

ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ:

промышленность и транспорт

№ 2 (43)
2023



16+

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ





Издается
с января 2004 г.

ISSN 2500-0586

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
Е. В. Балакина – д.т.н., проф., ВолГТУ
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
А. В. Келлер – д.т.н., проф. НАМИ, г. Москва
В. В. Коротаев – д.т.н., проф., ИТМО,
г. Санкт-Петербург
Г. О. Котиев – д.т.н., проф., МГТУ
им. Н. Э. Баумана, г. Москва
А. А. Львов – д.т.н., проф., СГТУ
им. Гагарина Ю. А., г. Саратов
Мертен Клеменс – д.т.н., проф.,
университет г. Штутгарт, Германия
В. А. Марков – д.т.н., проф., МГТУ
им. Н. Э. Баумана, г. Москва
А. Е. Новиков – чл.-корр. РАН, д.т.н., проф.,
ВолГТУ
Б. В. Скворцов – д.т.н., проф., СНИУ
им. академика С. П. Королева, г. Самара
Е. А. Федянов – д.т.н., проф., ВолГТУ
В. Т. Фомичев – д.т.н., проф., ВолГТУ
А. Н. Шилин – д.т.н., проф., ВолГТУ

Ответственный секретарь
П. С. Васильев – к.т.н., доц., ВолГТУ
Тел. 8-(8442)24-84-31

Журнал распространяется
по подписке.
Индекс журнала
по объединенному каталогу
«Пресса России» – 94193
[https://www.pressa-
rf.ru/cat/1/edition/y_e94193/](https://www.pressa-
rf.ru/cat/1/edition/y_e94193/)

Тел. издательства ВолГТУ:
+7 (8442) 24-84-08
+7 (8442) 24-84-05
e-mail: zavrio@vstu.ru

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

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

№ 2 (43)
Июнь
2023

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: +7 (8442) 23-00-76
e-mail: rector@vstu.ru

Отв. секретарь: телефон: +7 (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
E. V. Balakina – D. Sc. (Engineering),
Prof., VSTU, Volgograd
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
A. V. Keller – D. Sc. (Engineering), Prof.,
NAMI, Moscow
V. V. Korotaev – D. Sc. (Engineering), Prof.,
ITMO University, St. Petersburg
G. O. 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. E. Novikov – Corresponding Member
of RAS, D. Sc. (Engineering), Prof., VSTU,
Volgograd
B. V. Skvortsov – D. Sc. (Engineering), Prof.,
Samara University, Samara
E. A. Fedyanov – D. Sc. (Engineering), Prof.,
VSTU, Volgograd
B. T. Fomichev – D. Sc. (Engineering),
Prof., VSTU, Volgograd
A. N. Shilin – D. Sc. (Engineering),
Prof., VSTU, Volgograd

Executive Secretary
P. S. Vasilyev – PhD, Associate Prof.
Тел. 8-(8442)24-84-31

The journal is distributed by subscription.
Index of the magazine according to the unit-
ed catalog «Press of Russia» – 94193.
[https://www.pressa-
rf.ru/cat/1/edition/y_e94193/](https://www.pressa-
rf.ru/cat/1/edition/y_e94193/)

VSTU Publisher tel.:

+7 (8442) 24-84-08

+7 (8442) 24-84-05

e-mail: zavrio@vstu.ru

© Volgograd State Technical University,
«Energo- i resursosberezhenie: promyshlennost' i transport», 2023

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:
ПН .N° (ФС77-64543, registration date: 22 January 2016

№ 2 (43)
June
2023

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

Авдеюк Д. Н. 12	Коптелова И. А. 21
Богале М. А. 24	Кутейников П. Д. 6
Брызгалин Д. А. 6	Мангушев А. В. 32
Дементьев С. С. 6	Нефедьев А. И. 15, 29
Ефимов В. В. 18	Сомов А. В. 21
Коновалова Л. А. 24	Стрижиченко А. В. 18
Конченков В. И. 32	Трясогузов А. Г. 29

AUTHOR INDEX

Avdeuk D. N. 12	Koptelova I. A. 21
Bogale M. A. 24	Kuteynikov P. D. 6
Bryzgalin D. A. 6	Mangushev A. V. 32
Dementyev S. S. 6	Nefed'ev A. I. 15, 29
Efimov V. V. 18	Somov A. V. 21
Konchenkov V. I. 32	Strizhichenko A. V. 18
Konovalova L. A. 24	Tryasoguzov A. G. 29

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Дементьев С. С., Брызгалин Д. А., Кутейников П. Д.</i> Робот для диагностики оледенения и деформирования воздушных ЛЭП.....	6
<i>Авдеюк Д. Н.</i> Устройства адаптации параметров измерительного сигнала рефлектометра.....	12
<i>Нефедьев А. И.</i> Метод построения двуполярного стабилизатора постоянного напряжения.....	15
<i>Стрижиченко А. В., Ефимов В. В.</i> К вопросу актуализации значений экономической плотности тока в электрических сетях 35–220 кВ.....	18
<i>Коптелова И. А., Сомов А. В.</i> Анализ эксплуатационных характеристик работы датчиков холтеров для разработки системы управления физическими нагрузками.....	21
<i>Коновалова Л. А., Богале М. А.</i> Обзор устройств испарения с водной поверхности.....	24
<i>Нефедьев А. И., Трясогузов А. Г.</i> Преобразователь напряжения для конденсаторно-тиристорного модуля зажигания.....	29
<i>Мангушев А. В., Конченков В. И.</i> Разработка блока передачи данных по интерфейсу ETHERNET на языке VERILOG.....	32
К сведению авторов.....	40

CONTENTS

<i>Dementyev S. S., Bryzgalin D. A., Kuteynikov P. D.</i>	
Robot for overhead power lines glasiation and deformation diagnostics.....	6
<i>Avdeuk D. N.</i>	
Devices for adapting the parameters of the measuring signal of the reflectometer.....	12
<i>Nefed'ev A. I.</i>	
Method for construction of laboratory bipolar dc voltage stabilizer.....	15
<i>Strizhichenko A. V., Efimov V. V.</i>	
On the issue of actualization of economic current density values in 35–220 kV.....	18
<i>Koptelova I. A., Somov A. V.</i>	
Analysis of the operational characteristics of the holter sensors for the development of a physical activity management system.....	21
<i>Konovalova L. A., Bogale M. A.</i>	
Overview of devices for evaporation from the water surface.....	24
<i>Nefed'ev A. I., Tryasoguzov A. G.</i>	
Voltage converter for capacitor-thyristor ignition module.....	29
<i>Mangushev A. V., Konchenkov V. I.</i>	
Development of a data transmission unit over the ethernet interface in the verilog language.....	32

С. С. Дементьев¹, Д. А. Брызгалин¹, П. Д. Кутейников²

**РОБОТ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ОЛЕДЕНЕНИЯ И ДЕФОРМИРОВАНИЯ
ВОЗДУШНЫХ ЛЭП**

¹ Волгоградский государственный технический университет

² Национальный исследовательский университет

«Московский энергетический институт»

e-mail: c165tc34@yandex.ru

Обеспечение бесперебойного электроснабжения потребителей в значительной мере определяется надежностью воздушных линий электропередачи (ВЛ). Воздушные линии склонны к возникновению многочисленных аварий, связанных с обрывом проводов по причине гололедообразования. На сегодняшний день диагностика гололедных отложений на проводах выполняется визуально. За рубежом наиболее распространенным устройством диагностики ВЛ является оснащенная инклинометром «измерительная сфера». В статье предлагается развитие технологии применения данного устройства за счет придания ему подвижности, т. е. трансформации измерительной сферы в робот для диагностики оледенения и деформирования воздушных линий.

Ключевые слова: надежность электроснабжения, интеллектуальные сети, мониторинг воздушных линий, оледенение линий электропередачи, роботизированная диагностика ЛЭП, деформация проводов

S. S. Dementyev¹, D. A. Bryzgalin¹, P. D. Kuteynikov²

**ROBOT FOR OVERHEAD POWER LINES GLASIATION
AND DEFORMATION DIAGNOSTICS**

¹ Volgograd State Technical University

² National Research University

«Moscow Power Engineering Institute»

The ability to provide high-quality uninterrupted power supply is largely determined by the reliability of overhead power lines (OHL). Overhead power lines are prone to numerous accidents related to wire breaks due to ice formation. Today, the diagnostics of ice sediments on wires is performed visually. The most common foreign device for overhead lines diagnostics is the “measuring sphere” equipped with an inclinometer. The article proposes the development of technology for the use of this device by giving it mobility, i.e. transformation of the measuring sphere into a robot for overhead lines icing and deformation diagnosing.

Keywords: power supply reliability, smart grids, overhead lines monitoring, power lines icing, power lines robotic diagnostics, wire deformation

Единая энергетическая система России в настоящее время проходит этап «цифровизации» процессов генерации, передачи и потребления электроэнергии, что в первую очередь включает в себя повсеместное внедрение активно-адаптивных электрических сетей. Суть данной технологии, получившей за рубежом наименование Smart Grid (дословно «интеллектуальная сеть»), заключается в снижении физической уязвимости всех составляющих энергосистемы путем ее оснащения средствами автоматической идентификации рисков аварийных возмущений и организации предупреждения

неисправностей [6]. Очевидно, что в России эффективное внедрение технологии Smart Grid требует учета многих специфических факторов функционирования электрических сетей в наших условиях.

Так, одной из главных особенностей Единой энергосистемы являются значительные расстояния, охватываемые воздушными линиями электропередачи (ВЛ), общая протяженность которых составляет более 500 тыс. км. Именно в силу большого удаления объектов генерации и потребления электроэнергии друг от друга электрические сети, образуемые высо-

ковольтными ВЛ, зачастую обладают магистральной топологией, что приводит к трудности их резервирования.

Таким образом, объективно низкая конструкционная надежность воздушных линий, обусловленная непрерывным климатическим воздействием (гололед, ветер, осадки, солнечная радиация), в совокупности с их высокой степенью износа за последние десятилетия (около 50 % от общего числа ВЛ изношены более чем на 90 %) становятся причиной частой повреждаемости электрических сетей и недоотпуска электроэнергии [3].

С учетом всего перечисленного можно прийти к выводу о том, что обеспечение безаварийной эксплуатации воздушных линий является сложной задачей, решение которой тем не менее имеет важнейшее значение для нормального функционирования социальной и производственной инфраструктуры. Именно поэтому возникающие на ВЛ аварии требуют скорейшего устранения, однако в осенне-зимний период сложные метеоусловия и ухудшение состояния дорог практически полностью исключают быстрое завершение ремонтно-восстановительных работ.

По мере физического и морального устаревания все большая доля неисправностей ВЛ приходится на неблагоприятные климатические условия, к числу которых следует в первую очередь отнести формирование гололедно-изморозевых отложений на проводах и грозозащитных тросах. Так, согласно статистическим данным более 50 % от общего количества повреждений на линиях Единой энергосистемы приходится именно на гололедные аварии, а продолжительность вызванных ими перебоев электроснабжения достигает 60 % от общей длительности всех аварийных отключений за год [1].

Между тем следует отметить, что на сегодняшний день диагностика гололедных отложений на проводах осуществляется визуально силами оперативно-выездных бригад [1; 4; 6], что очевидным образом является малоэффективным решением проблемы диагностики ВЛ.

Наиболее распространенным в практике применения в зарубежных энергосистемах и удачным техническим решением, призванным обеспечить удобное дистанционное обнаружение гололедных образований на проводах ВЛ, является устройство «измерительная сфера» [6] (рис. 1). Принцип действия измерительной сферы и подобных ей устройств (рис. 2) заключается в контроле угла отклонения θ (наклона)

устройства к горизонтальной поверхности, что позволяет судить о провисании и, соответственно, деформации провода.



Рис. 1. Измерительная сфера Gridpulse компании OTLM-device (Словения)

В целом общая для указанных устройств структурная схема показана на рис. 3. Внутри корпуса 1 измерительной сферы содержатся микроконтроллер 2, инклинометр (датчик наклона) 3, датчик температуры провода 4, устройство беспроводной передачи информации 5. В результате увеличения механической и/или температурной деформации угол отклонения шара 1 вследствие провисания провода также изменяется, что фиксируется инклинометром 3. Управляющая программа, исполняемая микроконтроллером 2, выполняет расчет толщины гололедной муфты эквивалентной цилиндрической формы исходя из показаний инклинометра 3 с поправкой на фиксируемую датчиком 4 температуру провода для «выделения» деформации, вызванной исключительно нарастанием гололеда на проводе, но не его нагревом.

Наглядно функционирование измерительной сферы демонстрируется графиками изменения угла наклона θ при отклонении механической нагрузки (толщины гололедной муфты b) на провод (рис. 4, *a*) и его нагрева t (рис. 4, *б*) для линии, характеризующейся следующими параметрами: номинальное напряжение 110 кВ, провод АС-70/11, ненаселенная идеально равнинная местность, высота подвеса провода 16,5 м, V район по гололеду, IV район по ветровому давлению, минимальная температура – 40 °С, наибольшая 40 °С, среднегодовая 0 °С, температура гололедообразования –5 °С.

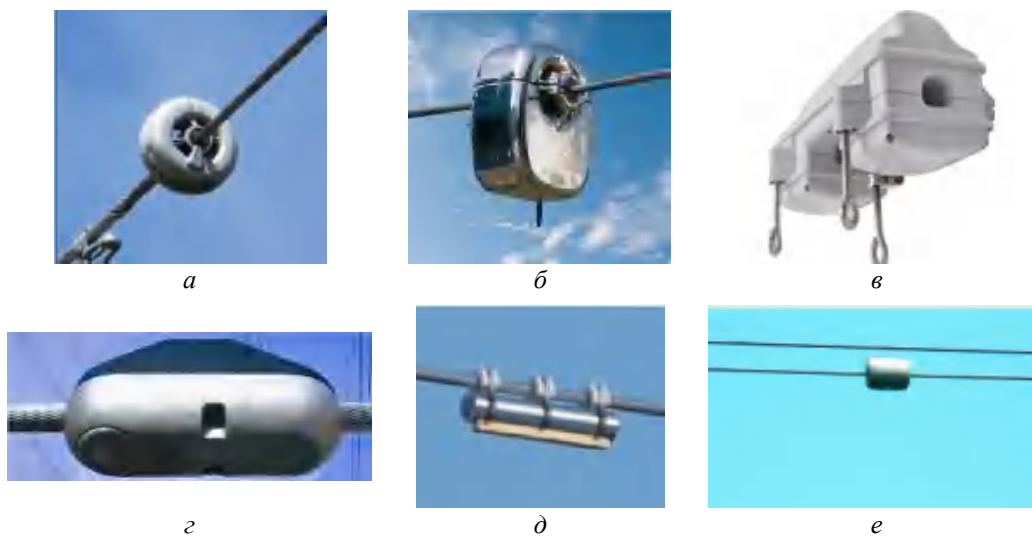


Рис. 2. Устройства дистанционного контроля состояния проводов ВЛ:
a – PowerDonut (USi); *б* – SMT (Artech); *в* – FMC-T6 (General Electric); *г* – TLM (Lindsey);
д – Emo (Micca); *е* – TMT (ЗАО «ОПТЭН Лимитед»)

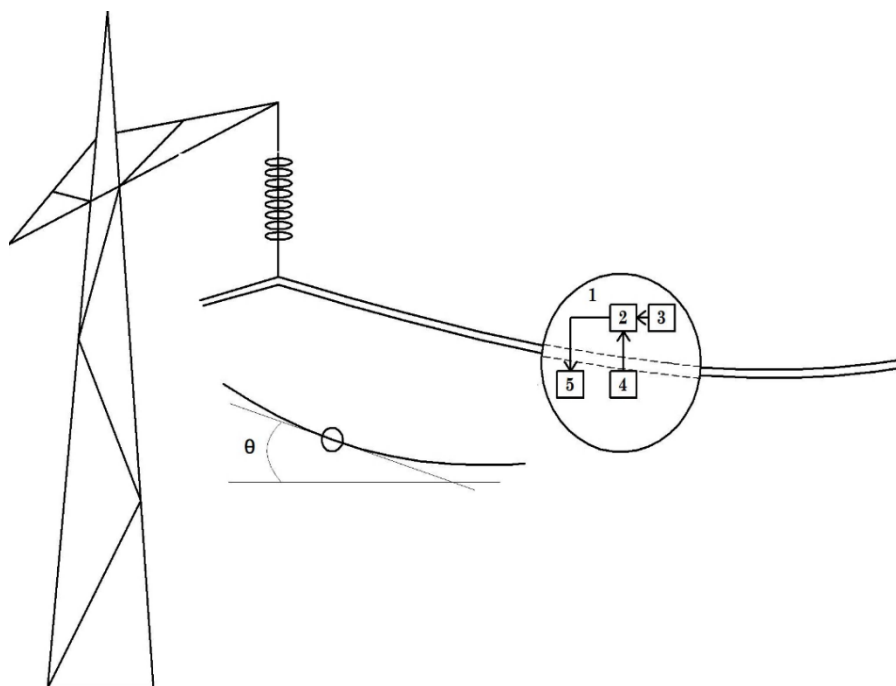


Рис. 3. Структурная схема измерительной сферы

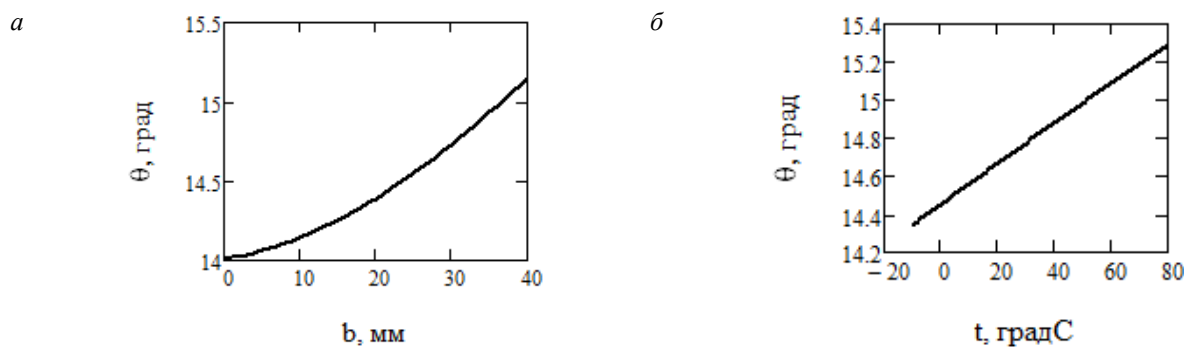


Рис. 4. Изменение наклона измерительной сферы при нарастании гололедной муфты (*a*) и нагреве провода (*б*)

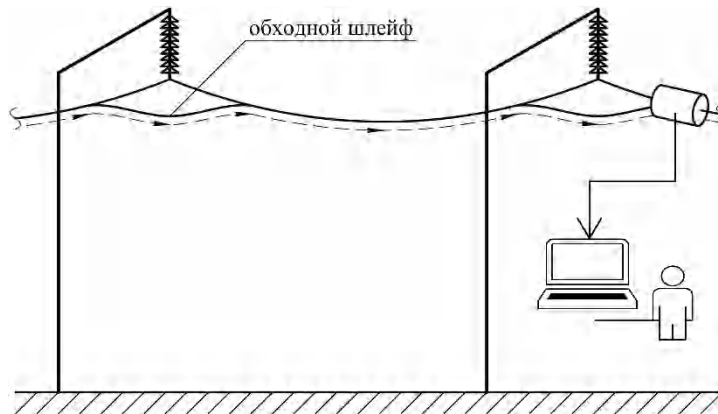


Рис. 5. Перемещение робота по проводу
и передача накопленной измерительной информации

Концептуальным недостатком измерительной сферы является возможность диагностирования остаточных деформаций провода ВЛ лишь на том пролете, на котором смонтировано устройство. Получение цельной картины состояния воздушной линии, ее износа, информации о наличии перетягиваний провода из пролета в пролет (вследствие разрегулировки линейной арматуры) требует установки на линии совокупности измерительных сфер – от нескольких до десятков – в зависимости от длины

ВЛ. Улучшение функциональности измерительной сферы можно добиться за счет придания ей подвижности, т. е. способности перемещаться на всем протяжении провода в том числе с применением вспомогательных обходных шлейфов, как это показано на рис. 6. Иными словами, совершенствование технологии использования измерительной сферы требует ее превращения в робота, конструкция которого изображена на рис. 6, 7.

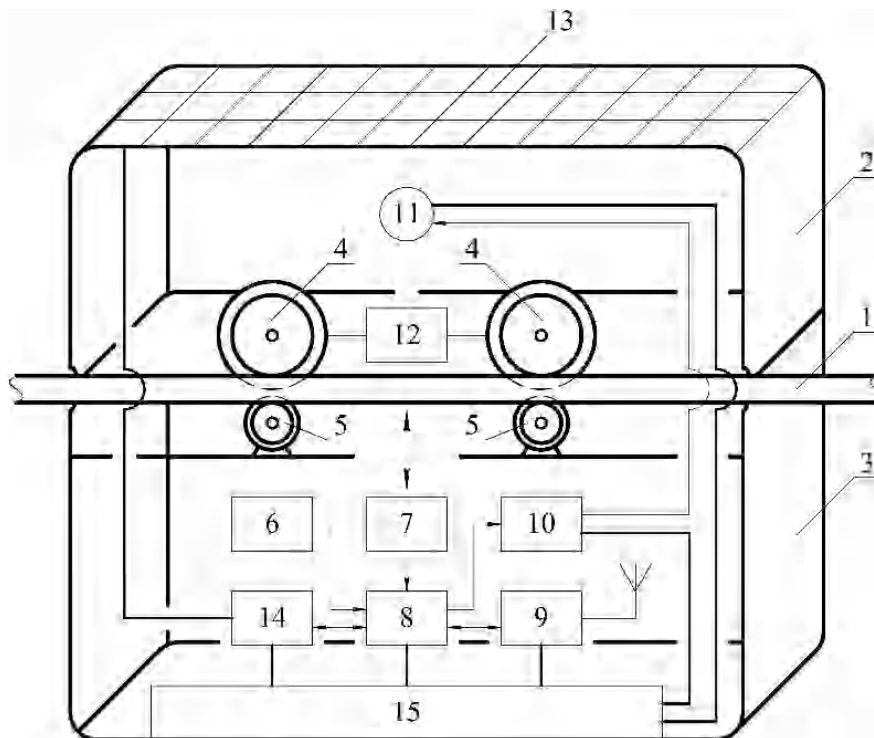


Рис. 6. Структурная схема робота:

1 – провод ВЛ; 2 – верхняя (откидывающаяся на шарнирах) половина корпуса робота; 3 – нижняя половина корпуса робота; 4 – пара ведущих колес; 5 – пара нижних роликов; 6 – двухосевой инклинометр; 7 – датчик температуры провода; 8 – микроконтроллер; 9 – устройство приема-передачи данных; 10 – ШИМ-контроллер; 11 – электродвигатель; 12 – механическая передача; 13 – солнечная панель; 14 – контроллер солнечной панели; 15 – аккумуляторная батарея

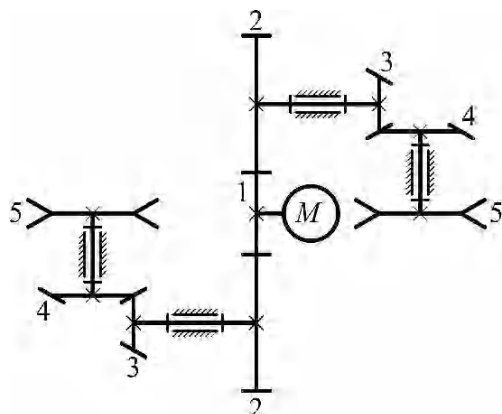


Рис. 7. Кинематическая схема робота:
1, 2 – цилиндрическая зубчатая передача (1 – шестерня на валу электродвигателя; 2 – колесо на промежуточном валу); 3, 4 – коническая зубчатая передача (3 – коническая шестерня на промежуточном валу; 4 – коническое колесо на выходном валу); 5 – ведущий ролик на выходном валу

Последовательность действий предлагаемого робота подразумевает «сканирование» геометрии провисания провода ВЛ при отсутствии гололедных отложений (по завершении гололедного периода) для диагностики остаточных (пластических) деформаций. Отклонение полученной таким образом геометрической модели провисания от исходной с учетом текущей фиксируемой роботом температуры провода позволит судить о степени износа линии на ее отдельных участках. Для достижения указанной

цели роботу требуется выявлять ординаты точек наибольшего провисания провода (в том числе с учетом отклонения провода на угол φ , т. е. смещения по оси аппликат при воздействии ветра), абсциссы которых остаются без изменений (рис. 8). Получение уравнения провисания провода на каждом пролете возможно, считая приемлемым описание линии провисания параболическим уравнением, которое можно составить по трем точкам – точкам A, B подвеса провода на опорах (координаты которых остаются неизменными, пренебрегая проседанием грунта и/или девиациями опор) и точке наибольшего провисания O , ордината которой фиксируется роботом за счет наличия двухосевого инклинометра (акселерометра и гироскопа, выполненных в виде единой микроэлектромеханической системы) в том числе с коррекцией воздействия ветра (при смещении робота из точки O в O').

Отдельно следует затронуть вопрос, касающийся сравнения уравнений цепной линии, действительно описывающего провисание проводов, тросов, канатов, цепей и других объектов, и уравнения параболы. Впервые опровергнуть тождественность висящей цепи и параболы удалось независимо друг от друга математикам Иоганну Бернулли, Гюйгенсу и Лейбницу [5].

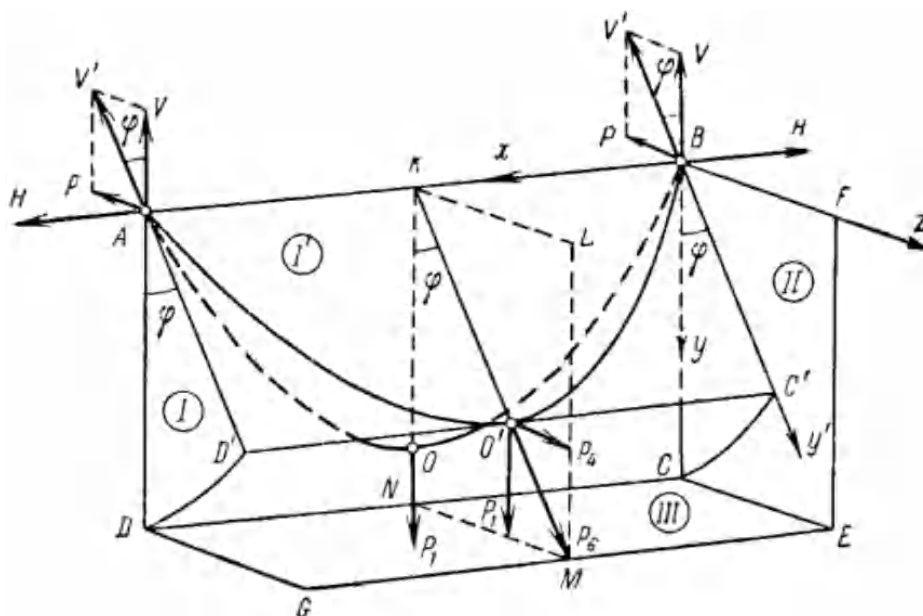


Рис. 8. Отклонение провода под действием ветра при одинаковой высоте точек подвеса

На рис. 9, а показано наглядное сравнение формы цепной линии и параболы и при описании провисания провода ВЛ в соответствии с заданными выше исходными данными. Из

сравнения ординат ветвей параболы и цепной линии (рис. 9, б) можно убедиться, что приращение ординат почти незаметно в пологой части ветви цепной линии, при увеличении же

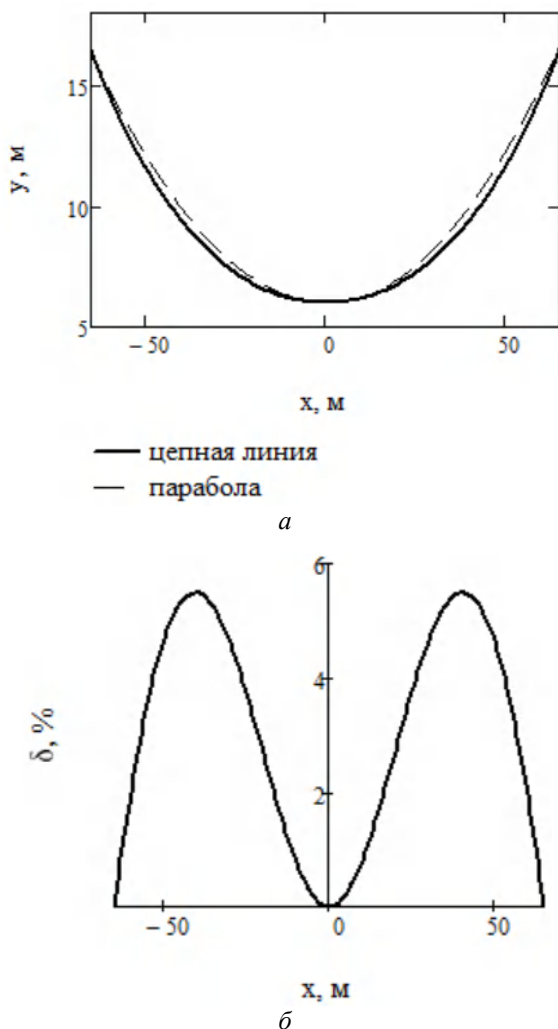


Рис. 9. Сравнение кривых провисания по уравнениям цепной линии и параболы:

a – цепная линия и парабола; b – изменение погрешности провисания при замене цепной линии параболой вдоль пролета ВЛ

абсцисс крутизна ветвей хотя и возрастает, но не превышает 5,49 %. Последнее свидетельствует о допустимости замены уравнения цепной линии параболическим в обычных условиях трассы, однако, как отмечается в [2], при очень

больших пролетах (например, на переходах через широкие реки), а также при крутых подъемах трассы ВЛ построение и анализ кривых провисания провода следует вести по уравнению цепной линии.

Резюмируя все сказанное, можно прийти к выводу о том, что предлагаемый робот представляет собой исключительно функциональное устройство: в гололедный период при невозможности перемещаться по оледенелому проводу робот может находиться в статичном состоянии и использоваться подобно измерительной сфере для мониторинга нарастания или сброса гололедных отложений, а также контроля нагрева провода при плавке гололеда; при отсутствии отложений робот может перемещаться по проводу для диагностирования остаточных деформаций, определения температуры провода и предела пропускной способности линии по габаритам до земли или инженерных сооружений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мониторинг воздушных линий электропередачи, эксплуатируемых в экстремальных метеоусловиях [Текст] / В. Я. Башкевич [и др.]. – Саратов: СГТУ, 2013. – 244 с.
2. Бошнякович, А. Д. Механический расчет проводов и тросов линий электропередачи [Текст] / А. Д. Бошнякович. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1962. – 254 с.
3. Дубровин, И. Износ электросетевой инфраструктуры в России. Масштабы и перспективы [Электронный ресурс] / И. Дубровин // Информационное агентство REGNUM. – Режим доступа: <https://regnum.ru/news/2348996.html>. – (Дата обращения: 15.02.2023).
4. Диагностика, реконструкция и эксплуатация воздушных линий электропередачи в гололедных районах [Текст] / И. И. Левченко [и др.]. – М.: МЭИ, 2007. – 448 с.
5. Меркин, Д. Р. Введение в механику гибкой нити [Текст] / Д.Р. Меркин. – М.: Наука, 1980. – 240 с.
6. Шилин, А. Н. Повышение надежности функционирования воздушных линий электропередачи в гололедный период [Текст]: монография / А. Н. Шилин, С. С. Дементьев. – Волгоград: ВолгГТУ; Старый Оскол: ТНТ, 2022. – 180 с.

УДК 608.2

Д. Н. Авдеюк

УСТРОЙСТВА АДАПТАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО СИГНАЛА РЕФЛЕКТОМЕТРА

ФГБОУ ВО Волгоградский государственный технический университет

e-mail: avdprod@yandex.ru

В целях сокращения сроков проведения восстановительных работ на воздушных линиях передач используется рефлектометр для определения места повреждения. Стабилизация амплитуды в таких устройствах осуществляется за счет автоматической регулировки коэффициента усиления усилителя, однако, из-за особенности явления прохождения сигнала через линию, сигнал имеет свойство затухать по экспоненциальному закону распределения. Для повышения точности работы рефлектометра возникает необходимость выделения полезного сигнала на фоне помех. В работе рассматривается процесс приведения сигнала рефлектометра к одному виду используя блок стабилизации.

Ключевые слова: рефлектометр, стабилизация, восстановительные работы.

D. N. Avdeyuk

DEVICES FOR ADAPTING THE PARAMETERS OF THE MEASURING SIGNAL OF THE REFLECTOMETER

Volgograd State Technical University

In order to reduce the duration of restoration work on overhead transmission lines, a reflectometer is used to determine the location of damage. The amplitude stabilization in such devices is carried out by automatically adjusting the gain of the amplifier, however, due to the peculiarity of the phenomenon of signal passing through the line, the signal tends to fade according to the exponential distribution law. To improve the accuracy of the reflectometer, it becomes necessary to isolate a useful signal against the background of interference. The paper considers the process of bringing the reflectometer signal to one form using a stabilization unit.

Keywords: Reflectometer, stabilization, restoration work.

В основе работы рефлектометра лежит локационный метод, который основан на измерении времени между моментом посылки в линию зондирующего электрического импульса и моментом прихода к началу линии импульса, отраженного от места повреждения.

Посылая в линию зондирующий импульс, измеряют интервал времени $t_{\text{д}}$ двойного пробега этого импульса до места повреждения и обратно (после отражения). Искомое расстояние до места повреждения l определяется:

$$L = (t_{\text{д}}/2) \cdot v$$

где v – скорость распространения импульсов линии.

В зависимости от дальности прохождения сигнала меняется его амплитуда, отсюда возникает проблема выделения начала и окончания прямоугольного сигнала из реального. Так как триггер Шмитта срабатывает по строго заданному порогу, то при прохождении сигнала с малой амплитудой этот сигнал будет теряться.

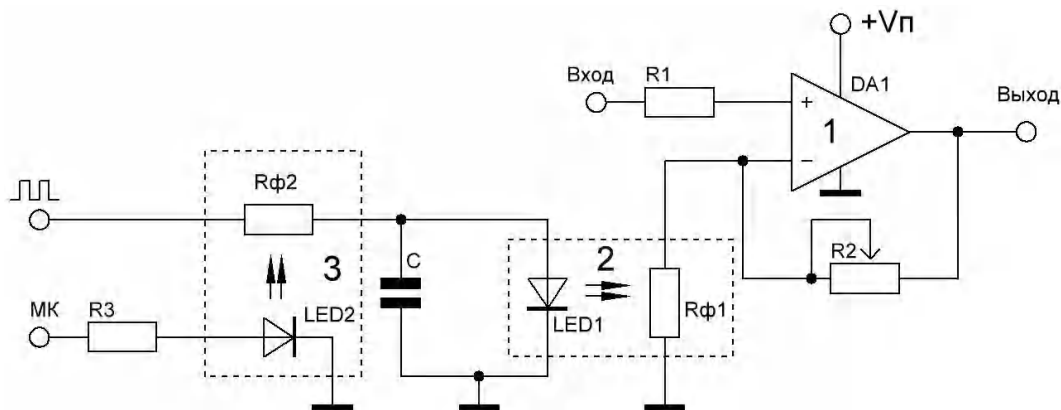


Рис. 1. Принципиальная схема блока стабилизации

В связи с чем предлагается реализовать двухступенчатую стабилизацию сигнала, где первым шагом будет умножение затухающего сигнала на коэффициент, изменяющийся по закону обратному затуханию, и вторым шагом предлагается усилить имеющийся сигнал до уровня срабатывания триггера.

Для реализации первой ступени разработан блок стабилизации сигнала, который приставлен на рис. 1. Включает в себя интегрирующую RC цепь, в котором резистор R входит в состав оптрона. Изменение характера формы выходного сигнала зависит от амплитуды сигнала на входе блока стабилизации.

Блок стабилизации выполнен на базе операционного усилителя 1 с не инвертирующим входом. На вход цепи из фотосопротивления $R_{Ф2}$ и конденсатора C второго оптрона 2 с генератора прямоугольных импульсов поступает прямоугольный импульс и в цепи возникает переходный процесс $U(1 - e^{-t/\tau})$ с постоянной времени $\tau = R_{Ф2}C$, значение которой задается фотосопротивлением $R_{Ф2}$ через второй оптрон LED2. Сигнал с формирователя экспоненциальной функции поступает на вход первого оптрона через светодиод LED1, который изменяет фотосопротивление $R_{Ф1}$ по экспоненциальному закону $R_{Ф1}e^{-t/\tau}$, а коэффициент усиления усилителя 1 по закону $Re^{-t/\tau}$, а коэффициент усиления усилителя DA1 по закону $Ke^{t/\tau}$. Для полной компенсации затухания отраженного импульса в линии $Ue^{-\alpha t}$ необходимо, чтобы постоянная времени была равна величине, обратной коэффициенту затухания линии $\tau = 1/\alpha$.

Благодаря вышеописанному блоку стабилизации сигнала, удастся поддерживать однородность исследуемого сигнала, формируя на выходе сигнал с постоянной амплитудой (рис. 2, в), а именно, предлагается заменить аддитивную операцию на мультипликативную, т. е. выполнять не сложение, а умножение коэффициента усиления усилителя (рис. 2, б) на экспоненциальную функцию (рис. 2, а). Таким образом, в рефлектометре будет корректироваться коэффициент усиления сигнала по экспоненциальному закону в зависимости от времени возвращения отраженного сигнала и не повышается отношение сигнал/шум.

Для второго шага реализации стабилизации, возникает необходимость в стабилизации амплитуды возвращенного сигнала, т. е. нужно использовать автоматическую регулировку усиления (АРУ). Таким образом, АРУ должна

обеспечить относительное постоянство напряжения сигнала на выходе.

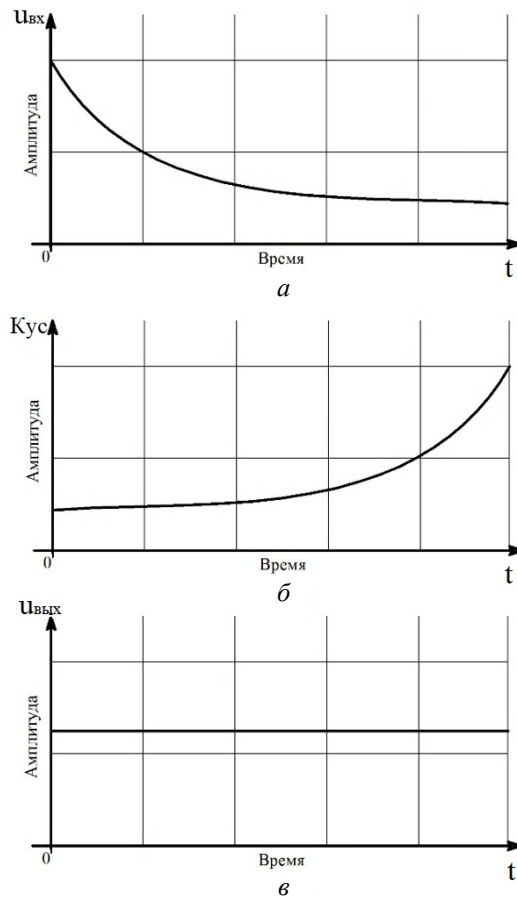


Рис. 2. Временные диаграммы: а – затухающая форма сигнала; б – изменение коэффициента усиления усилителя; в – результат умножения

АРУ (рис. 3) содержит в себе усилитель информационного сигнала 1, усилитель контура обратной связи по аддитивной компенсации дрейфа нуля 2, является блоком вычитания из информационного сигнала в нулевую составляющую, усилитель контура обратной связи автоматической регулировки усиления, выполняющий функцию элемента сравнения и усилителя 3, RC цепь пикового детектора, который преобразует максимальное значение сигнала относительно напряжения питания 4, т. е. постоянную составляющую нулевого сигнала относительно общей шины, которая с помощью установленной обратной связи должна поддерживаться на постоянном малом значении, RC цепь пикового детектора, который преобразует максимальное значение сигнала относительно общей шины в постоянную составляющую, которая при помощи АРУ должна поддерживаться постоянно 5, оптрон, который предназначен

для гальванической развязки управляющего сигнала и резистора в цепи обратной связи усилителя, т. е. выполняет функцию управления

коэффициента усиления усилителя 6, потенциометр, который выполняет функцию задатчика амплитуды импульсного сигнала ($R_{здч}$).

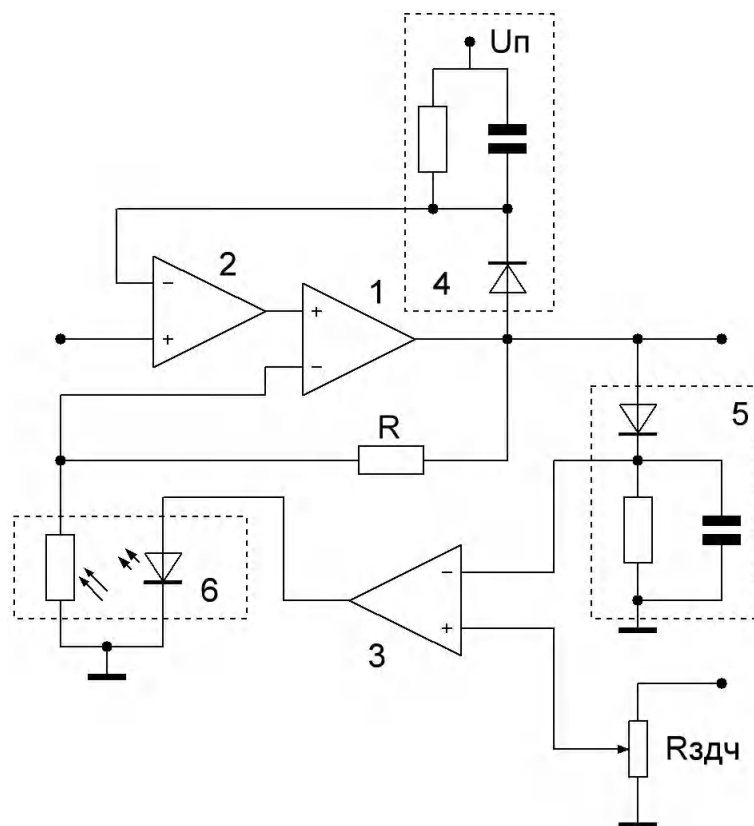


Рис. 3. Блок автоматической регулировки усиления

В процессе работы пикового детектора аддитивной обратной связи исключает из информационного сигнала нулевую составляющую сигнала и тем самым обеспечивает надежную работу устройства, т. е. исключено повышение нулевого состояния выше порога срабатывания.

Блок АРУ поддерживает за счет обратной связи амплитуду сигнала, которая задана $R_{здч}$, исключает влияние амплитуды импульса на погрешность преобразования в прямоугольный импульс за счет крутизны реального сигнала.

При изменении амплитуды сигнала, поступающего с усилителя U_1 (рис. 4) изменяется соответственно и разность напряжения между амплитудой импульса и падением на нелинейном элементе, которая в свою очередь преобразуется RC цепью пикового детектора 5 в постоянное напряжение U_1 . Изменение напряжения на выходе пикового детектора управляется при помощи оптрона 6 коэффициентом усиления информационного сигнала 1 за счет шунтирования резистора в оптроне 6, таким образом, чтобы величина амплитуды импульса на выхо-

де усилителя информационного сигнала 1 оставалась постоянной.

Сигнал с усилителя 1 поступает на пиковый детектор 4, который «устраняет провалы» импульса относительно положительного напряжения питания, т. е. преобразует импульсы в постоянное напряжение U_2 относительно $u_{вх}$ и напряжения $u_{вх} - U_2$ относительно нулевой точки.

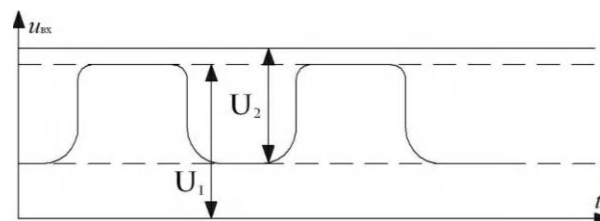


Рис. 4. График стабилизации

Однако, если поступающий сигнал на вход АРУ будет значительно выше порогового значения срабатывания триггера Шмитта (рис. 5), то не удастся привести значения к одному виду, из чего следует необходимость не только усилить сигнал, но и стабилизировать его.

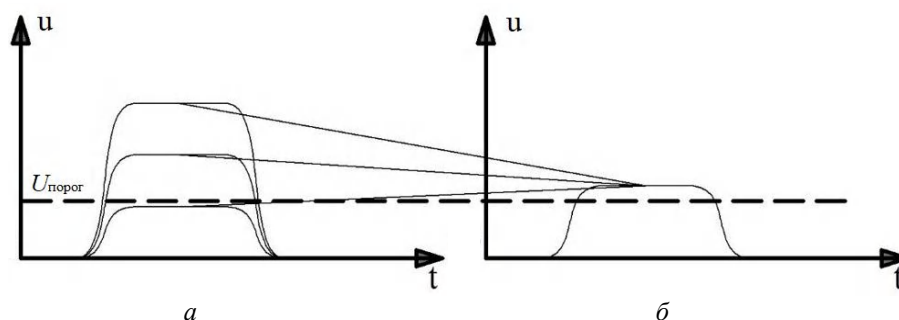


Рис. 5. Задача приведения сигнала к одному виду:
 а – разнородность сигналов; б – приведение сигнала к одной амплитуде

Благодаря вышеописанным блокам удастся реализовать двухступенчатую стабилизацию отраженного сигнала рефлектометра и повысить точность работы устройства в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Авдеюк, Д. Н. Способ повышения точности обработки сигнала рефлектометра / Д. Н. Авдеюк // Молодой ученый. – 2020. – № 50 (340). – Ч. I. – С. 54–57.
2. Авдеюк, Д. Н. Анализ интеллектуальных измерительных преобразователей информации / Д. Н. Авдеюк // Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. – 2022. – № 4 (41). – С. 16–22.
3. Авдеюк, Д. Н. Сокращение сроков восстановления электроснабжения потребителей путем повышения точности работы рефлектометра / Д. Н. Авдеюк // XXVI Региональная конференция молодых ученых и исследователей Волгоградской области (г. Волгоград, 16–28 ноября 2021 г.): сб. материалов конф. / редкол.: С. В. Кузьмин (отв. ред.) [и др.]; ВолГТУ. – Волгоград, 2022. – С. 194–196.
4. Шилин, А. Н. Intelligent Device for Measuring Distance to Point of Damage to Power Lines [Электронный ресурс] / А. Н. Шилин, Над. С. Кузнецова, Д. Н. Авдеюк // 2019 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM) (Sochi, Russia, 25–29 March, 2019) / South Ural State University (national research university), IEEE Industry Applications Society, IEEE Power Electronics Society [et al.]. – [Publisher: IEEE], 2019. – P. 1–5. – DOI: 10.1109/ICIEAM.2019.8743077.
5. Шилин, А. Н. Расчет погрешностей рефлектометров для мониторинга линий электропередачи / А. Н. Шилин, А. А. Шилин, Н. С. Артющенко // Контроль. Диагностика. – 2015. – № 9. – С. 52–59.
6. Шилин, А. Н. Устройства обратной связи в измерительных приборах: учебное пособие / А. Н. Шилин, О. А. Крутякова, С. Б. Сластинин; ВолГТУ. – Волгоград, 2011. – 127 с.

УДК 621.316.722.1 : 621.3.089.62

А. И. Нефедьев

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ДВУПОЛЯРНОГО СТАБИЛИЗАТОРА ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: nefediev@rambler.ru

При работе с электронными устройствами бывает необходимо поддерживать положительное и отрицательное выходные напряжения двуполярного стабилизатора симметричными как при нормальной работе, так и в режиме ограничения тока. Для решения этой задачи был разработан метод построения двуполярного стабилизатора постоянного напряжения компенсационного типа, выходные напряжения положительного и отрицательного плеч которого имеют равные значения в любом режиме работы. Новизна подхода к построению стабилизатора заключается в воздействии узлов защиты по току в положительном и отрицательном плечах стабилизатора на схему сравнения положительного плеча, что вызывает уменьшение его напряжения при перегрузке в любом плече стабилизатора, а напряжение в отрицательном плече «копирует» напряжение положительного плеча стабилизатора.

Ключевые слова: стабилизатор напряжения, датчик тока, регулирующий элемент, схема сравнения, усилитель, делитель напряжения.

A. I. Nefed'ev

METHOD FOR CONSTRUCTION OF LABORATORY BIPOLAR DC VOLTAGE STABILIZER

Volgograd State Technical University

During the operation with electronic devices, it may be necessary to keep the positive and negative output voltages of a bipolar regulator symmetrical both during normal operation and in current limiting mode. To solve this problem, a method was developed for constructing a bipolar compensation type DC voltage stabilizer, the output voltages of the positive and negative shoulders of which have equal values in any operating mode. The novelty of the approach to building a stabilizer lies in the effect of current protection nodes in the positive and negative arms of the stabilizer on the positive arm comparison circuit, which causes a decrease in its voltage during overload in any arm of the stabilizer, and the voltage in the negative arm «copies» the voltage of the positive arm of the stabilizer.

Keywords: voltage stabilizer, current sensor, regulating element, comparison circuit, amplifier, voltage divider.

Лабораторные стабилизаторы постоянного напряжения обычно относятся к линейным источникам электропитания электронных устройств и применяются при наладке и регулировке различных электронных устройств в лабораторных условиях. Линейные стабилизированные источники электропитания компенсационного типа имеют как достоинства, так и недостатки. К их достоинствам можно отнести низкие значения пульсаций выходного напряжения, высокий коэффициент стабилизации напряжения, малое время восстановления после перегрузки. К недостаткам стабилизаторов напряжения линейного типа относится низкий КПД, что особенно сильно проявляется в лабораторных регулируемых стабилизаторах при

низких значениях выходных напряжений.

Лабораторные стабилизаторы с импульсным преобразованием энергии в настоящее время становятся более популярными благодаря существенно более высокому КПД во всем диапазоне входных и выходных напряжений, а также большей удельной мощности. К недостаткам импульсных стабилизаторов напряжения можно отнести значительный уровень пульсаций выходного напряжения, меньшую стабильность выходного напряжения и большее время восстановления по сравнению с линейными стабилизаторами.

В таблице представлены типовые значения основных параметров линейных и импульсных стабилизаторов постоянного напряжения.

Основные параметры стабилизаторов постоянного напряжения

Параметр	Линейные стабилизаторы	Импульсные стабилизаторы
Нестабильность по входному напряжению, %	0,2–0,05	0,05–0,1
Нестабильность по току нагрузки, %	0,02–0,1	0,2–1
Диапазон входных напряжений, %	±10	–50– +20
КПД, %	< 60	75–85
Удельная мощность, Вт/дм ³	< 30	80–120
Выходные пульсации, мВ	0,1–2	20–200
Время восстановления, мкс	< 50	< 300

При работе с операционными усилителями бывает необходимо поддерживать положительное и отрицательное выходные напряжения двуполярного стабилизатора симметричными как при нормальной работе, так и в режиме ограничения тока.

Обычно лабораторные двуполярные стабилизаторы напряжения состоят из отдельных стабилизаторов положительной и отрицательной полярности [1–3]. При возникновении режима перегрузки в одном стабилизаторе, на-

пример, стабилизаторе положительной полярности, он обычно переходит в режим ограничения тока, и его выходное напряжение начинает уменьшаться. Выходное напряжение стабилизатора отрицательной полярности при этом остается неизменным.

Для обеспечения симметрии выходных напряжений при перегрузке в любом плече лабораторного стабилизатора была разработана схема построения двуполярного стабилизатора постоянного напряжения, сохраняющего одинаковое

значение выходных напряжений при токовой перегрузке по отрицательной и/или положительной

полярности [4; 5]. Структурная схема двуполярного стабилизатора приведена на рис. 1.

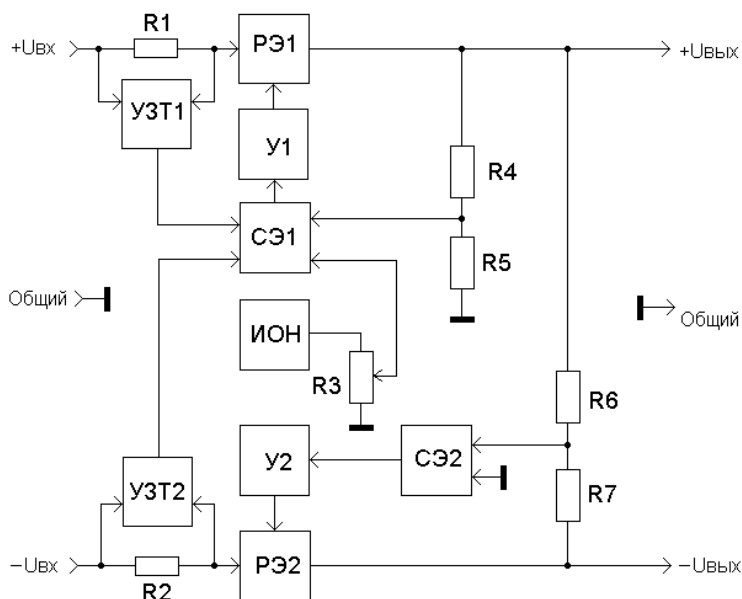


Рис. 1. Структурная схема стабилизатора постоянного напряжения с двуполярным выходом

Плечо положительного напряжения построено по стандартной компенсационной схеме и содержит регулирующий элемент PЭ1, усилитель U1, источник опорного напряжения ИОН, регулировочный резистор R3, делитель выходного напряжения на резисторах R4 и R5, сравнивающий элемент CЭ1, и защиту по току, состоящую из датчика тока R1 и узла защиты по току UЗТ1.

Плечо отрицательного напряжения содержит регулирующий элемент PЭ2, усилитель U2, делитель выходного напряжения на резисторах R6 и R7, сравнивающий элемент CЭ2, и защиту по току, состоящую из датчика тока R2 и узла защиты по току UЗТ2. Делитель напряжения на резисторах R6 и R7 содержит резисторы одинакового сопротивления и включен между выводами положительного и отрицательного выходного напряжения. Точка соединения резисторов R6 и R7 подключена к входу сравнивающего устройства CЭ2, второй вход которого подключен к общему проводу, имеющему нулевой потенциал. При работе стабилизатора напряжения на резисторах R6 и R7 равны:

$$U_{R6} = U_{R7},$$

и, следовательно, выходные напряжения стабилизаторов положительной и отрицательной полярности равны:

$$+U_{\text{вых}} = |-U_{\text{вых}}|.$$

При изменении выходного напряжения положительной или отрицательной полярности потенциал точки соединения резисторов R6 и R7 становится отличным от нуля, и на выходе сравнивающего элемента CЭ2 появляется напряжение, которое усиливается усилителем U2 и воздействует на регулирующий элемент PЭ2 таким образом, чтобы выходное напряжение стабилизатора напряжения отрицательной полярности было равно напряжению стабилизатора положительной полярности. Следовательно, при нормальной работе стабилизатора выходное напряжение отрицательной полярности поддерживается равным по значению напряжению положительной полярности.

При превышении нагрузкой максимального значения тока в плече положительной полярности сигнал с UЗТ1 воздействует на CЭ1 таким образом, чтобы регулирующий элемент PЭ1 начал закрываться. При этом достигается ограничение тока на уровне, установленном UЗТ1, и выходное напряжение стабилизатора положительной полярности уменьшается. При этом выходное напряжение стабилизатора отрицательной полярности также уменьшается.

При превышении нагрузкой максимального значения тока в плече отрицательной полярности сигнал с UЗТ2 воздействует на CЭ1 таким образом, чтобы регулирующий элемент PЭ1 в стабилизаторе положительной полярности на-

чал закрываться, и его выходное напряжение начинает уменьшаться. Выходное напряжение стабилизатора отрицательной полярности также уменьшается, и ток в стабилизаторе отрицательной полярности ограничивается на уровне, установленном узлом защиты по току УЗТ2.

Внешняя характеристика разработанного лабораторного двуполярного стабилизатора с выходным напряжением ± 25 В показана на рис. 2.

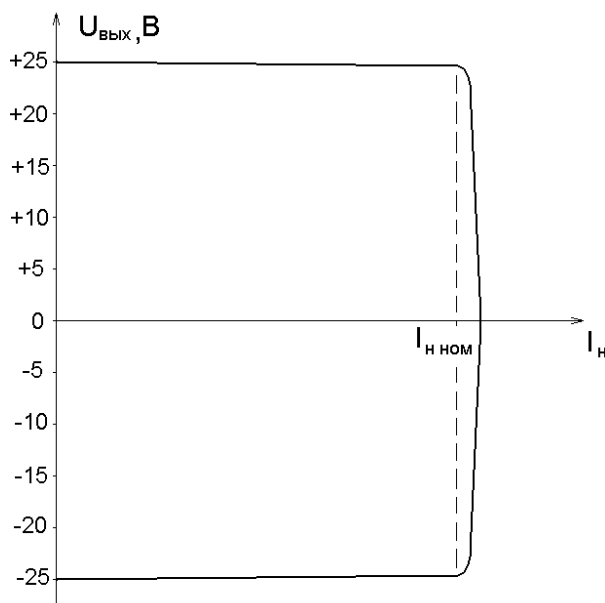


Рис. 2. Внешняя характеристика двуполярного стабилизатора

Таким образом, разработанный метод построения регулируемого стабилизатора постоянного напряжения с двуполярным выходом позволяет обеспечить симметрию выходных напряжений при токовой перегрузке по отрицательной и/или положительной полярности, и может быть использован при разработке лабораторного стабилизированного источника питания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Крылов, В. Построение двуполярных стабилизаторов на ОУ / В помощь радиолюбителю: сборник. Вып. 79 / Сост. В. Г. Борисов. – М.: ДОСААФ, 1982. – С. 26–27.
2. Патент РФ № 2409830 С1, МПК G05F 1/56. Компенсационный стабилизатор напряжения / Бариллов И. В., Старченко Е. И.; № 2009144851/07; заявл. 02.12.2009; опубл. 20.01.2011, Бюл. № 2.
3. Источники питания радиоэлектронной аппаратуры: справочник / Г. С. Найвельт, К. Б. Мазель, Ч. И. Хусаинов и др.; под ред. Г. С. Найвельта. – М.: Радио и связь, 1986. – 576 с.
4. Патент РФ на полезную модель № 105035 U1, МПК G05F 1/00. Регулируемый прецизионный стабилизатор постоянного напряжения с двуполярным выходом / Нефедьев А. И., Рясков А. С., Соколов А. А.; № 2011102394/08; заявл. 21.01.2011; опубл. 27.05.2011, Бюл. № 15.
5. Патент РФ на полезную модель № 119902 U1, МПК G05F 1/00. Регулируемый прецизионный стабилизатор постоянного напряжения с двуполярным выходом / Нефедьев А. И., Сластинин С. Б.; № 2012115595/08; заявл. 18.04.2012; опубл. 27.08.2012, Бюл. № 24.

УДК 621.311

А. В. Стрижиченко, В. В. Ефимов

К ВОПРОСУ АКТУАЛИЗАЦИИ ЗНАЧЕНИЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ ТОКА В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 35–220 кВ

Национальный исследовательский университет
«Московский энергетический институт» (филиал) г. Волжский
e-mail: strizhichenko@yandex.ru

В настоящее время площади сечения проводников воздушных линий в высоковольтных сетях напряжением до 220 кВ выбираются по экономической плотности тока, нормативные значения которых приведены в [1]. В работе проведен расчет актуализации значений экономической плотности тока для сетей 35–220 кВ.

Ключевые слова: экономическая плотность тока; воздушные линии электропередач; электрические сети.

A. V. Strizhichenko, V. V. Efimov

ON THE ISSUE OF ACTUALIZATION OF ECONOMIC CURRENT DENSITY VALUES IN 35–220 kV

National Research University «Moscow Power Engineering Institute» (branch) Volzhsky

Currently, the cross-sectional areas of conductors of overhead lines in high-voltage networks up to 220 kV are selected according to the economic current density, the normative values of which are given in [1]. In this paper, the calculation of asset values of economic current density for networks 35–220 kV.

Keywords: economic current density; overhead power lines; power grids.

Введение

Капитальные затраты – это единовременные экономические средства, необходимые для сооружения новых или реконструкции вновь вводимых объектов.

Стоимость сооружения воздушной линии характеризуется многими факторами, например такими, как номинальное напряжение линии, конструктивное исполнение опор, траверс, номинальное сечение провода, марка провода, наличие грозозащитных устройств, реклоузеров, птице-защитных устройств, систем активного мониторинга вводимого участка сети, район по голо-

леду, ветру, загрязненности атмосферы и т. д.

На начальной стадии проектирования изменяемыми факторами являются номинальное напряжение и сечение проводников линии электропередач, когда остальные факторы являются определенными для каждой конкретной линии. В связи с этим проводится технико-экономическое сравнение вариантов схем. Для приблизительных расчетов разработаны усредненные показатели стоимости, приведенные в табл. 1, выраженные с помощью коэффициентов аппроксимации $A_{\text{л}}$, $B_{\text{л}}$, $C_{\text{л}}$, для линий электропередач напряжением 35–500 кВ. [2]

Таблица 1

Коэффициенты аппроксимации

Климатический район по гололеду	Число цепей	Опора	Коэффициенты		
			$A_{\text{л}}$, тыс. руб / км	$B_{\text{л}} \cdot 10^{-6}$, тыс. руб / (км · кВ ²)	$C_{\text{л}} \cdot 10^{-3}$, тыс. руб / (км · мм ²)
II	1	Стальная	1926	17500	2600
	2		2208	51000	5800
IV	1		2440	17600	3200
	2		3148	64400	4400

Для представления зависимости стоимости от варьируемого параметра, такого как площадь сечения проводников линии электропередач при фиксированном напряжении зависимость стоимости 1 км линии от площади сечения F может быть отображена линейной зависимостью (1), тыс. руб / км:

$$K_{\text{л}} \approx a + b \cdot F, \quad (1)$$

где $K_{\text{л}}$ – стоимость сооружения линии электропередачи, тыс. руб / км.; F – площадь сталеалюминиевого провода, мм²; a , b – коэффициенты аппроксимации, которые по линейному закону можно найти с помощью (2; 3).

$$b = \frac{(K_{\text{нач}} - K_{\text{кон}})}{(F_{\text{нач}} - F_{\text{кон}})} = 2,6 \text{ тыс. руб / км} \cdot \text{мм}^2; \quad (2)$$

$$a = K_{\text{нач}} - b \cdot F_{\text{кон}} = 41288,63 \text{ тыс. руб / км}. \quad (3)$$

Зависимость стоимости возведения линии электропередач при варьируемых параметрах напряжения и площади сечения проводника выразим формулой (4):

$$K = A_{\text{л}} + B_{\text{л}} \cdot U_{\text{ном}}^2 + C_{\text{л}} \cdot F; \text{ тыс. руб / км}. \quad (4)$$

где $U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение электроустановки, кВ;

Приведенные затраты на линию можно выразить формулой (5):

$$\begin{aligned} Z &= E \cdot K + И = E \cdot K + И_{\text{а}} + И_{\text{э}} + И_{\Delta W} = \\ &= E \cdot K + p_{\text{а}} \cdot K + И_{\text{э}} + \Delta W_{\text{н}} \cdot \beta_{\text{н}} = \\ &= (E + p_{\text{а}}) \cdot K + И_{\text{э}} + 3I_{\text{нб}}^2 \cdot r_0 \cdot L \cdot \tau \cdot \beta_{\text{н}}, \end{aligned} \quad (5)$$

где K – капитальные затраты на линию, тыс. руб; $И_{\text{а}}$ – отчисления на амортизацию, тыс. руб; $И_{\text{э}}$ – эксплуатационные расходы на текущий ремонт и обслуживание, тыс. руб; $И_{\Delta W}$ – стоимость потерянной энергии, тыс. руб; E – коэффициент эффективности капитальных затрат; $p_{\text{а}}$ – доля амортизационных отчислений; $\Delta W_{\text{н}}$ – нагрузочные потери электроэнергии, кВт·ч; $\beta_{\text{н}}$ – стоимость потерь 1 кВт·ч потерь энергии, руб; $I_{\text{нб}}$ – ток в нормальном режиме наибольших нагрузок, А; r_0 – удельное активное сопротивление, Ом / км; L – длина линии, км; τ – время наибольших потерь, час.

Время наибольших потерь – это время, при потреблении наибольшей неизменной нагрузки, в течение которого потери энергии будут такими же, что и при переменной нагрузке в соответствии с действительным графиком:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_{\text{нб}}}{10000} \right)^2 \cdot 8760, \quad (6)$$

где $T_{\text{нб}}$ – время наибольшей нагрузки, час.

Время наибольшей нагрузки – это время, в течение которого, работая с неизменной наи-

большей нагрузкой, потребитель получил бы из сети такое же количество электроэнергии W , что и при работе по действительному графику:

$$T_{нб} = \frac{1}{S_{нб}} \cdot \int_0^{8760} S(t) dt = \frac{W}{P_{нб}}, \quad (7)$$

Преобразуя формулу (5), выведем формулу приведенных затрат на строительство линии (8, 9)

$$Z = (E + p_A)(a + b \cdot F)L + I_{\Sigma} + 3I_{нб}^2 \cdot \frac{\rho}{F} \cdot L \cdot \tau \cdot \beta_H = Z_0 + Z_1 \cdot F + \frac{Z_2}{F}; \quad (8)$$

$$\begin{aligned} Z_0 &= (E + p_A) \cdot a \cdot L + I_{\Sigma}; \\ Z_1 &= (E + p_A) b \cdot L; \\ Z_2 &= 3I_{нб}^2 \cdot \rho \cdot L \cdot \tau \cdot \beta_H. \end{aligned} \quad (9)$$

Для нахождения экономической площади сечения проводников возьмем производную $\frac{\partial Z}{\partial F}$ и приравняем к нулю, получим $Z_1 - \frac{Z_2}{F^2} = 0$.

Тогда экономическое сечение выразим формулой (10), а экономическую плотность тока формулой (11).

$$F_{\Sigma} = \sqrt{\frac{Z_2}{Z_1}} = \sqrt{\frac{3 \cdot I_{нб}^2 \cdot \rho \cdot \tau \cdot \beta_H}{(E + p_A) \cdot b}} = I_{нб} \sqrt{\frac{3 \cdot \rho \cdot \tau \cdot \beta_H}{(E + p_A) \cdot b}} = \frac{I_{нб}}{J_{\Sigma}}; \quad (10)$$

$$J_{\Sigma} = \sqrt{\frac{(E + p_A) \cdot b}{3 \cdot \rho \cdot \tau \cdot \beta_H}}. \quad (11)$$

Нормативная плотность тока, рекомендованная [1], приведена в табл. 2. На основе полученной зависимости (11) уточним расчеты плотности тока и покажем в табл. 3.

Таблица 2

Рекомендуемая ПУЭ нормативная плотность тока для неизолированных алюминиевых и сталеалюминевых проводов

$T_{нб}$, час	< 3000	3000 ÷ 5000	> 5000
J_{Σ} , А / мм ²	1,3	1,1	1,0

В работе были проведены расчеты актуализации экономической плотности тока для настоящего времени по формуле (11). Результаты сведены в табл. 3.

Таблица 3

Предлагаемая нормативная плотность тока для неизолированных алюминиевых и сталеалюминевых проводов для линий электропередач 35 кВ

$T_{нб}$, час	< 4000	4000 ÷ 5000	> 5000
J_{Σ} , А / мм ² при 35 кВ	1,5	1,2	1,1
J_{Σ} , А / мм ² при 110 - 220 кВ	1,6	1,3	1,1

Применение актуальных значений экономической плотности тока позволит обоснованно выбирать проводники меньших сечений, чем достигается экономия проводникового материала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Правила устройства электроустановок ПУЭ. – 7-е изд. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2003.

2. Шведов, Г. В. Потери электроэнергии при ее транспорте по электрическим сетям: расчет, анализ, нормирование и снижение: учебное пособие для вузов / Г. В. Шведов, О. В. Сипачева, О. В. Савченко; под ред. Ю. С. Железко. – М.: Издательский дом МЭИ, 2013. – 424 с.

3. Герасименко, А. А. Передача и распределение электрической энергии: учебное пособие / А. А. Герасименко, В. Т. Федин. – Ростов-н/Д.: Феникс; Красноярск: Издательские проекты, 2006. – 720 с. (Серия «Высшее образование»).

УДК 615.841.1

*И. А. Коптелова, А. В. Сомов***АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКОВ ХОЛТЕРА
ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИМИ НАГРУЗКАМИ****Волгоградский государственный технический университет**

e-mail: shilina@yandex.ru

Поскольку одним из популярных и доступных видов спорта сегодня является скандинавская ходьба, актуальной задачей становится мониторинг состояния здоровья человека во время физической активности. Эту проблему предложено решить с помощью интеллектуальной системы управления физическими нагрузками. В основе системы лежит использование холтеровского мониторинга. В статье проведен анализ эксплуатационных характеристик датчиков холтера.

Ключевые слова: холтеровское мониторирование; трехканальный и двенадцатиканальный холтер; интеллектуальная система управления физическими нагрузками.

*I. A. Koptelova, A. V. Somov***ANALYSIS OF THE OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF HOLTER SENSORS FOR
THE DEVELOPMENT OF A PHYSICAL ACTIVITY MANAGEMENT SYSTEM****Volgograd State Technical University**

Since Scandinavian walking is one of the most popular and accessible sports today, monitoring the state of human health during physical activity becomes an urgent task. It is proposed to solve this problem with the help of an intelligent exercise management system. The system is based on the use of Holter monitoring. The article analyzes the operational characteristics of the holter sensors.

Keywords: holter monitoring; three-channel and twelve-channel holter; intelligent exercise management system.

Введение

В настоящее время спорт стал очень популярен как на профессиональном, так и на любительском уровне. Все больше людей стараются уделять время физическим нагрузкам, тренируются для поддержания здоровья и в целях реабилитации после перенесенных заболеваний.

Одним из доступных видов спорта сегодня стала скандинавская ходьба (нордическая, северная). Это самостоятельное спортивное направление для людей любого возраста и уровня активности, которое обладает большим количеством преимуществ (задействует 90 % мышц тела, улучшает осанку, баланс и координацию движений, помогает при заболеваниях суставов нижних конечностей и т. п.) и практически не имеет противопоказаний.

Как и в любом виде спорта, необходимо соблюдать ряд правил. В скандинавской ходьбе обычно допускают следующие ошибки:

- самолечение;
- неверная техника и инвентарь;
- неправильная нагрузка.

На сегодняшний день актуальной задачей является правильный расчет физической нагрузки. Популярными приборами, помогающими

ми в этом, являются пульсометр или smart-часы. Они отслеживают пульс, темп, дистанцию, изменения показателей здоровья. Но не всегда этих показателей бывает достаточно. Например, физические тренировки являются основным методом реабилитации больных с ИБС. Грамотное проведение программы физической реабилитации требует индивидуального подхода. Поэтому людям, находящимся на реабилитации с сердечно-сосудистыми заболеваниями, перенесшим операции на сердце, и для спортсменов, которые тщательно следят за своим здоровьем, необходима подробная информация для управления физическими нагрузками.

**Холтеровское мониторирование
в интеллектуальной системе управления
физическими нагрузками**

В связи с вышеизложенным возникла задача создания интеллектуальной системы управления физическими нагрузками на основе холтеровского мониторинга.

Холтеровское мониторирование ЭКГ (холтер-мониторинг) является на сегодняшний день популярным методом комплексного обследования сердца. По сравнению с обычной ЭКГ оно

позволяет выявить и зафиксировать любое нарушение сердечной деятельности, определить воздействие физических нагрузок на организм, зарегистрировать все возможные варианты аритмий и в результате получить рекомендации врача-кардиолога. На основе исследований можно выявить следующие патологии:

- стенокардия;
- аритмия;
- гипертония;
- ишемическая болезнь сердца (ИБС).

Суть диагностики заключается в непрерывной фиксации ритмов биения сердца в различных жизненных ситуациях в течение длительного времени. За время мониторинга записывается более 100 тысяч сокращений. Во время обычной кардиограммы – только 50–60.

Показания к проведению холтеровского исследования:

- головокружение;
- жалобы на боли в грудной клетке;
- регулярные предобморочные состояния;
- одышка, аритмия и общая слабость;
- перебои в работе сердца;
- подозрение на ишемию миокарда и т. д.

Прибор представляет собой портативный аппарат с картой памяти. К нему с помощью проводов подведены электроды, передающие ритм сердца в виде ЭКГ. Информация считывается устройством и фиксируется на карте памяти.

Мониторинг сердца показывает:

- частоту сердцебиения;
- нарушения ритма сердца;
- изменения интервалов PQ и QT;
- реакцию сегмента ST на физические нагрузки;
- подтверждение аритмии;
- качество проводимости по сердечной мышце и др.

Современная система холтеровского (см. рисунок) мониторингирования включает:

- приемные устройства – датчики, закрепляемые на теле пациента;
- соединительные провода;
- главный кабель;
- прижимающий сигнализатор;
- регистратор;
- анализатор;
- программное обеспечение (ПО) для проведения системного анализа зафиксированных данных;
- аккумулятор или батарейки.



Устройство холтеровского мониторингирования

Анализ трехканального и двенадцатиканального холтеров

При проектировании интеллектуальной системы управления физическими нагрузками на основе холтеровского мониторинга возникает проблема выбора холтера. В зависимости от количества каналов для передачи информации выделяют два вида:

- трехканальный (используется для выявления нарушений ритма и проводимости сердца);
- двенадцатиканальный (используется не только для выявления нарушений ритма и проводимости, а также для диагностики ишемической болезни сердца, стенокардии).

Трехканальные холтеры используются чаще всего. Их функций достаточно для первичного скринингового обследования или наблюдения за состоянием одного и того же пациента. Их преимуществом является также и цена. Трехканальные самые дешевые. Ношение такого регистратора является для пациента наиболее комфортным в связи с минимальным количеством наложенных электродов.

Основным отличием 12-канального холтера от 3-канального является объем исследования. Двенадцатиканальные холтеры стоят дороже трехканальных и обычно применяются в условиях стационара. Они незаменимы, если нужно диагностировать сложные нарушения ритма, скрытую ишемию миокарда, оценить состояние пациента после стентирования и шунтирования. Такие регистраторы дороже трехканальных. Их ношение гораздо менее комфортно для пациента в связи с большим количеством электродов.

Но только с помощью прибора, осуществляющего мониторинг по 12 каналам, можно получить полную картину по сегменту ST; обнаружить ишемию миокарда; диагностировать стабильную стенокардию и «тихую» ишемию;

провести анализ желудочковой реполяризации; выявить хроническую мерцательную аритмию, которая не поддается ресинхронизации; узнать, насколько эффективна антиаритмическая и антиангинальная терапия; оценить влияние лекарств на длительность интервала QT при разной частоте сердечных сокращений.

Такое исследование имеет высокую достоверность и дает возможность отказаться от диагностики под нагрузкой.

Заключения о физической активности в ходе холтеровского мониторирования

Одной из самых важных и сложных задач холтеровского мониторирования в интеллектуальной системе управления является получение заключения о физической активности. Система должна помочь пользователю в определении уровня нагрузки (адекватна, занижена, завышена) с последующей корректировкой.

Использование трехканального холтера не дает достаточной информации, а использование двенадцатиканального – является избыточным. Поэтому предложено учитывать следующую информацию в заключении:

1. Фоновый ритм с указанием минимальной, максимальной и средней частоты сердечных сокращений (ЧСС) и общим временем регистрации;

2. Наличие пауз;

3. Наличие нарушений проводимости;

4. Наличие нарушений сердечного ритма;

5. Оценка динамики сегмента ST и зубца T;

6. Любая дополнительная информация.

При определении интенсивности тренировочной нагрузки по ЧСС существует связь. Чем больше нагрузка, тем больше ЧСС. Чтобы определить интенсивность нагрузки используются относительные показатели ЧСС, а не абсолютные. При этом учитываются следующие пульсовые показатели:

1. ЧСС макс. – это максимальная частота сердечных сокращений, которая не должна быть превышена в ходе занятия.

$\text{ЧСС макс.} = 220 - \text{возраст}$

2. ЧСС тренировочная – средняя частота тренировочного пульса. В тренировке она обычно составляет 65–80 % от ЧСС макс.

3. Резерв пульса (РП) – он рассчитывается по формуле:

$\text{РП} = 190 - \text{возраст} - \text{пульс покоя.}$

Изменения ЧСС свидетельствуют о степени интенсивности работы сердца, адекватности или неадекватности нагрузки.

Заключение

Рациональной тактикой выбора холтеровского регистратора является реальная оценка категории пациентов и спортсменов, которая обращается за лечебно-диагностической помощью. Основными критериями выбора могут быть: возраст, состояние здоровья (наличие хронических сердечно-сосудистых заболеваний), физическая подготовленность и т. д.

Именно на заключении холтеровского мониторирования нередко основывается первичный выбор медикаментозных препаратов, а в нашем случае оценка эффективности физических нагрузок в динамике. Поэтому важно, чтобы в заключении четко разделялась главная и второстепенная информация.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Звёздочкина, Н. В. Исследование электрической активности головного мозга / Н. В. Звёздочкина. – Казань: Казан. ун-т, 2014. – 59 с
2. Тавровская, Т. В. Велоэргометрия Санкт-Петербург, 2007. – 127 с.
3. Чибисов, С. М. Телеметрическое мониторирование патологии сердца и хроно-кардиологии: учеб. пособие / С. М. Чибисов, М. Л. Благоданов, В. А. Фролов. – М.: РУДН, 2008. – 156 с.
4. <https://du-lya.ru/articles/holterovskoe-monitorirovanie-raspolozhenie-datchikov.html>
5. <https://www.schiller.ru/profile/articles/halter/143/>
6. <https://medi-art.ru/vsye-o-zdorove/chto-takoe-kholter/>
7. <https://vyborok.com/rejting-luchshih-sistem-holterovskogo-monitorirovaniya/>

УДК 621.311.212

*Л. А. Коновалова, М. А. Богале***ОБЗОР УСТРОЙСТВ ИСПАРЕНИЯ С ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ****Волгоградский государственный технический университет**

e-mail: mila27121989@mail.ru

Испарение является одной из основных переменных гидрологического баланса водных объектов: рек, озер, водохранилищ, речных бассейнов и других водных объектов. В статье проведен обзор существующих устройств измерения испарения с водной поверхности, указаны их преимущества и недостатки.

Ключевые слова: испарение, устройство, поддон, водная поверхность, водный баланс.

*L. A. Konovalova, M. A. Bogale***OVERVIEW OF DEVICES FOR EVAPORATION FROM THE WATER SURFACE****Volgograd State Technical University**

Evaporation is one of the main variables in the hydrological balance of water bodies: rivers, lakes, reservoirs, river basins and other water bodies. The article provides a review of existing devices for measuring evaporation from the water surface, their advantages and disadvantages are indicated.

Keywords: evaporation, device, tray, water surface, water balance.

Введение

В настоящее время существуют проблемы как в России, так и за рубежом, связанные с происходящими изменениями наиболее важных характеристик климатической системы: меняется термический режим, режим осадков, перестраивается циркуляция атмосферы, изменяются радиационные потоки. В результате происходящих климатических изменений меняются и основные гидрометеорологические факторы, определяющие процесс испарения как с суши, так и с водной поверхности. Прежде всего это температура воздуха, атмосферные осадки, режим увлажнения территории и скорость ветра [1]. Многообразие естественных условий и изменения метеорологических условий структурируют специфику режима увлажнения во всевозможных регионах. Испарение – важный элемент режима увлажнения, который определяет расходную часть водного баланса. Невзирая на его важность, испарение, вплоть до настоящего времени, является наименее изученным элементом водного баланса. Во многом это объясняется отсутствием сведений экспериментальных наблюдений в разнообразных природных условиях.

Многие научные задачи и практические вопросы, связанные с гидроэнергетикой, водным хозяйством и сельскохозяйственным производством, также как и различные водобалансовые исследования, нуждаются в анализе величины испарения. Натурные наблюдения за испарением используются при оценке достоверности

различных климатических моделей. Для решения вышеуказанных задач крайне необходимо владеть данными годового испарения и его сезонного хода. Для определения испарения необходимо располагать методикой расчета. Также необходимо иметь приборы, позволяющие измерять испарение и исследовать факторы, характеризующие процесс испарения в естественных условиях [2]. Точная оценка испарения имеет большое значение не только для изучения изменения климата и оценки водных ресурсов, но также имеет значительную прикладную ценность для управления потребностями сельскохозяйственных культур в воде, прогнозирования и мониторинга засухи, эффективного использования водных ресурсов и т. д.

В соответствии с вышеизложенным рассмотрим приборы, позволяющие измерить испарение с водной поверхности.

Испаритель ГГИ-3000

В центре бака этого испарителя (рис. 1), изготовляемого из оцинкованного листового железа, имеется реперная трубка, на которую при наблюдении надевается объемная бюретка. Укрепленная на реперной трубке коленчатая игла служит указателем высоты, на которой поддерживается уровень воды в испарителе. Испаритель устанавливается в грунт таким образом, чтобы верхние края бака возвышались на 7,5 см над поверхностью окружающей почвы. Кроме этого, производится измерение атмосферных осадков, уловленных дождемером,

посредством мерного стакана. Как правило, испаритель ГГИ-3000 устанавливают совместно с испарительным бассейном площадью 20 м^2 [3]. Показания этого прибора находятся в сравнительно устойчивой связи с показаниями испарительного бассейна [2]. Параллельно с измерениями уровня воды в испарителе и количества осадков в дождемере, производятся наблюдения за рядом гидрометеорологических элементов (температура воды в поверхностном слое испарителя, температура и влажность воздуха, скорость ветра и другие). Недостатками прибора являются: неучет обратной стратификации температуры воды в при поверхностном слое воды в испарителе (эффект «холодной пленки»), инерционность прибора, отсутствие волнения в испарителе при наличии его на водоеме, что приводит к занижению массоотдачи на 20–30 % [4].

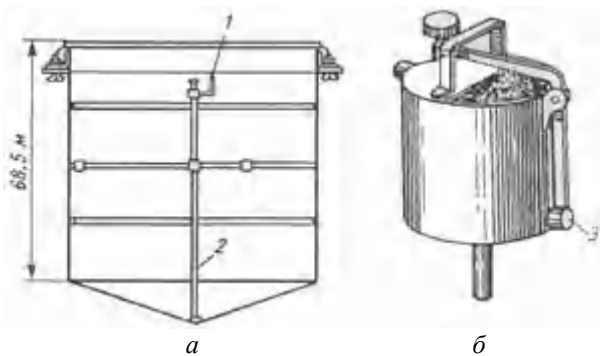


Рис. 1. Испаритель ГГИ-3000

Устройство для измерения испарения с водной поверхности

Устройство (рис. 2) включает в себя бак-испаритель, автоматическую систему поддержания уровня воды в баке, измерители долитой и вылитой воды и блок регистрации информации о долитой и вылитой воде. Снабжено дождевой воронкой и клапаном, установленным между дождевой воронкой и измерителем долитой воды, водовыпускным ограничителем, делителем, формирователем, задатчиком начала измерения, а также двухстабильным элементом с входами установки и сброса. Причем вход установки связан с задатчиком начала измерения и входом сброса делителя. Вход сброса двухстабильного элемента соединен с выходом измерителя вылитой воды через делитель, выход связан с автоматической системой поддержания уровня воды в баке, а информационный выход последней через инвертор связан с клапаном дождевой воронки и управляющим

входом формирователя. Информационный вход которого связан с соответствующим выходом измерителя долитой воды, а выход формирователя подключен к входу прямого счета блока регистрации информации о долитой и вылитой воде, вход обратного счета которого соединен с выходом измерителя. Недостатком данного устройства является наличие слишком сложной схемы, снабженной расходомерами, которые в свою очередь имеют большую погрешность, нежели уровнемеры [5].

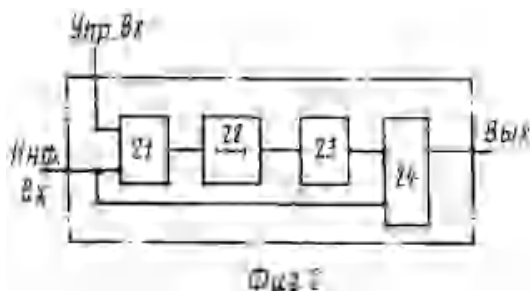


Рис. 2. Устройство для измерения испарения с водной поверхности

Регулируемый плавающий поддон для выпаривания открытой воды

Устройство (рис. 3) включает улучшенный узел поддона для выпаривания. По меньшей мере, три поплавковых узла прикрепляются с шагом 120 градусов к наружным стенкам поддона для испарения, что позволяет поддону плавать в водоеме, в котором необходимо количественно определить испарение. Плаванность, обеспечиваемая тремя поплавковыми узлами, рассчитана таким образом, что плавающий поддон для испарения никогда не утонет (за исключением каких-либо отверстий или утечек в поплавках). Эта дополнительная плаванность, обеспечиваемая поплавками, приводит к тому, что уровень воды в поддоне выше, чем оцениваемый объем окружающей воды. Поплавки сконструированы таким образом, что вес (вода или песок) может быть добавлен внутрь поплавков, чтобы уровень воды внутри поддона можно было установить равным поверхности оцениваемого водоема. Поскольку поддон для испарения фактически находится внутри оцениваемого водоема, а уровни воды внутри и снаружи поддона одинаковы, вода в поддоне подвергается воздействию тех же условий окружающей среды, что и оцениваемый водоем. Следовательно, скорость испарения внутри поддона должна быть по существу равна скорости испарения на поверхности водоема.

В комплект входит узел крепления, который закрепляет поддон для испарения, но позволяет перемещать поддон по уровню из-за таких условий, как ветер, течения и т. д. В слой отложений вбивается жесткая стойка. Кольцевая направляющая на одном из поплавков скользит по стойке, так что плавающий поддон для испарения может свободно плавать вокруг стойки в зависимости от ветра и течения. Такая конструкция крепления позволяет поддону сохранять ровное положение на поверхности водоема и позволяет поддону подниматься и опускаться вместе с большим объемом воды из-за выпадения осадков и/или сбросов. В слой осадка вбивается жесткая стойка. Кольцевая направляющая на одном из поплавков надевается на стойку, так что плавающий поддон для испарения может свободно плавать вокруг стойки в зави-

симости от ветра и течения. Такая конструкция крепления позволяет поддону сохранять ровное положение на поверхности водоема и позволяет поддону подниматься и опускаться вместе с большим объемом воды из-за выпадения осадков и/или сбросов. Недостатком плавающего испарительного поддона является следующее, он хорошо работает лишь в средах с незначительным волновым воздействием, таких как водноболотные угодья, небольшие пруды и/или лагуны. Воздействие волн может оказывать неблагоприятное влияние на высоту жидкости внутри поддона, вызывая ее изменение. Это может быть вызвано волнами, создаваемыми ветром и человеком, которые могут перехлестывать через борт поддона. Наличие таких негативных факторов снижает надежность измерительной системы [6].

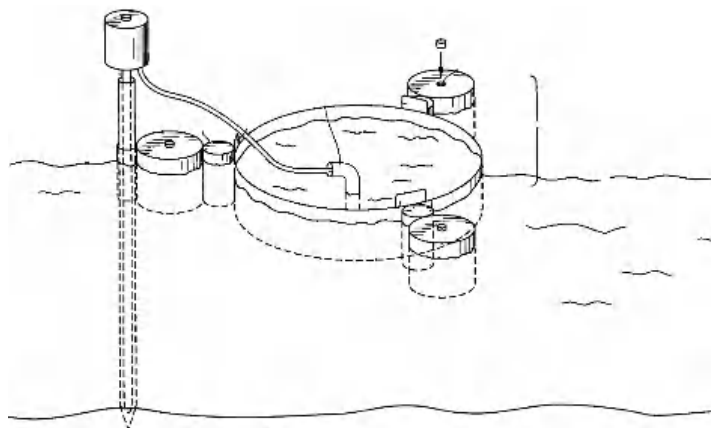


Рис. 3. Регулируемый плавающий поддон для выпаривания открытой воды

Плавающий испарительный поддон для выпаривания с регулируемым надводным бортом и ограждением от волн

Целью настоящего изобретения (рис. 4) является создание усовершенствованного узла испарительного поддона, который позволяет производить более точные и надежные измерения скорости испарения в больших водоемах, чем существующие наземные или плавающие испарительные поддоны с включением технологий и способов, которые значительно уменьшают помехи при измерениях испарения из-за воздействия волн.

В устройстве между поплавками плавучести на равном расстоянии находится «волнорез», который отклоняет энергию волн от плавучего испарительного поддона. Волнозащитные и плавучие поплавки окружают испарительный поддон на равных расстояниях и обеспечивают зо-

ну спокойной жидкости, прилегающую к испарительному поддону. За счет учета этой зоны спокойной жидкости между волнозащитным ограждением и поддоном увеличивается общая ширина устройства, уменьшается «качательное» движение изобретения. Уменьшение качания устройства дополнительно предотвращает добавление или удаление жидкости из испарительного поддона. Система перегородок внутри испарительного поддона гасит плеск, возникающий при раскачивании устройства. Поддон для выпаривания окружен структурной скобой, которая служит в качестве внешней защиты от брызг. Также присутствует система крепления для предотвращения вращения и перемещения устройства в большом объеме жидкости. Эта система крепления предотвращает боковое перемещение устройства, обеспечивая при этом вертикальное перемещение для приспособле-

ния к изменению высоты жидкости большего объема жидкости. Уровень жидкости в испарительном поддоне поддерживается немного ниже, чем уровень окружающей жидкости, с помощью насоса, который управляется направляющим поплавком внутри испарительного поддона. Открытые солнцу стороны испарительного поддона предпочтительно поглощают энергию солнца, нагревая стенки. Эта увеличенная энергия рассеивается в окружающей жидком теле, прежде чем она рассеивается в жидкости внутри испарительного поддона из-за немного более высокого уровня жидкости, окружающей испарительный поддон. Управление надводным бортом волнозащитного ограждения осуществляется с помощью регулируемых поплавков плавучести путем добавления веса (жидкости, песка, гравия и т. д.) к поплавкам плавучести. Как только для устройства установлен надлежащий надводный борт, оставшееся углубление в поплавках плавучести заполняется пенополистиролом. Добавление вспененного полистирола предотвращает погружение изобретения, даже если поплавки плавучести проколоты. Эти методы и способы значительно повышают надежность измерений скорости испарения, обеспечивая точное измерение скорости испарения в объеме оцениваемой жидкости.

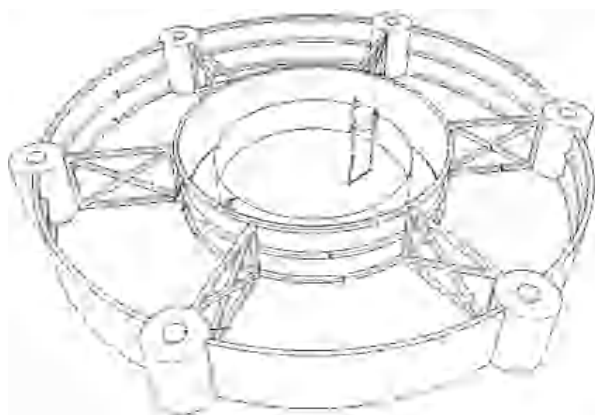


Рис. 4. Плавающий испарительный поддон для выпаривания с регулируемым надводным бортом и ограждением от волн

Также изобретение имеет различные вариации, например можно заменить общие или отдельные компоненты и/или рабочие параметры изобретения в пределах двадцати процентов (20 %) от числового значения [7]. Это устройство устраняет или уменьшает волновые действия, однако при использовании все еще существует проблема с точностью измерений. Испарение очень чувствительно, небольшое возмущение в поддоне влияет на результат измере-

ния скорости испарения, что означает ложные данные, связанные с незначительным ветром, птицами и т. д.

Датчик для измерительной системы, плавающего испарительного поддона

Данное устройство включает в себя испарительный поддон (рис. 5) с четырьмя датчиками уровня воды (электромагнитный датчик перемещения), прикрепленными к стенке испарительного поддона круглой формы. Датчики расположены с зазором 90 градусов друг от друга. Электромагнитный датчик перемещения снабжен улавливающей трубкой, имеющей нижнее отверстие, выполненное с возможностью приема в него жидкости (воды) из поддона. Подвижная катушка, соединенная с вертикальным стержнем, и соответствующий поплавок плавучести, линейно перемещаемый им, используются для определения уровня воды внутри улавливающей трубки. В частности, по мере изменения уровня воды в улавливающей трубке изменяется и вертикальное положение поплавка, подвижная катушка которого взаимодействует электромагнитно (по индукции) с неподвижной катушкой. Соответственно, величина индуцированного напряжения подвижной катушки определяет уровень воды внутри улавливающей трубки, и должны быть выполнены относительно скорости испарения. Устройство включает в себя этапы в зависимости от способа измерения.

1. Способ измерения испарения воды в испарительном поддоне, который находится в водной связи с электромагнитным датчиком перемещения, включающим удлиненный цилиндр или трубку, охватывающую неподвижную плоскую катушку и подвижную плоскую катушку, которая соединена с поплавком плавучести стержнем. Стержень проходит вертикально в цилиндре или трубе. Плавающий поплавок линейно перемещается из первого положения вдоль трубки по мере снижения уровня воды в поддоне. Этот способ включает следующие этапы:

- а) выпаривание некоторого количества воды из испарительного поддона;
- б) уменьшение уровня воды в поддоне на величину, пропорциональную испаренной воде;
- в) вертикальное перемещение поплавка вдоль стержня во второе положение в ответ на снижение уровня воды;
- г) далее определяют второе положение поплавка относительно стержня на основе магнитной индукции между неподвижной плоской катушкой и подвижной катушкой (изменяя рас-

стояние между ними); и также изменяют наведенное напряжение;

д) определение количества воды, испарившейся из упомянутого испарительного поддона, непосредственно на основе второго положения поплавка.

2. Способ см. п.1, в котором этап (д) дополнительно включает определение зависимости между разницей первого и второго положения и количеством воды, уменьшенным в цилиндре и трубке.

3. Способ см. п.2, дополнительно, включающий определение зависимости между количеством воды, уменьшенным в цилиндре, и величиной наведенного напряжения в катушке.

4. Способ см. п.2, дополнительно, включающий определение соотношения между количеством воды, уменьшенным в цилиндре, и количеством воды, выпаренной в испарительном поддоне.

5. Способ см. п.1, в котором испарительный поддон и цилиндр сообщаются с водой через прямой водяной затвор, и в котором этап (а) дополнительно включает перекачку воды из цилиндра в испарительный поддон.

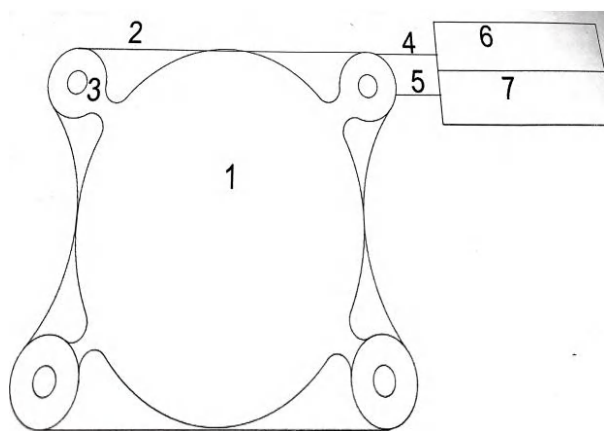


Рис. 5. Плавающий испарительный поддон с датчиком измерительной системы

Выводы

Обобщены и проанализированы данные о работе, существующих устройств испарения [8] с поверхности воды, сделаны следующие выводы. Устройства, имеющие испарительные поддоны не удобны в обслуживании, так как работают на плаву. Любые воздействия извне пагубно влияют на точность измерения, следствием чего являются искаженные данные. Данные могут быть связаны с незначительным ветром или жизнедеятельностью человека, послужившие причиной возникновения волн, а также

птицами или другими животными, приземляющимися на поддон или на плот. Что в свою очередь приводит к раскачиванию поддона, в результате чего уровень воды становится неравновесным или не выровненным, что снова влияет на результаты скорости испарения, поскольку устройство для измерения уровня расположено только в одной точке или положении поддона. Таким образом, измерение уровня воды является разницей между одной точкой в поддоне и другой, поэтому измерение некорректно. Исключение составляет последнее рассмотренное устройство.

На сегодняшний день не существует общепризнанного прибора, рекомендованного на международную водноиспарительную сеть, необходимо автоматизировать процесс измерений [9]. Наряду с этим есть острая необходимость в эталонируемом устройстве, поскольку в такой ситуации возникают большие трудности предоставления сопоставлений показаний этих устройств, следовательно, и сравнение величин. Такие обстоятельства, в свою очередь, являются препятствием при обмене соответствующей научной информацией между странами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Многолетние изменения испарения на Европейской территории России по данным водноиспарительной сети: научно-прикладной справочник. – СПб.: ООО «РИАЛ», 2021. – С. 64.
2. Голубев, В. С. Расчет испарения с водной поверхности с учетом площади водоема: материалы Междуведомственного совещания по проблеме изучения и регулирования испарения с водной поверхности. 30 июля – 3 августа 1963 г.; г. Валдай. Фотоофсетная лаборатория ГГИ. – Валдай ВНИГЛ, 1963. – С. 33–43.
3. Константинов, А. Р. Испарение в природе / А. Р. Константинов. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1968. – 532 с.
4. Албул, И. П. Применение формулы ГГИ для расчета испарения с водной поверхности при различном составе исходной информации / И. П. Албул // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. Геология. География. – 2012. – № 3. – С. 125–136. – EDN PCIXIN.
5. Авторское свидетельство № 1524853 А1 СССР, МПК А01G 25/16. Устройство для измерения испарения с водной поверхности / В. В. Клейзит, В. В. Байку, В. И. Кирпий, А. М. Штейнберг: № 4399958 : заявл. 29.03.1988 : опубл. 30.11.1989
6. Adjustable floating open-water evaporation pan: пат. 7,162,923в US11/122 202 ; заявл. 05.04.05; опубл. 07.01.16, US7162923B1.
7. Floating evaporation pan with adjustable freeboard and surrounding wave-guard: пат. 10082415B1 US15/081,517 ; заявл. 16.03.25; опубл. 18.09.25, US710082415B1.
8. Документ ВМО-0008. Руководство по метеорологическим приборам и методам наблюдений, 2017. – 1400 с.
9. Атагельдиева, Л. Ж. Разработка приборов для измерения испарения с водных поверхностей / Л. Ж. Атагельдиева, А. Х. Дюсенбиева, Б. Е. Омаров // Успехи современного естествознания. – 2015. – № 1. – С. 1328–1329.

УДК 621.314.1

*А. И. Нефедьев¹, А. Г. Трясогузов²***ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ
ДЛЯ КОНДЕНСАТОРНО-ТИРИСТОРНОГО МОДУЛЯ ЗАЖИГАНИЯ**¹Волгоградский государственный технический университет²АО «Максимум», г. Санкт-Петербург

e-mail: nefediev@rambler.ru

В статье приводятся результаты разработки преобразователя напряжения для конденсаторно-тиристорного модуля зажигания, и рассматриваются особенности его работы. Предложена структурная схема преобразователя напряжения для заряда емкостного накопителя конденсаторно-тиристорного модуля зажигания, а также приведены амплитудно-временные диаграммы напряжений и токов, характеризующие его работу. Применение мощного повышающего преобразователя напряжения для конденсаторно-тиристорного модуля зажигания позволяет получить искровой разряд с достаточно большой длительностью и с высокой скоростью нарастания напряжения во вторичной цепи катушки зажигания, что обеспечивает надежный поджог газозвоздушной смеси в цилиндрах двигателя внутреннего сгорания.

Ключевые слова: преобразователь напряжения, конденсаторно-тиристорный модуль зажигания, свеча зажигания, катушка зажигания, газозвоздушная смесь, искровой разряд, ДВС.

*A. I. Nefed'ev¹, A. G. Tryasoguzov²***VOLTAGE CONVERTER FOR CAPACITOR-THYRISTOR IGNITION MODULE**¹Volgograd State Technical University²АО «Maximum», St. Petersburg

The article presents the results of the development of a voltage converter for a capacitor-thyristor ignition module, and discusses the features of its operation. A block diagram of a voltage converter for charging the capacitive storage of a capacitor-thyristor ignition module is proposed, and amplitude-time diagrams of voltages and currents characterizing its operation are also given. The use of a powerful voltage converter for a capacitor-thyristor ignition module makes it possible to obtain a spark discharge with a sufficiently long duration and a high rate of voltage rise in the secondary circuit of the ignition coil, which ensures reliable ignition of the gas-air mixture in the cylinders of an internal combustion engine.

Keywords: voltage converter, capacitor-thyristor ignition module, spark plug, ignition coil, gas-air mixture, spark discharge, internal combustion engine.

С каждым годом количество автомобилей в мире увеличивается. По сведениям аналитической компании Navigant Research в настоящее время во всех странах эксплуатируются 1,2 млрд машин, причем легковые автомобили составляют 95 % от общего числа [1]. С ростом интенсивности дорожного движения возрастает количество вредных выбросов в атмосферу, что отрицательно сказывается на экологической обстановке не только в нашей стране, но и во всем мире.

Сгорание любого органического топлива сопровождается выбросом в окружающую среду опасных химических соединений. Среди всех видов горючего наиболее токсичным видом топлива является бензин. При его сгорании в окружающую среду выбрасывается серосодержащий ангидрид и высокотоксичный свинец.

Снижение токсической нагрузки на окружающую среду может быть достигнуто приме-

нением сжиженного (пропан-бутан) или сжатого (метан) газа в качестве моторного топлива. Использование метана в качестве горючего для транспортных средств позволяет повысить экологический стандарт транспортных средств до «Евро-6». Преимущества метана заключается в том, что он существенно дешевле традиционного горючего и по чистоте выхлопа полностью соответствует мировым экологическим требованиям. Это особенно актуально в связи с постоянно растущими требованиями экологических норм [2; 3].

Для надежного запуска и работы газового двигателя на метане требуется система зажигания с высокой энергией и высокой скоростью нарастания напряжения во вторичной цепи катушки зажигания. Такими характеристиками обладают системы зажигания с емкостными накопителями энергии [4]. Например, основными достоинствами системы зажигания с емкост-

ными накопителями энергии является высокая скорость нарастания напряжения на свече зажигания, что позволяет получить надежный пробой искрового промежутка при любой степени загрязненности свечи зажигания, а также стабилизация напряжения на накопительном конденсаторе, что обеспечивает постоянную

мощность искрового разряда в свече зажигания при изменении напряжения бортовой сети автомобиля, в том числе при пуске двигателя и других дестабилизирующих факторах [5–7].

Структурная схема системы зажигания с емкостным накопителем энергии приведена на рис. 1.

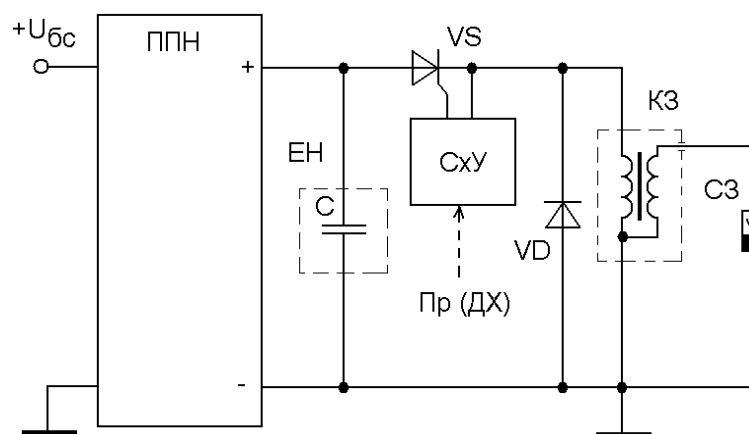


Рис. 1. Типовая схема конденсаторной системы зажигания

Основными элементами конденсаторной системы зажигания являются повышающий преобразователь напряжения (ППН), емкостной накопитель энергии (ЕН), тиристор (VS), диод (VD) и катушка зажигания (КЗ) со свечой зажигания (СЗ).

Наряду с достоинствами такие системы зажигания имеют и существенные недостатки. Основным недостатком является малая длительность искрового разряда (0,15–0,3 мс), которая также зависит от типа катушки зажигания.

Для повышения мощности и длительности искрового разряда необходимо увеличить емкость накопительного конденсатора (C), что влечет за собой необходимость увеличения мощности повышающего преобразователя напряжения, так как накопительный конденсатор необходимо зарядить за время, не превышающее

$$t_{\text{зар}} = (1/f_{\text{max}}) - t_{\text{разр}} = 4,5 \text{ мс},$$

где $f_{\text{max}} = 200 \text{ Гц}$ – максимальная частота искробразования для четырехтактного двигателя внутреннего сгорания при максимальных оборотах коленчатого вала 6000 мин^{-1} ; $t_{\text{разр}}$ – время разряда накопительного конденсатора (принято равным $t_{\text{разр}} = 0,5 \text{ мс}$).

Напряжение на накопительном конденсаторе:

$$U_C = U_{\text{ППН}} \frac{r_{\text{ymVS}}}{r_{\text{внППН}} + r_{\text{ymVS}}} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}),$$

где $U_{\text{ППН}}$ – выходное напряжение повышающего преобразователя напряжения; $r_{\text{внППН}}$ – внутреннее сопротивление повышающего преобразователя напряжения; r_{ymVS} – сопротивление утечки тиристора VS; τ – постоянная времени цепи заряда накопительного конденсатора.

На рис. 2 представлена схема однотактного повышающего преобразователя напряжения повышенной мощности, применяемого для заряда накопительного конденсатора емкостью 4 мкФ до напряжения 350 В.

Однотактный повышающий преобразователь напряжения состоит из задающего генератора, выполненного на специализированной микросхеме DD1 типа 1114EY7, полевого транзистора VT1 типа КП747А, трансформатора T1, цепи ограничения напряжения (диод VD1 и обмотки трансформатора T1), выпрямителя (диод VD2) цепи обратной связи (резисторы R5–R7, диоды VD3–VD6, оптрон VE1). К выходу преобразователя напряжения подключен накопительный конденсатор емкостью 4 мкФ (рис. 1).

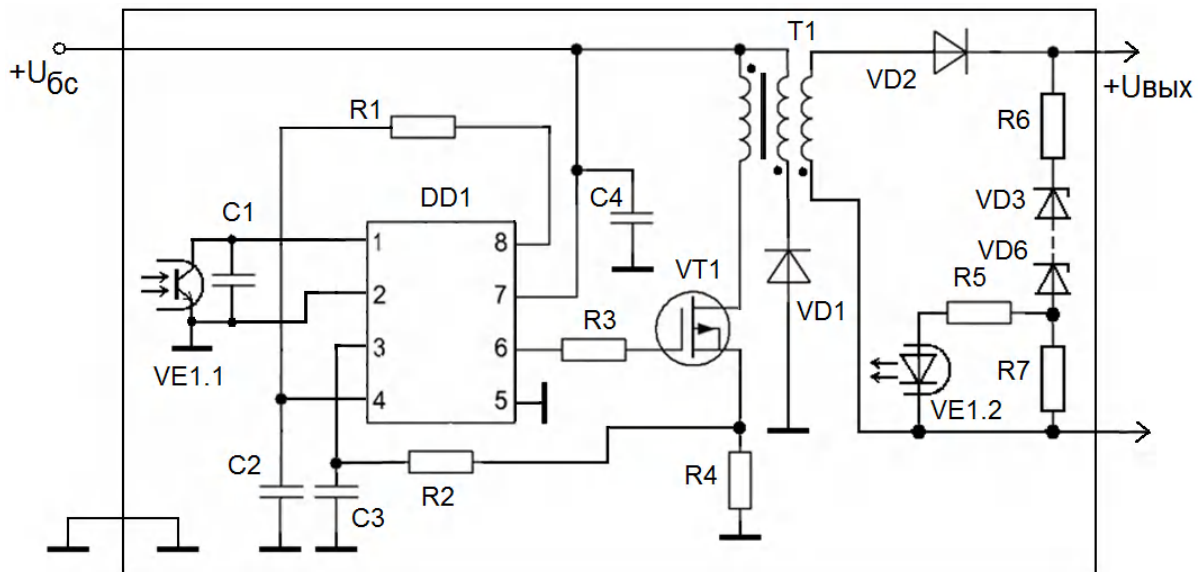


Рис. 2. Однотактный повышающий преобразователь напряжения

Частота работы задающего генератора $DD1$ определяется параметрами элементов $R1$ и $C2$, и составляет 80 кГц. Временные диаграммы работы преобразователя приведены на рис. 3. В момент времени t_0 (рис. 3, а) положительный импульс напряжения открывает транзисторный ключ $VT1$. При протекании тока по первичной обмотке трансформатора $T1$ на его вторичной обмотке появляется напряжение, приложенное к выпрямительному диоду $VD2$ в запирающей полярности. При этом в магнитном поле трансформатора $T1$ происходит накопление энергии. Ток через первичную обмотку трансформатора $T1$ и переход сток-исток полевого транзистора $VT1$ нарастает до момента времени t_1 (рис. 3, б). В момент времени t_1 происходит запирающее действие транзистора $T1$, ток через первичную обмотку трансформатора $T1$ прерывается, и полярность напряжения из-за ЭДС самоиндукции на вторичной обмотке изменяется на противоположную, при этом выпрямительный диод $VD2$ открывается, и через него начинает протекать ток вторичной обмотки, заряжающий накопительный конденсатор C (рис. 3, в).

Когда ток вторичной обмотки уменьшается до нуля (момент времени t_2) закрывается выпрямительный диод $VD2$. В этот момент возникают колебания паразитного контура, образованного индуктивностью первичной обмотки, межвитковой емкостью и выходной емкостью транзистора $VT1$ (рис. 3, з, период времени $t_2 - t_3$). Далее все процессы повторяются.

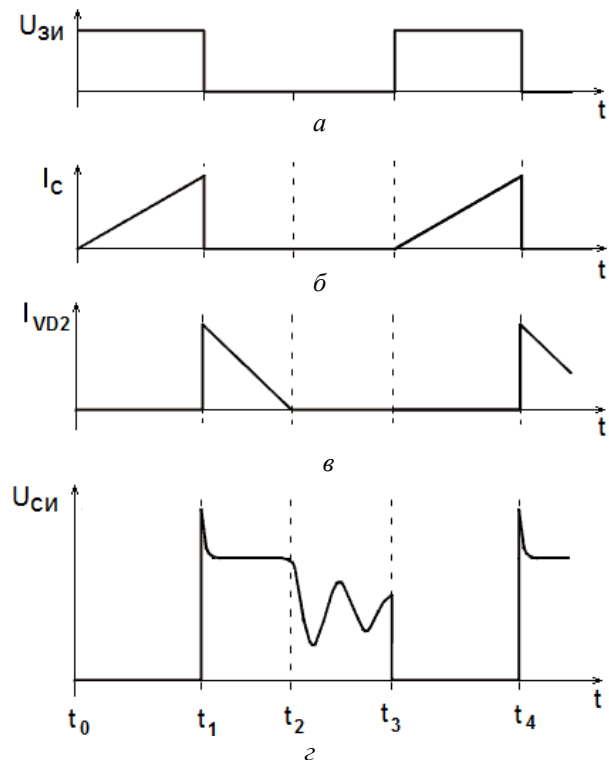


Рис. 3. Временные диаграммы работы повышающего преобразователя напряжения

Стабилизация напряжения осуществляется при помощи стабилитронов $VD3-VD6$ и оптрона $VE1$ путем изменения длительности управляющих импульсов для полевого транзистора $VT1$. Ограничение напряжения на стоке полевого транзистора $VT1$ выполнено с помощью цепи ограничения напряжения, состоящей из диода $VD1$ и обмотки трансформатора $T1$.

Количество витков данной обмотки выбрано таким, чтобы напряжение на стоке транзистора VT1 не превышало 80 % от максимального для данного типа транзисторов. Такой способ защиты транзистора отличается от типового более высоким КПД из-за отсутствия потерь мощности на резисторах или стабилитронах снабберной цепи.

При проведении эксперимента были получены следующие результаты:

- рабочая частота преобразователя напряжения – 80 кГц;
- время заряда накопительного конденсатора емкостью 4 мкФ до напряжения 350 В – 4,1 мс;
- ток, потребляемый от бортовой сети автомобиля при частоте искрообразования 200 Гц – 4,7 А.

Применение разработанного повышающего преобразователя напряжения для конденсаторно-тиристорного модуля зажигания позволяет получить энергию искрового разряда 0,245 Дж при достаточно большой длительности (0,65 мс) и высокой скорости нарастания напряжения во вторичной цепи катушки зажигания, что обеспечивает надежный поджог газозооушной смеси в цилиндрах двигателя внутреннего сгорания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Количество автомобилей в мире. – Режим доступа: URL: <https://triashina.ru/2019/10/kolichestvo-avtomobilej-v-mire/> (дата обращения: 14.04.2023).
2. Herdin, G. Gas Engines / G. Herdin: Proceedings of Gas Engine Workshop / Heinzmann G. – Schöna, Germany: Heinzmann, 2012. – 112 p.
3. Лукино, В. А. Исследования показателей двигателя с искровым зажиганием при работе на газовых топливах / В. А. Лукино, А. В. Козлов, А. С. Теренченко, А. А. Демидов // Транспорт на альтернативном топливе. – 2011. – № 6 (24). – С. 28–33.
4. Болотовский, Ю. Разработка систем заряда емкостных накопителей энергии / Ю. Болотовский, Г. Таназлы, Е. Вашкевич, А. Никитин // Силовая Электроника. – 2008. – № 4. – С. 49–56.
5. Нефедьев, А. И. Конденсаторный модуль зажигания для ДВС / А. И. Нефедьев, А. Г. Трясогузов, В. Г. Шаронова // Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. – 2023. – № 1 (42). – С. 31–34.
6. Нефедьев, А. И. Конденсаторно-тиристорный модуль зажигания газового двигателя внутреннего сгорания / А. И. Нефедьев, В. Г. Шаронова, В. Г. Гусев // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2022. – № 2. – С. 2–5.
7. 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.

УДК 004.35

А. В. Мангушев, В. И. Конченков

РАЗРАБОТКА БЛОКА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПО ИНТЕРФЕЙСУ ETHERNET НА ЯЗЫКЕ VERILOG

Волгоградский государственный технический университет
e-mail: mangushev2001@yandex.ru

Реализован модуль передачи данных по интерфейсу Ethernet на ПЛИС, являющийся составной частью системы компьютерного зрения. Разработан код на языке описания аппаратуры Verilog, реализующий передачу данных по интерфейсу МП на контроллер физического уровня. Для тестирования результатов была реализована передача видеопотока со встраиваемой камеры на компьютер. Для отображения данных был разработан скрипт на языке Python. В ходе испытаний блок показал свою работоспособность.

Ключевые слова: ПЛИС; HDL; Verilog; компьютерные сети.

A. V. Mangushev, V. I. Konchenkov

DEVELOPMENT OF A DATA TRANSMISSION UNIT OVER THE ETHERNET INTERFACE IN THE VERILOG LANGUAGE

Volgograd State Technical University

The data transmission module via the Ethernet interface to the FPGA, which is an integral part of the computer vision system, is implemented. A code has been developed in the Verilog hardware description language that implements data transmission via the MII interface to the physical layer controller. To test the results, a video stream was transmitted from an embedded camera to a computer. A Python script was developed to display the data. During the tests, the unit showed its operability.

Keywords: FPGA; HDL; Verilog; computer networks.

Введение

Программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) обладают огромной архитектурной гибкостью, позволяющей реализовывать различные сложные вычислительные задачи с большей производительностью и меньшими затратами энергии, чем персональные и микрокомпьютеры. Это позволяет наиболее эффективно применять их в области граничных вычислений, где требуется производить цифровую обработку сигналов в непосредственной близости от источника этих данных и отправку результатов в реальном времени. В последнее время находит применение подход, когда ПЛИС используется для решения задач технического зрения при помощи предварительно обученной нейронной сети [1–2]. В таких системах нейронная сеть обучается на больших вычислительных машинах, затем весовые коэффициенты переводятся в формат чисел с фиксированной точкой, реализуется HDL-описание модуля нейронной сети, которая затем работает на ПЛИС. Главным преимуществом использования подобных решений – высокая энергоэффективность, достигающаяся за счет разработки специализированной цифровой схемы, реализующей необходимые алгоритмы обработки данных. Однако ввиду своих архитектурных особенностей все интерфейсы передачи также необходимо реализовывать самостоятельно, что требует использования логических элементов ПЛИС, которые могут потребоваться для размещения других вычислительных модулей. Таким образом, возникает необходимость в разработке блока, обеспечивающего передачу данных на максимально возможной скорости с минимальным количеством задействованных логических элементов ПЛИС.

Выбор интерфейса передачи

В качестве окончательного интерфейса передачи был выбран Ethernet, поскольку он позволяет напрямую передавать данные по сети Интернет, а не только на одно конкретное устройство. С точки зрения создания систем компьютерного зрения на ПЛИС, выбор данного интерфейса предпочтительнее выбора интерфейса USB, требующего широкого использования сторонних библиотек. Для применения интерфейса Ethernet на ПЛИС необходима микросхема, реализующая физический уровень. Для отладки и тестирования разработанного модуля была применена плата DE2-115 от компании Altera, на которой располагается ПЛИС семейства Cyclone IV [3]. Для возможности примене-

ния Ethernet на ней располагается трансивер 88E1111, в котором реализован только физический уровень Ethernet. Обмен данными с этой микросхемой осуществляется по интерфейсу МП (с англ. *Media Independent Interface* – независимый от среды передачи интерфейс), который и реализуется средствами ПЛИС.

Для полноценной работы недостаточно просто отправлять поток данных по МП, необходимо использовать ряд протоколов, благодаря которым можно облегчить передачу, прием и обработку пакетов. Таким образом, при передаче формируется следующая цепочка, где пакеты одного уровня размещаются в полях данных нижестоящего уровня: отправляемые данные → UDP дейтаграмма → IP пакет → Ethernet кадр.

Для того чтобы устройство могло осуществлять полноценное общение, необходимо также реализовывать логику работы этих протоколов, но поскольку наша задача состоит в организации симплексной передачи данных и необходимости сэкономить как можно больше логических элементов ПЛИС, было принято решение заранее сформировать все поля указанных выше протоколов. В дальнейшем, в случае необходимости перенастройки полей протоколов «на лету», планируется добавить внешний недорогой микроконтроллер. Для этого потребуется позволить внешнему контроллеру перезаписывать сформированные заранее пакеты, что не потребует много ячеек и является наиболее оптимальным решением в данных условиях.

Структура проекта

На рис. 1 показана принципиальная схема устройства, реализованного на ПЛИС. На рис. 2 показана RTL-диаграмма устройства, сформированная средствами программы Quartus II 13.1.

Результирующая схема состоит из ряда блоков. Блок *camera_read* (рис. 2, б) реализует считывание данных с камеры, блок *camera_initialization* (рис. 2, в) записывает начальные настройки в камеру. Данные блоки были взяты в [6]. В качестве камеры применен готовый модуль OV7670. Модуль *init_delay* (рис. 2, б) и D-триггер создают задержку подачи тактового сигнала на все модули, необходимую для инициализации микросхемы физического уровня. Блоки *ram* и *rom* (рис. 2, в) – модули памяти, в которых хранится сформированный пакет данных для отправки. В модуль *ram* записываются текущие отправляемые данные, а в модуле *rom* находится строка, которая показывает, что закончилась передача одного кадра.

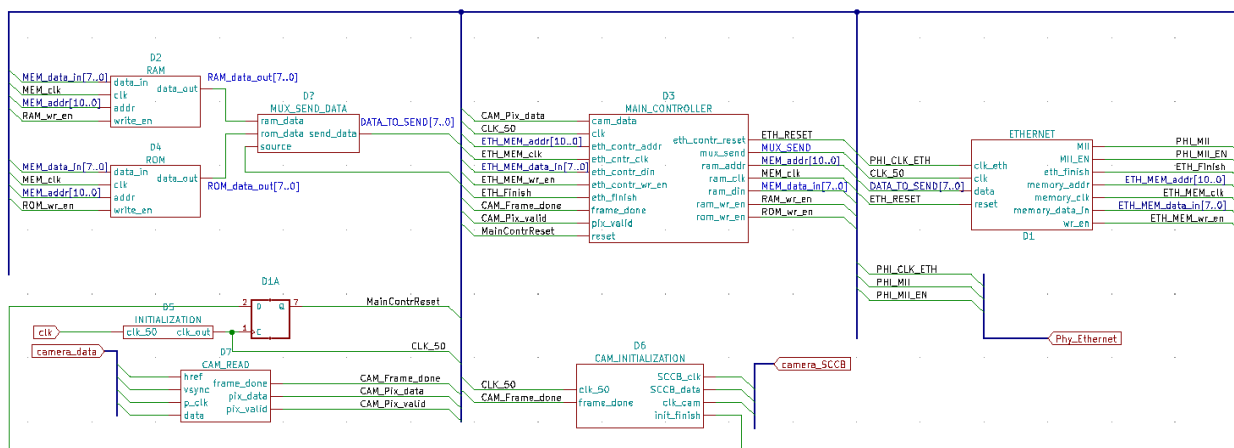
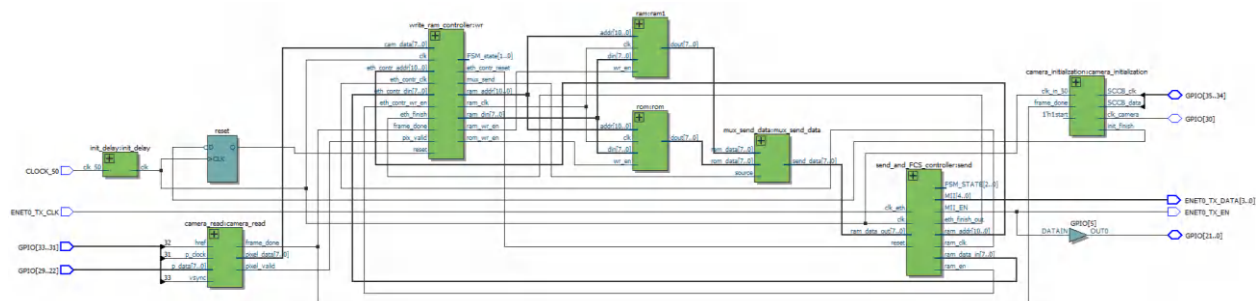
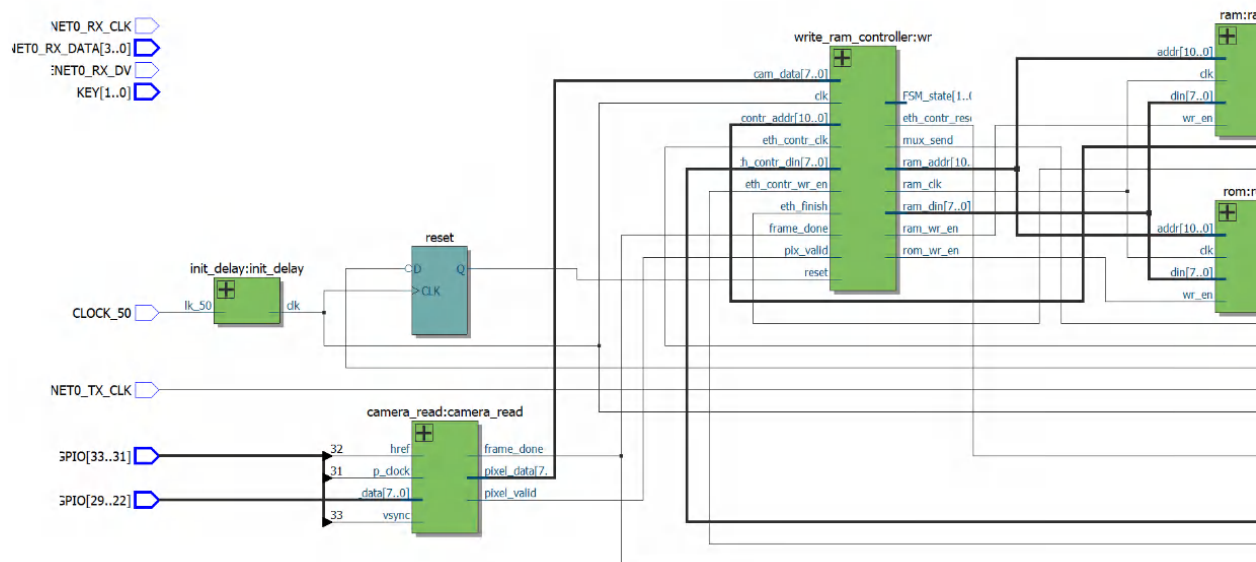


Рис. 1. Структурная схема готового проекта



а



б

Рис. 2:

а – RTL-схема готового устройства на ПЛИС, передающего данные с камеры на персональный компьютер по интерфейсу Ethernet;
 б, в – увеличенные изображения RTL-диаграммы устройства (см. также на с. 35)

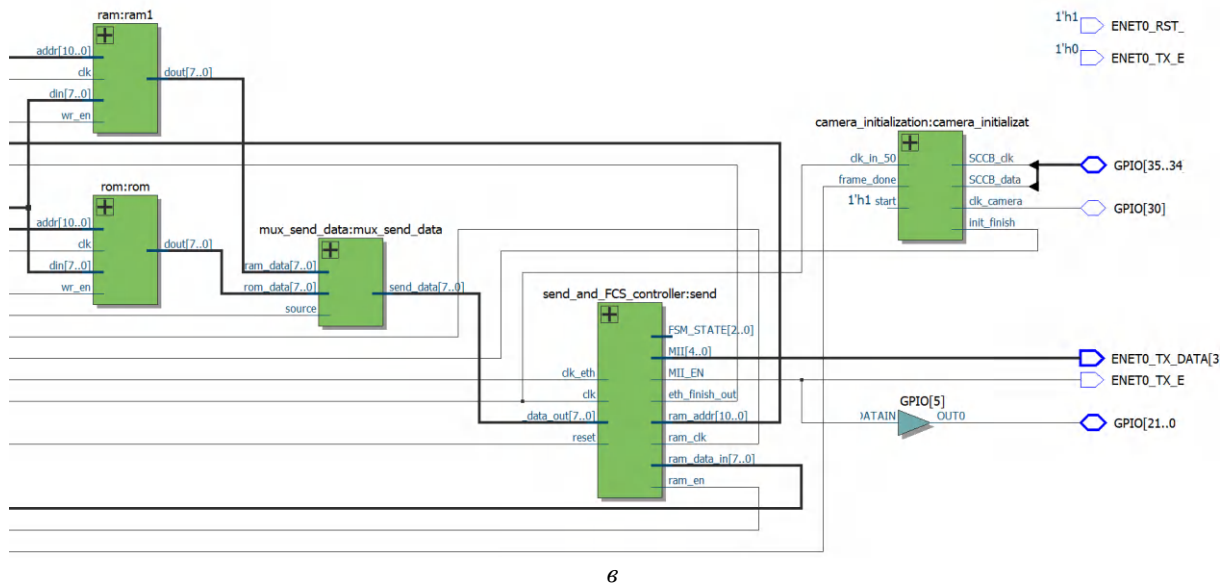


Рис. 2. Окончание

Модуль *mux_send_data* (рис. 2, в) представляет собой мультиплексор, который осуществляет выбор, откуда будут поступать данные для отправки. *send_and_FCS_controller* (рис. 2, в) осуществляет расчет контрольной суммы по отправляемому пакету, ее запись в конец и непосредственно отправку по интерфейсу МП. На рис. 3 представлена временная диаграмма отправки фрагмента данных по этому интерфейсу. Линия *clk* – тактовый сигнал от внешней микросхемы, реализующей физический уровень интерфейса Ethernet, линии *МП_EN* и *МП* управляются ПЛИС. Во время передачи данных

по линии МП на линии *МП_EN* должен быть установлен уровень логической единицы. Сама линия МП представляет собой четырехбитную шину, на которую по каждому фронту тактового сигнала *clk* отправляется новая порция данных в порядке «от младшего к старшему». Модуль *write_ram_controller* (рис. 2, б) производит синхронизацию блоков считывания данных с камеры и отправки по МП. Рассмотрим более подробно блоки *write_ram_controller* (рис. 2, б) и *send_and_FCS_controller* (рис. 2, в), поскольку они представляют собой конечные автоматы.

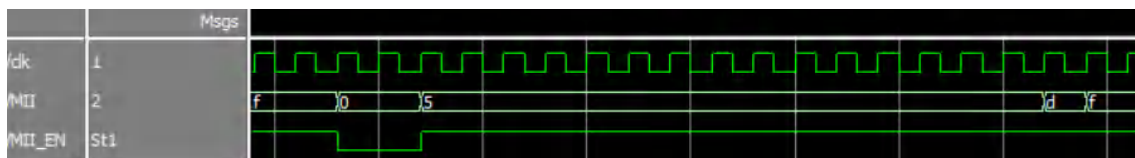
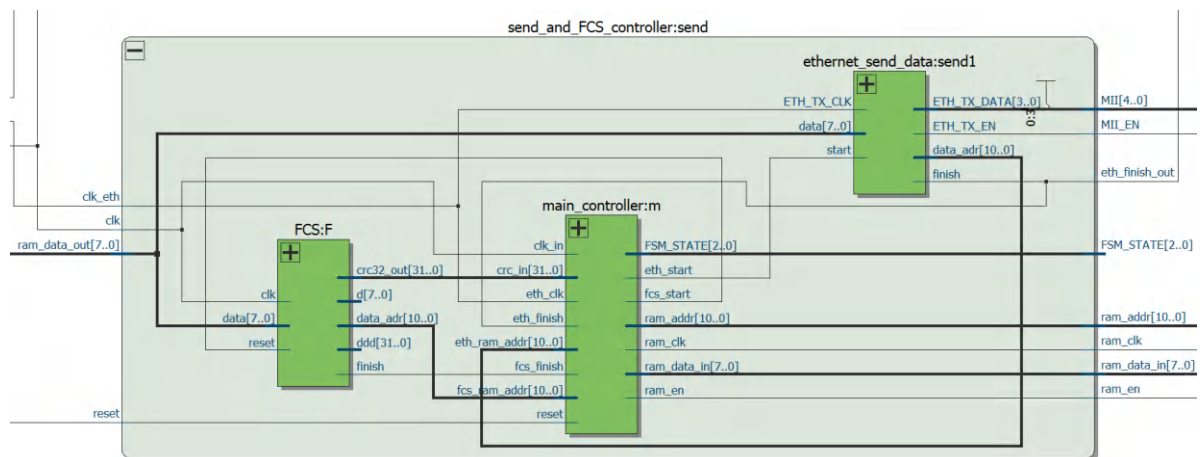


Рис. 3. Временная диаграмма передачи порции данных по интерфейсу МП

Рис. 4. RTL-схема автомата *send_and_FCS_controller*

Автомат *send_and_FCS_controller* состоит из трех модулей (рис. 4): *FCS* – производит расчет контрольной суммы [7], *ethernet_send_data* –

реализует MII, *main_controller* – синхронизирует работу *FCS* и *ethernet_send_data*.

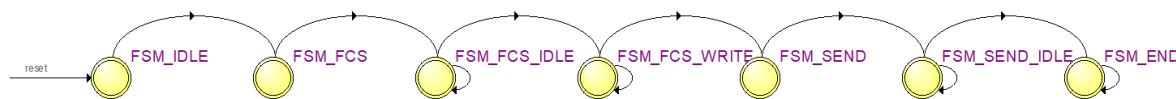


Рис. 5. Диаграмма состояний *main_controller*

Модуль *main_controller* представляет собой конечный автомат Мура. Его диаграмма переходов представлена на рис. 5. Исходное состояние, в котором система оказывается после сброса, обозначается *FSM_IDLE*. Из *FSM_IDLE* автомат переходит в состояние *FSM_FCS*, а затем в состояние *FSM_FCS_IDLE*, где ожидает завершения расчета контрольной суммы. Далее происходит переход в состояние *FSM_FCS_WRITE*, где осуществляется запись рассчитанной конт-

рольной суммы в буфер с данными. После этого идет состояние *FSM_SEND* и *FSM_SEND_IDLE*, где происходит ожидание завершения передачи данных. В конце модуль переходит в конечное состояние и для начала передачи новой порции данных необходимо подать сигнал сброса. Промежуточные состояния без условий переходов необходимы для того, чтобы произвести соответствующую подготовку перед реализацией основного действия состояния.

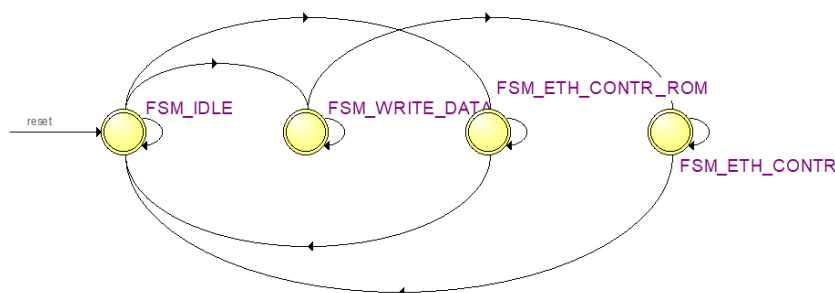


Рис. 6. Диаграмма состояний *write_ram_controller*

Блок управления записью *write_ram_controller* реализован как конечный автомат Мура, на рис. 6 представлена его диаграмма переходов. Изначально автомат находится в состоянии *FSM_IDLE*. Если приходит сигнал окончания кадра, то автомат переходит в состояние *FSM_ETH_CONTR_ROM*, в котором происходит передача управления модулю отправки данных, с целью отправить сообщение о конце кадра (содержится в *rom*, рис. 2, в), после чего происходит переход к первоначальному состоянию. Если же начинается передача строки кадра, то происходит переход в состояние *FSM_WRITE_DATA*, где в конец отправляемых данных дописывается контрольная сумма, а затем в состояние *FSM_ETH_CONTR*, аналогичное состоянию *FSM_ETH_CONTR_ROM*, но отличающееся буфером, из которого производится отправка данных.

Результаты работы

В результате был получен модуль, получающий данные с камеры, и отправляющий их по интерфейсу Ethernet. Всего было занято 711 логических ячеек ПЛИС из 115000, что является крайне неплохим результатом. Программа для отображения полученных данных написана на языке Python с применением библиотеки OpenCV для отрисовки изображения и *scapy* [8] для захвата UDP пакетов. Результаты работы [9] можно применить в проектах с использованием ПЛИС, где требуется отправлять данные на внешнее устройство и имеется ограниченное число ячеек для этого. На рис. 7 представлен внешний вид испытательного стенда, на рис. 8 – пример изображения, полученного от разработанного модуля.

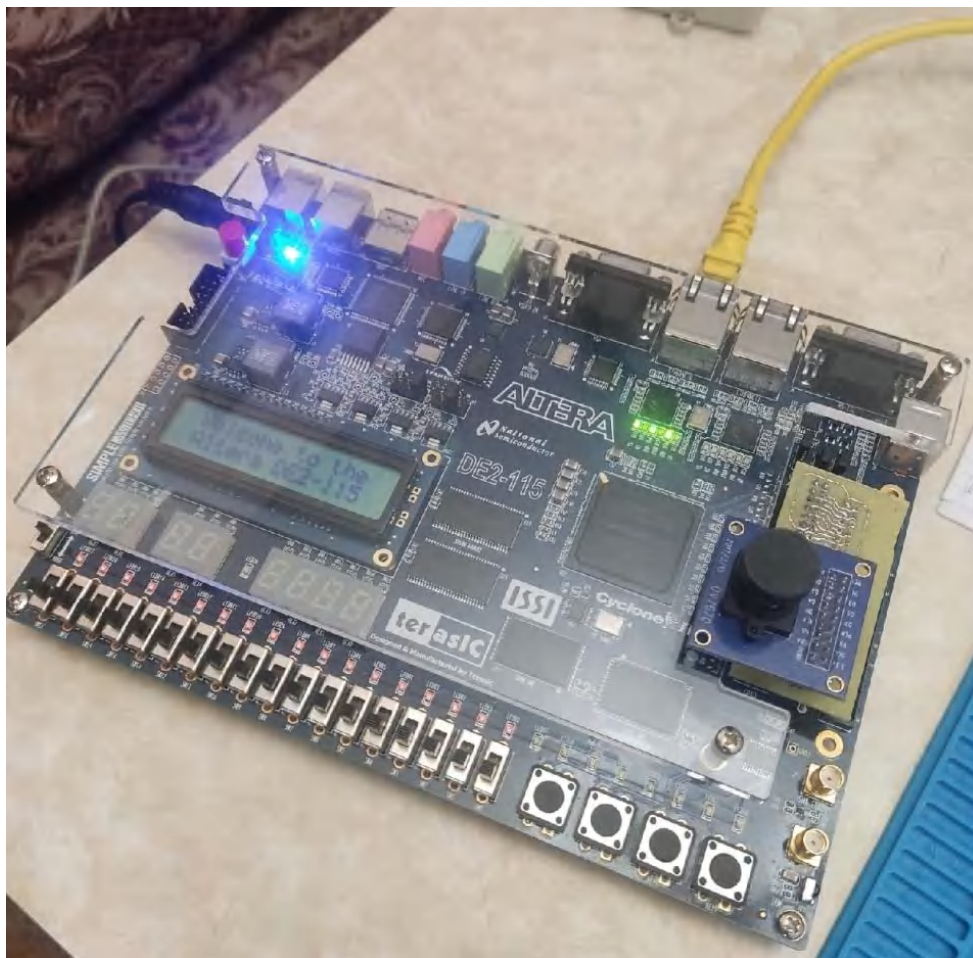


Рис. 7. Внешний вид испытательного стенда



Рис. 8. Изображение, полученное с камеры (разрешение 640x480)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Соловьев, Р. А. Прототипирование высокоскоростной нейронной сети в ПЛИС для классификации изображений видеопотока / Р. А. Соловьев, А. Г. Кустов, Д. В. Тельпухов, В. С. Рухлов // Cloud of Science. – 2018. – Т. 5, № 4. – С. 680–703. – EDN YPUOUX.
2. Бахчевников, В. В. Способ использования средств быстрого прототипирования для реализации сверточной нейронной сети на ПЛИС / В. В. Бахчевников, В. А. Деркачев, А. Н. Бакуменко // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2020. – № 3(213). – С. 146–156. – DOI 10.18522/2311-3103-2020-3-146-156. – EDN UUWKZX.
3. URL: <https://www.terasic.com.tw/cgi-bin/page/archive.pl?Language=English&CategoryNo=139&No=502&PartNo=2> (дата обращения: 14.02.2023)
4. Дэвид М. Харрис Цифровая схемотехника и архитектура компьютера / Дэвид М. Харрис, Сара Л. Харрис; пер. с англ. Imagination Technologies. – М.: ДМК Пресс, 2018. – 792 с.: цв. ил.
5. Цифровой синтез: практический курс / под общ. ред. А. Ю. Романова, Ю. В. Панчула. – М.: ДМК Пресс, 2020. – 556 с.
6. URL: <https://github.com/westonb/OV7670-Verilog> (дата обращения: 14.02.2023)
7. URL: <https://marsohod.org/projects/marsohod2/263-rtl-recv> (дата обращения: 14.02.2023)
8. URL: <https://scapy.net/> (дата обращения: 14.02.2023)
9. URL: https://github.com/alexmgushev/OV7670_FPGA_Ethernet (дата обращения: 14.02.2023)

Ответственный за выпуск редактор РИО
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, просп. В. И. Ленина, 28.
Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ)
Гл. редактор, тел.: +7 (8442) 23-00-76
E-mail: rector@vstu.ru

Темплан 2023 г. (научные издания). Поз. № 18ж. Дата выхода в свет 08.06.2023 г. Формат 60 × 84 1/8.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 4,65. Уч.-изд. л. 4,40.
Тираж 100 экз. Свободная цена. Заказ № 0000

Оригинал-макет и электронная версия подготовлены РИО Издательства ВолгГТУ
400005, г. Волгоград, просп. В. И. Ленина, 28, корп. 7.

Отпечатано в типографии Издательства ВолгГТУ
400005, г. Волгоград, просп. В. И. Ленина, 28, корп. 7.

В научно-техническом журнале «Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт» 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 журнала, которая утверждается ректором университета, ее решение является окончательным. Редакция 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 компакт-дисках (CD) в полном соответствии с распечатанным оригиналом. Диск должен быть вложен в отдельный конверт, на этикетке 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, где 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 приводятся 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.