-01/1 ООО «МикронИнтер Сибирь»;

Мощность электродвигателя

$$P = 3 \text{ кВт·ч;}$$

Производительность центрифуги

$$Q_{ц} = 1200\text{--}2400 \text{ л/час;}$$

Потери масла на центрифуге –

$$П_{м.м} = 0,2 \%;$$

Достижимый класс чистоты масла 2–6.

Затраты на покупку современной установки очистки масел – 6600 тыс. руб.

Цена трансформаторного масла марки ВГ (данная марка масла выбрана среди среднего ценового сегмента масел на рынке, и необходимого класса чистоты):

$$Ц_{м} = 59\,000 \text{ руб./т (1т – 1237,1л);}$$

Класс чистоты масла 11.

Традиционная технология очистки масел с применением центрифуги

Производительность:

$$Q_{ц} = 3000 \text{ л/час}$$

Потери в массе масла при очистке составляют:

$$П_{м.м} = 0,6 \%$$

Время работы центрифуги с учетом производительности:

$$T_{р/ц} = 22217,4 / 3000 = 7,4 \text{ ч.}$$

Стоимость потребленной энергии на очистку всего масла:

$$С_{п.э} = 33,3 \cdot 1,7 = 56,65 \text{ руб.}$$

Потери в массе при использовании центрифуги:

$$П_{м/ц} = 18 \cdot 0,6/100 = 0,108 \text{ т}$$

Цена на потерянную массу в масле:

$$Ц_{потер.м} = 0,108 \cdot 59\,000 = 6372 \text{ руб.}$$

Затраты на очистку масла с использованием центрифуги :

$$С_{исп.ц} = 6372 + 56,65 = 6428,65 \text{ руб./год}$$

Технология очистки масел с применением современной установки

Производительность:

$$Q_{с.у.} = 2400 \text{ л/час}$$

Потери в массе масла при очистке составляют:

$$П_{м.м} = 0,2 \%$$

Время работы современной установки с учетом производительности:

$$T_{р/ц} = 22217,4 / 2400 = 9,25 \text{ ч.}$$

Стоимость потребленной энергии на очистку всего масла

$$С_{п.э} = 27,8 \cdot 1,7 = 47,2 \text{ руб.}$$

Потери в массе при использовании центрифуги:

$$П_{м/ц} = 18 \cdot 0,2 / 100 = 0,036 \text{ т}$$

Цена на потерянную массу в масле:

$$Ц_{потер.м} = 0,036 \cdot 59\,000 = 2124 \text{ руб.}$$

Стоимость замены и обслуживания фильтрующих элементов (компонентов) при заданном объеме трансформаторного масла, подлежащего очистке (стабилизации) за рассматриваемый период (1 год):

$$С_{о.ф.} = 57520 \text{ руб./год}$$

Затраты на очистку масла с использованием современной установки в год :

$$С_{исп.с.у.} = 57520 + 2124 + 47,2 = 59691,2 \text{ руб.}$$

Затраты на очистку масла с использованием современной установки в период между капитальными ремонтами оборудования (6 лет):

$$С_{исп.с.у.}(6) = 59691,2 \cdot 6 = 358147,2 \text{ руб.}$$

Стоимость современной установки очистки масла ФОДЖ КФ2-01/1 составляет:

$$Ц_{с.у.} = 6600 \text{ тыс. руб.}$$

С учетом затрат на обслуживание за 6 лет:

$$Ц_{с.у.обс.} = 6600000 + 358147,2 = 6958147,2 \text{ руб.}$$

Затраты на приобретение свежего масла 11 класса чистоты необходимого объема за год:

$$С_{з.м} = 18 \cdot 59\,000 = 1\,062\,000 \text{ руб.}$$

Затраты на приобретение свежего масла в шестилетний период:

$$С_{з.м}(6) = 1\,062\,000 \cdot 6 = 6\,372\,000 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости современной установки очистки масла

$$T_{ок} = 6,55 \text{ года}$$

Таким образом, выбор метода очистки (стабилизации) и регенерации масла производится исходя из необходимости использования класса масла. Из рассматриваемых методов наименьшими затратами обладает традиционная технология очистки масел центрифугированием, что позволяет достичь 13 класса чистоты для использования масла в электроустановках напряжением 6–10 кВ. Экономически выгодным для достижения 6 класса чистоты масла является приобретение и использование современной установки для очистки масел. Использование очищенного трансформаторного масла способствует увеличению срока службы изоляции оборудования, снижению окисления масла, зашламления и образования осадка взвешенных частиц, а также увеличению срока периодичности замены трансформаторного масла. Рекомендуется производить очистку (стабилизацию) и регенерацию масла один раз в год.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Липштейн, Р. А.* Трансформаторное масло / Р. А. Липштейн, М. И. Шахнович. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 296 с.
2. *Алексеев, Б. А.* Контроль состояния (диагностика) крупных силовых трансформаторов / Б. А. Алексеев. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2002. – 211 с.
3. Интернет-ресурс: официальный сайт «ГВС» – организатор международных нефтегазовых конференций. – Режим доступа: <https://www.globuc.com/> (29.03.2019)
4. Интернет-ресурс: официальный сайт «Организация Объединенных Наций по промышленному развитию». – Режим доступа: <http://www.unido.ru/> (29.03.2019)
5. Интернет-ресурс: официальный сайт ООО «МикронИнтер Сибирь». – Режим доступа: <http://fodj.ru/> (25.03.2018)
6. Интернет-ресурс: официальный сайт ООО "ИНТЕХЭКО" – организатор научно-практических конференций для промышленных предприятий России и стран СНГ. – Режим доступа: <http://www.intecheco.ru/> (27.03.2019)

УДК 621.311

*А. П. Хлебцов, Л. Х. Зайнутдинова***АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ИЗНОСА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПОДСТАНЦИЙ
И МЕТОДЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ****Астраханский государственный университет**

E-mail: gergines@mail.ru

Проведен анализ состояния износа электрооборудования подстанций. Рассмотрены методы диагностирования аварийных режимов. На данный момент износ электрооборудования на подстанциях достаточно велик. Одним из выходов в данной ситуации является внедрение технических средств непрерывной диагностики основного высоковольтного электрооборудования подстанции.

Ключевые слова: износ электрооборудования, трансформатор, диагностика, аварийные режимы, трансформаторная подстанция, контроль.

*A. P. Khlebtsov, L. H. Zaynutdinova***ANALYSIS OF THE CONDITION OF WEAR OF ELECTRICAL EQUIPMENT
OF SUBSTANCES AND METHODS OF DIAGNOSTING EMERGENCY MODES****Astrakhan State University**

The article analyzes the state of wear of electrical equipment at substations. The methods of diagnosing emergency modes are considered. At the moment, the wear and tear of electrical equipment at substations is quite large. One of the ways out in this situation is the introduction of technical means for continuous diagnosis of the main high-voltage electrical equipment of the substation.

Keywords: electrical equipment wear, transformer, diagnostics, emergency modes, transformer substation, control.

В настоящее время ускорение научно-технического прогресса диктует необходимость совершенствования промышленной электроэнергетики: создания экономичных, надежных систем электроснабжения промышленных предприятий, освещения, автоматизированных систем управления электроприводами и технологическими процессами; внедрения микропроцессорной техники, элегазового и вакуумного электрооборудования, новых комплектных преобразовательных устройств.

По этому направлению развивается энергетика во многих развитых странах мира, а именно, ведутся работы по созданию интеллектуальных электрических сетей (Smart Grid, «умных», в России – активно-адаптивных сетей) [1]

Однако ни для кого не секрет, что на большинство трансформаторных подстанциях используется физически и морально устаревшее оборудование, которое может привести к отказу и потере питания ответственных потребителей, оно требует замены на более совершенное и новое. Для примера из объектов электроэнергетической системы является подстанция «Зеленга».

Согласно данным филиала ОАО «МРСК Юга» – «Астраханьэнерго» износ распределительных сетей составляет по ВЛ-10 кВ – 96 %, а по сетям 0,4 кВ – 88 %.

Основными проблемами в электроснабжении являются:

- износ оборудования подстанции «Зеленга» достигает 70 %;
- износ подводящих к КТП сетей 10 кВ составляет 96 %;
- износ разводящих сетей 0,4 кВ достиг 88 %;
- износ сетей уличного освещения 91,5 %;
- оборудование КТП предельно изношено (100 %);
- отсутствуют автономные источники электроснабжения;
- наличие бесхозных электросетей [2].

В связи с недостаточным финансированием за последние годы замена старого высоковольтного электрооборудования практически не ведется. Все оборудование, которое устанавливалось в 1960–80-е годы, выработало свой ресурс, так как в соответствии с инструкциями по эксплуатации заводов изготовителей срок эксплуатации высоковольтного электрооборудования составляет 25 лет [3].

Переход к ремонту крупных силовых трансформаторов по техническому состоянию повысил требования, предъявляемые к их диагности-

ке. Требуется решить комплекс специфических вопросов по диагностике электрооборудования. На статистику отказов трансформаторов сильно влияет возрастной показатель, т. е. срок работы трансформатора с момента ввода его в эксплуатацию.

Проведение капитальных ремонтов является нецелесообразным из-за высокой стоимости высоковольтного оборудования и его запасных частей как российского, так и зарубежного производства. В зарубежной практике от проведения капитальных ремонтов оборудования предприятия, эксплуатирующие сети, отказываются вообще. Они эксплуатируют электрооборудование до изменения его характеристик ниже допустимых норм или до его отказа, затем производят его замену [3].

Перечень наиболее дефектоносных элементов силовых трансформаторов представлен в международном обзоре Международного Совета по большим электрическим системам высокого напряжения (рис. 1) [4].

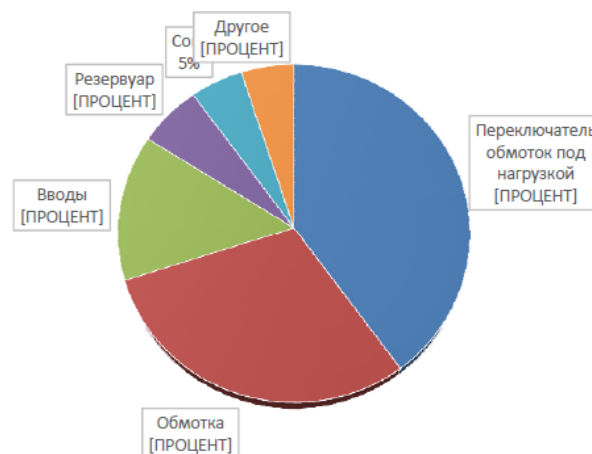


Рис. 1. Диаграмма наиболее дефектоносных элементов силовых трансформаторов

Около 70 % всех нарушений электроснабжения происходит именно в сетях 6 (10) кВ. К наиболее изношенному оборудованию на подстанциях относятся, как правило, выключатели (рис. 2) [5].



Рис. 2. Технологические нарушения на подстанциях по видам оборудования

Причинами повреждений электрооборудования в сетях 6 (10) кВ являются старение конструкций и материалов при эксплуатации (18 %), климатические воздействия (ветер, гололед и их сочетание) выше расчетных значений (19 %), грозовые перенапряжения (13 %), недостатки эксплуатации (6 %), посторонние воздействия (16 %) и невыясненные причины повреждений (28 %). Распределение технологических нарушений маслаполненного оборудования, приведенное на рис. 3, также убедительно показывает, что наибольшее количество отказов имеют высоковольтные масляные (малообъемные и баковые) выключатели (рис. 3) [5].

Доля количества отказов конструктивных

элементов от общего количества отказов масляных выключателей распределяется следующим образом: дугогасящая камера – 18 %, привод – 26 %, цепи управления – 42 %, опорная изоляция и вводы – 14 % [5].

Основная причина повреждения силового электрооборудования в процессе эксплуатации является недостаточная эффективность принятой в настоящее время системы диагностики.

Одним из выходов в данной ситуации является внедрение технических средств непрерывной диагностики основного высоковольтного электрооборудования подстанции. Существуют основные методы диагностики силового электрооборудования:



Рис. 3. Технологические нарушения маслонаполненного оборудования

Магнитные методы контроля. Основаны на регистрации магнитных полей рассеяния, возникающих над дефектами, или на определении магнитных свойств контролируемых изделий.

Электрические методы контроля. Основаны на регистрации параметров электрического поля, взаимодействующего с контрольным объектом, или поля, возникающего в контрольном объекте в результате внешнего воздействия.

Вихретоковый метод контроля. Основан на анализе взаимодействия внешнего электромагнитного поля с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых возбуждающей катушкой в электропроводящем объекте контроля этим полем.

Радиоволновой метод контроля – метод неразрушающего контроля, основанный на анализе взаимодействия электромагнитного излучения радиоволнового диапазона с объектом контроля

Тепловые методы контроля. Основаны на регистрации тепловых или температурных полей объекта контроля.

Визуально-оптические методы контроля. Основаны на взаимодействии оптического излучения с объектом контроля.

Радикационные методы контроля. Основаны на регистрации и анализе проникающего ионизирующего излучения после взаимодействия с контролируемым объектом

Акустические методы контроля. Основаны на применении упругих колебаний, возбуждаемых или возникающих в объекте контроля

Капиллярные методы контроля. Основаны на капиллярном проникновении индикаторных жидкостей в полости поверхностных и сквозных несплошностей материала объектов контроля и регистрации образующихся индикатор-

ных следов визуальным способом или с помощью преобразователя [6].

Мониторинг электрооборудования во время работы позволяет значительно увеличить срок его эксплуатации, продлить интервалы между детальными обследованиями и ремонтами. Исследования показывают, что ранняя диагностика трансформаторов и автотрансформаторов снижает расходы на ремонт на 75 %, потери от недоотпуска электроэнергии на 63 %, а ежегодная экономия составляет 2 % от стоимости нового трансформатора. К тому же стоимость диагностического оборудования и ее установки заметно ниже цены замены силового электрооборудования.

Вывод

В настоящее время назревает задача создания системы технической диагностики силового электрооборудования, которая позволила бы решить проблемы выхода ее из строя. Это позволит увеличить срок эксплуатации электрооборудования на подстанции. Создание и внедрение комплексных систем мониторинга оборудования высоковольтных подстанций является основой для формирования интеллектуальных электроэнергетических систем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Приборы контроля и диагностики в электроэнергетике : учеб. пособие / А. Н. Шилин [и др.] ; ВолгГТУ. – Волгоград : ВолгГТУ, 2017. – 132 с.
2. Проект генерального плана МО «Село Зеленга». Том № 2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://mo.astrobl.ru/selozelenga/proekt-generalnogo-plana-moselo-zelengatom-%E2%84%962>
3. Сарычев, И. В. Диагностика и мониторинг высоковольтного электрооборудования / И. В. Сарычев // Вестник КузГТУ. – 2005. – № 3.

4. Тюрюмина, А. В. Современное состояние вопроса диагностики силовых трансформаторов / А. В. Тюрюмина // Современные материалы, техника и технологии. – 2015. – № 3 (3).

5. Назарычев, А. Н. Методы и модели оптимизации ремонта электрооборудования объектов энергетики с учетом технического состояния / А. Н. Назарычев ; Иван. гос. энерг. ун-т. – Иваново, 2002. – 168 с.

6. Диагностика электрооборудования электрических

станций и подстанций : учебное пособие / А. И. Халыясмаа [и др.]. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 64 с.

7. Scatiggio, F., Pompili, M. & Calacara, L. 2018, "Transformers Fleet Management Through the use of an Advanced Health Index", 2018 IEEE Electrical Insulation Conference, EIC 2018, pp. 395.

8. Khalyasmaa, A. I., Dmitriev, S.A., Glushkov, D.A., Baltin, D.A. & Babushkina, N.A. 2014, Electrical equipment life cycle monitoring.

УДК 621.314.222.6

А. П. Хлебцов¹, И. А. Коптелова²

ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

¹ Астраханский государственный университет

² Волгоградский государственный технический университет

E-mail: gergines@mail.ru

Приведена экспертная система анализа состояния силового трансформатора подстанции. В качестве входной информации системы используются результаты хроматографического анализа трансформаторного масла. Ядром экспертной системы является база знаний, в которой хранятся знания о признаках наличия дефекта, знания о видах и характерах дефектов, знания о мероприятиях по дальнейшему обслуживанию трансформатора. Результаты анализа выдаются на главном окне системы.

Ключевые слова: трансформаторная подстанция, силовой трансформатор, диагностика трансформаторов, хроматографический анализ, экспертная система.

A. P. Khlebtsov¹, I. A. Koptelova²

EXPERT DIAGNOSTIC SYSTEM FOR POWER TRANSFORMERS

¹ Astrakhan State University

² Volgograd State Technical University

The article presents an expert system for analyzing the state of a power transformer of a substation. The results of the chromatographic analysis of transformer oil are used as input information for the system. The core of the expert system is the knowledge base, which stores knowledge about the signs of the presence of a defect, knowledge of the types and types of defects, knowledge of measures for the further maintenance of the transformer. The results of the analysis are displayed on the main window of the system.

Keywords: transformer substation, power transformer, transformer diagnostics, chromatographic analysis, expert system.

Силовой трансформатор является одним из важнейших элементов в энергосистеме, определяющих надежность электроснабжения. Его способность нести нагрузку зависит от состояния отдельных узлов и отсутствия дефектов. Особенности крупных силовых трансформаторов высокого напряжения, в первую очередь – недоступность обмоток для прямого обследования, делают задачу контроля его состояния сложной.

Одним из главных путей поддержания эксплуатационной надежности силовых трансформаторов является организация эффективного контроля состояния работающего оборудования. Выявление возникающих в работе дефектов, их обнаружение на ранней стадии развития, своевременное принятие обоснованных

решений по ликвидации дефектов обеспечивают высокую готовность, сокращение времени простоя, снижение затрат на ремонт и продление срока службы оборудования.

Контроль оборудования в полном объеме с применением всех известных методов диагностирования, в том числе требующих отключения оборудования, проводится лишь в исключительных случаях при выявлении значительных изменений технического состояния электрооборудования.

В большинстве практических случаев целесообразный комплекс методов определяется экспертным путем на основании знаний о физических процессах в оборудовании с учетом накопленного опыта эксплуатации, анализа повреждаемости, результатов контроля и ремонта.

Предпочтение отдается методам диагностики, которые дают возможность организовать контроль электрооборудования без его отключения, под рабочим напряжением. Именно к таким методам относится хроматографический анализ. Применение данного метода позволяет снизить материальные затраты на проведение измерений и вычислений без снижения вероятности распознавания дефекта.

Большинство развивающихся дефектов силовых трансформаторов может быть определено посредством своевременного контроля состояния трансформаторного масла. В качестве эффективного средства ранней диагностики медленно развивающихся повреждений сило-

вых трансформаторов применяется метод хроматографического анализа газов, растворенных в трансформаторном масле.

В электроэнергетике (при диагностике силовых трансформаторов) хроматографический метод используется для определения наличия и концентрации определенных показательных газов, растворенных в трансформаторном масле (рис. 1).

При диагностике развивающихся дефектов в силовых трансформаторах по результатам анализа растворенных газов (АРГ) используются следующие критерии: критерий граничных концентраций, критерии отношений пар газов, критерий скорости нарастания газов в масле (рис. 2).

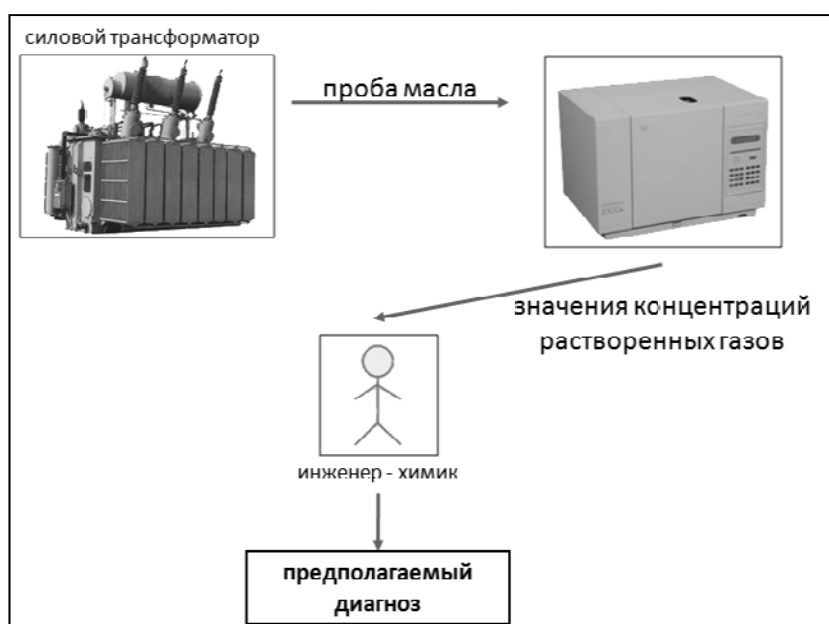


Рис. 1. Процесс хроматографического анализа

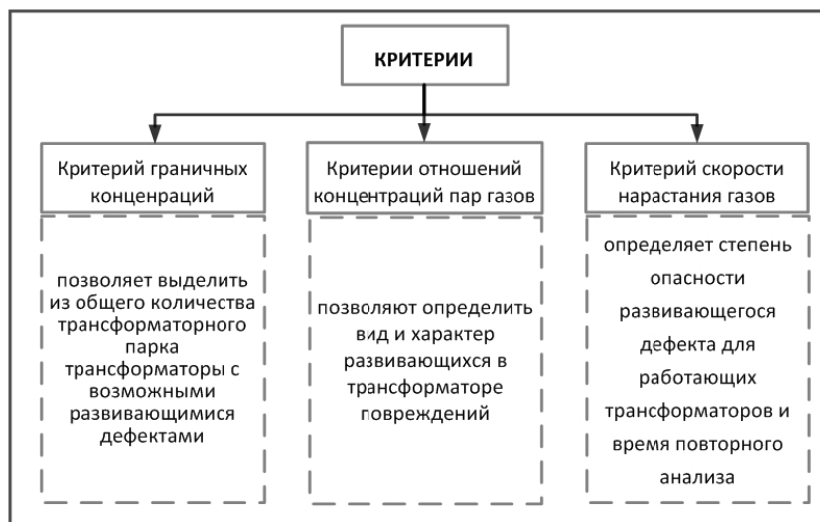


Рис. 2. Критерии диагностики

Для повышения эффективности контроля развивающихся дефектов силовых трансформаторов была разработана экспертная система. Она может применяться для оценки технического состояния трансформаторов в составе предприятий электроэнергетического комплекса. Систему можно использовать как непосредственно для диагностики оборудования, так и для проверки правильности принятия решений персоналом. Возможно использование системы для обучения или тренировки работников предприятий энергетического комплекса, использующих метод хроматографического анализа для диагностирования трансформаторов.

Основная задача спроектированной системы – на основе значений концентраций газов, растворенных в трансформаторном масле, сформировать протокол проведения хроматографического анализа, а также при обнаружении дефекта выработать список мероприятий по дальнейшему

техническому обслуживанию трансформатора.

Входной информацией для системы являются данные о типе диагностируемого трансформатора, значения концентраций растворенных в масле газов, а также информация об эксплуатационных факторах трансформатора, которые могли вызвать увеличение или уменьшение концентраций газов при отсутствии дефекта.

Выходной информацией является протокол проведения хроматографического анализа газов, растворенных в трансформаторном масле, который включает в себя: диагноз эксплуатационного состояния трансформатора; время следующего отбора пробы масла; при наличии дефекта: предполагаемый вид дефекта, список рекомендованных мероприятий по дальнейшему техническому обслуживанию трансформатора.

Диаграмма вариантов использования системы проектируемой системы представлена на рис. 3.



Рис. 3. Диаграмма вариантов использования системы

Структура экспертной системы представлена на рис. 4. Ядром экспертной системы является база знаний, в которой хранятся знания о признаках наличия дефекта, знания о видах и характерах дефектов, знания о мероприятиях по дальнейшему обслуживанию трансформатора. Рабочая память предназначена для хранения

исходных и промежуточных фактов решаемой в текущий момент задачи (в частности для хранения значений информативных параметров). База данных трансформаторов служит для хранения данных о трансформаторах, их характеристиках и результатах проведенных анализов. Подсистема поясняет, как системой было полу-

чено решение задачи, и какие знания при этом были использованы, что повышает доверие пользователя к полученному результату.

Выводимые данные – это заключение о наличии дефекта, в виде предполагаемого дефекта, периодичности следующего контрольного

замера, рекомендациях по дальнейшему техническому обслуживанию трансформаторов.

При обнаружении дефекта система определяет характер возможного дефекта из списка. Вид дефекта уточняется при анализе основных (ключевых) и характерных газов.

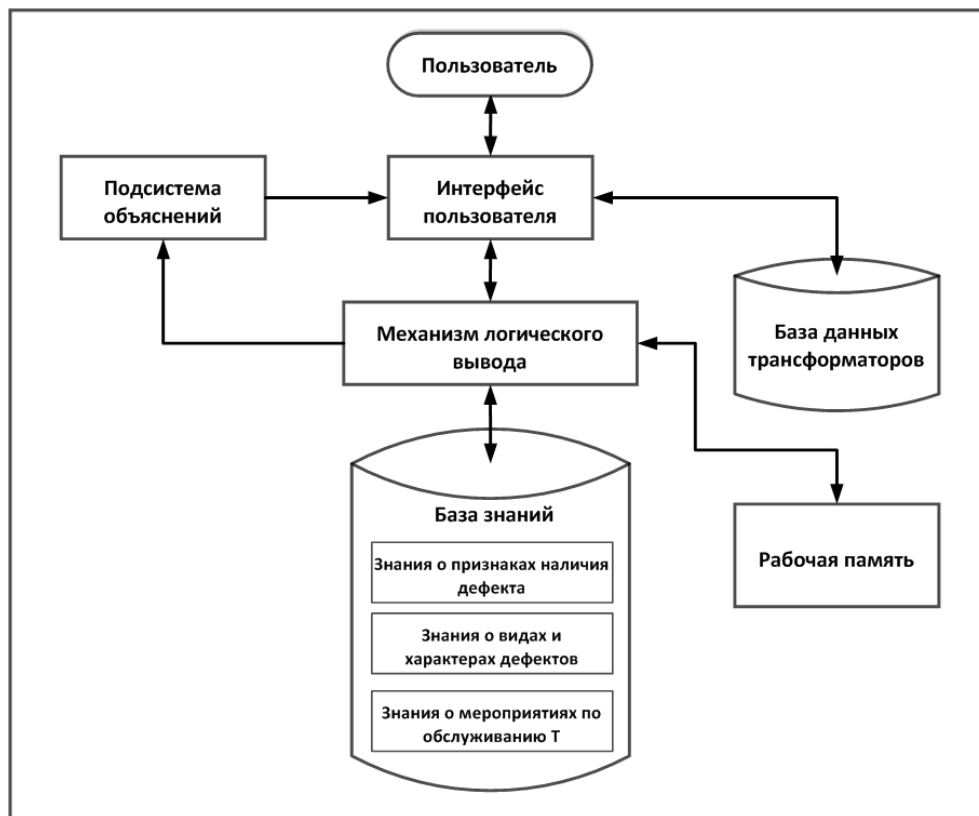


Рис. 4. Структура экспертной системы

Выводимыми данными экспертной системы будут: при отсутствии дефекта – сообщение о том, что нет признаков, указывающих на наличие дефекта в трансформаторе; при обнаружении дефекта – следующее множество мероприятий по дальнейшему техническому обслуживанию трансформатора:

- 1) немедленный вывод трансформатора из работы;
- 2) планировать вывод трансформатора из работы;
- 3) проводить учащенный контроль по АРГ;
- 4) проверить состояние сорбента в воздухоочистителе;
- 5) проверить состояние маслонасоса;

- 6) проверить возможность перетока (отобрать одновременно пробы из бака трансформатора и бака переключателей);
- 7) провести дегазацию масла;
- 8) поставить в известность соответствующее подразделение предприятия;
- 9) проанализировать условия предшествующей эксплуатации;
- 10) сообщить на завод-изготовитель;
- 11) трансформатор поставлен под контроль;
- 12) измерить потери холостого хода;
- 13) провести химический анализ масла.

Шаблон главного окна системы представлен на рис. 5.

Диагностика - [Preview]

Диагностируемый трансформатор

Организация: ПЭС + Подстанция: Спортивная + Трансформатор: T-1, T-2, T-3, T-4 +

Дата замера: 15.03.2010

Концентрации, %об.

водорода (H2)	0,007	этана (C2H6)	0,003
метана (CH4)	0,001	оксида углерода (CO)	0,12
ацетилена (C2H2)	0,0001	углекислого газа (CO2)	0,35
этилена (C2H4)	0,002		

Сформировать отчет

Рис. 5. Главное окно системы

Вывод

Разработанная экспертная система позволит повысить эффективность контроля развивающихся дефектов силовых трансформаторов, без их вывода из эксплуатации и выработать рекомендации по дальнейшим испытаниям трансформатора.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Джарратано, Дж. Экспертные системы. Принципы разработки и программирование / Джозеф Джарратано, Гари Райли. – 4-е изд. – М. : Вильямс, 2006. – 1152 с.
2. Джексон, П. Введение в экспертные системы / Питер Джексон. – 3-е изд., доп. – М. : Вильямс, 2001. – 624 с.

3. Методические указания по диагностике развивающихся дефектов трансформаторного оборудования по результатам хроматографического анализа газов, растворенных в масле: РД 153-34.0-46.302-00. – М. : ВНИИЭ, 2001. – 28 с.

4. Хренников, А. Ю. Основные методы диагностики состояния электрооборудования для выявления дефектов и повреждений : учеб.-метод. пособ. / А. Ю. Хренников, О. А. Терешко. – М. : ИУЭ ГУУ, ВИПКэнерго, ИПКгосслужбы, 2005. – 52 с.

5. Христинич, Р. М. Комплексная диагностика маслонеполненных трансформаторов / Р. М. Христинич, А. Р. Христинич, Е. В. Христинич // Вестник КрасГАУ. – 2007. – № 3. – С. 222–227.

6. Частиков, А. П. Разработка экспертных систем. Средства CLIPS / А. П. Частиков, Т. А. Гаврилова. – СПб. : БХВ – Петербург, 2003. – 390 с.

УДК 621.317.318

А. А. Шилин, Д. А. Сапрыкина

АНАЛИЗ ИСТОЧНИКОВ КОММЕРЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: shilin.jr@gmail.com, kim911@bk.ru

Коммерческие потери электроэнергии в структуре общих потерь имеет существенный процент от общей погрешности, которая так и не урегулирована в финансовом отношении между потребителем и поставщиком электроэнергии. Для уменьшения этих потерь необходимо выявление причин их появления. Одной из причин их возникновения является погрешность измерительных приборов, которая включает две составляющие: инструментальную и методическую. Наиболее сложно определить методическую составляющую, которая позволяет обосновать метод измерения. В статье приведен пример расчета методической погрешности при определении мощности в трехфазных цепях.

Ключевые слова: структура потерь электроэнергии, коммерческие потери электроэнергии, методы измерения, методические погрешности.

A. A. Shilin, D. A. Saprykina

THE ANALYSIS OF THE SOURCES OF COMMERCIAL LOSSES IN THE POWER SYSTEM

The Volgograd State Technical University

Commercial losses of electricity in the structure of total losses have a significant percentage of the total error, which has not been settled financially between the consumer and the electricity supplier. To reduce these losses, it is necessary to identify the causes of their occurrence. One of the reasons for their occurrence is the error of measuring devices, which consists of two components: instrumental and methodical. The most difficult to determine methodological component, which allows to justify the method of measurement. The article provides an example of calculating the methodical error in determining the power in three-phase circuits.

Keywords: structure of electric energy losses, commercial electric energy losses, measurement methods, methodological errors.

В настоящее время при проведении мероприятий по энергосбережению в различных отраслях промышленности и ЖКХ основной проблемой при анализе потерь электроэнергии является выявление источников потерь. Актуальность этой проблемы обусловлена тем, что на производство всего многообразия промышленной продукции, расходуется более трети всей вырабатываемой электроэнергии страны. В свою очередь коэффициент полезного использования электроэнергии на производственной стадии находится на уровне, редко превышающем 10 %.

В электрических сетях при передаче электроэнергии от источников к потребителям часть ее неизбежно расходуется на нагрев проводников, создание электромагнитных полей и прочие эффекты. Потери электроэнергии (их технологическая величина и коммерческие потери) зависят от параметров режима и схемы электрической сети, определяются несовершенством системы учета, неравномерностью оплаты и хищениями. В настоящее время расход электроэнергии на ее передачу (потери) в электрических сетях электроснабжающей организации составляет около 13 % от отпущенной электроэнергии в сети, из них 60 % приходится на технологические и 40 % на коммерческие потери электроэнергии. Проведенный анализ показывает, что стоимость нормативных технологических потерь электроэнергии (ТПЭ) в общих затратах на передачу электроэнергии различных классов напряжений, составляет 10–15 % (в зависимости от уровня напряжения), а с учетом всех фактических потерь, включая коммерческие потери электроэнергии (КПЭ), приближается к 25–30 %.

Коммерческие потери электроэнергии в структуре общих потерь имеет существенный процент от общей погрешности. Для уменьшения этих потерь необходимо выявить причины их появления.

Коммерческие потери электроэнергии обусловлены следующими причинами:

1. Метрологическая, имеющая две составляющие: нормативно допустимую погрешность приборов системы учета электроэнергии (ПСУ); сверхнормативную (систематическую) погрешность ПСУ.

2. Недоплата потребителями полезно отпущенной электроэнергии. Эта составляющая связана с задержкой оплаты потребителем за потребленную электроэнергию, т. е. является «отложенным платежом».

3. Безучетное потребление, хищения электроэнергии (мошенничество с приборами учета, несанкционированный доступ к сети и т. п.) и другие недостатки в энергосбытовой деятельности. ПСУ (ТН, ТТ, счетчики) имеют определенную нормируемую погрешность, указываемую в паспортных данных приборов. Необходимо отметить, что заводские погрешности нормируются для определенных условий и если реальные условия отличаются от нормируемых, то возникают дополнительные погрешности.

Метрологическая составляющая коммерческих потерь электроэнергии рассчитывается следующим образом:

1. Нормативно-допустимая погрешность ПСУ измерительного комплекса (ИК), работающих в нормативных условиях эксплуатации, рассчитывается по РД 34.09.101.-94 на основании данных о поступлении электроэнергии в сеть и ее полезном отпуске по уровням напряжения и заводским паспортным данным о погрешностях приборов системы учета ИК (ТТ, ТН, счетчики). При отсутствии корректных данных может применяться «упрощенный» расчет потерь, обусловленный допустимыми погрешностями ПСУ в размере 0,4 % от приема электроэнергии в сеть. Нормативно-допустимая погрешность ПСУ включается при тарифном

регулировании в величину нормативных технологических потерь электроэнергии.

2. Сверхнормативная погрешность ПСУ, работающих в ненормативных условиях эксплуатации, рассчитывается по РД 34.09.101–94 на основании фактических данных о состоянии приборов системы учета ИК, а при их отсутствии – по среднестатистическим по России показателям погрешности ПСУ в ИК ЭСО, а также как систематическая погрешность ПСУ. Систематическая погрешность ПСУ рассчитывается для определения ее величины и последующей разработки программы совершенствования системы учета и контроля электроэнергии в программе энергосбережения и снижения издержек ЭСО.

Остальные составляющие коммерческих потерь электроэнергии относятся к сверхнормативным (разность между величиной КПЭ и нормативно-допустимой погрешностью ПСУ) и являются характеристикой недостатков в системе сбытовой и сетевой деятельности. Они должны снижаться за счет реализации соответствующих программ энергосбережения с их финансированием через инвестиционную составляющую тарифа на передачу электроэнергии. Сверхнормативные коммерческие потери электроэнергии учитываются при тарифном регулировании согласно разъяснениям ФЭК России. Обязательным условием учета коммерческих потерь электроэнергии при тарифном регулировании является наличие и согласование с регулирующим тарифным органом программы энергосбережения и мероприятий по снижению потерь, включая мероприятия поэтапного недопущения образования и снижения коммерческих потерь электроэнергии с технико-экономическим обоснованием эффективности снижения потерь. Выполненные энергоэкономические обследования ряда ЭСО показали следующую структуру КПЭ (в скобках средневзвешенные значения):

- нормативно допустимая погрешность ПСУ – 11...14 % (0,3...0,9% от отпуска электроэнергии в сети) (12 %);
- сверхнормативная погрешность ПСУ – 23...48 % (36 %);
- недоплата населением и др. потребителями за отпущенную электроэнергию – 16...50 % (33 %);
- безучетное потребление электроэнергии (отсутствие приборов учета, оплата по установленной мощности или нормативам муниципалитетов) – 0...31 % (14 %);

- хищения электроэнергии (несанкционированный доступ к сети, мошенничество с приборами учета и др.) – 1...10 % (5 %).

Из этого следует, что в сверхнормативных КПЭ основная доля приходится на сверхнормативную погрешность ПСУ и недоплату потребителями. Поэтому для уменьшения потерь необходимо консолидировать работу энергосбытовых организаций и электросетевых компаний, чтобы получить существенные результаты.

Одной из причин возникновения КПЭ является погрешность измерительных приборов, которая включает две составляющие: инструментальную и методическую.

Коммерческие потери обусловлены проявляющимися погрешностями с отрицательными и положительными значениями при контроле расхода электроэнергии. Положительное значение предполагает начисление неиспользуемой, но учтенной как потребленной, электроэнергии потребителю. При отрицательных значениях погрешности, часть электроэнергии от общего количества потребления не будет учитываться. Погрешности контроля образуются двумя основными группами: инструментальными и методическими. Инструментальные погрешности обуславливаются применяемыми измерительными приборами с установленным классом точности и диапазоном измерения. Методические погрешности предопределяются схемами включения измерительных приборов в сеть, особо это актуально в трехфазных цепях переменного тока.

Наиболее сложно определить методическую составляющую, которая позволяет обосновать метод измерения. В статье приведен пример расчета методической погрешности при определении мощности в трехфазных цепях методом одного ваттметра.

При несимметричной нагрузке в четырехпроводной цепи активную мощность измеряют тремя ваттметрами, каждый из которых измеряет мощность одной фазы – фазную мощность и результаты измерений суммируют. При симметричной нагрузке в четырехпроводной цепи активную мощность измеряют одним ваттметром и показания увеличивают в три раза (см. рисунок). Однако при этом возникает методическая погрешность, которая обусловлена отклонениями фазных напряжений (согласно ГОСТ $\pm 5\%$).

При анализе приняты следующие допущения:

- нагрузка во всех фазах только активная и равная R ;

- инструментальную погрешность ваттметра не учитываем;

- внутренние сопротивления ваттметра не учитываем.

Фазная мощность, измеряемая ваттметром, определяется уравнением:

$$P_{\phi} = \frac{U_{\phi}^2}{R}, \quad (1)$$

где U_{ϕ} – фазное напряжение; R – сопротивление нагрузки.

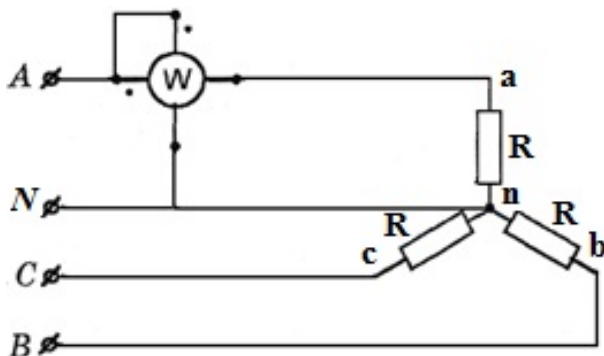


Схема измерения мощности одним ваттметром

Относительное и абсолютное отклонения фазного напряжения определяются выражениями:

$$\delta = \frac{\Delta U}{U_{\phi H}}; \Delta U = \delta \cdot U_{\phi H}. \quad (2)$$

При анализе методической погрешности рассмотрим самый неблагоприятный случай, а именно в фазе A напряжение имеет номинальное значение $U_A = U_{\phi H}$, в фазе B увеличенное $U_B = U_{\phi H} + \Delta U = U_{\phi H}(1 + \delta)$, а в фазе C уменьшенное $U_C = U_{\phi H} - \Delta U = U_{\phi H}(1 - \delta)$.

Полная действительная мощность в трехфазной цепи равна:

$$P_{\Sigma D} = \frac{U_A^2}{R} + \frac{U_B^2}{R} + \frac{U_C^2}{R} = \frac{U_{\phi H}^2}{R} (3 + 2\delta^2) \quad (3)$$

При включении ваттметра в фазу B измеренная мощность будет равна:

$$P_{\Sigma И} = 3 \frac{U_{\phi H}^2}{R} (1 + \delta)^2. \quad (4)$$

Абсолютная и относительная погрешности измерения мощности одним ваттметром:

$$\Delta P_{\Sigma B} = P_{\Sigma И} - P_{\Sigma D} = \frac{U_{\phi H}^2}{R} (6\delta - \delta^2);$$

$$\delta_{PB} = \frac{\Delta P_{\Sigma}}{P_{\Sigma D}} = \frac{(6\delta - \delta^2)}{(3 + 2\delta^2)}. \quad (5)$$

При включении ваттметра в фазу C измеренная мощность составит:

$$P_{\Sigma И} = 3 \frac{U_{\phi H}^2}{R} (1 - \delta)^2. \quad (6)$$

Абсолютная и относительная погрешности измерения мощности одним ваттметром равны:

$$\Delta P_{\Sigma C} = P_{\Sigma И} - P_{\Sigma D} = \frac{U_{\phi H}^2}{R} (-6\delta + \delta^2);$$

$$\delta_{PC} = \frac{\Delta P_{\Sigma}}{P_{\Sigma D}} = -\frac{(6\delta - \delta^2)}{(3 + 2\delta^2)}. \quad (7)$$

Если пренебречь бесконечно малыми величинами δ^2 , то выражение для относительной погрешности можно записать следующим выражением: $\delta_{PC} \approx \pm 2\delta$. Таким образом, отклонение значения напряжения и методическая погрешность измерения мощности связаны линейной зависимостью. А если в одной фазе, в которую включен ваттметр, сначала будет максимальное значение напряжения, а затем минимальное, то методическая погрешность измерения мощности составит $\delta_{PC} \approx 4\delta$. Так, например, при отклонении значения напряжения 5 % методическая погрешность измерения мощности с помощью одного ваттметра составит 20 %.

Выводы

Из проведенного анализа простейшей схемы измерения следует, что методическая погрешность может составлять значение, которое значительно превышает инструментальную составляющую погрешности. Погрешности являются источником коммерческих потерь в системах электроснабжения и поэтому при выборе средств контроля и измерения необходим метрологический анализ схем их подключения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шилин, А. Н. Основы теории измерений: учебное пособие / А. Н. Шилин, С. Б. Сластинин, В. С. Юрьев; ВолГТУ. – Волгоград, 1998. – 68 с.
2. Атрошенко, Ю. К. Метрология, стандартизация и сертификация. Сборник лабораторных и практических работ: учебное пособие для прикладного бакалавриата / Ю. К. Атрошенко, Е. В. Кравченко. – М.: Издательство Юрайт, 2018. – 176 с.
3. Железко, Ю. С. Потери электроэнергии в оборудовании сетей и подстанций / Ю. С. Железко // Новости ЭлектроТехники. – 2003. – № 6(24). – С. 47–49.
4. Железко, Ю. С. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях (Руководство для практических расчетов) / Ю. С. Железко, А. В. Артемьев, О. В. Савченко. – М.: НЦ ЭНАС, 2003. – 280 с.
5. Разъяснения ФЭК России к Методическим указаниям по расчету регулируемых тарифов и цен на электрическую (тепловую) энергию на розничном (потребительском) рынке / Л. А. Горкин, С. Э. Бржезьянский, А. Ю. Константинов, Е. В. Яркин; под рук. Г. П. Кутового. – М.: ИПК Гос. службы, 2003. – С. 32.

УДК 621.372.2

*А. А. Шилин, Н. С. Кузнецова, С. С. Дементьев***МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ
ПРОХОЖДЕНИЯ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ИМПУЛЬСОВ
В ЛИНИЯХ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: eltech@vstu.ru

Приводится моделирование процессов передачи прямоугольных импульсов по линии с распределенными параметрами на основе аппроксимации сигнала конечной суммой ряда Фурье и дальнейшей имитации прохождения по линии каждой гармонической составляющей. Обосновано применение данного метода для улучшения точности определения мест повреждений высоковольтных линий электропередачи с помощью рефлектометров.

Ключевые слова: линия с распределенными параметрами, рефлектометр, гармонический анализ, определение мест повреждений воздушных линий электропередачи

*A. A. Shilin, N. S. Kuznetsova, S. S. Dementiev***MATHEMATICAL MODELING OF RECTANGULAR PULSE
PROCESSES IN LINES WITH DISTRIBUTED PARAMETERS****Volgograd State Technical University**

The article shows process simulation of rectangular pulse propagation in the line with distributed parameters that is based on signal approximation by the finite sum of Fourier series and following simulation of every harmonic propagation in the line. It is justified the application of this method for improvement of accuracy fault location of high-voltage power lines.

Keywords: line with distributed parameters, reflectometer, harmonic analysis, fault location of overhead power lines.

В различных областях техники широко используются проводные каналы передачи электрической энергии, которые в ряде случаев рассматриваются как длинные линии с распределенными параметрами. Это происходит, когда длина волны переменного тока становится соизмеримой с длиной самой линии, что, в частности, имеет место в энергетике при определении мест повреждений (ОМП) воздушных линий электропередачи (ВЛЭП) с помощью рефлектометров, зондирующих поврежденную линию прямоугольным импульсом. Несмотря на явную перспективность данного метода, не требующе-

го организации непосредственного доступа к ВЛЭП, его применение сдерживается ввиду низкой точности, обусловленной значительным искажением локационного импульса [4]. Таким образом, создание математической модели, учитывающей ослабление и искажение прямоугольных импульсов в процессе их прохождения по линии с распределенными параметрами, является необходимым условием для дальнейшего развития локационного метода ОМП ВЛЭП.

Аналитически определить форму фронта импульсного сигнала на выходе линии позволяет уравнение, приведенное в [3]:

$$h(t, x) = \frac{ch[\sqrt{RG}(l-x)]}{ch[\sqrt{RG}l]} + \frac{\pi e^{-\alpha t}}{l^2 LC} \sum_{k=0}^{\infty} (-1)^k \frac{(2k+1)}{\beta_k^2 - \alpha^2} \times \\ \times \cos\left(\frac{2k+1}{2} \pi \frac{l-x}{l}\right) \left[\frac{\alpha}{\beta_k} sh(\beta_k t) + ch(\beta_k t) \right], \quad (1)$$

где R – активное сопротивление линии, Ом; L – индуктивность линии, Гн; G – активная проводимость линии, См; C – емкостная проводимость линии, См; l – длина линии, м; x –

координата линии, м; t – момент времени, с; α – коэффициент затухания; β – коэффициент фазы, рад/м.

Коэффициенты затухания и фазы в уравнении (1) определяются следующим образом:

$$\alpha = \frac{1}{2} \left(\frac{R}{L} + \frac{C}{G} \right), \quad (2)$$

$$\beta_k = \sqrt{\alpha^2 - \frac{1}{\sqrt{LC}} \left[RG + \left(\frac{2k+1}{2l} \pi \right)^2 \right]}. \quad (3)$$

Исходя из вида представленных выше выражений (1)–(3), можно сделать вывод о нецелесообразности аналитического решения поставленной задачи из-за его чрезмерной сложности. Взамен предлагается использовать более простую методику, основанную на разложении зондирующего прямоугольного импульса с помощью ряда Фурье на гармонические составляющие. Для численного решения число гармоник ограничивается, затем моделируется прохождение каждой гармонической составляющей до места аварии линии и ее возвращение. В точке приема сигнала гармонические составляющие суммируются и определяется форма выходного импульса, т. е. реализуется принцип суперпозиции.

Распределение комплексных действующих значений напряжения в однородной длинной линии, находящейся под внешним гармоническим воздействием, описывается выражением [2]:

$$\dot{U}(x) = \underline{A}_1 e^{-\underline{\gamma}x} + \underline{A}_2 e^{\underline{\gamma}x}, \quad (4)$$

где $\underline{A}_1$, $\underline{A}_2$ – постоянные интегрирования; $\underline{\gamma}$ – коэффициент распространения электромагнитной волны.

Представим входящий в (4) комплексный коэффициент распространения в алгебраической форме:

$$\underline{\gamma} = \alpha + j\beta, \quad (5)$$

а постоянные интегрирования в показательной:

$$\alpha(\omega) = \sqrt{\frac{1}{2} \left[G_0 R_0 - \omega^2 C_0 L_0 + \sqrt{(R_0^2 + \omega^2 L_0^2) \cdot (G_0^2 + \omega^2 C_0^2)} \right]}, \quad (12)$$

$$\beta(\omega) = \sqrt{\frac{1}{2} \left[\omega^2 C_0 L_0 - G_0 R_0 + \sqrt{(R_0^2 + \omega^2 L_0^2) \cdot (G_0^2 + \omega^2 C_0^2)} \right]}, \quad (13)$$

где R_0 , G_0 , L_0 , C_0 – погонные значения соответственно активного сопротивления, индуктивности, активной и емкостной проводимостей линии.

$$\underline{A}_1 = A_1 e^{j\psi_1}, \quad (6)$$

$$\underline{A}_2 = A_2 e^{j\psi_2}. \quad (7)$$

Преобразуем каждое из слагаемых уравнения (4) в показательную форму с учетом выражений (5)–(7):

$$\dot{U}(x) = (A_1 e^{-\alpha x}) e^{-j(\beta x - \psi_1)} + (A_2 e^{\alpha x}) e^{j(\beta x + \psi_2)}.$$

Переходя от комплексных действующих значений напряжения к мгновенным, получаем:

$$u(x, t) = \sqrt{2} A_1 e^{-\alpha x} \cos(\omega t - \beta x + \psi_1) + \sqrt{2} A_2 e^{\alpha x} \cos(\omega t + \beta x + \psi_2), \quad (8)$$

где ω – угловая частота, рад/с.

Как видно из уравнения (8), установившееся значение напряжения в произвольном сечении линии с координатой x можно представить в виде алгебраической суммы двух составляющих:

$$u(x, t) = u_{nad}(x, t) + u_{omp}(x, t), \quad (9)$$

где

$$u_{nad}(x, t) = \sqrt{2} A_1 e^{-\alpha x} \cos(\omega t - \beta x + \psi_1), \quad (10)$$

$$u_{omp}(x, t) = \sqrt{2} A_2 e^{\alpha x} \cos(\omega t + \beta x + \psi_2). \quad (11)$$

Из рассмотрения зависимостей (10), (11) следует, что падающая волна напряжения $u_{nad}(x, t)$ распространяется в направлении увеличения x , тогда как отраженная волна $u_{omp}(x, t)$ – в направлении уменьшения x [2]. Очевидно, что в случае импульсной рефлектометрии выходное напряжение, вычисленное по формуле (9), будет равняться напряжению, найденному по формуле (10) в точке $x = 2l$, где l – длина линии.

Необходимо учесть, что в выражениях (10), (11) коэффициенты затухания и фазы также являются функциями угловой частоты [1]:

Из курса высшей математики известно, что любая периодическая функция, удовлетворяющая условиям Дирихле, может быть разложена в гармонический ряд Фурье [1]:

$$\begin{aligned} f(\omega t) &= A_0 + A_1 \sin(\omega t + \alpha_1) + A_2 \sin(2\omega t + \alpha_2) + \dots + A_n \sin(n\omega t + \alpha_n) = \\ &= A_0 + \sum_{k=1}^n A_k \sin(k\omega t + \alpha_k), \end{aligned} \quad (14)$$

где A_0 – постоянная составляющая сигнала, $A_k \sin(k\omega t + \alpha_k)$ – k -я гармоническая составляющая, A_k и α_k – соответственно амплитуда и начальная фаза k -й гармоники, n – количество гармоник.

Отдельные гармоники ряда Фурье можно представить в виде суммы синусной и косинусной составляющих без начальных фаз:

$$A_k \sin(k\omega t + \alpha_k) = A_k \cos \alpha_k \cdot \sin k\omega t + A_k \sin \alpha_k \cdot \cos k\omega t = B_k \cdot \sin k\omega t + C_k \cdot \cos k\omega t. \quad (15)$$

Объединив выражения (14) и (15), получим другую форму записи ряда Фурье:

$$f(\omega t) = A_0 + \sum_{k=1}^n (B_k \cdot \sin k\omega t + C_k \cdot \cos k\omega t). \quad (16)$$

Соотношения между коэффициентами двух форм ряда Фурье имеют вид:

$$A_k = \sqrt{B_k^2 + C_k^2}, \quad (17)$$

$$\alpha_k = \arctg \frac{C_k}{B_k}. \quad (18)$$

Если периодическая несинусоидальная функция может быть представлена аналитически в виде математического уравнения, то коэффициенты ряда Фурье определяются следующим образом [1]:

$$A_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt, \quad (19)$$

$$B_k = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin k\omega t dt, \quad (20)$$

$$C_k = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos k\omega t dt, \quad (21)$$

где T – период сигнала.

С помощью выражений (19)–(21) найдем коэффициенты ряда Фурье для прямоугольного импульсного сигнала амплитудой U_m , частотой f и скважностью S :

$$A_0 = \frac{1}{T} \int_0^\tau U_m dt = \frac{U_m}{S}, \quad (22)$$

$$B_k = \frac{2}{T} \int_0^\tau U_m \sin k\omega t dt = \frac{U_m}{k\pi} \left(1 - \cos \frac{2\pi k}{S} \right), \quad (23)$$

$$C_k = \frac{2}{T} \int_0^\tau U_m \cos k\omega t dt = \frac{U_m}{k\pi} \sin \frac{2\pi k}{S}, \quad (24)$$

где τ – длительность импульса.

Для записи ряда Фурье в форме (14), воспользовавшись формулами (17), (18), (23), (24), получим выражения:

$$A_k = \frac{\sqrt{2}U_m}{k\pi} \sqrt{1 - \cos \frac{2\pi k}{S}}, \quad (25)$$

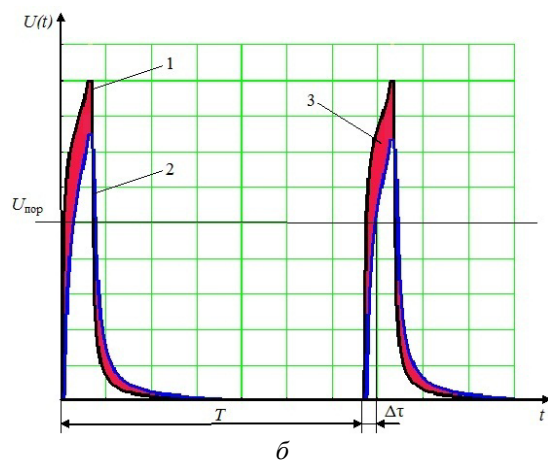
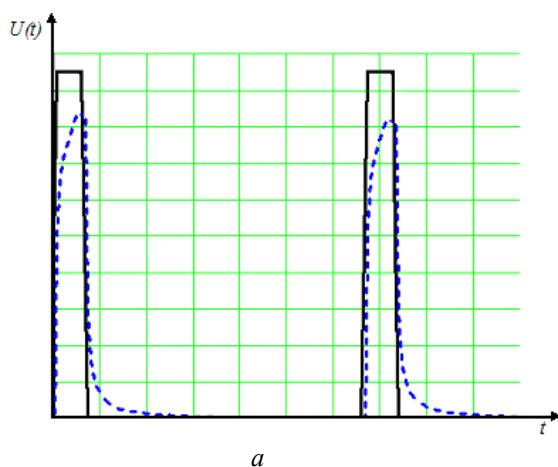
$$\alpha_k = \arctg \frac{\sin \frac{2\pi k}{S}}{1 - \cos \frac{2\pi k}{S}}. \quad (26)$$

С учетом формул (10), (12)–(14) и (22), (25), (26) окончательно уравнение импульсного прямоугольного сигнала, проходящего по линии с распределенными параметрами, примет вид:

$$u(x, t) = A_0 e^{-\alpha(0) \cdot x} + \sum_{k=1}^n A_k e^{-\alpha(k\omega) \cdot x} \cos(k\omega t - \beta(k\omega) \cdot x + \psi_k), \quad (27)$$

где начальная фаза k -й гармоники ввиду разложения по косинусам будет определяться как

$$\psi_k = \alpha_k - \frac{\pi}{2}.$$



Графики смоделированных в Mathcad импульсов:

а – графики входного и выходного сигналов; б: 1 – выходной сигнал при номинальных параметрах линии, 2 – выходной сигнал при отклонении значений параметров линии от номинальных, 3 – размытость сигнала от нестабильности параметров линии

Уравнение (27) позволяет синтезировать выходной сигнал после имитации прохождения всех гармонических составляющих по линии с распределенными параметрами, что было реализовано в Mathcad при моделировании передачи по проводам ВЛЭП 110 кВ зондирующих прямоугольных импульсов амплитудой 2 В и частотой 50 Гц. При фиксированных значениях $x = 0$ и $x = 2l$ были получены соответственно графики входного и выходного сигналов (см. рисунок), наглядно демонстрирующих вносимое линией искажение формы импульса.

Вывод

Предложенная математическая модель процессов передачи прямоугольных импульсов по линии с распределенными параметрами позволяет определить искажение формы зондирующего импульса и проанализировать погреш-

ность измерения расстояния до места аварии. Принцип корректировки измерений, исходя из искажения локационного сигнала, может быть реализован при создании рефлектометров с улучшенными метрологическими характеристиками.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бохан, К. А. Курс математического анализа: учеб. пособие для студентов-заочников физ.-мат. фак-тов пед. ин-тов. В 2-х т. Т. 2 / К. А. Бохан; под ред. В. З. Вулиха. – М.: Просвещение, 1972. – 439 с.
2. Попов, В. П. Основы теории цепей: учебник для вузов / В. П. Попов. – М.: Высш. шк., 2005. – 575 с.
3. Теумин, И. И. Справочник по переходным электрическим процессам / И. И. Теумин. – М.: Государственное издательство литературы по вопросам связи и радио, 1951. – 410 с.
4. Шилин, А. Н. Расчет погрешностей рефлектометров для мониторинга линий электропередачи / А. Н. Шилин, А. А. Шилин, Н. С. Артюшенко // Контроль. Диагностика. – 2015. – № 9. – С. 52–59.

УДК 621.311

П. В. Дикарев, А. М. Макаров

РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОГЕНЕРАЦИОННОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С АДАПТИВНОЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: dikarev.pavel@mail.ru

Разработана электромеханическая система автоматического управления автоматизированной компактной когенерационной установкой, в которой для получения тепловой энергии используется побочная энергия, вырабатываемая при получении электроэнергии, а вырабатываемая электроэнергия с помощью адаптивной системы управления перераспределяется на дополнительный нагрев воды при отсутствии необходимости ее использования внешними потребителями. Было разработано техническое решение установки, ее функциональная схема автоматизации, электрическая принципиальная схема и блок-схема алгоритма нагрева воды. Для экспериментального исследования разработанного устройства спроектирован и изготовлен опытный образец, состоящий из бензинового электрогенератора, теплообменника, ТЭНа, насосов, а также системы управления на базе микроконтроллера и датчиков. Разработана программа для получения и обработки данных с датчиков установки, с помощью которой была произведена предварительная оценка работоспособности разработанной установки, а также исследовано влияние различных факторов на эффективность нагрева воды. Разработана математическая модель для расчета КПД установки.

Ключевые слова: электромеханическая система, система автоматического управления (САУ), энергообеспечение, когенерация, энергосеть, теплоснабжение, техническое решение.

P. V. Dikarev, A. M. Makarov

COGENERATION ELECTROMECHANICAL SYSTEM WITH ADAPTIVE CONTROL SYSTEM

Volgograd State Technical University

An electromechanical automatic control system has been developed for an automated compact cogeneration unit, in which secondary energy generated during power generation is used to generate thermal energy, and the generated electricity is redistributed by an adaptive control system to additional water heating without the need for its use by external consumers. The technical solution of the installation, its functional automation diagram, the electrical circuit diagram and the block diagram of the water heating algorithm were developed. For an experimental study of the developed device, a prototype has been designed and manufactured, consisting of a gasoline electric generator, a heat exchanger, a heating element, pumps, and a control system based on a microcontroller and sensors. A program was developed for receiving and processing data from installation sensors, with the help of which a preliminary assessment of the efficiency of the developed installation was made, and the influence of various factors on the efficiency of water heating was studied. A mathematical model for calculating the efficiency of the installation has been developed.

Keywords: electromechanical system, automatic control system (ACS), power supply, cogeneration, power grid, heat supply, technical solution.

Введение

Когенерация – это объединенный процесс производства электрической и тепловой энергии внутри одного устройства – когенерационной установки (КУ). Первичный привод является механическим источником производимой электроэнергии, которая в свою очередь может вращать ротор электрогенератора, например, газопоршневой двигатель, газовую или паровую турбину. Тепловая энергия вырабатывается за счет использования тепловых потерь (использование тепла охлаждающей жидкости, смазочного масла, сжатой газозооушной смеси и выхлопных угарных газов) первичного приводного двигателя [1].

Когенерационные установки позволяют использовать в качестве источника дополнительной энергии совокупную тепловую энергию двигателя внутреннего сгорания (ДВС) автомобиля или электростанции, при этом имеется возможность получать электроэнергию [2].

В последние года когенерационные установки, называемые мини-ТЭЦ, все шире и шире используются в России. Мини-ТЭЦ применяют на нефтегазоперерабатывающих и химических заводах, в стекольной, бумажной, машиностроительной, текстильной и пищевой промышленности, в крупных административных и торговых центрах и больницах. Их успешно эксплуатируют для покрытия длительных или пиковых нагрузок, в автономном или аварийном режимах работы.

Математическая модель

Для оценки эффективности использования когенерационных электромеханических систем на базе ДВС разработана математическая модель.

КПД когенерационной установки состоит из КПД по электрической энергии и КПД по тепловой энергии.

$$\eta = \eta_{эл} + \eta_{тепл}, \quad (1)$$

КПД по электрической энергии определяется по формуле:

$$\eta_{эл} = \frac{P_{эл}}{P_{топл}}, \quad (2)$$

где $P_{эл}$ – электрическая мощность, отдаваемая потребителю для его нужд; $P_{топл}$ – мощность, отдаваемая топливом, [Вт].

КПД по тепловой энергии определяется по формуле:

$$\eta_{тепл} = \frac{P_{тепл}}{P_{топл}}, \quad (3)$$

где $P_{тепл}$ – тепловая мощность, полученная водой, [Вт].

Тепловая мощность, получаемая водой, включает в себя нагрев выхлопными газами, охлаждающей жидкостью, маслом системы смазки, и ТЭНом, и рассчитывается по формуле:

$$P_{тепл} = \frac{Q_{тепл}}{t_{раб}}, \quad (4)$$

где $Q_{тепл}$ – тепловая энергия, полученная водой, [Дж]; $t_{раб}$ – время нагрева воды, [с].

Тепловая энергия, полученная водой [5], рассчитывается по формуле:

$$Q_{тепл} = cm_v(T_{треб} - T_{исх}), \quad (5)$$

где $c = 4187 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ – удельная теплоемкость воды; m_v – масса воды, перекачиваемая в процессе работы через теплообменник и ТЭН, [кг]; $T_{исх}$ и $T_{треб}$ – температура воды до и после нагрева соответственно, [К].

Масса воды, перекачиваемая в процессе работы, определяется по формуле:

$$m_v = M_v t_{раб}, \quad (6)$$

где M_v – массовый расход воды, $\left[\frac{\text{кг}}{\text{с}}\right]$.

Связь массового расхода воды с объемным:

$$M_v = \rho_v q_v, \quad (7)$$

где q_v – объемный расход воды, $\left[\frac{\text{м}^3}{\text{с}}\right]$; $\rho_v = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ – плотность воды.

Подставив выражения (5), (6) и (7) в формулу (4), получим:

$$P_{тепл} = \frac{c \rho_v q_v t_{раб} (T_{треб} - T_{исх})}{t_{раб}} = c \rho_v q_v (T_{треб} - T_{исх}).$$

Таким образом, тепловая мощность рассчитывается по формуле:

$$P_{тепл} = c \rho_v (T_{треб} - T_{исх}) \cdot q_v. \quad (8)$$

Мощность, отдаваемая топливом, рассчитывается по формуле:

$$P_{топл} = \frac{Q_{топл}}{t_{раб}}, \quad (9)$$

где $Q_{топл}$ – тепловая энергия, отдаваемая топливом.

Тепловую энергию, отдаваемую топливом, можно рассчитать по формуле:

$$Q_{топл} = \alpha m_{\delta}, \quad (10)$$

где $\alpha = 4,4 \cdot 10^7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ – удельная теплота сгорания бензина АИ-92; m_{δ} – масса бензина, потребленная в процессе нагрева, [кг].

Массу бензина, потребляемая в процессе нагрева, рассчитывается аналогично массе воды по формуле:

$$m_{\delta} = t_{раб} M_{\delta} = \rho_{\delta} q_{\delta} t_{раб}, \quad (11)$$

где M_{δ} – массовый расход бензина, $\left[\frac{\text{кг}}{\text{с}}\right]$; $\rho_{\delta} = 725 \dots 780 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ – плотность бензина АИ-92 при $t = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$; q_{δ} – объемный расход бензина, $\left[\frac{\text{м}^3}{\text{с}}\right]$.

Подставив выражения (10) и (11) в формулу 9, получим:

$$P_{\text{топл}} = \frac{\alpha \rho_{\delta} q_{\delta} t_{\text{раб}}}{t_{\text{раб}}} = \alpha \rho_{\delta} q_{\delta}.$$

Таким образом, была получена формула (12) для расчета мощности топлива.

$$P_{\text{топл}} = \alpha \rho_{\delta} q_{\delta} \quad (12)$$

Подставив выражения (8) и (12) в формулы (2) и (3), получим выражения для определения КПД по электрической и тепловой мощности:

$$\eta_{\text{эл}} = \frac{1}{\alpha \rho_{\delta}} \cdot \frac{P_{\text{эл}}}{q_{\delta}} \quad (13)$$

$$\eta_{\text{тепл}} = \frac{c \rho_{\delta}}{\alpha \rho_{\delta}} (T_{\text{треб}} - T_{\text{исх}}) \cdot \frac{q_{\delta}}{q_{\delta}} \quad (14)$$

Для удобства произведем замену:

$$k_1 = \frac{1}{\alpha \rho_{\delta}} = \frac{1}{4,4 \cdot 10^7 \cdot (725 \div 780)} = (2,914 \dots 3,135) \cdot 10^{-11} \frac{\text{м}^3}{\text{Дж}},$$

$$k_2 = c \rho_{\delta} = 4187 \cdot 1000 = 4,187 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3 \cdot \text{К}}.$$

Тогда зависимости (13) и (14) запишутся в виде:

$$\eta_{\text{эл}} = k_1 \frac{P_{\text{эл}}}{q_{\delta}} \quad (15)$$

$$\eta_{\text{тепл}} = k_1 k_2 (T_{\text{треб}} - T_{\text{исх}}) \cdot \frac{q_{\delta}}{q_{\delta}} \quad (16)$$

При определении общего КПД установки следует учесть, что расход бензина зависит от мощности нагрузки электрогенератора и частоты его вращения, то есть

$$q_{\delta} = f(n_{\text{ген}}, P_{\text{ген}}),$$

$$\eta = k_1 \frac{P_{\text{эл}}}{q_{\delta}} + k_1 k_2 (T_{\text{треб}} - T_{\text{исх}}) \cdot \frac{q_{\delta}}{q_{\delta}}.$$

Тогда общий КПД установки:

$$\eta = \frac{k_1}{f(n_{\text{ген}}, P_{\text{ген}})} (P_{\text{эл}} + k_2 (T_{\text{треб}} - T_{\text{исх}}) q_{\delta}). \quad (17)$$

Произведем проверку формулы по размерностям входящих величин:

$$\frac{\frac{\text{м}^3}{\text{Дж}}}{\frac{\text{м}^3}{\text{с}}} \left(\frac{\text{Дж}}{\text{с}} + \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3 \cdot \text{К}} \cdot \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \right) = \frac{\text{м}^3}{\text{Дж}} \cdot \frac{\text{с}}{\text{м}^3} \cdot \frac{\text{Дж}}{\text{с}} = 1$$

КПД является безразмерной величиной, следовательно, полученная зависимость корректна.

Анализ полученной зависимости позволяет сделать следующие выводы:

Требуемая и исходная температуры воды $T_{\text{треб}}$ и $T_{\text{исх}}$ являются исходными данными для расчетов, то есть $T_{\text{треб}} - T_{\text{исх}} = \text{const}$ (при проточном режиме нагрева).

Коэффициенты k_1 и k_2 зависят от физических параметров, характеризующих бензин и воду. Примем их постоянными $k_1 = k_2 = \text{const}$.

Электрическая мощность, отдаваемая потребителю, зависит от нагрузки, создаваемой потребителем:

$$P_{\text{эл}} = U_{\text{номр}} I_{\text{номр}}. \quad (18)$$

Переменными в формуле являются частота вращения генератора $n_{\text{ген}}$, нагрузка генератора $P_{\text{ген}}$ и расход воды через теплообменники q_{δ} . Причем КПД имеет прямую зависимость от q_{δ} .

Таким образом, для получения окончательной формулы для расчета КПД установки необходимо исследовать зависимость $q_{\delta} = f(n_{\text{ген}}, P_{\text{ген}})$.

Экспериментальная установка

Для оценки работоспособности разработанного устройства была сконструирована экспериментальная установка для проведения серии опытов по нагреву воды (рис. 1).

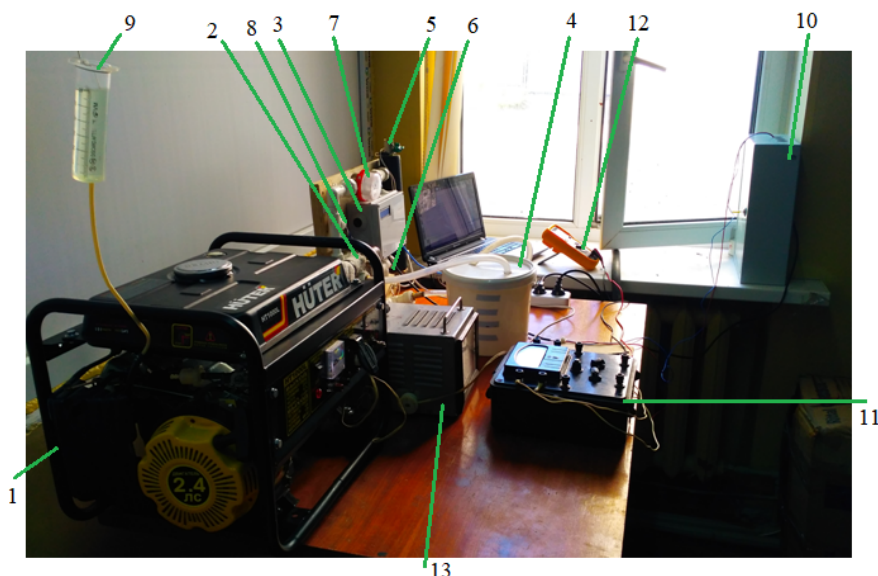


Рис. 1. Фото экспериментальной установки:

1 – электростанция; 2 – теплообменник; 3 – блок управления; 4 – емкость с водой; 5 – ТЭН; 6 – насос; 7 – датчики расхода воды; 8 – датчики температуры; 9 – датчик расхода бензина; 10 – блок питания (12 V DC); 11 – амперметр; 12 – мультиметр; 13 – ЛАТР

Была проведена серия из трех опытов. По результатам эксперимента построены зависи-

мости температуры на выходе теплообменника (вода, подаваемая потребителю) от времени.

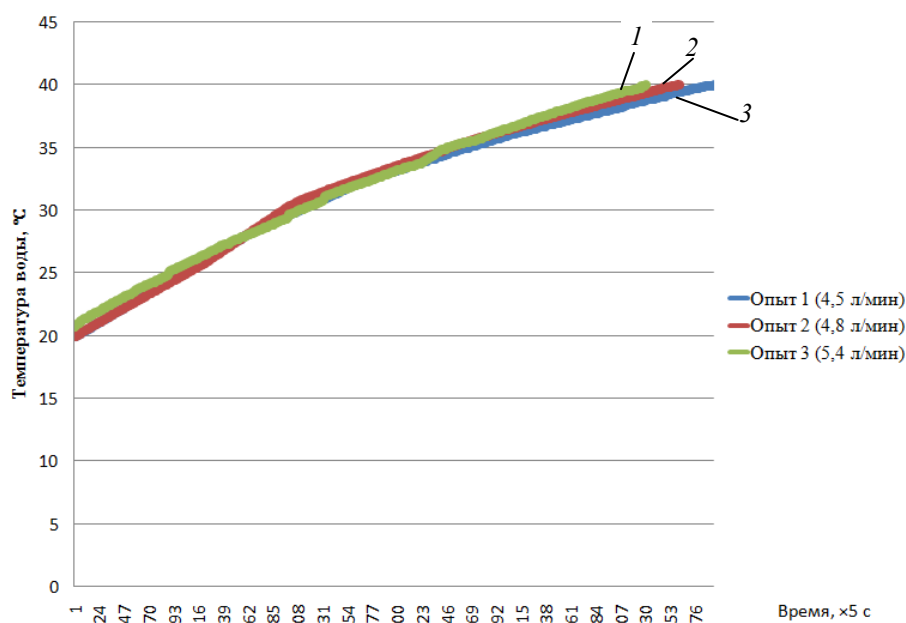


Рис. 2. Результаты эксперимента по исследованию зависимости скорости нагрева от расхода воды

На рис. 2 представлены результаты опытов по исследованию зависимости скорости нагрева воды от расхода воды. 5 литров воды нагревались на 20 °C выхлопными газами на холостом

ходу. При нагреве с расходом воды 4,5 л/мин (опыт 1) понадобилось 49,5 минут. С 4,8 л/мин (опыт 2) – 46,8 минут. С 5,4 л/мин (опыт 3) – 44,3 л/мин.

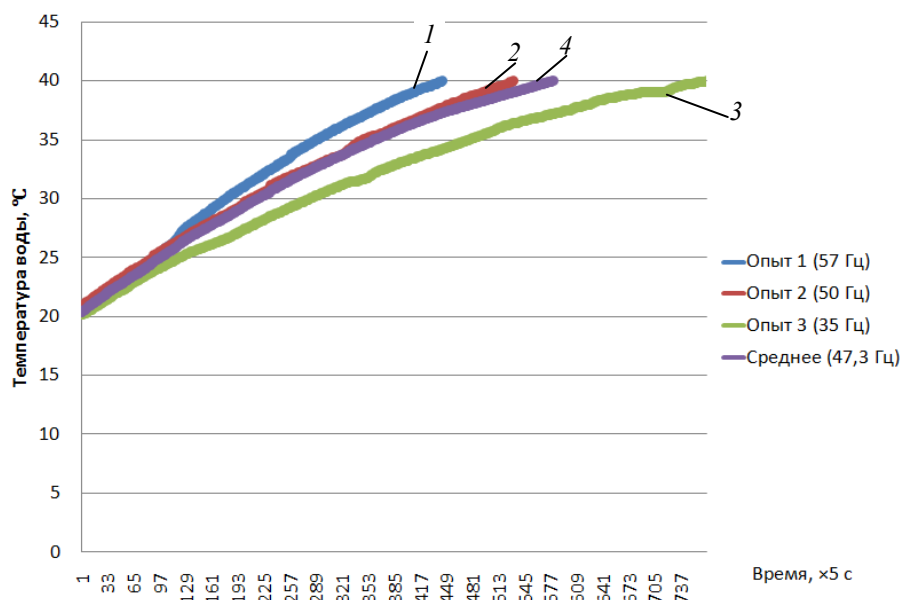


Рис. 3. Результаты эксперимента по исследованию зависимости скорости нагрева от частоты тока генератора

На рис. 3 представлены результаты опытов по исследованию зависимости скорости нагрева воды от частоты тока генератора. 5 литров во-

ды нагревались при расходе 5,4 л/мин на 20 °C только выхлопными газами на холостом ходу. При нагреве с частотой 57 Гц (опыт 1) понадо-

билось 37 минут. С частотой 50 Гц (опыт 2) – 44,3 минуты. С частотой 35 Гц (опыт 3) – 64 минуты.

На рис. 4 представлены результаты опытов по исследованию зависимости скорости нагрева воды от нагрузки на электрогенератор. 10 литров воды нагревались при расходе 7,6 л/мин на 14 °С

выхлопными газами с подключением ТЭНа и без. При нагреве только выхлопными газами (без нагрузки) понадобилось 70 минут. Для нагрева с нагрузкой в 25 % (выхлоп + ТЭН 224 Вт) – 47 минут, а для нагрева с нагрузкой в 100 % (выхлоп + 1000 Вт) – 23 минуты.

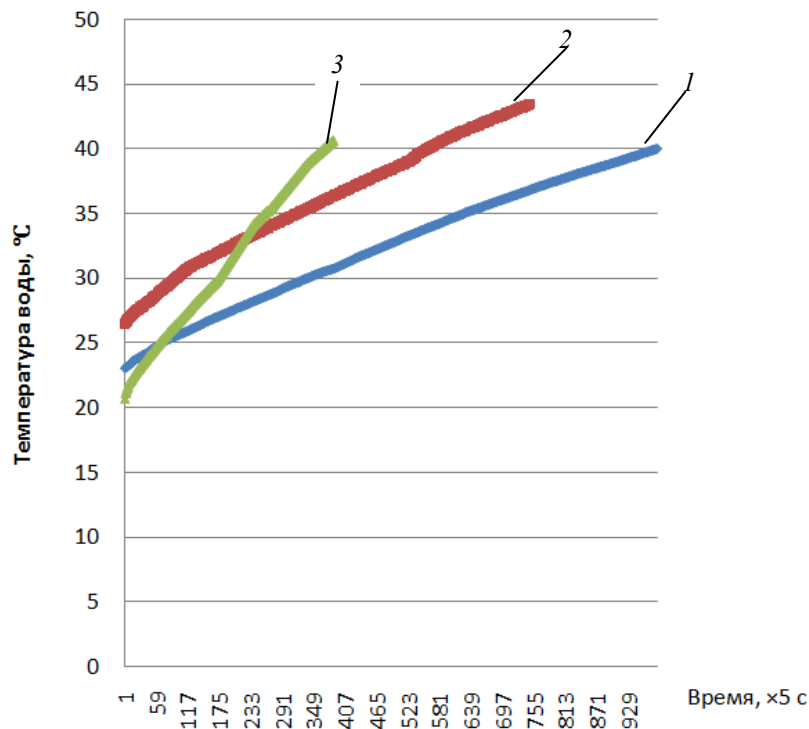


Рис. 4. Результаты эксперимента по исследованию зависимости скорости нагрева от нагрузки на генератор:
1 – без нагрузки (только выхлоп); 2 – нагрузка 25 % (выхлоп + ТЭН 224 Вт);
3 – нагрузка 25 % (выхлоп + ТЭН 1000 Вт)

Частота генератора прямо пропорционально зависит от числа оборотов вала двигателя. Отсюда можно сделать выводы, что скорость нагрева растет при увеличении числа оборотов вала двигателя, при увеличении расхода воды и нагрузки на генератор [4]. На рис. 5 показан итог подсчета эффективности установки в программе Microsoft Excel.

Мощность нагрева в сек=	7536,6	Дж/с
Энергия топлива (затраты) =	2972,97	Дж/с
Тепловые потери =	34958	Дж/с
Кпд нагрева с учетом топлива	19,8693	%

Рис. 5. Подсчет эффективности установки

Таким образом, когенерация позволяет повысить кпд исследуемой установки на 20 %.

Выводы

Для более эффективного получения тепловой и электрической энергии в нестационарных

условиях разработана конструкция мобильной когенерационной установки, которая позволяет повысить коэффициент полезного действия получения тепловой энергии, так как для этой цели кроме энергии отработанных газов и охлаждающей жидкости используются излишки вырабатываемой электрической энергии. При этом управление установкой осуществляется от микропроцессорного блока управления, это позволяет задавать различные режимы работы установки в зависимости от вида и объема потребляемой энергии и эффективно контролировать их, управляя установкой в автоматическом режиме. Все это повышает кпд и эффективность установки в целом [5].

Разработана математическая модель работы когенерационной установки. Для экспериментального исследования разработанного устройства спроектирован и изготовлен опытный образец, состоящий из бензинового электрогенератора, теплообменника, ТЭНа, насосов, а так-

же системы управления на базе микроконтроллера и датчиков. Произведена предварительная оценка работоспособности разработанной установки, а также исследовано влияние различных факторов на эффективность нагрева воды. Результаты математического моделирования сходятся с результатами эксперимента, что позволяет судить о возможности и эффективности использования компактных мобильных когенерационных установок в различных отраслях экономики, а также повседневной жизни.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гольдинер, А. Я. Газопоршневые электроагрегаты / А. Я. Гольдинер, М. И. Цыркин, В. В. Бондаренко. – СПб. : Галерея Принт. – 2006. – 240 с.
2. Дикарев, П. В. Разработка и исследование компактной мобильной когенерационной установки / П. В. Дикарев, А. М. Макаров, И. В. Волков // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве : сб.

матер. III Поволжской науч.-практ. конф. (г. Казань, 7–8 декабря 2017 г.). В 2 т. Т. 2 / редкол.: Э. Ю. Абдуллазянов (гл. ред.) [и др.] ; ФГБОУ ВО «Казанский гос. энергетический ун-т». – Казань, 2017. – С. 103–105.

3. Кондратьев, Д. Л. Когенерация / Д. А. Кондратьев // Энергосбережение – теория и практика : матер. междунар. молодежной научной школы Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во ООО «СПБ Графика». – 2012. – 209 с.

4. Дикарев, П. В. Development of Technical Solution for Automated Compact Cogeneration Plant Using Search Engineering / П. В. Дикарев, А. А. Яковлев, А. М. Макаров // Proceedings of 2018 International Ural Conference on Green Energy (UralCon) (Russian Federation, Chelyabinsk, October 4–6, 2018) / South Ural State University (national research university), IEEE Russia Siberia Section. – [Publisher: IEEE], 2018. – P. 253–258. – Режим доступа: URL : <https://ieeexplore.ieee.org/document/8544308>.

5. Разработка и исследование автоматизированной мобильной когенерационной установки / П. В. Дикарев, А. М. Макаров, И. В. Волков, А. А. Яковлев // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 7 (217) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2018. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 78–81.

УДК 621.317.39

А. Н. Шилин, М. Н. Мустафа

ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ВИБРОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: eltech@vstu.ru

Для диагностирования роторных вращающихся машин в энергетике с частотами вращения единицы Гц используются инерционные электромеханические преобразователи. В некоторых конструкциях таких преобразователей используется электромагнитный подвес с параметрической обратной связью, которая реализована на аналоговых элементах. Нестабильность параметров этих элементов и наличие сухого трения в направляющих является источником погрешности преобразователя. Токи утечки в конденсаторе блока обратной связи ограничивают низкочастотную границу частотного диапазона преобразователя. Поэтому для расширения функциональных возможностей и повышения точности контроля предложено использовать умные цифровые электромеханические системы (SEMS). Использование цифровых устройств позволит увеличить частотный диапазон преобразователя в низкочастотную область, поскольку длительность хранения информации в цифровых устройствах не ограничена.

Ключевые слова: диагностика роторных машин, вибродиагностика, сейсмические датчики, инерционные электромеханические преобразователи, электромагнитный подвес, умные электромеханические системы (SEMS).

A. N. Shilin, M. N. Mustafa

TENDENCIES AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF LOW-FREQUENCY ELECTROMECHANICAL VIBRO-CONVERTERS

Volgograd State Technical University

Inertia electromechanical transducers are used to diagnose rotary rotating machines in the power industry with the rotational speed of a unit of Hz. Some designs of such converters use an electromagnetic suspension with parametric feedback, which is implemented on analog elements. The instability of the parameters of these elements and the presence of dry friction in the guides is a source of error in the converter. The leakage currents in the capacitor of the feedback unit limit the low-frequency limit of the frequency range of the converter. Therefore, it is proposed to use smart digital electromechanical systems (SEMS) to extend the functionality and increase the accuracy of control. The use of digital devices will allow increasing the frequency range of the converter in the low-frequency region, since the duration of information storage in digital devices is not limited.

Keywords: diagnostics of rotary machines, vibration diagnostics, seismic sensors, inertial electromechanical transducers, electromagnetic suspension, smart electromechanical systems (SEMS).

В настоящее время одной из актуальных проблем в энергетике и промышленности является повышение надежности работы различного оборудования, поскольку аварийные режимы некоторых технологических процессов могут привести к техногенным катастрофам. Эффективным методом повышения надежности оборудования является диагностирование состояния машин и прогнозирование их работоспособности. Для диагностирования роторных вращающихся машин широко используются вибрационные методы контроля. Характер вибрационного процесса машины зависит от износа деталей машины и поэтому по контролируемым параметрам вибрационного процесса можно определить степень износа и соответственно техническое состояние машин. В зависимости от частотного диапазона вибрационного процесса в качестве источников информации используются различные параметры. Например, в низкочастотном диапазоне измеряют параметр виброперемещения, в среднечастотном – виброскорости, высокочастотном – виброускорения [1]. В измерительной технике широко применяются приборы, использующие пьезодатчики, которые измеряют виброускорения, а виброскорости и виброперемещения определяются с помощью интеграторов. Такие приборы работают в диапазоне частот 10–10000 Гц [2], однако на практике возникает необходимость диагностики тихоходного оборудования с частотами вращения единицы Гц, например, гидрогенераторы ГЭС. Таким образом, вибродиагностика оборудования на низких частотах является в настоящее время актуальной проблемой.

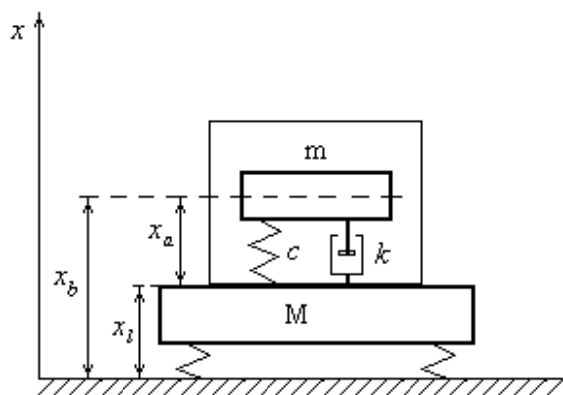


Рис. 1. Схема преобразователя инерционного действия: x_l – входная величина, x_a – выходная величина, m – масса инерционного элемента, k – коэффициент вязкого трения, c – коэффициент упругости, M – масса объекта измерения

Из проведенного анализа методов и средств вибродиагностики низкочастотных колебаний следует, что в качестве концептуальной конструкции целесообразно использовать преобразователи инерционного действия, обладающие наибольшими потенциальными возможностями для совершенствования. В общем случае преобразователь инерционного действия состоит из упругого подвеса с элементом демпфирования и инерционного элемента (рис. 1).

Уравнение движения инерционной массы m в системе с коэффициентом упругости c и коэффициентом вязкого трения k в случае одной степени свободы записывается в следующем виде:

$$m\ddot{x}_b + k(\dot{x}_b - \dot{x}_l) + c(x_b - x_l) = 0, \quad (2)$$

где x_l – вибрационное перемещение точки подвеса.

Из уравнений (2) и (1) получено дифференциальное уравнение, связывающее входную величину x_l и выходную величину x_a , для этой системы:

$$m\ddot{x}_a + k\dot{x}_a + cx_a = -m\ddot{x}_l, \quad (3)$$

Возможным решением этой проблемы является использование инертной массы на управляемом по жесткости электромагнитном подвесе, использующим параметрическую обратную связь. Этот принцип реализован в системе [3–5] (рис. 2).

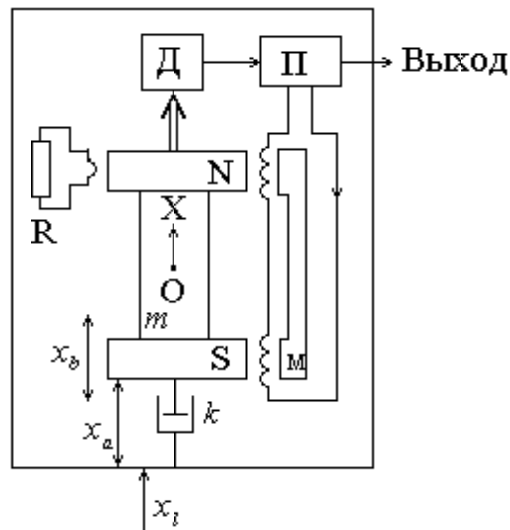


Рис. 2. Система с электромагнитным подвесом: NS – подвижный магнит, Д – датчик положения, П – преобразователь, R – резистор, подключенный к катушке в поле магнита NS

Из уравнения (3) получено выражение для амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) системы:

$$|G(j\lambda)| = \frac{\lambda^2}{\sqrt{(1-\lambda^2)^2 + 4D^2\lambda^2}}, \quad (4)$$

где $\lambda = \frac{\omega}{\omega_0}$ – нормированная частота;

$D = \frac{k}{2m\omega_0}$ – коэффициент системы затухания;

$\omega_0 = \sqrt{\frac{c}{m}}$ – выражение для собственной частоты колебаний системы.

Коэффициент жесткости электромагнитного подвеса определяется выражением:

$$c = 2B\pi r N k_d, \quad (5)$$

где $\vec{B}$ – вектор магнитной индукции; r – радиус катушки; N – число ее витков; k_d – коэффициент чувствительности датчика положения магнита.

Использование механического демпфера на низких частотах затруднительно, так как силы, возникающие в нем нелинейны, поэтому для демпфирования системы введена катушка (рис. 2), движущаяся вместе с подвижной массой в магнитном поле и замкнутая на резистор. Коэффициент k для такой системы электромагнитного демпфирования равен:

$$k = -4 \frac{B^2 \pi^2 r_1 r n}{\sqrt{X_L^2 + R^2}}. \quad (6)$$

где r_1 – радиус катушки; n – число витков катушки; X_L – импеданс катушки; R – сопротивление резистора.

Используемая для демпфирования катушка, замкнутая на резистор, приводит к нелинейности возникающих здесь сил в зависимости от положения магнита, в силу изменения реактивного сопротивления катушки. Кроме того, в этом случае довольно сложно определять параметры демпфирующего устройства. На основе проведенных исследований данная проблема была решена включением идеального дифференцирующего звена в обратную связь параллельно пропорциональному звену (рис. 3).

Дифференциальное уравнение движения массы имеет следующий вид:

$$m\ddot{x}_a + c(t) \otimes x_a = -m\ddot{x}_i, \quad (7)$$

здесь коэффициент c является функцией времени и поэтому в дифференциальное уравнение вводится операция свертки функций:

$$c(t) \otimes x_a = \int_0^t c(t)x_a(t-\tau)d\tau. \quad (8)$$

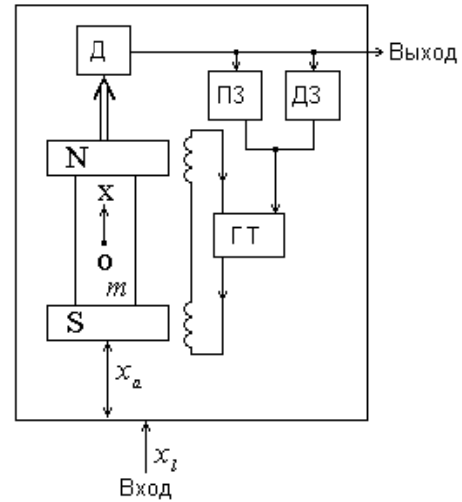


Рис. 3. Датчик с управляемым электромагнитным подвесом: Д – датчик, NS – подвижный магнит, ПЗ – пропорциональное звено, ДЗ – дифференцирующее звено, ГТ – генератор тока

После преобразований уравнения (7) передаточная функция всей электромагнитной системы определяется выражением:

$$G(p) = \frac{-mp^2}{mp^2 + 2B\pi r N k_1 p + 2B\pi r N k_0}. \quad (9)$$

Собственная частота колебаний подвижной массы в системе равна:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{2B\pi r N k_0}{m}}. \quad (10)$$

Коэффициент затухания равен:

$$D = \frac{B\pi r N k_1}{m\omega_0}. \quad (11)$$

При настройке прибора сначала вычисляется коэффициент усиления k_0 пропорционального звена для получения требуемой резонансной частоты (10), а затем – коэффициент k_1 в выражении (11) для получения значения $D = 0.6$, при котором обеспечивается равномерная частотная характеристика.

Выражение для амплитудно-частотной характеристики системы с идеальным дифференцирующим звеном имеет следующий вид:

$$|G(j\lambda)| = \frac{\lambda^2}{\sqrt{(1-\lambda^2)^2 + 4D^2\lambda^2}} = \frac{\lambda^2}{\sqrt{(1-\lambda^2)^2 + 4\left[\frac{B\pi r N k_1}{m\omega_0}\right]^2 \lambda^2}} \quad (21)$$

На рис. 4. представлена амплитудно-частотная характеристика системы.

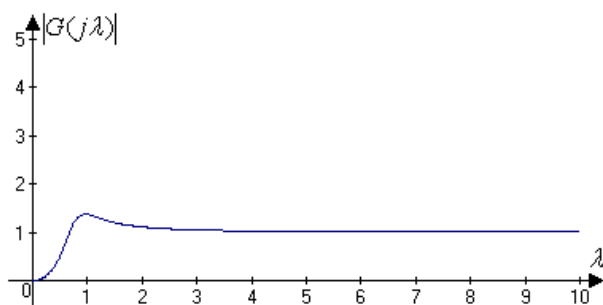


Рис. 4. АЧХ системы с пропорциональным и идеальным дифференцирующим звеньями

Кроме того, усложняется задача выбора параметров системы. Таким образом, реализация параметрической обратной связи электромагнитной системы с идеальным дифференцирующим звеном позволяет обеспечить равномерность амплитудно-частотной характеристики на низких частотах.

Разработанный низкочастотный преобразователь колебаний с электромагнитным подвесом обладает преимуществами перед существующими аналогами и имеет потенциальные возможности для усовершенствования. В качестве источников, ограничивающих метрологические характеристики прибора, необходимо отметить следующие:

- наличие сухого трения в электромагнитном подвесе, которое ограничивает по минимальному значению порог чувствительности;
- система обратной связи выполнена на аналоговых элементах, параметры которых нестабильны и зависят от внешних условий и времени эксплуатации.

Для исключения сухого трения в подвесе целесообразно использовать электромагнитные связи по трем координатам. Необходимо отметить, в настоящее время в качестве демонстрационных игрушек используются левитроны самых различных конструкций, которые позволяют удерживать в электромагнитном поле постоянные магниты. Непосредственно использовать эти разработки в измерительной технике не представляется возможным, поскольку основное требование к измерительным устройствам — высокая стабильность параметров и характеристик. Это требование позволяет обеспечивать необходимую точность измерения. Однако эти конструкции могут быть взяты за основу при разработке низкочастотных преоб-

разователей колебаний с электромагнитным подвесом.

Очевидно, что для повышения точности целесообразно использовать цифровой ПИД-регулятор, который обладает более высокой точностью обработки информации и большими функциональными возможностями. Цифровой ПИД-регулятор может программно в зависимости от условий и требований к измерительному устройству обоснованно выбирать оптимальные параметры. Так, например, в зависимости от частотного диапазона колебаний объекта цифровой ПИД-регулятор позволит определять параметры преобразователя с равномерной частотной характеристикой. Для вычисления параметров преобразователя, обеспечивающих необходимые метрологические характеристики, цифровой ПИД-регулятор должен содержать цифровое вычислительное устройство. Таким образом, электромеханический преобразователь с обратной связью с цифровым ПИД-регулятором и вычислительным блоком представляет собой интеллектуальную электромеханическую систему (SEMS). Обычно для контроля колебаний протяженных объектов используются несколько преобразователей, которые объединяются в одну информационно-измерительную систему (ИИС). Группа SEMS в составе информационно-измерительной системы позволит обеспечить наиболее оптимальное взаимодействие между преобразователями.

Параметры ПИД-регулятора могут быть получены по аналоговой модели [6].

Вывод

Использование цифровой управляемой параметрической обратной связи SEMS позволяет управлять характеристиками преобразователя в зависимости от измеряемых параметров и характеристик информационных сигналов. Использование цифровых устройств позволит увеличить частотный диапазон преобразователя в низкочастотную область, поскольку длительность хранения информации в цифровых устройствах не ограничена. Использование SEMS в информационно-измерительной системе обеспечивает наиболее оптимальное взаимодействие между преобразователями. Предлагаемый умный электромеханический преобразователь имеет улучшенные метрологические характеристики и поэтому может осуществлять контроль и диагностику оборудования в различ-

ных отраслях деятельности человека. Особенно актуальна эта проблема в гидроэнергетике.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Измерения, контроль, испытания и диагностика. Т III / В. В. Клюев, Ф. Р. Соснин, В. Н. Филинов и др. – М.: Машиностроение. – 1996. – 464 с.
2. Аш и соавторами. Датчики измерительных систем: в 2 кн. Кн. 2. Пер. с франц. под ред. А. С. Обухова. – М.: Мир, 1992. – 424 с.
3. Шилин, А. Н. Определение погрешности вибропреобразователя с электромагнитным подвесом / А. Н. Ши-

лин, М. Н. Седов // Контроль. Диагностика. – 2010. – № 5. – С. 60–63.

4. Шилин, А. Н. Моделирование вибропреобразователя с электромагнитным подвесом / А. Н. Шилин, М. Н. Седов // Приборы. – 2008. – № 12. – С. 41–44.

5. Пат. 95832 Российская Федерация, МПК G 01 H 11/02. Устройство для измерения вибраций / Седов М. Н., Шилин А. Н.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО ВолгГТУ. – 2010.

6. Шилин, А. Н. Цифровое моделирование электротехнических и электронных устройств: монография / А. Н. Шилин, О. А. Крутякова; Российская Академия Естествознания, Издательский дом РАЕ. – Москва: ИД «Академия Естествознания», 2014. – 131 с.

УДК 621.311

С. В. Макартичян

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПОГРЕШНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ МЕТОДОМ ТЕПЛОВОЙ ВОЛНЫ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: hymir@mail.ru

Предложена методика оценки относительной погрешности определения тепловых потерь методом тепловой волны. Получены аналитические выражения, позволяющие по параметрам системы теплоснабжения определить верхний предел относительной погрешности определения тепловых потерь. Полученные в статье соотношения для погрешностей позволяют производить обоснованный выбор параметров систем теплоснабжения, а также используемых измерительных приборов с целью минимизации относительной погрешности определения тепловых потерь.

Ключевые слова: тепловые сети, метод тепловой волны, относительная погрешность, тепловые потери.

S. V. Makartichyan

METHODOLOGY FOR HEAT LOSSES ERROR ESTIMATING BY HEAT WAVE METHOD

Volgograd State Technical University

A technique for relative error estimating of thermal losses by the thermal wave method is proposed. Analytic expressions are obtained that allow to determine the upper limit of the relative thermal losses from the parameters of the thermal supply system. The ratios obtained for the errors in the paper make it possible to make a reasonable choice of the thermal supply systems parameters, as well as the measuring instruments used, in order to minimize the thermal losses relative error.

Keywords: thermal networks, thermal wave method, relative error, thermal losses.

В настоящее время в ЖКХ наиболее актуальна проблема уменьшения энергетических потерь и, соответственно, внедрения энергосберегающих технологий. Поскольку средства на внедрение энергосберегающих технологий ограничены, то очевидно, что в первую очередь мероприятия должны проводиться на тех объектах, где возможен максимальный экономический эффект. Для обоснованного выбора объекта и мероприятий по энергосбережению необходимо предварительно определить тепловые потери на объектах. Наибольшие потери возникают в тепловых сетях при транспортировке

энергии и поэтому необходимы методы и средства определения этих потерь. Следует отметить, что оценка потерь также необходима при обосновании задачи внедрения автономных систем энергообеспечения.

Обычно тепловая энергия, переданная теплоносителю, поступает в теплотрассу, а через нее – на объекты потребителей. Величину КПД теплотрасс определяют следующие параметры: КПД сетевых насосов, которые обеспечивают движение теплоносителя по теплотрассе; способ укладки и тип изоляции трубопроводов; потери, связанные с правильностью распределения

тепла между потребителями и гидравлической настроенностью теплотрассы; утечки теплоносителя, которые возникают при аварийных и нештатных ситуациях.

Если система теплотрасс спроектирована правильно и гидравлически налажена, то удаление конечного потребителя от участка производства энергии не должно превышать 1,5–2 км и тогда общая величина потерь не превышает 5–7 %. Однако использование отечественных мощных сетевых насосов, имеющих низкий КПД, практически всегда приводит к значительным непроизводительным перерасходам электроэнергии.

При большой протяженности трубопроводов теплотрасс значительное влияние на величину тепловых потерь приобретает качество тепловой изоляции теплотрасс.

Основополагающим фактором экономичности работы теплотрассы является гидравлическая налаженность. Для равномерного распределения тепла между объектами они должны быть правильно расположены, иначе тепловая энергия перестает эффективно использоваться на объектах потребления, и возникает ситуация с возвращением части тепловой энергии по обратному трубопроводу в котельную. Это приводит к снижению КПД всей системы, также ухудшается качество отопления в наиболее отдаленных по ходу теплосети зданиях. Обычно

потери тепловой энергии в теплотрассах не должны превышать 5–7 %. Но фактически они могут достигать величины в 25 % и выше.

В настоящее время фактические эксплуатационные тепловые потери в закрытых системах водоснабжения устанавливаются экспериментально путем проведения тепловых испытаний сети согласно «Методическим указаниям по определению тепловых потерь в водяных тепловых сетях» (РД 34.09.255-97), разработанные РАО «ЕЭС РОССИИ» [1].

Согласно этим указаниям испытания по определению тепловых потерь двухтрубной тепловой сети проводятся на циркуляционном кольце, состоящем из подающей и обратной линий с перемычкой между ними на конечном участке кольца. Циркуляционное кольцо состоит из ряда последовательно соединенных участков, различающихся типом прокладки, конструкцией изоляции, а также диаметром трубопроводов.

Целью данной работы является оценка погрешности определения тепловых потерь в водяных тепловых сетях, полученных согласно методике [1].

Суммарные тепловые потери по подающему и обратному трубопроводам для каждого из участков тепловой сети определяются по формуле (кВт):

$$Q = c \left(G_c - \frac{G_n}{4} \right) (t_n^H - t_n^K) + c \left(G_c - \frac{3G_n}{4} \right) (t_o^H - t_o^K), \quad (1)$$

где непосредственно измеряемые величины: G_c – усредненный расход сетевой воды в подающей линии на выходе из теплоподготовительной установки, кг/с; G_n – усредненный расход подпиточной воды, кг/с; t_n^H и t_n^K – усредненные температуры воды в начале и конце подающего трубопровода на участке, °C; t_o^H и t_o^K – усредненные температуры воды в начале и конце обратного трубопровода на участке, °C.

В качестве первичных измерительных преобразователей в системе используются счетчики массового количества жидкости кориолисова типа с нормированными пределами относительной погрешности измерения массы $\delta G = 0,5\%$ и платиновые термометры сопро-

тивления ТСП-001, для которых в рабочем диапазоне измеряемых температур 0–150 °C нормируемый предел относительной погрешности измеряемой температуры составляет $\delta t = 0,5\%$.

Относительная погрешность аппроксимации теплоемкости воды в рабочем диапазоне температур и давлений также не превосходит $\delta c = 0,5\%$. Эти погрешности являются источниками параметрической составляющей полной погрешности измерения тепловых потерь.

Погрешностью округлений при вычислениях можно пренебречь. Оценку полной погрешности можно получить с помощью метода «полного дифференциала», пренебрегая членами второго порядка малости [2–5]

$$\Delta Q \approx \frac{\partial Q}{\partial c} \Delta c + \frac{\partial Q}{\partial G_c} \Delta G_c + \frac{\partial Q}{\partial G_n} \Delta G_n + \frac{\partial Q}{\partial t_n^H} \Delta t_n^H + \frac{\partial Q}{\partial t_n^K} \Delta t_n^K + \frac{\partial Q}{\partial t_o^H} \Delta t_o^H + \frac{\partial Q}{\partial t_o^K} \Delta t_o^K, \quad (2)$$

где

$$\frac{\partial Q}{\partial c} = \left(G_c - \frac{G_n}{4} \right) (t_n^H - t_n^K) + \left(G_c - \frac{3G_n}{4} \right) (t_o^H - t_o^K); \quad (3)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial G_c} = c(t_n^H - t_n^K) + c(t_o^H - t_o^K); \quad \frac{\partial Q}{\partial G_n} = -\frac{c}{4}(t_n^H - t_n^K) - \frac{3c}{4}(t_o^H - t_o^K); \quad (4)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t_n^H} = c \left(G_c - \frac{G_n}{4} \right); \quad \frac{\partial Q}{\partial t_n^K} = -c \left(G_c - \frac{G_n}{4} \right); \quad (5)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t_o^H} = c \left(G_c - \frac{3G_n}{4} \right); \quad \frac{\partial Q}{\partial t_o^K} = -c \left(G_c - \frac{3G_n}{4} \right). \quad (6)$$

Из выражения (2) с учетом предложения о независимости погрешностей измерительных

каналов находим дисперсию результирующей погрешности суммарных тепловых потерь:

$$\begin{aligned} \sigma^2[\Delta Q] \approx & \left(\frac{\partial Q}{\partial c} \right)^2 \sigma^2[\Delta c] + \left(\frac{\partial Q}{\partial G_c} \right)^2 \sigma^2[\Delta G_c] + \left(\frac{\partial Q}{\partial G_n} \right)^2 \sigma^2[\Delta G_n] + \\ & + \left(\frac{\partial Q}{\partial t_n^H} \right)^2 \sigma^2[\Delta t_n^H] + \left(\frac{\partial Q}{\partial t_n^K} \right)^2 \sigma^2[\Delta t_n^K] + \left(\frac{\partial Q}{\partial t_o^H} \right)^2 \sigma^2[\Delta t_o^H] + \left(\frac{\partial Q}{\partial t_o^K} \right)^2 \sigma^2[\Delta t_o^K]. \end{aligned} \quad (7)$$

Так как погрешности измерения непосредственно измеряемых величин нормированы в виде пределов их относительных погрешностей в процентах $\delta\lambda = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \cdot 100\%$, то необходимо преобразовать выражение (7). Здесь $\Delta\lambda$ – верхний предел абсолютной погрешности измерения величин G_c , G_n , t_n^H , t_n^K , t_o^H , t_o^K и теплоемкости c .

Так как пределы относительных погрешностей нормированы без указания доверительной вероятности, то допустимо считать, что она равна $P_0 = 0,997$, а верхний предел абсолютной погрешности связан с ее среднеквадратическим отклонением соотношением $\Delta\lambda = K(P_0) \cdot \sigma[\Delta\lambda]$, откуда

$$\sigma[\Delta\lambda] = \frac{\delta\lambda \cdot \lambda}{100K(P_0)},$$

где $K(P_0) = 3,0$ – квантильный коэффициент нормального распределения, соответствующий доверительной вероятности $P_0 = 0,997$.

Для результата косвенного измерения тепловых потерь Q возьмем в качестве доверительной вероятности $P_Q = 0,95$, тогда

$$\Delta Q = K(P_Q) \cdot \sigma[\Delta Q] \text{ или } \sigma[\Delta Q] = \frac{\Delta Q}{K(P_Q)},$$

где $K(P_Q) = 1,96$ – квантильный коэффициент нормального распределения, соответствующий доверительной вероятности $P_Q = 0,95$.

Подставляя выражения (3)–(6) для каждой из величин c , G_c , G_n , t_n^H , t_n^K , t_o^H , t_o^K в равенство (2), переходим от среднеквадратического отклонения к верхним пределам относительных погрешностей:

$$\begin{aligned} \Delta^2 Q \approx & \frac{K^2(P_Q)}{K^2(P_0)} \cdot \left\{ \left(\frac{\partial Q}{\partial c} \right)^2 \cdot c^2 \cdot \delta^2 c + \left(\frac{\partial Q}{\partial G_c} \right)^2 \cdot G_c^2 \cdot \delta^2 G_c + \right. \\ & + \left(\frac{\partial Q}{\partial G_n} \right)^2 \cdot G_n^2 \cdot \delta^2 G_n + \left(\frac{\partial Q}{\partial t_n^H} \right)^2 \cdot (t_n^H)^2 \cdot \delta^2 t_n^H + \left(\frac{\partial Q}{\partial t_n^K} \right)^2 \cdot (t_n^K)^2 \cdot \delta^2 t_n^K + \\ & \left. + \left(\frac{\partial Q}{\partial t_o^H} \right)^2 \cdot (t_o^H)^2 \cdot \delta^2 t_o^H + \left(\frac{\partial Q}{\partial t_o^K} \right)^2 \cdot (t_o^K)^2 \cdot \delta^2 t_o^K \right\}. \end{aligned} \quad (8)$$

Деля обе части (8) на Q^2 и приводя левую часть к пределу относительной погрешности измерения Q , выраженному в процентах, получим:

$$\delta Q = \frac{K(P_Q)}{K(P_0)} \cdot \sqrt{\delta^2 c + \frac{G_c^2 (t_n^H - t_n^K + t_o^H - t_o^K)^2 + G_n^2 \left[\frac{1}{4} (t_n^H - t_n^K) + \frac{3}{4} (t_o^H - t_o^K) \right]^2}{\tilde{Q}^2} \delta^2 G + \frac{\left(G_c - \frac{G_n}{4} \right)^2 \left[(t_n^H)^2 + (t_n^K)^2 \right] + \left(G_c - \frac{3G_n}{4} \right)^2 \left[(t_o^H)^2 + (t_o^K)^2 \right]}{\tilde{Q}^2} \delta^2 t}, \quad (9)$$

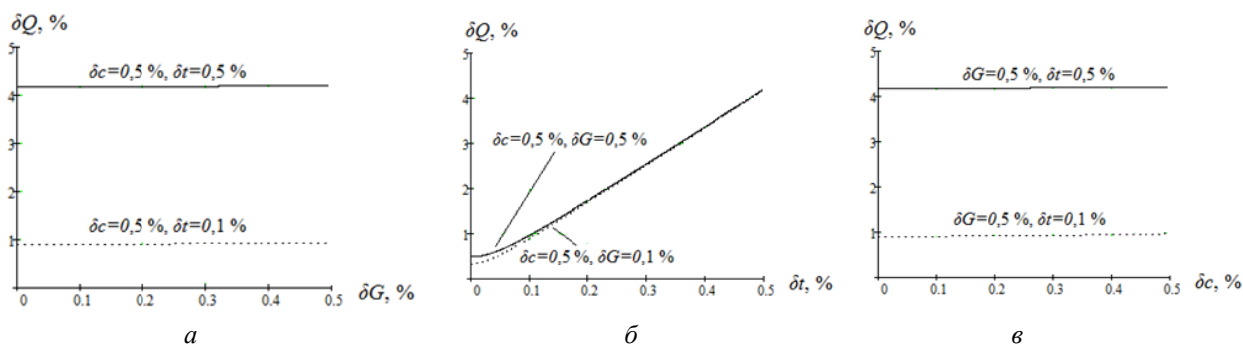
где $\tilde{Q} = Q/c = \left(G_c - \frac{G_n}{4} \right) (t_n^H - t_n^K) + c \left(G_c - \frac{3G_n}{4} \right) (t_o^H - t_o^K)$.

В формуле (9) учтено, что массовые расходы и температура измеряются приборами одного класса, поэтому

$$\delta G_c = \delta G_n = \delta G; \quad \delta t_n^H = \delta t_n^K = \delta t_o^H = \delta t_o^K = \delta t.$$

Формула (9) является расчетной для определения верхнего предела относительной погрешности измерений тепловых потерь при доверительной вероятности $P_Q = 0,95$ для любой комбинации измеряемых величин c , G_c , G_n , t_n^H , t_n^K , t_o^H , t_o^K .

На рисунке для закрытой двухтрубной системы водоснабжения с параметрами $G_c = 32$ кг/с, $G_n = 5,5$ кг/с, $t_n^H = 69$ °C, $t_n^K = 65$ °C, $t_o^H = 61$ °C, $t_o^K = 55$ °C представлены графики зависимости относительной погрешности δQ определения тепловых потерь от относительных погрешностей измерения расхода воды δG , температуры воды δt и теплоемкости воды в рабочем диапазоне температур и давлений δc .



Графики зависимости относительной погрешности δQ определения тепловых потерь от относительных погрешностей измерения расхода воды δG (а), температуры воды δt (б) и теплоемкости воды в рабочем диапазоне температур и давлений δc (в)

Анализ приведенных на рисунке зависимостей показывает, что при использовании приборов измерения температуры и расхода воды с относительной погрешностью 0,5 % относительная погрешность определения тепловых потерь составляет $\delta Q = 4,2$ %.

Для снижения относительной погрешности определения тепловых потерь следует использовать более точные приборы измерения температуры, поскольку, как показывают полученные

зависимости, именно погрешность измерения температуры является основным источником погрешностей определения тепловых потерь.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Методические указания по определению тепловых потерь в водяных тепловых сетях, РД 34.09.255-97. – М: СПО ОРГЭС, 1998.
2. Новицкий, П. В. Оценка погрешностей результатов измерений / П. В. Новицкий, И. А. Зограф. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 248 с.

3. Дворяшин, Б. В. Метрология и радиоизмерения: учеб. пособие / Б. В. Дворяшин. – М. : Издат. центр «Академия», 2005. – 304 с.

4. Кузнецов, В. А. Метрология / В. А. Кузнецов, Л. К. Иса-

ев, И. А. Шайко. – М. : Стандартинформ, 2005. – 300 с.

5. Раннев, Г. Г. Методы и средства измерений: учебник для вузов / Г. Г. Раннев, А. П. Тарасенко. – 5-е изд., стер. – М. : Издат. центр «Академия», 2008. – 336 с.

УДК 004.312.46

Д. Г. Сницарук, В. В. Коняшов

ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА STM32

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: norzes@mail.ru

Статья посвящена разработке и реализации лабораторного стенда для исследования цифровых систем обработки информации на базе микроконтроллера STM32F103C8T6. Стенд предназначен, в первую очередь, для обучения студентов по направлениям, связанным с микропроцессорной и цифровой измерительной техникой. В статье представлен анализ существующих аналогов – как стендов, так и отладочных плат. Аналогично отличается высокая стоимость и отсутствие в комплекте датчиков, исполнительных механизмов и средств отображения информации. Разработанный стенд решает эти проблемы, обладает модульной структурой и содержит мощный 32-битный микроконтроллер STM32. Данный стенд также может использоваться как отладочная плата или база для прототипирования своих цифровых устройств без необходимости в разработке и создании печатных плат и монтажа компонентов.

Ключевые слова: микроконтроллер, MCU, микропроцессорная техника, лабораторный стенд, STM32.

D. G. Snitsaruk, V. V. Konyashov

LABORATORY BENCH FOR THE STUDY OF DIGITAL INFORMATION PROCESSING SYSTEMS BASED ON THE STM32 MICROCONTROLLER

Volgograd State Technical University

The article is devoted to the development and implementation of a laboratory stand for the study of digital information processing systems based on the STM32F103C8T6 microcontroller. The stand is intended primarily for teaching students in areas related to microprocessor and digital measuring equipment. The article presents an analysis of existing analogues - both stands and debug boards. Analogs are distinguished by high cost and the absence of sensors, actuators, and means of displaying information. The developed stand solves these problems, has a modular structure and contains a powerful 32-bit microcontroller STM32. This stand can also be used as a debug board or base for prototyping your digital devices without the need to design and make PCBs and assemble components.

Keywords: microcontroller, MCU, microprocessor technology, laboratory bench, STM32.

Введение

В любом сложном цифровом устройстве или системе одним из основных элементов является микроконтроллер.

Микроконтроллер (МК) – это микросхема, предназначенная для управления электронными устройствами. Типичный микроконтроллер сочетает на одном кристалле функции процессора и периферийных устройств, содержит ОЗУ и (или) ПЗУ. По сути, это однокристалльный компьютер, способный выполнять относительно простые задачи. Микроконтроллер отличается от микропроцессора интегрированными в микросхему устройствами ввода-вывода, таймерами и другими периферийными устройствами.

Микроконтроллеры используются для уп-

равления как электронными устройствами в целом, так и отдельными подсистемами в таких областях как:

- измерительная техника;
- станкостроение;
- промышленная автоматика;
- бытовая техника;
- средства связи;
- системы типа «Умный дом»;
- интернет-вещей и др.

На данный момент существует огромная номенклатура микроконтроллеров различных производителей. У каждого производителя существует по несколько семейств микроконтроллеров, отличающихся архитектурой, назначением и функциональными возможностями.

Наиболее популярными производителями в настоящее время являются Microchip (микроконтроллеры PIC и AVR) и STMicroelectronics (микроконтроллеры STM). В настоящее время широкое применение получили микроконтроллеры AVR (семейство Atmega) и STM (семейства STM32F и STM32G). Главное преимущество Atmega – это простота и большое количество готовых решений. Также на базе микроконтроллеров Atmega328 выпускаются отладочные платы Arduino, программирование которых еще более упрощается и подходит для знакомства с микроконтроллерами школьниками. В промышленности же чаще используются микроконтроллеры STM32, обладающие, по сравнению с Atmega, низкой ценой и высокой производительностью. Однако в мелкосерийном и штучном производстве эти микроконтроллеры только набирают популярность, вследствие чего существует проблема отсутствия готовых решений различных задач.

Способы изучения микроконтроллеров

Разработка программного обеспечения (ПО) для микроконтроллеров существенно отличается от разработки прикладного ПО для ЭВМ, так в каждом семействе существует свой набор команд и регистров специального назначения. Существуют компиляторы для языков высокого уровня, однако при настройке периферии все равно необходимо сверяться с документацией. Вследствие вышеизложенного, изучение микроконтроллеров можно начинать с любого семейства, так как общие принципы программирования на языках высокого уровня не отличаются. Однако здесь возникает вопрос о тестировании программного обеспечения, так как для проверки работы необходим сам микроконтроллер. У этой проблемы есть несколько путей решения:

1. Использование программной эмуляции, например, при помощи программных пакетов Proteus или Multisim. Такой подход имеет ряд недостатков: высокая стоимость, отсутствие многих типов датчиков и исполнительных механизмов и большое влияние условностей эмуляции.

2. Разработка собственных электронных устройств – приобретение МК, обвязки, внешнего программатора, изготовление печатной платы и монтаж компонентов. Этот подход требует серьезных финансовых и трудовых за-

трат, так как современной тенденцией в электронике является миниатюризация компонентов, а следовательно, и высокие требования к точности изготовления печатных плат. При этом ошибки при тестировании ПО могут быть вызваны не ошибками программы, а ошибками при монтаже или разводке платы.

3. Использование лабораторных стендов и отладочных плат. Данный подход обладает рядом преимуществ: отсутствует необходимость в самостоятельном изготовлении устройства, возможность использовать большое количество периферии МК на одном устройстве, возможность подключения к стенду других устройств. Для некоторых отладочных плат (например, EasyAVRv7 [1]) существует возможность установки разных МК разных семейств. Для малогабаритных отладочных плат существует возможность внедрения самой платы в изготовленное устройство. К недостаткам данного подхода можно отнести довольно высокую стоимость и возможную избыточность при изучении.

Этих недостатков можно избежать построением стенда на базе модульной архитектуры.

В настоящее время существует множество различных лабораторных стендов и отладочных плат. Для семейств AVR существуют стенды EasyAVR (рис. 1, а) от компании MikroE. Данные стенды [2] отличаются возможностью установки разных МК и большим набором встроенной периферии (встроенный программатор, порт RS-232 с конвертером интерфейсов и др). Однако похожие стенды EasySTM не обладают подобными преимуществами. Отдельным недостатком стендов этой фирмы является дороговизна модулей расширения и проприетарный протокол их подключения – mikroBUS.

Также существуют очень популярные отладочные платы Arduino (рис. 1, б). Для этих плат выпускается большое количество модулей [3], однако существует проблема их подключения к плате – необходимы беспаячные макетные платы и соединительные провода [4], обладающих малой надежностью. Похожими недостатками и достоинствами обладают и отладочные платы STM32 Discovery [5; 6] (рис. 1, в).

Для изучения микроконтроллеров семейства STM32 существует лабораторный стенд LC5-KL (рис. 1, г), недостатками которого является малый набор функций для образовательного процесса и его высокая цена.

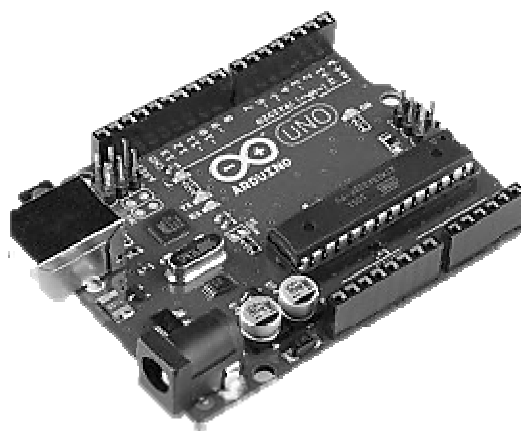
Так как микроконтроллеры STM32 являются более производительными и находят все

большее применение в промышленности, было принято решение разработать модульный лабораторный стенд на базе микроконтроллера

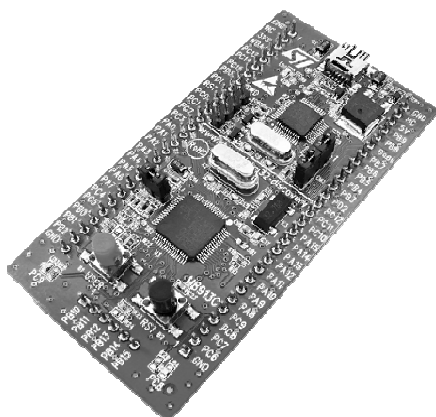
STM32F103C8T6, максимально подходящий для изучения МК семейства STM32F студентами высших учебных заведений.



а



б



в



г

Рис. 1. Отладочные платы AVR и STM

Описание лабораторного стенда

Стенд предназначен для знакомства студентов с микропроцессорной техникой и для получения ими практических навыков разработки ПО для микроконтроллера и разработки микропроцессорных систем управления.

Стенд состоит из нескольких модулей:

- базовый модуль (принципиальная схема изображена на рис. 2), на котором установлен сам микроконтроллер, необходимая обвязка, разъемные контакты для всех выводов микроконтроллера, разъемы для подключения модулей расширения и переключателей, подающих питание с базового модуля на модули расширения;
- модули расширения, представляющие собой платы с установленными на них датчиками, исполнительными механизмами и средствами отображения информации. Модули расширения

подключаются к базовому при помощи штыревых разъемов.

Модули расширения являются укрупненными – на одной плате располагаются сразу несколько элементов, объединенные в группы. На данный момент разработаны следующие модули:

- модуль измерения температуры и влажности (датчик температуры DS18B20, датчики температуры и влажности DHT11 и DHT22 и четырехразрядных семисегментный индикатор с дешифратором, рис. 3);
- модуль отображения информации (графический ЖК дисплей с SPI, алфавитно-цифровой ЖК-дисплей с I2C, рис. 4);
- цифро-аналоговый модуль измерения физических величин (датчики огня, дыма, паров алкоголя, рис. 5);

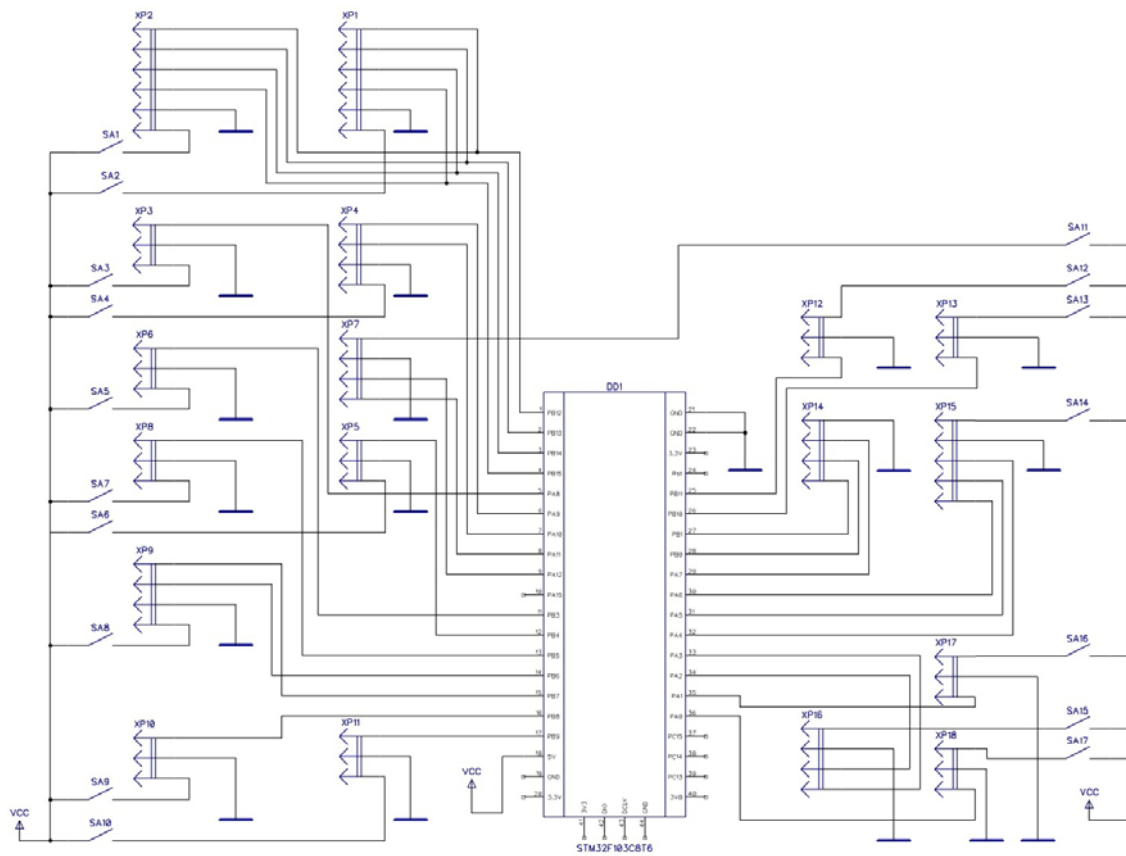


Рис. 2. Принципиальная схема базового модуля

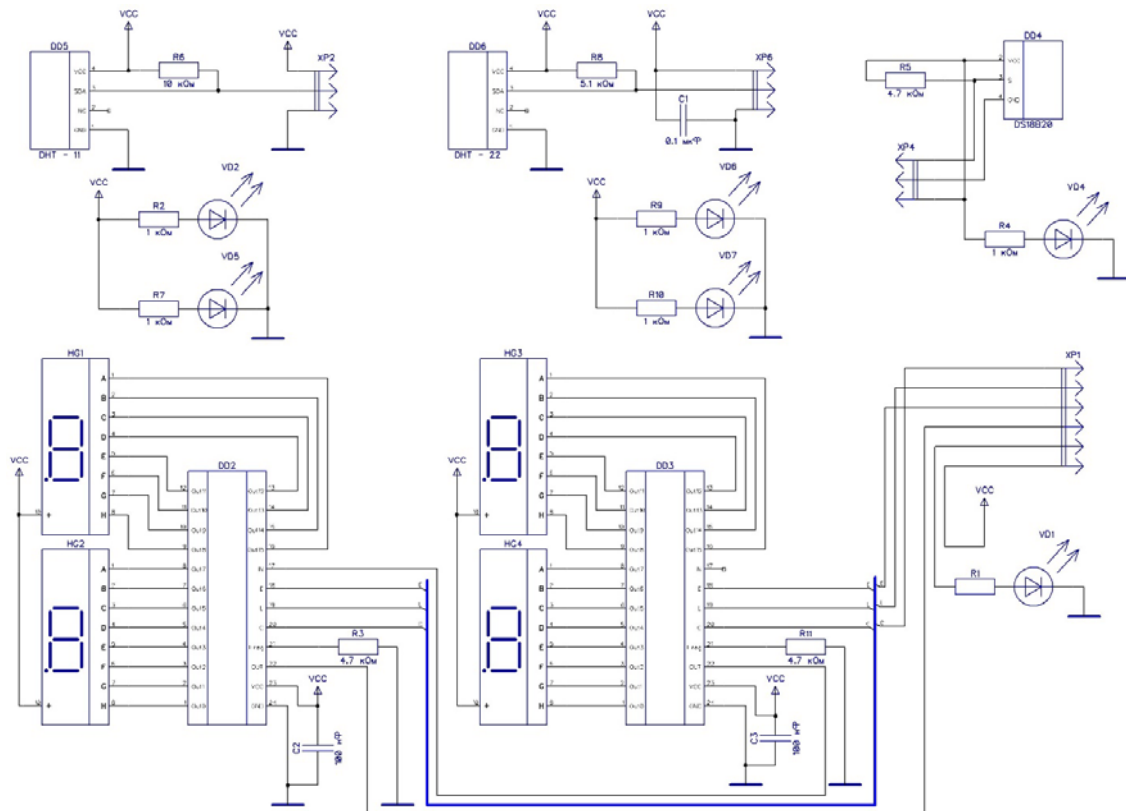


Рис. 3. Модуль измерения температуры и влажности

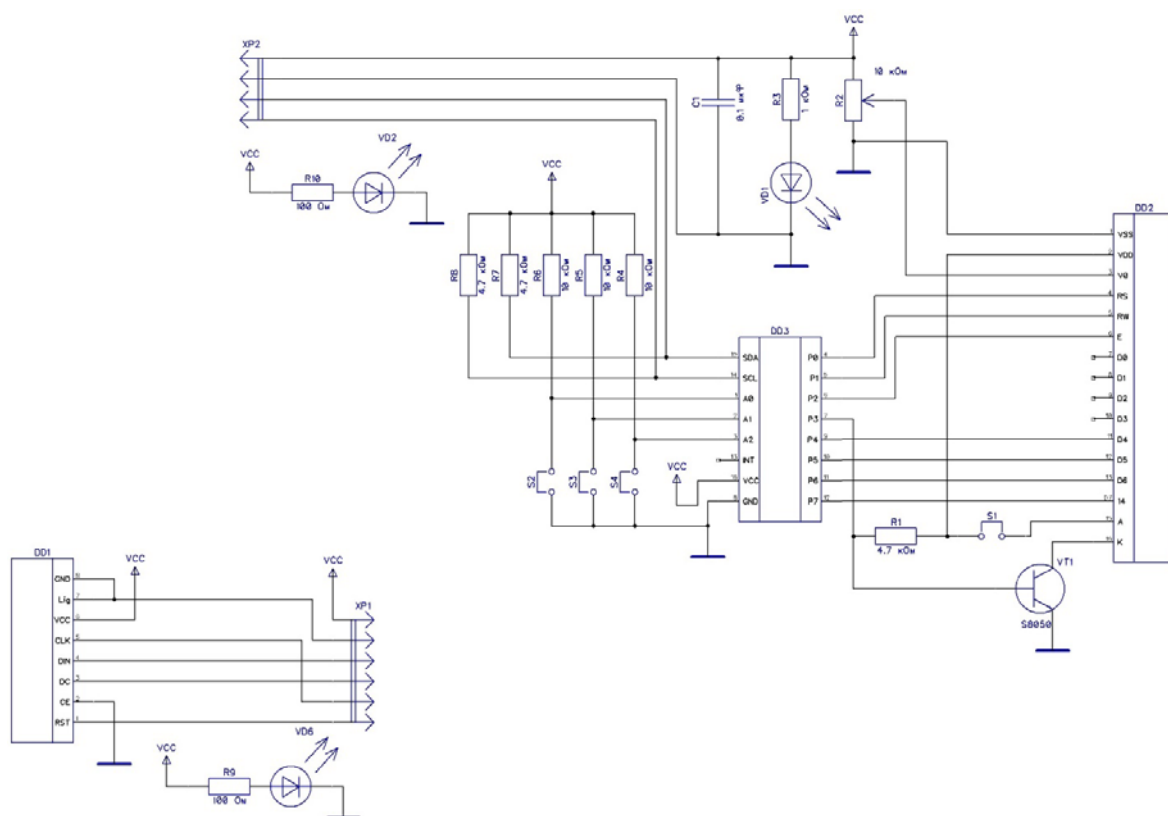


Рис. 4. Модуль отображения информации

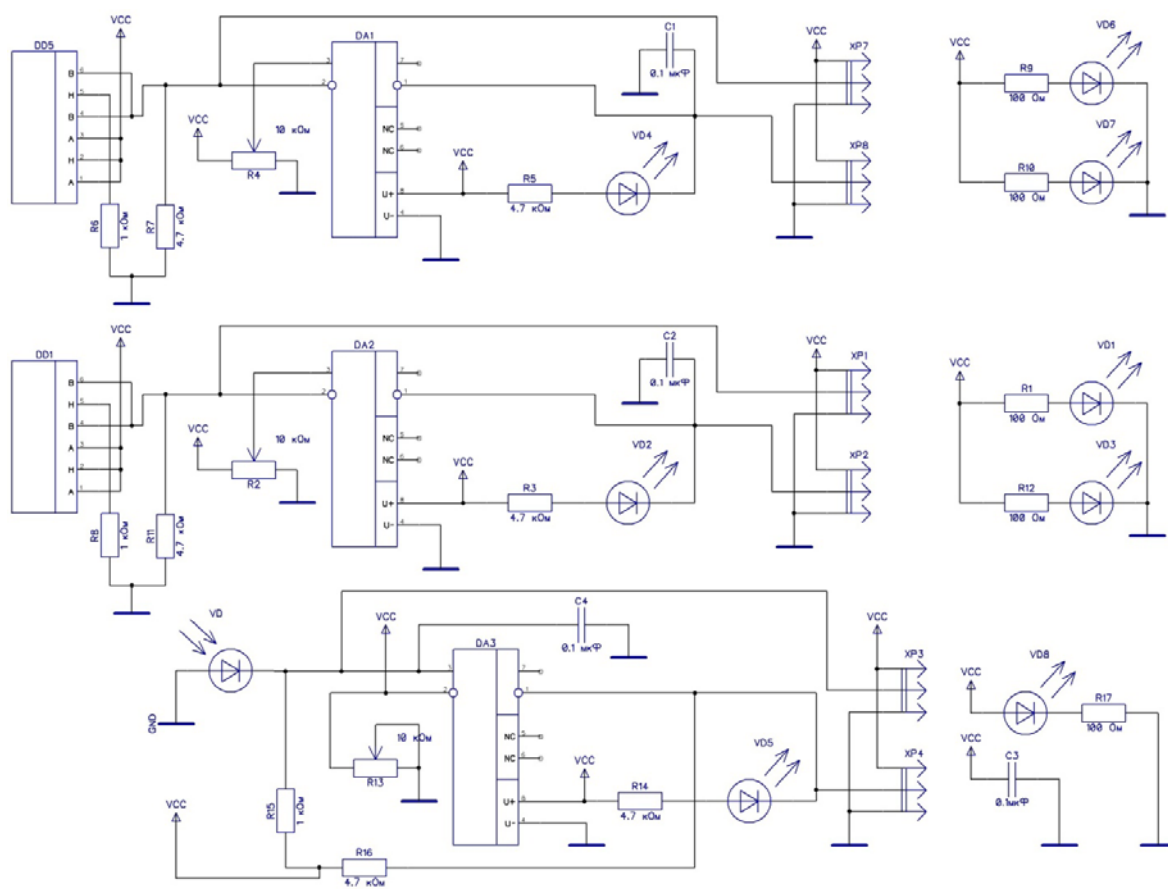


Рис. 5. Цифро-аналоговый модуль измерения физических величин

Разработанные модули позволяют изучить возможности цифровых портов ввода вывода МК, ознакомиться с принципом генерации ШИМ-сигнала, изучить последовательные протоколы передачи данных, такие как SPI (графический ЖК-дисплей), I2C (алфавитно-цифровой ЖК-дисплей), 1-wire (датчик температуры DS18B20), UART (конвертер интерфейсов

USB-UART) и изучить работу АЦП микроконтроллера (аналоговый двухосевой джойстик). В дальнейшем возможно расширение номенклатуры модулей.

Разработанный лабораторный стенд может быть использован при проведении лабораторных работ и в качестве базы для прототипирования курсовых и дипломных проектов.

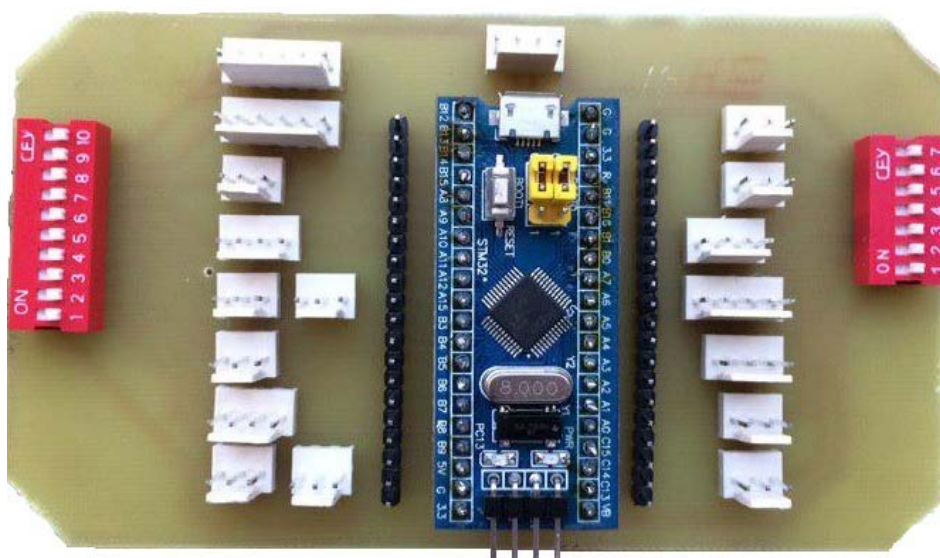


Рис. 6. Реализация базового модуля

На данный момент разработан и реализован прототип базового модуль (рис. 6), а также разработаны платы нескольких модулей расширения. Составлены программы для работы с модулями и методические указания к лабораторным работам на базе стенда.

Заключение

Разработанный обучающий лабораторный стенд на базе микроконтроллера – это готовое решение, предназначенное для изучения работы микроконтроллеров серии STM32. Стенд может быть использован для изучения студентами архитектуры микроконтроллеров, а также освоения методов разработки микропроцессорных систем различного назначения.

Внедрение данного лабораторного стенда позволит расширить возможности проектирования и отладки плат для студентов, повысить доступность понимания процессов, происходящих в цепях и, соответственно, в устройствах, являясь, тем самым, элементом интерактивного обучения студентов, при этом существенно снизив затраты на оборудование лабораторий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. EasyAVR v7 [Электронный ресурс] / ООО «МикроЭлектроника». – 2009. – Режим доступа : <https://www.mikroe.com/easyavr> (дата обращения : 17.03.2019). Естественные и технические науки
2. Зотов, И. А. Стенд обучения работе с микроконтроллерами STM32 с удаленным централизованным управлением / И. А. Зотов, С. А. Микаева // Естественные и технические науки. – 2018. – № 7 (121). – С. 160–168.
3. Кудрявцев, Н. Г. Об усовершенствовании макетных плат, используемых при прототипировании на базе платформы Arduino / Н. Г. Кудрявцев, А. А. Курусканова, Ю. В. Попов // Информация и образование: границы коммуникаций. – 2018. – № 10 (18). – С. 106–110.
4. Плата Arduino Uno R3: схема, описание [Электронный ресурс] / ArduinoMaster. – 2017. – Режим доступа : <https://arduino-master.ru/platy-arduino/plata-arduino-uno/> (дата обращения : 16.03.2019).
5. Discovery с микроконтроллером STM32F4 [Электронный ресурс] / STMicroelectronics. – 2015. – Режим доступа : https://www.st.com/b/content/st_com/en/products/evaluation-tools/product-evaluation-tools/mcu-mpu-eval-tools/stm32-mcu-mpu-eval-tools/stm32-discoverykits/32f411ediscovery.html#overview (дата обращения : 19.03.2019).
6. Оценочная плата STM32F4 Discovery с STM32 [Электронный ресурс] / Роботоша. – 2014. – Режим доступа : <http://robotosha.ru/stm32/stm32f407-discovery-board.html> (дата обращения : 19.03.2019).

УДК 620.1.051

*Д. Г. Сницарук, П. Г. Беленков, П. М. Бобров, М. М. Водопьянов***УСТАНОВКА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ МАТЕРИАЛОВ НА ГОРЮЧЕСТЬ
ПРИ ЛОКАЛЬНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НАГРЕВАТЕЛЬНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: norzes@mail.ru

В работе представлена разработанная установка для испытания полимерных материалов на горючесть. Конструкции существующих установок разработаны на основе устаревшей элементной базы и поэтому не позволяют определять горючесть с необходимой точностью. В разработанной установке использованы современные датчики, видеокамера и автоматическое нагревательное устройство.

Ключевые слова: полимерные материалы, горючесть, воспламеняемость, пожарная безопасность, установка для испытания материалов

*D. G. Snitsaruk, P. G. Belenkov, P. M. Bobrov, M. M. Vodopyanov***INSTALLATION FOR TESTING MATERIALS FOR
FLAMMABILITY TESTING METHOD OF A HEATED WIRE****Volgograd State Technical University**

Paper presents a developed facility for testing polymeric materials for flammability. The designs of existing plants are designed on the basis of outdated components and therefore do not allow to determine the combustibility with the necessary accuracy. In the developed installation, modern sensors, a video camera and an automatic heating device are used.

Keywords: polymeric materials, flammability, flammability, fire safety, installation for testing materials.

Введение

В настоящее время в России одной из основных и актуальных проблем является пожарная безопасность. Пожары являются причиной гибели людей и приносят большой материальный ущерб. Противопожарная безопасность в большой степени связана с материалами, используемыми при строительстве, капитальных ремонтах, энергоснабжении промышленных, гражданских и коммерческих зданий [1]. Источниками пожаров являются следующие факторы:

- наличие токсичных газов (пример – окись углерода), возможны наркотические (цианистый водород) и раздражающие (кислотные) вещества;
- низкий уровень кислорода, который приводит к асфиксии;
- высокая температура продуктов сгорания, что приводит к тепловому облучению;
- плохая видимость.

Постановлениями Минстроя РФ введены в действие ГОСТы для испытаний на воспламеняемость, горючесть, распространение пламени, измерение плотности дыма при горении [2]. При испытаниях материалов с помощью установок определяются количественные показатели воспламеняемости, горючести, распространения пламени и измерение плотности ды-

ма необходимо отметить, что в настоящее время ГОСТы для испытаний и соответствующие им установки являются устаревшими, которые не удовлетворяют современным требованиям [3; 4]. Поэтому разработка новых ГОСТов и внедрение современных установок является актуальной проблемой. Кроме того, это обусловлено тем, что сейчас в строительстве и во всех отраслях промышленности, в том числе и кабельной, широко применяются новые синтетические полимерные материалы.

К кабелям, эксплуатирующимся в пожароопасных местах (шахты, электростанции, нефтехимические, общественные здания и т. д.) предъявляются повышенные требования к пожарной безопасности. Из статистики следует, что одной из основных причин пожаров является возгорание кабельных изделий.

Очевидно, что одним из резервов повышения пожарной безопасности разработка и внедрение установок для испытания материалов на горючесть. В статье предложена разработка установки для контроля горючести полимерных материалов при локальном воздействии нагревательным элементом.

Конструкции существующих установок разработаны на основе устаревшей элементной базы и поэтому не позволяют определять изме-

ряемые величины с необходимой точностью и оперативностью. Однако эти средства не обеспечивают необходимой точности и скорости измерения. Поэтому для повышения точности и оперативности контроля горючести материалов необходимо использовать в устройстве современные датчики и исполнительные механизмы.

Отличия состоят лишь в том, что при тесте измерение высоты пламени и глубины вхождения нагревателя в материал проводит человек с использованием линейных шкал.

Наиболее точным будет автоматизировать все эти процессы, тем самым повысив точность проводимых тестов, что приведет к снижению уровня возникновения воспламенений в связи с аварийными ситуациями. Для этого измерение высоты, а также примерного объема возникающего пламени проводится оптическими методами, а именно обработкой изображений пламени полученных с помощью цифровой камеры. Глубина вхождения в материал нагретой проволоки производится с помощью датчиков линейного перемещения, будь то лазерные дальномеры или энкодерные датчики.

Разработанное устройство

Структурная схема устройства изображена на рис. 1 и рис. 2. Образец закрепляется на тележке и движется в сторону проволоки. Достаточное усилие прижима в 1 Н обеспечивается при помощи груза, который крепится тросом к тележке.

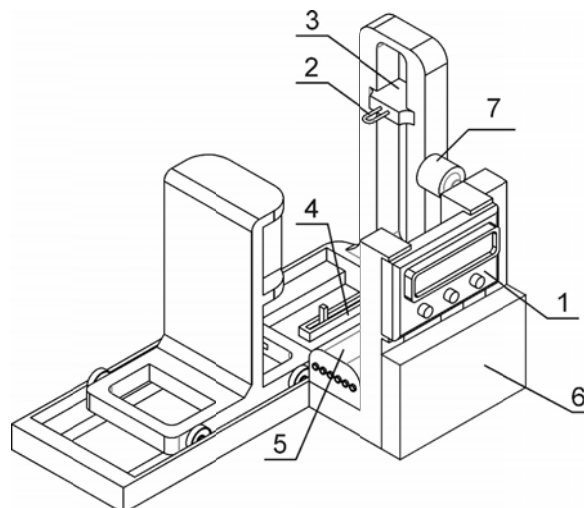


Рис. 1. Структурно-функциональная схема устройства

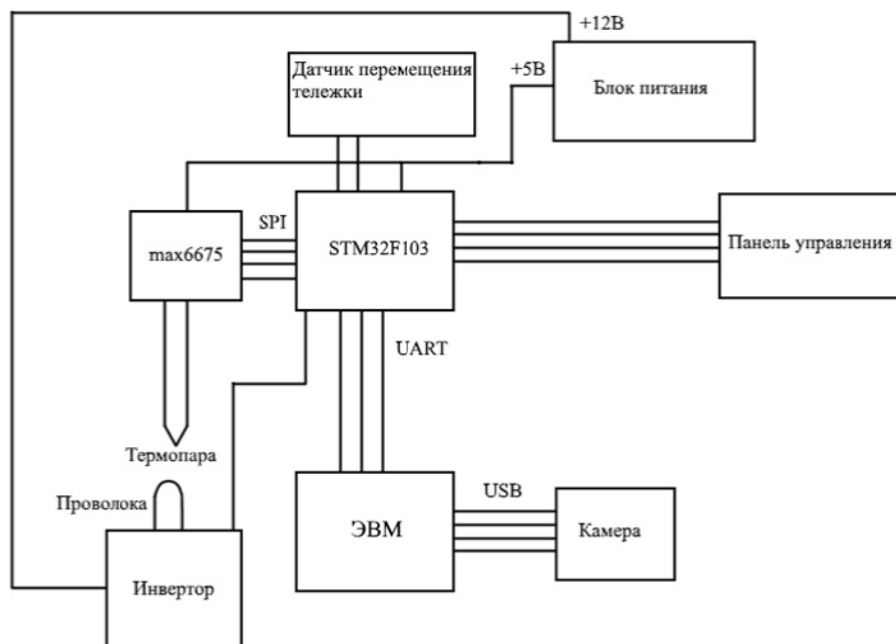


Рис. 2. Структурная схема устройства

Установка состоит из следующих элементов:

- 1) управляющее устройство на микроконтроллере STM32F103C8T6;
- 2) инвертор с проволокой;
- 3) датчик температуры;
- 4) датчик перемещения тележки;

- 5) блок питания;
- 6) электронно-вычислительная машина (ЭВМ);
- 7) цифровая камера.

В задачи управляющего устройства входит считывание данных с датчика линейного пере-

мещения тележки, отправка данных на ЭВМ, поддержка заданной температуры проволоки. Микроконтроллер соединен с ЭВМ при помощи интерфейса UART.

Датчик температуры состоит из термопары К-типа и преобразователя сигнала термопар МАХ31855К. Горячий спай термопары подключается к проволоке, в то время как холодный спай соединяется с МАХ31855К. В отличие от метода, когда холодный спай опускается в талую воду, метод с преобразователем гораздо точнее определяет температуру, а также имеет гораздо меньшие габариты. МАХ31855 преобразует ЭДС термопары и компенсирует холодный спай за счет встроенного датчика температуры. Абсолютная погрешность составляет $\pm 4^\circ\text{C}$ в диапазоне температур от $+700^\circ\text{C}$ до $+1350^\circ\text{C}$. Соединяется данный преобразователь с микроконтроллером при помощи интерфейса SPI.

Глубина вхождения проволоки в образец определяется при помощи датчика перемещения тележки. Он состоит из переменного резистора

линейного перемещения. Для считывания сигнала от переменного резистора используется АЦП, который работает в 12-битном режиме, то есть он преобразует аналоговый сигнал от 0 до 3,3 В в диапазон цифровых значений от 0 до 4095 единиц. 1 единица равна

$$\frac{3.3}{4096} = 0.8 \text{ мВ.}$$

Переменный резистор имеет длину 50 мм, соответственно максимальная точность составляет

$$50 \cdot \frac{0.8 \cdot 10^{-3}}{3.3} = 0.01 \text{ мм.}$$

Цифровая камера на прямую соединена с компьютером, где программа осуществляет захват изображения. После регистрации изображения происходит его обработка, заключающаяся в выделении контура пламени из общего фона, для чего изображение бинаризуется с помощью алгоритма Брэдли с последующей медианной фильтрацией, после чего восстанавливается контур пламени и заливается контрастным цветом.

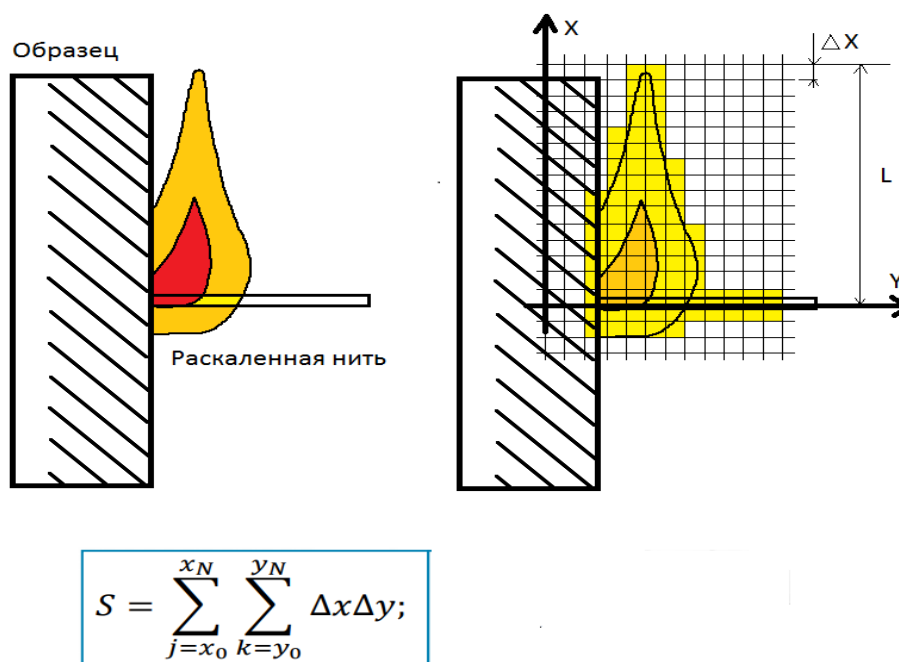


Рис. 3. Бинаризация изображения: Δx и Δy элементы, которые принадлежат площади фигуры, ограниченной контуром детали, S – площадь фигуры, ограниченной контуром детали

После выделения пламени одним цветом происходит подсчет пикселей, занимаемых ими на изображении. Однако чтобы узнать реальную площадь необходимо рассчитать пропорцию между длиной и шириной пикселя на изображении и длиной и шириной реального участка поверхности. В прототипе использовалась

IP-камера ZORQ ZQ-IPC3-BAS-28VO, с разрешением 2048x1536, матрицей 1/2.8 дюйма (ширина 4.84, длина 3.63) и варифокальным объективом с фокусным расстоянием от 2.8 до 12 мм (для дальнейших расчетов примем фокусное расстояние в 12 мм).

Угол обзора рассчитывается, исходя из разме-

ра матрицы и фокусного расстояния (1) (рис. 3):

$$\alpha = 2 \arctg \left(\frac{d}{2F} \right), \quad (1)$$

где α – угол обзора объектива, °; d – размер матрицы, мм; F – фокусное расстояние, мм.

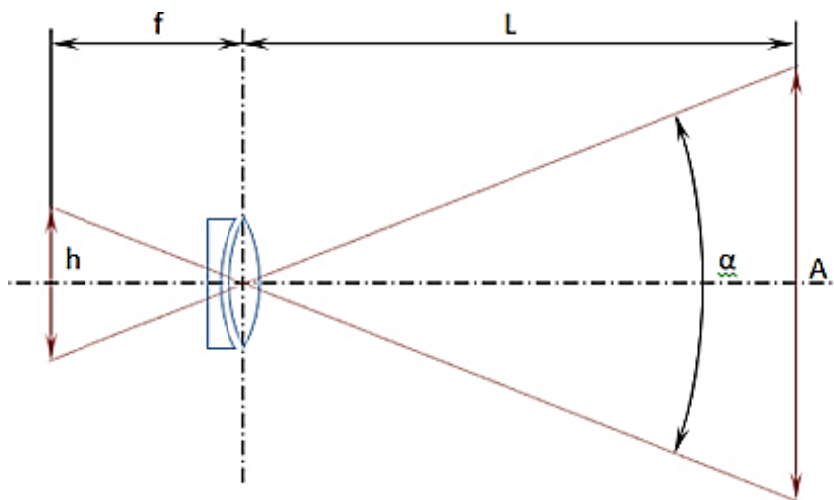


Рис. 4. Оптическая схема камеры

Исходя из (1) угол обзора составляет 17.202° и 22.803° по вертикали и горизонтали соответственно. Исходя из угла обзора можно рассчитать область видимости камеры (2) (рис. 4):

$$A = 2 \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha}{2} \right) L, \quad (2)$$

где A – область видимости, м; α – угол обзора камеры, °; L – расстояние от камеры до объекта, м.

Исходя из (2) область видимости составляет 3.025 м в высоту и 4.033 м в ширину. Таким образом, одному пикселю на изображении будет соответствовать $3.025 \text{ м} / 1536 = 2 \text{ мм}$ реального объекта, что и составляет разрешающую способность системы. Более высокую точность можно получить, используя более длиннофокусные объективы. Зная данное соотношение, рассчитывается реальная площадь пламени.

Разработанное устройство в сравнении с прототипом имеет улучшенные метрологические характеристики.

Выводы

Внедрение прибора в промышленность позволит повысить качество выпускаемой продукции, а именно полимерных материалов за счет контроля горючести при испытаниях. Такие полимерные материалы при внедрении уменьшают вероятность возникновения пожаров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Брушлинский, Н. Н. Мировая пожарная статистика в конце XX века / Н. Н. Брушлинский, С. В. Соколов, П. Вагнер. – Москва : Академия ГПС МВД России, 2000. – 80 с.
2. Ваня, Я. Анализаторы газов и жидкостей : пер. с чеш. / Я. Ваня; под ред. О. С. Арутюнова. – Москва : Энергия, 1970. – 552 с.
3. Измерение плотности дыма при горении кабелей в заданных условиях. Ч. 1. Испытательное оборудование : ГОСТ ИЕС 61034-1-2011 ; введ. 01.01.2013. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 17 с. – (Межгосударственный стандарт).
4. Испытания на пожароопасность. Методы испытаний. Испытания нагретой проволокой : ГОСТ 27483-87 (мэк 695-2-1-80) ; введ. 01.01.89. – Москва : Издательство стандартов, 1988. – 10 с.

УДК 621.43.047.3

*А. И. Нефедьев***ФОРМИРОВАТЕЛЬ ИМПУЛЬСОВ
ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ АВТОМОБИЛЯ*****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: nefediev@rambler.ru

Для снижения чувствительности электронных систем зажигания к импульсным помехам, возникающим в бортовой сети автомобиля, к помехам от дребезга контактов механического датчика (прерывателя), а также к различным токовременным параметрам управляющих сигналов микропроцессорных систем управления зажиганием двигателя внутреннего сгорания предлагается формирователь импульсов, создающий оптимизированный по величине амплитуды и длительности напряжения или тока запускающий импульс для управления транзисторами и тиристорами электронной системы зажигания.

Ключевые слова: формирователь импульсов, электронная система зажигания, электронный датчик, микропроцессорная система управления зажиганием.

*A. I. Nefed'ev***PULSE FORMERS FOR ELECTRONIC IGNITION SYSTEM OF CAR****Volgograd State Technical University**

To reduce the sensitivity of electronic ignition systems to impulse noise arising in the vehicle's on-board power network, to bounce noise of a mechanical sensor contact (interrupter), as well as to various current-time parameters of control signals from microprocessor-based ignition control systems of an internal combustion engine, a pulse former is proposed that creates an optimized value amplitude and duration of voltage or current trigger pulse for controlling transistors and thyristors with electronic ignition systems.

Keywords: pulse former, electronic ignition system, electronic sensor, ignition control microprocessor system.

Основным недостатком формирователей импульсов для электронных систем зажигания (ЭСЗ) является невысокая помехоустойчивость из-за импульсных помех, всегда имеющих в бортовой электросети автомобиля [1–3]. Особенно это относится к конденсаторным системам зажигания, применяемых в высокооборотистых двигателях внутреннего сгорания. Источниками помех могут быть электродвигатели, индуктивные и коммутационные элементы, а также генератор с регулятором напряжения. От состояния этих приборов, а также от состояния аккумулятора, электропроводки и контактных соединений зависит амплитуда помех, которая в некоторых случаях может превышать 100 В. Длительность импульсов помех обычно составляет доли миллисекунды. Импульсные помехи негативно воздействуют на электронные системы управления двигателями и электронные системы зажигания, и могут вызывать нарушения их нормальной работы, например, несвоевременное переключение тиристорov, транзисторов или сбой в работе микроконтроллеров и других элементов.

В конденсаторных ЭСЗ применяются различные формирователи импульсов [2–5], не имеющие гальванической развязки входных и вы-

ходных зажимов. Амплитуда и длительность выходных сигналов управления данных формирователей зависит от значения напряжения бортовой сети автомобиля и изменения напряжения. В таких формирователях импульсов для ЭСЗ исключена гальваническая связь входных и выходных зажимов за счет использования импульсного трансформатора, содержащего две обмотки: первичную, которая гальванически связана с общей шиной автомобиля, и вторичную, подключенную к управляющим входам электронного ключа (транзистора, тринистора или симистора).

В формирователях импульсов для ЭСЗ возможно формирование ложных импульсов запуска при дребезге контактов механического датчика (прерывателя), или при наличии значительных импульсных помех в бортовой сети автомобиля. Также в формирователях такого типа существует зависимость токовременных параметров запускающих импульсов от значения напряжения бортовой сети автомобиля, значения тока и времени протекания тока через первичную обмотку импульсного трансформатора, а также скорости изменения магнитного потока при размыкании датчика-прерывателя (механического или электронного) [6–9].

© Нефедьев А. И., 2019

* В статье представлены результаты исследований, выполненных по программе Erasmus+ №573879-EPP-1-2016-1-FREPPKA2-CBHE-JP «Internationalisation of Master Programs in Russia and China in Electrical Engineering».

В ЭСЗ коммутация катушки зажигания производится электронным ключом на мощном биполярном или полевом транзисторе. Для управления таким ключом необходим формирователь импульсов, имеющий гальваническую связь с шиной, соединенной с корпусом автомобиля.

Для повышения помехоустойчивости ЭСЗ и

повышения надежности ее работы был разработан формирователь импульсов на биполярных транзисторах [10].

На рис. 1 приведено схмотехническое решение формирователя импульсов без гальванической развязки для управления высоковольтным ключевым транзистором ЭСЗ.

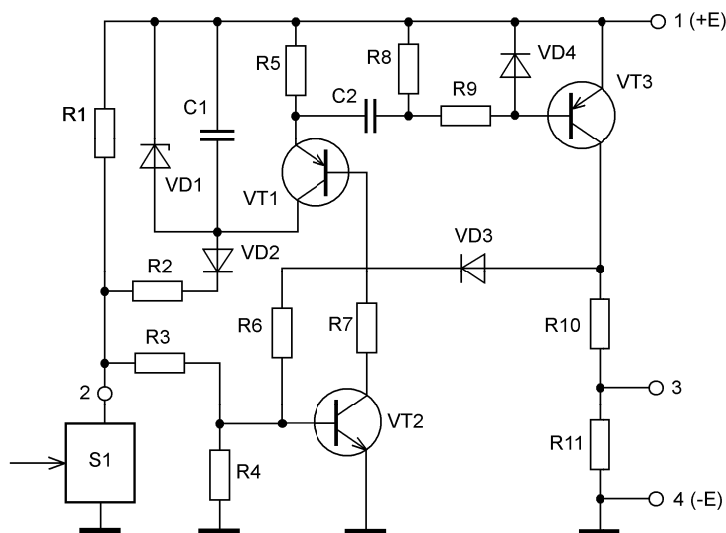


Рис. 1. Формирователь импульсов для ЭСЗ

На рис. 2 показаны временные диаграммы, поясняющие работу формирователя импульсов: напряжение на контактах прерывателя относительно общей шины -E (рис. 2, а), напряжение на конденсаторе C1 относительно шины питания +E (рис. 2, б), напряжение на зажиме 3 относительно зажима 4 (рис. 2, в).

Рассмотрим работу формирователя импульсов при запуске от механического датчика-прерывателя S1. Вход синхронизации формирователя S1 с вращением коленчатого или распределительного вала показан стрелкой.

В исходном состоянии контакты механического датчика (прерывателя) S1 замкнуты, и ток протекает от бортовой сети +E через резистор R1, датчик (прерыватель) S1 и общий зажим источника энергии бортовой сети автомобиля -E.

Одновременно ток протекает от источника энергии бортовой сети +E через конденсатор C1, диод VD2, резистор R2, механический или электронный датчик-прерыватель S1, общий зажим источника энергии бортовой сети автомобиля -E.

Значение напряжения на конденсаторе C1 определяется напряжением стабилизации стабилитрона VD2. В случае применения механического датчика-прерывателя S1 резистор R1 должен обеспечить необходимый ток через его

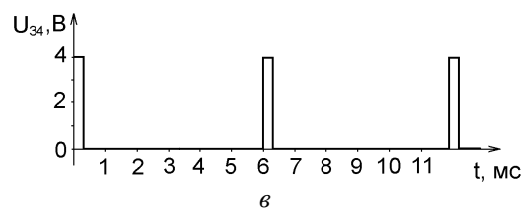
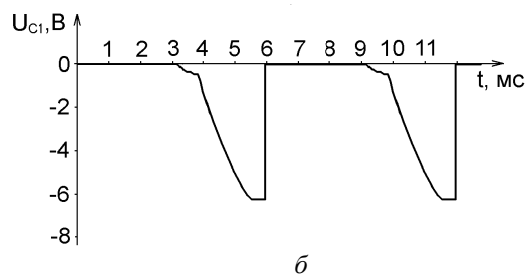
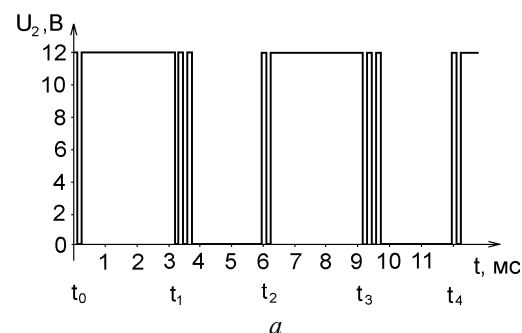


Рис. 2. Временные диаграммы работы формирователя импульсов

контакты для исключения образования на них окисной пленки. В случае применения электронного датчика на эффекте Холла ток через резистор R1 может составить несколько миллиампер. В момент времени t_0 , t_2 , t_4 (рис. 2, а–в), контакты датчика-прерывателя размыкаются, что приводит к отпиранию транзистора VT2, через коллекторно-эмиттерный переход которого протекает ток базы транзистора VT1. Конденсатор C1 разряжается на резистор R5 через коллекторно-эмиттерный переход транзистора VT1. Напряжение на резисторе R5 дифференцируется цепью C2 и R8, и через резистор R9 подается на базу транзистора VT3, и открывает его. Одновременно на резисторах R10 и R11 возникает импульс напряжения (рис. 2, в), длительность которого определяют параметры дифференцирующей цепи C2, R8. Для исключения влияния дребзга контактов прерывателя введена положительная обратная связь с коллектора транзистора VT3 в базу транзистора VT2 через последовательно соединенные резистор R6 и диод VD3. Положительная обратная связь поддерживает транзистор VT2 открытым в течение действия выходного импульса напряжения.

На выходном зажиме 3 относительно зажима 4 формируется импульс напряжения, предназначенного для управления электронным ключом ЭСЗ, и длительность которого определяется параметрами разрядной цепи. В качестве электронного ключа может быть применен мощный полевой или биполярный транзистор с соответствующим драйвером.

В случае применения механического датчика-прерывателя дребзг при размыкании контактов или при наличии импульсных помех в бортовой сети автомобиля не влияет на амплитуду, длительность и форму запускающего импульса на выходе формирователя импульсов. Это происходит потому, что первый фронт запускающего импульса при размыкании контактов механического датчика-прерывателя S1 запускает электронный ключ, и в дальнейшем независимо от отсутствия или наличия дребзга контактов прерывателя S1 или помех по цепи питания транзисторы VT1, VT2 и VT3 остаются открытыми в течение времени разряда конденсатора C1 благодаря действию положительной обратной связи через элементы VD3 и R6. При замыкании контактов прерывателя (момент времени t_1 , t_3) происходит плавный заряд конденсатора C1 (рис. 2, б) через резистор R2 за

время не менее 2 мс при номинальном значении напряжения источника энергии бортовой сети автомобиля. При разомкнутых контактах прерывателя S1 и при наличии импульсных помех в бортовой сети автомобиля не происходит запуск формирователя импульсов из-за отсутствия напряжения на конденсаторе C1.

Данное техническое решение применено в ЭСЗ для управления двумя электронными ключами, построенными на высоковольтных биполярных транзисторах типа KT892A [11].

Применение предлагаемых формирователей импульсов в электронной системе зажигания позволяет снизить чувствительность ЭСЗ к импульсным помехам, возникающих в бортовой сети автомобиля, обеспечить независимость работы системы зажигания от токовременных параметров электронного прерывателя микропроцессорной системы управления зажиганием ДВС или дребзга контактов механического прерывателя; позволяет сформировать оптимизированный по величине амплитуды и длительности запускающий импульс тока для управления ключами транзисторной ЭСЗ, или тиристорами в конденсаторной ЭСЗ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Набоков, В. А. Аппараты систем зажигания / В. А. Набоков. – М.: Издательский центр «Академия» 2009. – 320 с.
2. Синельников, А. Х. Электроника в автомобиле / А. Х. Синельников. Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1986. – 96 с.
3. Ходасевич, А. Г. Справочник по устройству и ремонту электронных приборов автомобилей. Часть 1. Электронные системы зажигания / А. Г. Ходасевич, Т. И. Ходасевич. – М.: Антелком. – 240 с.
4. Росс, Твег. Системы зажигания легковых автомобилей. Устройство, обслуживание и ремонт. – М.: ЗАО «КЖИ- За рулем», 2004. – 96 с.
5. Ютт, В. Е. Электрооборудование автомобилей / В. Е. Ютт. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 440 с.
6. Трясогузов, А. Г. Формирователи импульсов на комплементарных транзисторах для конденсаторно-тиристорных модулей зажигания / А. Г. Трясогузов, Г. И. Шаронов, А. И. Нефедьев // Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств : матер. XIII междунар. заочн. науч.-техн. конф. (г. Пенза, 18 мая 2017 г.) / редкол.: Э. Р. Домке (отв. ред.) [и др.]; ФГБОУ ВО «Пензенский гос. ун-т архитектуры и строительства», Автомобильно-дорожный ин-т. – Пенза, 2017. – С. 381–387.
7. П. м. 174179 Российская Федерация, МПК H02M3/335 Однотактный обратногоходовой стабилизированный преобразователь постоянного напряжения для конденсаторных модулей зажигания / Нефедьев А. И., Шаронов Г. И., Трясогузов А. Г.; ВолгГТУ. – 2017.
8. Трясогузов, А. Г. Конденсаторно-тиристорные модули зажигания для ДВС / А. Г. Трясогузов, Г. И. Шаронов, А. И. Нефедьев // Проблемы качества и эксплуатации

автотранспортных средств: эксплуатация и развитие автомобильного транспорта : матер. XII междунар. заочн. науч.-техн. конф. (г. Пенза, 15 апр. 2016 г.) / под общ. ред. Э.Р. Домке ; ФГБОУ ВО «Пензенский гос. ун-т архитектуры и строительства», Автомобильно-дорожный ин-т. – Пенза, 2016. – С. 185–192.

9. Шаронов, Г. И. Конденсаторная система зажигания в качестве оконечного каскада электронной системы управления газового двигателя КамАЗ / Г. И. Шаронов, А. И. Нефедьев, С. М. Францев // Проблемы автомобильно-дорожного комплекса России: эксплуатация и развитие автомобильного транспорта : матер. VIII междунар. заочн. науч.-техн. конф. (Пенза, 24 нояб. 2012 г.) / ФГБОУ ВПО

"Пензенский гос. ун-т архитектуры и строительства", Автомобильно-дорожный ин-т. – Пенза, 2012. – С. 144–156.

10. Нефедьев, А. И. Формирователи импульсов на биполярных транзисторах для конденсаторных модулей зажигания / А. И. Нефедьев, Г. И. Шаронов // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2012. – № 2–3. – С. 9–12.

11. Нефедьев, А. И. Многоканальные конденсаторные модули зажигания для микропроцессорных систем управления газовым двигателем внутреннего сгорания / А. И. Нефедьев, Г. И. Шаронов, С. В. Тимохин // Транспортные системы Сибири: матер. II всерос. науч.-техн. конф., 25–26 нояб., Красноярск / КГТУ. – Красноярск, 2004. – С. 166–168.

УДК 620.197

С. К. Астунин, А. И. Нефедьев

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ВАННА*

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: nefediev@rambler.ru

Для повышения эффективности очистки поверхности различных деталей и узлов разработана конструкция ультразвуковой ванны. Предложен блок питания ультразвукового пьезоэлектрического излучателя с КПД 90 % и выходной мощностью 80 Вт на частоте 28 кГц. Приведена электрическая схема блока питания, обеспечивающего оптимальный режим работы пьезоэлектрического преобразователя.

Ключевые слова: ультразвук, пьезокерамический преобразователь, магнитострикционный преобразователь, очистка, ультразвуковая ванна, форсунки, инструмент, промывка.

S. K. Astunin, A. I. Nefed'ev

ULTRASONIC BATH

Volgograd State Technical University

To improve the efficiency of cleaning the surface of various parts and assemblies, an ultrasonic bath design has been developed. A power supply unit for an ultrasonic piezoelectric transducer with an output power of 80 W and an efficiency of 90 % at frequency of 28 kHz is proposed. The electrical circuit of the power supply unit, providing the optimum operating mode of the piezoelectric transducer, is shown.

Keywords: ultrasound, piezoceramic transducer, magnetostriction transducer, cleaning, ultrasonic bath, nozzles, tools, washing.

Ультразвуковая очистка различных деталей очень широко применяется в различных областях техники: например, в автомобильном сервисе производится промывка карбюраторов, инжекторов, форсунок, различных деталей, узлов и даже целых блоков [1; 2]. Также ультразвук широко применяется в машиностроении – для очистки деталей и полировки, в приборостроении – для мойки и полировки деталей точной механики, интегральных схем и печатных плат, при ремонте оргтехники – для очистки узлов и деталей, промывки принтерных головок струйных принтеров, в медицине – для стерилизации и очистки хирургических инструментов и т. д.

По сравнению с традиционными методами ультразвуковая очистка позволяет свести к минимуму применение ручного труда, произвести очистку и обезжиривание поверхностей деталей без применения органических растворителей, позволяет очистить труднодоступные участки изделий и удалить все виды загрязнений, сократить время очистки изделий [3].

Воздействие ультразвука на вещества и различные предметы, находящиеся в жидкости, осуществляется за счет кавитации. На этом принципе и основан широко распространенный технологический процесс ультразвуковой очистки поверхностей твердых тел. При правильном подборе мощности излучателя и рабочей

частоты, давления и температуры, свойств моющей жидкости, можно достигнуть высокой скорости и эффективности процесса очистки деталей, и оптимизировать его применительно к типу загрязнений и форме очищаемых деталей. Хотя загрязнения поверхности деталей могут содержать растворимые и нерастворимые составляющие, ультразвук за счет кавитации переводит их в моющую среду [4; 5].

Ультразвуковые излучатели (электроакустические преобразователи), используемые при изучении ультразвуковых волн, можно разделить на два типа: магнитострикционный и пьезоэлектрический. Вне зависимости от конструкции излучатели преобразуют электрические колебания в механические колебания поверхности излучателя, которая в свою очередь излучает акустические волны в окружающую среду [6].

В магнитострикционных преобразователях используется эффект магнитострикции, при котором в переменном магнитном поле материал магнитопровода изменяет свои линейные размеры. Электрическая энергия с помощью высокочастотного генератора преобразовывается в переменное магнитное поле, а затем – в механические колебания ультразвуковой частоты за счет деформации магнитопровода с частотой магнитного поля.

Пьезоэлектрические преобразователи конвертируют электрическую энергию прямо в механическую за счет использования пьезоэлектрического эффекта, при котором пьезоэлектрическая керамика изменяет свои линейные размеры при приложении электрического поля. Преобразователи такого типа наиболее эффективны.

Для построения ультразвуковой ванны был применен пьезоэлектрический преобразователь мощностью 60 Вт типа PZT-8, работающий на частоте 28 кГц, внешний вид которого приведен на рис. 1.



Рис. 1. Пьезоэлектрический преобразователь PZT-8

Для питания пьезоэлектрического преобразователя был разработан импульсный источник питания, электрическая схема которого приведена на рис. 2.

Блок питания выполнен по схеме типа «полумост», и содержит сетевой фильтр Z1, предохраняющий электрическую сеть от высокочастотных импульсных помех, возникающих при работе импульсного преобразователя блока питания, сетевой выпрямитель VD1 и емкостной сглаживающий фильтр C1. Для управления полевыми транзисторами импульсного преобразователя была применена специализированная микросхема-драйвер полумоста DA1 типа IR2153, изначально предназначенная для управления полевыми транзисторами в схемах электронных балластов для газоразрядных ламп [7].

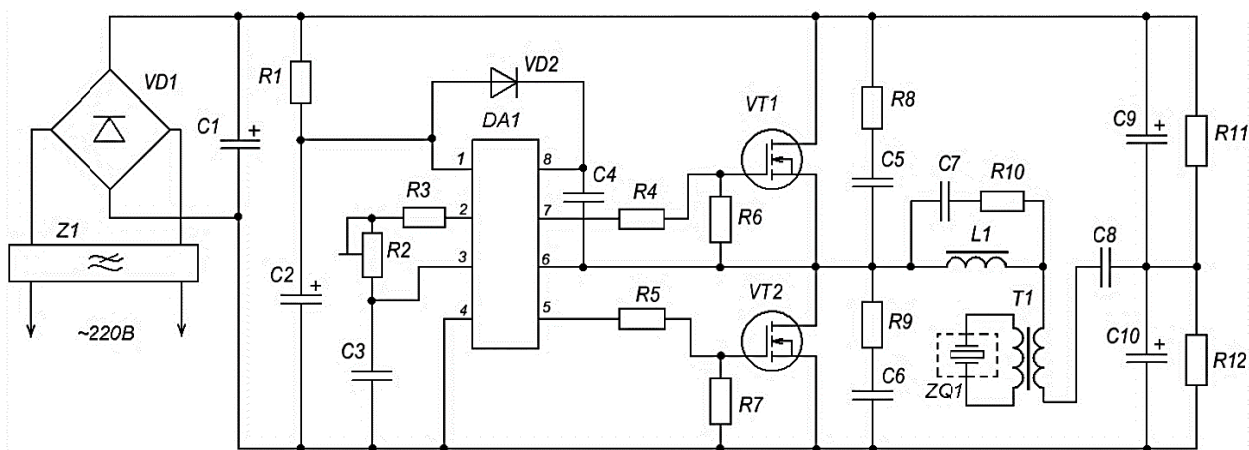


Рис. 2. Импульсный источник питания пьезоэлектрического преобразователя

Питание микросхемы DA1 осуществляется от шины высокого напряжения через резистор R1, а напряжение питания стабилизируется встроенным в микросхему стабилизатором на напряжение 15,6 В. Микросхема DA1 имеет относительно низкий средний ток потребления, что позволяет организовать ее питание через резистор R1.

Параметры частото задающей цепи R2, R3, C3 были выбраны по справочным данным на микросхему IR2153 [7]. Подстроечный резистор R3 предназначен для точной установки частоты работы импульсного преобразователя.

Питание верхнего ключа импульсного преобразователя, выполненного на транзисторе VT1, организовано с помощью накопительного конденсатора C4, заряжающегося через диод VD2 в моменты открытого состояния нижнего ключа преобразователя на транзисторе VT2. Диод VD2 должен быть рассчитан на средний прямой ток 1А, обратное напряжение не менее 500В, и время обратного восстановления не менее 100 наносекунд. Этим условиям удовлетворяет диод UF4007. В качестве ключей в данном устройстве были применены полевые транзисторы VT1 и VT2 типа IRF740.

Ток затворов полевых транзисторов ограничивается на безопасном для микросхемы DA1 уровне резисторами R4 и R5.

Для снижения коммутационных помех и уменьшения времени закрывания транзисторных ключей применено шунтирование силовых транзисторов цепочками из последовательно соединенных резисторов и конденсаторов R8C5 и R9C6. Резисторы R8 и R9 были выбраны из условия:

$$R8 = R9 = 10R_{си},$$

где $R_{си}$ – сопротивление сток-исток полевого транзистора в открытом состоянии. Продолжительность переходного процесса, равная $3RC$, должна быть в 10 раз меньше длительности значения мертвого времени t_n . Емкость конденсатора была определена из выражения:

$$C = t_n / 30R,$$

где t_n – время паузы между выключением одного полевого транзистора и включением второго. Наличие демпфирующих цепочек задерживает моменты открывания и закрывания полевых транзисторов относительно перепадов управляющего напряжения на их затворах, и уменьшает скорость изменения напряжения между стоком и затвором. В результате значительно снижаются пиковые значения импульсов затекающего тока, а их длительность увеличивается.

Также положительными свойствами демпфирующих цепей является значительное уменьшение времени выключения полевых транзисторов и ограничение спектра создаваемых ими радиопомех.

Цепочка R7C10 и дроссель L1 служат для подавления паразитных колебаний, возникающих на трансформаторе Т1 вследствие ключевого режима работы транзисторов.

Пьезоэлектрический преобразователь ZQ1 подключен к вторичной обмотке трансформатора Т1, первичная обмотка которого включена последовательно с дросселем L1 и подключена к средней точке соединения конденсаторов C9 и C10, образующих второе плечо полумоста. Пьезоэлектрический преобразователь PZT-8 был приклеен к ванне клеем K300. Резисторы R11 и R12 предназначены для выравнивания напряжения на конденсаторах C9 и C10.

В результате проведенных экспериментов было установлено, что КПД преобразователя равен 90 % при выходной мощности 80 Вт на частоте 28 кГц. Результаты испытаний показали надежную работу ультразвуковой ванны при температуре моющей жидкости до 95 °С.

Разработанная ультразвуковая ванна обеспечивает большую скорость и высокое качество очистки поверхностей различных деталей и предметов при невысокой стоимости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вайншток, И. С. Ультразвук и его применение в машиностроении / И. С. Вайншток. – М.: Государственное научно-техническое изд-во машиностроительной литературы, 1958. – 140 с.
2. Балдев, Радж. Применения ультразвука / Радж Балдев, В. Раджендран, П. Паланичами. – М.: Техносфера, 2006. – 579 с.
3. Келлер, О. К. Ультразвуковая очистка / О. К. Келлер, Г. С. Кратыж, Г. Д. Лубляницкий. – Л.: Машиностроение, 1977.
4. Приходько, В. М. Технология ультразвуковой очистки топливной аппаратуры в осесимметричных ультразвуковых ваннах / В. М. Приходько, Д. С. Фатюхин, А. А. Рухман, Е. П. Рухман, Д. В. Коновалов, Л. Г. Коновалова // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2010. – № 1 (20). – С. 47–49.
5. Толочко, Н. К. Факторы неравномерной очистки деталей машин в ультразвуковых ваннах / Н. К. Толочко, В. С. Корко, А. Н. Челединов, В. Л. Ланин // Вестник машиностроения. – 2017. – № 4. – С. 82–85.
6. Патент РФ № 2384906, МПК G01R 27/28. Ультразвуковая установка для дезактивации металлических деталей / Васильев А. П., Дубинин Г. В., Коваленко В. Н., Савкин А. Е., Сердитов В. Ю., Коняхин А. В. – № 2008107119/06, заявлено 27.02.2008; опубл. 20.03.2010, Бюл. № 8.
7. IR2153 Datasheet [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=IR2153> свободный. – (Дата обращения: 01.04.2019 г.).

УДК 620.193

*В. В. Халяпин***ВЛИЯНИЕ ЗОН РАЗГРУЗКИ НА СОСТОЯНИЕ ИЗОЛЯЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ
МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: HalyapinVV@yandex.ru

Проведен картографический анализ прохождения трассы магистрального газопровода. Рассмотрены режимы влажности почв. Проанализированы гидрогеологические особенности района прохождения газопровода. Определены механизмы появления переувлажненных участков – зон разгрузки. Определены возможные причины возникновения повреждений изоляции. Проведена консолидация ландшафта трассы двух газопроводов, проходящих в одном технологическом коридоре, и данных о местах повреждения изоляционного покрытия.

Ключевые слова: повреждение изоляции; магистральный газопровод; режим влажности почв; зоны трасс газопровода.

*V. V. Halyapin***INFLUENCE OF UNLOADING ZONES ON THE CONDITION
OF THE INSULATING COATING OF THE MAIN GAS PIPELINE****Volgograd State Technical University**

A cartographic analysis of the passage of the trunk gas pipeline has been conducted. Considered soil moisture regimes. Analyzed hydrogeological features of the area of passage of the pipeline. The mechanisms of the emergence of overwetted areas - discharge zones. Identified possible causes of damage to the insulation. The landscape of the route of two gas pipelines running in one technological corridor and data on the places of damage to the insulation coating was consolidated.

Keywords: insulation damage; main gas pipeline; soil moisture regime; gas pipeline route zones.

Исследования состояния магистральных трубопроводов, выполненные ВНИИСТ в 60–70-х годах XX столетия, показали, что интенсивность коррозии внешней поверхности трубопроводов зависит как от физического состояния и химического состава грунта, так и от климатических условий, которые существенно влияют на температуру, влажность, химические и микробиологические процессы [1].

Трассы газопроводов имеют большую протяженность и пересекают различные ландшафтные природно-климатические и геологические зоны. Скорость и характер электрохимической коррозии металла зависит от многих факторов, действующих одновременно и взаимосвязанно. Эти факторы условно подразделяют на внешние и внутренние (по отношению к металлу). К внешним факторам относят факторы, связанные с составом коррозионной среды и условиями протекания процесса коррозии.

К наиболее важному внешнему фактору электрохимической коррозии теплопроводов обычно относят влагу. Присутствие влаги является необходимым условием для протекания процесса коррозии.

К числу объектов, являющихся потенциальными источниками возникновения дефектов магистральных газопроводов, относятся:

- опоры воздушных линий электропередачи;
- магистральные оросительные каналы и коллекторы;
- реки и водоемы, вдоль которых прокладывается трубопровод;
- несанкционированные проезды и стоянки техники;
- переходы через автомобильные и железные дороги;
- пересечения трасс коммуникаций;
- подпочвенные водотоки;
- участки повышенной влажности грунта;
- поверхностные водотоки.

В естественных условиях влажность по глубине в автоморфных условиях заметно меняется только в верхнем горизонте. Влажность верхнего слоя почвы меняется только по сезонам года, а глубже она остается стабильной. Над уровнем грунтовых вод наблюдается, так называемая, «капиллярная кайма», то есть зона повышенной влажности, а выше ее, вплоть до зоны иссушения почвы (от 22 до 3 м от поверх-

ности почвы) – сохраняется относительно постоянная влажность, близкая к «наименьшей влагоемкости».

Режим влажности почв при устойчиво близких грунтовых водах принято называть гидроморфным. Этот режим существенно отличается от автоморфного тем, что грунтовые воды постоянно подпитывают почвенные горизонты, поскольку находятся близко к корнеобитаемой зоне. В этом случае верхние слои почвы постоянно находятся в зоне «капиллярной каймы». На рис. 1 показан профиль влажности почвы и подстилающих пород в гидроморфных условиях по сезонам года. Здесь верхние почвенные горизонты хорошо, по мере иссушения, подтягивают влагу из более увлажненных горизонтов.



Рис. 1. График влажности почвенных и подпочвенных горизонтов при устойчиво близких грунтовых водах

На рис. 2 показана ближайшая к рассматриваемому участку гидрогеологическая колонка. Высота напора подземных вод составляет 6 метров. Песчано-галечные водоносные горизонты, водопроницаемость 50–10 м²/сут. [2]. Если природная система «разнокалиберных» ходов в почве не разрушена искусственно пахотой, то даже осадки ливневого характера не образуют поверхностного стока, луж, и полностью впитываются в почву. По крупным ходам, оставленным землероями и червями, вода проникает достаточно глубоко и увлажняет почву, как по артериям.

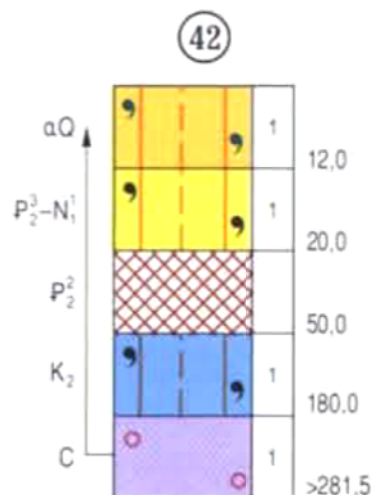


Рис. 2. Гидрогеологическая колонка № 42

Непахотные участки почвы обладают следующими свойствами:

- очень низкой теплопроводностью (низкое испарение влаги);
- легко проницаемы для воды и воздуха.

Попавшая в крупные трещины и поры вода при сильном ливне или при затоплении поверхности почвы рассасывается почвой.

Если естественная дернина разрушена пахотой, то в подпахотном слое образуется «плужная подошва». На рис. 3 видно, что на глубине около 35–45 см плотность почвы резко увеличивается за счет многократных проходов тяжелой техники при вспашках, и прохода плугов в переувлажненной почве.

В результате разрушаются поры, в том числе образованные корнями растений.

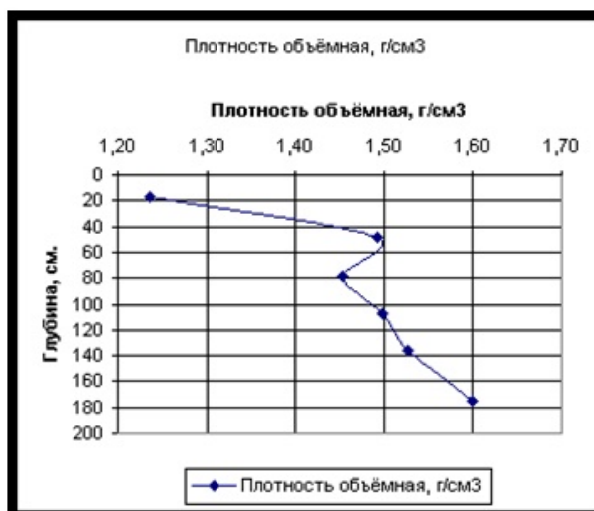


Рис. 3. График изменения плотности почвы (г/см³) по глубине (старопахотные почвы)

Ввиду неоднородности рельефа образуются естественные зоны питания и естественные зоны разгрузки (рис. 4). Местность, где формируются потоки подземных вод принято называть зонами питания, а участки, куда они движутся, высачиваются в виде родников, или где расходятся на испарение, называют зонами разгрузки. При наличии в непосредственной близости пахотных

земель, на которых образуется «плужная подошва», сток воды происходит на близлежащие непашотные участки земель (с учетом рельефа местности). Искусственный сток поверхностных вод приводит к переувлажнению данных участков, что является фактором риска для возникновения повреждений изоляции и последующего возникновения коррозионных дефектов.

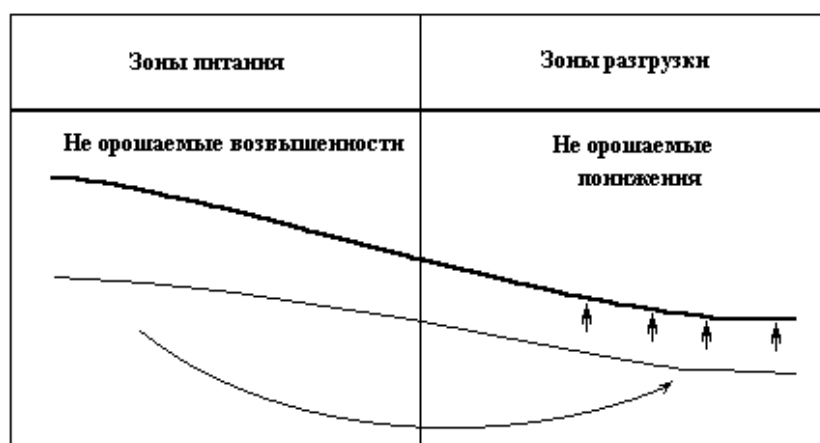


Рис. 4. Подпитка полей грунтовыми водами в зависимости от рельефа местности

При консолидации ландшафта профиля трассы двух газопроводов, проходящих в одном технологическом коридоре, и данных о местах повреждения получены следующие результаты:

- общее количество участков дефектов – 109 шт. (54 и 55 соответственно);
- повреждений изоляции 1 газопровода в зоне повышенной влажности: 42 шт. / 78 %;
- повреждений изоляции 2 газопровода в зоне повышенной влажности: 46 шт. / 84 %.

Выводы

Полученные результаты позволяют определить, что фактором возникновения повреждения изоляции является не только наличие естественных низменностей и участков скопления влаги, но и близость к пахотным угодьям, так как близлежащие к ним непашотные участки будут являться зонами разгрузки.

Картографический метод анализа коридора прохождения газопровода позволяет определить зоны разгрузки влаги, однако для более точного прогноза возникновения дефектов изоляции необходимо определение теоретического количества воды в околотрубном пространстве в заданный период времени.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Медведева, М. Л. Коррозия и защита магистральных трубопроводов и резервуаров: учебное пособие для вузов нефтегазового профиля / М. Л. Медведева, А. В. Мурадов, А. К. Прыгаев. – М.: Издательский центр РГУ нефти и газа имени И. М. Губкина, 2013. – 250 с.
2. Карта подземных вод: М-37,(38) (Воронеж). Государственная геологическая карта СССР. Новая серия. Карта подземных вод, масштаб: 1:1000000, составлена: ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2000 г., редактор(ы): Шик С. М.

Редактор РИО, ответственный за выпуск:
В. В. Свитачева

Компьютерная верстка:
Е. В. Макарова

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-64543 от 22 января 2016 г.
Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий
и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Учредитель:
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Волгоградский государственный технический университет» (ВолгГТУ)

Адрес редакции и издателя: 400005, г. Волгоград, пр. В. И. Ленина, 28.
Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ)
Телефон: гл. редактор – (8442) 23-00-76
E-mail: rector@vstu.ru

Темплан 2019 г. Поз. № 22ж. Дата выхода в свет 10.06.2019 г. Формат 60 x 84 1/8.
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать офсетная. Усл.-печ. л. 7,44. Уч.-изд. л. 7,07.
Тираж 100 экз. Свободная цена. Заказ №
Оригинал-макет и электронная версия подготовлены РИО ИУНЛ ВолгГТУ
400005, г. Волгоград, пр. В. И. Ленина, 28, корп. 7.
Отпечатано в типографии ИУНЛ ВолгГТУ
400005, г. Волгоград, пр. В. И. Ленина, 28, корп. 7.

В научно-техническом журнале «ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ» публикуются статьи, которые содержат результаты теоретических и экспериментальных исследований, представляют научный и практический интерес для широкого круга специалистов в области экономики.

Вопрос об опубликовании статьи или ее отклонении решает редакционная коллегия сборника, которая утверждается ректором университета, ее решение является окончательным. Редколлегия направляет представленный для издания материал на рецензирование.

Рукопись должна быть набрана и сверстана в текстовом редакторе Word и распечатана на лазерном принтере в режиме полной загрузки тонера. Формат бумаги А4 (210×297 мм).

Для ускорения подготовки издания необходимо представлять файлы статей на дискетах или компакт-дисках (CD) в полном соответствии с распечатанным оригиналом. Дискета должна быть вложена в отдельный конверт, на этикетке дискеты указываются фамилии авторов статьи.

При наборе текста следует соблюдать следующие требования: поля – верхнее – 2,0 см, нижнее – 3,0 см, левое – 2,5 см, правое – 2,5 см; шрифт Times, кегль 14, интервал полуторный.

Текст набирается с применением автоматического переноса слов, перед знаками препинания (в том числе внутри скобок) пробелы не допускаются, после них ставится один пробел. Разрядка слов не допускается, следует избегать перегрузки статей большим количеством формул, рисунков, таблиц. Для набора символов в формульном редакторе MS Equation (MS Word) использовать установки (Стиль/Размеры) только по умолчанию; рисунки должны быть выполнены в редакторах векторной графики, таких как CorelDRAW или в любом приложении к Word. Допускается сканирование рисунков в программе Microsoft Photo Editor.

Инициалы и фамилия автора (авторов) пишутся над заглавием статьи. Ниже заглавия, перед основным текстом, указывается организация или предприятие, в котором работает автор статьи. В конце статьи ставится полное название учреждения, которое рекомендует статью для публикации, дата и подпись автора (всех авторов).

Литературные ссылки должны быть оформлены в соответствии с ГОСТ 7.1–2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления». Библиографический список использованной литературы, составленный в порядке упоминания в тексте, дается в конце статьи; связь с основным текстом осуществляется цифровым порядковым номером в квадратных скобках в строке. Подстрочные ссылки не допускаются.

Иностранные фамилии и термины в тексте следует приводить в русском переводе. В библиографическом списке фамилии авторов, полное название книг и журналов приводится на языке оригинала.

Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

При обозначении единиц физических величин должна применяться Международная система единиц (СИ).

Объем статьи не должен превышать 8 страниц бумаги формата А4, включая таблицы и библиографический список; число рисунков – не более четырех, включая рисунки, помеченные буквами *a*, *b*, и т. д. Рекомендуется включать в сборник статьи с авторским коллективом не более четырех человек с участием каждого автора в одной–двух статьях.

Статьи должны представлять сжатое четкое изложение результатов, полученных автором без повторов приводимых данных в тексте статьи, таблицах и рисунках. К статье должны быть приложены: сведения об авторах (полное имя, отчество, фамилия, ученая степень, звание, домашний адрес, номер телефона служебный, домашний, E-mail), документация, подтверждающая возможность ее открытого опубликования.