

ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ:

промышленность и транспорт

№ 2 (23)
2018



16+

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ





Издается
с января 2004 г.

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

ISSN 2500-0586

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

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

Редакционная коллегия:

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

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

Журнал распространяется
по подписке.
Индекс журнала по каталогу
Агентства «Роспечать»
для Российской Федерации –
94193(ОК+ЭК). По вопросам
подписки обращаться
в издательство.

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

№ 2 (23)
Июнь
2018

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

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

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

Официальный сайт Учредителя: www.vstu.ru

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Волгоградского государственного технического университета

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

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

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

Статьи печатаются бесплатно



Published since
January 2004 г.

ISSN 2500-0586

Editor-in-chief

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

Editorial Board:

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

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

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

VSTU Publisher tel.:

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

© Volgograd State Technical University,
«Energo- e resursosberezhenie: promyshlennost' i transport », 2018

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° (ФЦ77-64543, registration date: 22 January 2016

№ 2 (23)
June
2018

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 accordance
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

Аввакумов В. Е. 11, 36

Алимов В. А. 67

Алшахван А. 49

Альсаламех Бальсам 56

Братышев С. Н. 73

Булаев А. М. 11

Дементьев С. С. 14

Джавадов А. А. 63

Егоров К. В. 63

Захаров Е. А. 67

Колганов О. А. 14

Комаров Ю. Я. 49, 63

Коноваленко А. А. 47

Коптелова И. А. 20, 25

Макартичан С. В. 7

Малый В. В. 36

Нефедьев А. И. 47, 70

Омаров М. А. 70

Попов И. И. 25

Ростов А. А. 7

Рязанцев В. И. 56

Сафаров Э. Г. 67

Сницарук Д. Г. 20, 40

Хлебцов А. П. 31

Шилин А. Н. 31

AUTHOR INDEX

- | | |
|------------------------|------------------------|
| Alimov V. A. 67 | Koptelova I. A. 20, 25 |
| Alsalameh Balsam 56 | Makartichyan S. V. 7 |
| Alshahwan A. 50 | Maliy V. V. 36 |
| Avvakumov V. E. 11, 36 | Nefediev A. I. 47, 71 |
| Bratyshev S. N. 73 | Omarov M. A. 71 |
| Bulaev A. M. 11 | Popov I. I. 25 |
| Dementyev S. S. 14 | Rostov A. A. 7 |
| Djavadov A. A. 63 | Ryazantsev V. I. 56 |
| Egorov K. V. 63 | Safarov E. G. 67 |
| Khlebtsov A. P. 31 | Shilin A. N. 31 |
| Kolganov O. A. 14 | Snitsaruk D. G. 20, 40 |
| Komarov Yu. Y. 50, 63 | Zakharov E. A. 67 |
| Konovalenko A. A. 47 | |

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Макартичан С. В., Ростов А. А.</i> Определение тепловых потерь в теплотрассах с использованием тепловизионной аэросъемки.....	7
<i>Аввакумов В. Е., Булаев А. М.</i> Информационная система контроля горючести электрических кабелей с полимерной оболочкой.....	11
<i>Дементьев С. С., Колганов О. А.</i> Оптический метод диагностики оледенения воздушных ЛЭП на гибких опорах.....	14
<i>Сницарук Д. Г., Коптелова И. А.</i> Интеллектуализация процесса проектирования умных электромеханических систем.....	20
<i>Попов И. И., Коптелова И. А.</i> Анализ методов и средств контроля электрических цепей в приборостроении.....	25
<i>Хлебцов А. П., Шилин А. Н.</i> Тенденции и перспективы развития информационно-измерительных систем диагностики цифровых подстанций.....	31
<i>Малый В. В., Аввакумов В. Е.</i> Автоматизированный радиометр для радиоуглеродного анализа.....	36
<i>Сницарук Д. Г.</i> Оптико-электронная проекционная система контроля профилограмм обечаек.....	40
<i>Коноваленко А. А., Нефедьев А. И.</i> Датчики наличия пламени для котельной установки.....	47
<i>Комаров Ю. Я., Алиахван А.</i> Анализ проблем дорожного движения на пересечении Омара Абу Риша в районе Мухафаза в г. Алеппо (САР).....	49
<i>Альсаламех Бальсам, Рязанцев В. И.</i> О работе системы стабилизации вертикальных реакций дороги на колеса автомобиля совместно с системой управления схождением колес.....	56
<i>Егоров К. В., Комаров Ю. Я., Джавадов А. А.</i> Проблемы устойчивого развития транспортно-пересадочных узлов в поселениях, городских округах, городах федерального значения Российской Федерации и пути их решения.....	63
<i>Захаров Е. А., Сафаров Э. Г., Алимов В. А.</i> К оценке эффективности битопливных систем питания автомобильных двигателей.....	67
<i>Омаров М. А., Нефедьев А. И.</i> Измеритель температуры для системы климат-контроля автомобиля.....	70
<i>Братышев С. Н.</i> Оценка целесообразности проведения мероприятий по компенсации реактивной мощности на примере предприятий Астраханской области.....	73
К сведению авторов.....	79

CONTENTS

<i>Makartichyan S. V., Rostov A. A.</i> HEATING MAINS LOSSES DEFINITION WITH USING THERMAL IMAGING AERIAL PHOTOGRAPHY.....	7
<i>Avvakumov V. E., Bulaev A. M.</i> INFORMATION SYSTEM CONTROL DEVICES OF COMBUSTIBILITY OF ELECTRIC CABLES WITH THE POLYMERIC COVER.....	11
<i>Dementyev S. S., Kolganov O. A.</i> OPTICAL METHOD FOR DIAGNOSING ICING OF OHL ON FLEXIBLE TOWERS.....	14
<i>Snitsaruk D. G., Koptelova I. A.</i> INTELLECTUALIZATION OF THE PROCESS OF DESIGNING SMART ELECTROMECHANICAL SYSTEMS.....	20
<i>Popov I. I., Koptelova I. A.</i> ANALYSIS OF METHODS AND MEANS OF CONTROL OF ELECTRICAL CIRCUITS IN INSTRUMENT.....	25
<i>Khlebtsov A. P., Shilin A. N.</i> TRENDS AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF INFORMATION AND MEASURING SYSTEMS FOR THE DIAGNOSTICS OF DIGITAL SUBSTATIONS.....	31
<i>Maliy V. V., Avvakumov V. E.</i> AUTOMATED RADIOMETER FOR RADIOCARBON ANALYSIS.....	36
<i>Snitsaruk D. G.</i> OPTICAL-ELECTRONIC PROJECTION SYSTEM OF MONITORING PROFILOGRAMMS OF SHELLS.....	40
<i>Konovalenko A. A., Nefediev A. I.</i> THE SENSOR OF THE PRESENCE OF THE FLAME FOR THE BOILER INSTALLATION.....	47
<i>Komarov YU. Y., Alshahwan A.</i> STUDY AND ANALYSIS OF TRAFFIC PROBLEMS IN OMAR ABU RISHA INTERSECTION IN MUHAFAZAH ZONE IN ALEPPO (SAR).....	50
<i>Alsalameh Balsam, Ryazantsev V. I.</i> ON THE WORK OF THE SYSTEM OF STABILIZATION OF VERTICAL REACTIONS OF THE ROAD TO THE WHEELS OF THE CAR TOGETHER WITH THE CONTROL SYSTEM FOR THE CONVERGENCE OF THE WHEELS.....	56
<i>Egorov K. V., Komarov Y. J., Djavadov A. A.</i> PROBLEMS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF TRANSPORT HUBS IN THE SETTLEMENTS, URBAN DISTRICTS, FEDERAL CITIES OF THE RUSSIAN FEDERATION AND WAYS OF THEIR SOLUTION.....	63
<i>Zakharov E. A., Safarov E. G., Alimov V. A.</i> TO THE EVALUATION OF EFFICIENCY OF BI-FUEL SYSTEMS OF POWER SUPPLY OF AUTOMOBILE MOTORS.....	67
<i>Omarov M. A., Nefediev A. I.</i> TEMPERATURE GAUGE FOR CAR CLIMATE CONTROL SYSTEM.....	71
<i>Bratyshev S. N.</i> VIABILITY ASSESSMENT OF CARRYING OUT REACTIVE POWER COMPENSATION OPERATIONS USING AN EXAMPLE OF ASTRAKHAN REGION ENTERPRISES.....	73

С. В. Макартичан, А. А. Ростов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ В ТЕПЛОТРАССАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕПЛОВИЗИОННОЙ АЭРОСЪЕМКИ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: hymir@mail.ru

Подземные тепловые сети – характерный элемент городского хозяйства. Общая протяженность тепловых сетей в большинстве городов составляет сотни погонных километров. Большая протяженность сетей, особенности их функционирования и эксплуатации делают актуальным применение высокопроизводительных методов контроля их состояния. Одним из дистанционных методов, успешно применяемых для диагностики состояния тепловых сетей, является тепловая инфракрасная аэросъемка. Основными достоинствами тепловой аэросъемки являются высокая оперативность и производительность, позволяющие за сравнительно короткое время обследовать значительные пространственно протяженные участки. Полученная в результате тепловизионной аэросъемки тепловая карта теплотрассы позволяет получить распределение температуры по длине теплотрассы и определить удельные тепловые потери как на контролируемых участках трубопровода, так и для линии теплопередачи в целом.

Ключевые слова: теплотрасса, тепловые потери, тепловизор, квадрокоптер, тепловизионная аэросъемка.

S. V. Makartichyan, A. A. Rostov

HEATING MAINS LOSSES DEFINITION WITH USING THERMAL IMAGING AERIAL PHOTOGRAPHY

Volgograd State Technical University

Underground heating networks are a characteristic element of urban economy. The total length of heating networks in most cities is in the hundreds of km. Most of the networks length, their functioning and operation makes it necessary to use high-performance control methods of their condition. One of the remote methods successfully applied for calorific nets diagnostics is thermal infrared aerial photography. The main advantages of thermal aerial photography are high efficiency and productivity, allowing for a relatively short time to survey large spatially extended areas. The thermal map of a heating main received as a result of thermal imaging aerial survey allows to receive distribution of temperature on length of a heating main and to define specific thermal losses both on the controlled sites of the pipeline, and for a heat transfer line as a whole.

Keywords: heat transfer, thermal losses, thermal imager, quadrocopter, thermal aerial photography.

Введение

Подземные тепловые сети – характерный элемент городского хозяйства. Общая протяженность тепловых сетей в большинстве городов составляет сотни погонных км. Диаметр тепловых сетей варьирует от 50 мм до 1400 мм, глубина прокладки в большинстве случаев – 1.5–2 м, редко 3–5 м или менее 1.0 м. Абсолютная величина суммарного расхода циркулирующей сетевой воды – десятки тыс. м³/ч.

Большой расход теплофикационной воды, высокие температуры (70–150 °С) и давление

(до 1,5–106 Па) делают утечки одним из наиболее интенсивных источников воздействия на окружающую среду. Оно проявляется в различных видах: тепловом – изменение теплового режима подземных вод, почв, верхней части грунтов; механическом – размывание контактирующих с тепловым сетью грунтов с образованием провальных воронок (техногенная суффозия); химическом – растворение пород, изменение химического состава подземных вод; гидродинамическом – изменение уровня грунтовых вод.

Большая протяженность сетей, особенности их функционирования и эксплуатации делают актуальным применение высокопроизводительных методов контроля их состояния. Основная задача при этом не сводится к обнаружению только аварийных участков. Как правило, в случае разрыва теплотрассы такие места достаточно быстро обнаруживаются системами параметрического контроля, быстро локализуются и принимаются соответствующие меры. Гораздо важнее прогнозировать развитие аварийных ситуаций, с тем, чтобы предупредить тяжелые, а иногда и трагические последствия. Известно, что в зимний отопительный период при сильных морозах температура и давление в сетях максимальные, поэтому вероятность разрывов на сильно корродированных участках теплопровода очень велика. В результате дом, либо даже целый квартал или район (в случае разрыва магистрали) остаются без тепла. Особенно опасны долгоживущие постоянные утечки, приводящие к размыву грунта под асфальтом и внезапному образованию провальных воронок, в которые нередко проваливается техника или даже гибнут люди.

Основная часть

Одним из дистанционных методов, успешно применяемых для диагностики состояния тепловых сетей, является тепловая инфракрасная аэросъемка (ТИКАС). Методика съемки разработана в ГНПП «Аэрогеофизика» в период 1982–1991 гг. Основными достоинствами тепловой аэросъемки являются высокая оперативность и производительность, позволяющие за сравнительно короткое время обследовать значительные пространственно протяженные участки. На съемку городов площадью до 100 км² требуется 5–6 летних часов.

Под инфракрасной съемкой понимают регистрацию электромагнитного излучения земной поверхности или различных объектов в инфракрасной (ИК) области спектра и преобразование его в видимое изображение. При этом особый интерес представляет съемка в среднем (3–5 мкм) и дальнем (8–14 мкм) диапазонах ИК-области спектра. В указанных диапазонах интенсивность ИК-излучения в значительной степени обусловлена тепловым состоянием объектов на дневной поверхности. Поэтому съемка называется тепловой инфракрасная, что и отражает суть метода. Тепловая инфракрасная съемка для задач контроля состояния теплопроводов может выполняться

в наземном варианте и с борта летательного аппарата.

Тепловое поле отличается ультрадинамичностью, на характер его формирования оказывают влияние многочисленные техногенные и природные факторы – метеорологическая обстановка (температура воздуха, облачность, ветер, осадки), положение солнца над горизонтом, теплофизические свойства и состояние (прежде всего влажность) подстилающей поверхности и приповерхностного слоя почвы.

Целесообразность применения ТИКАС для контроля состояния тепловых сетей обусловлена высокой степенью достоверности получаемых данных и надежностью их использования при формировании инженерных и управленческих решений, что в конечном счете и определяет высокую экономическую эффективность метода.

Информативность дистанционных наблюдений состояния теплосетей существенно увеличивается при выполнении съёмочных работ в режиме мониторинга (дважды в год, в начале и в конце отопительного сезона). Съёмка в конце отопительного сезона дает незаменимую информацию для составления планов ремонтных работ. Это позволяет наиболее рационально использовать ограниченные финансовые средства и сокращать сроки ремонтных работ. Съёмка в начале отопительного сезона позволяет объективно оценить, с какими сетями эксплуатационные службы входят в зиму.

Стоимость однократной тепловой ИК аэросъемки в расчете на 1 кв. км городской территории составляет 4–5 тыс. руб. Для отдаленных городов стоимость работ существенно увеличивается за счет транспортных расходов (перелет вертолета, транспортировка персонала), при этом эффект от применения ТИКАС в любом случае многократно перекрывает возникающие расходы.

Как показали экономические расчеты ГУП «Мостеплоэнерго», использование материалов тепловой аэросъемки в совокупности с наземным акустическим методом дает экономию 20–30 млн. руб. за один цикл съемки для территории 350 км².

По данным съемки в г. Рязани (1997 г.) оперативно выполненные ремонтные работы дали экономию порядка 2 млн. руб. при затратах на съемку 400 тыс. руб. (в новых ценах). Причем, надо учесть, что эта сумма не включает в себя тех затрат, которые были бы неизбежны при ликвидации предотвращенных потенциальных аварий [2].

Важно отметить, что в связи с неполнотой и разрозненностью технической документации, пресловутой секретностью, а также высокой сложностью проводимых ремонтных работ для значительной части городов России у эксплуатирующих организаций зачастую отсутствуют достоверные данные о плановом положении теплосетей. По материалам тепловой съемки эта информация может быть скорректирована и уточнена, а также заново созданы схемы расположения тепловых сетей, что является исключительно актуальной задачей.

Существующие системы тепловизионной

аэросъемки являются достаточно дорогостоящими устройствами. Например, ориентировочная стоимость системы «Икар-002» составляет 5–10 млн. руб., системы «Геоскан» – 2–5 млн. руб. Поскольку существующие системы обладают завышенной стоимостью, предлагается проанализировать существующие на рынке компоненты систем тепловой инфракрасной аэросъемки для определения тепловых потерь и произвести обоснованный выбор оборудования. Это позволит спроектировать и создать более дешевую тепловизионную систему диагностики теплотрасс.

Таблица 1

Сравнительный анализ тепловизоров

Модель тепловизора/ Технические характеристики	FLIR C3	FLIR T540	Seek Thermal Reveal Pro
Термочувствительность	5	4	2
Диапазон измерения температур	5	4	3
Стоимость	4	1	5
Запись и передача информации	5	5	2
Точность	4	4	2
Средний балл	4.6	3.6	2.8

Основная часть предлагаемой тепловизионной системы диагностики теплотрасс с применением аэросъемки – это тепловизор и квадрокоптер. Поэтому был произведен сравнительный анализ существующих на рынке тепловизоров и квадрокоптеров по нескольким основ-

ным критериям (оценки даны по пятибалльной шкале в табл. 1 и 2). Проведенный анализ позволил произвести обоснованный выбор модели тепловизора и квадрокоптера – Flir C3 и DJI Inspire 2 соответственно.

Таблица 2

Сравнительный анализ квадрокоптеров

Модель квадрокоптера/ Технические характеристики	DJI Inspire 2	DJI Agras MG-1	DJI Matrice 200	Walkera X800
Стоимость	4	2	4	5
Грузоподъемность	4	5	4	4
Дальность полета	5	3	4	3
Макс скорость	5	3	4	3
Максимальное время полета	3	3	3	5
Средняя оценка	4.2	3.2	3.8	4

Наиболее распространенным методом учета тепловых потерь является учет температуры и расхода теплоносителя на концах контролируемого участка трубопровода. Определение

поля температур по длине теплопровода можно производить с применением тепловизионной аэросъемки (см. рисунок).



Тепловизионная аэросъемка надземных теплотрасс

Согласно действующей нормативной документации РД 153-34.0-20.523-98 удельные тепловые потери трубопроводов могут определяться по формуле [1]:

$$q = \frac{\pi(t - t_n)}{\ln(1 + 2\delta/d) / \lambda_{из} + (d + 2\delta) / \alpha_n}, \quad (1)$$

где t и t_n – температура теплоносителя и наружного воздуха соответственно, °C; d – наружный диаметр трубопровода, м; δ – толщина изоляции, м; $\lambda_{из}$ – коэффициент теплопроводности материала изоляции, Вт/(м²·°C); α_n – коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности изоляции к воздуху, Вт/(м²·°C).

Заключение

Таким образом, применение тепловизионной аэросъемки позволяет оперативно выявить участки теплотрассы с поврежденной изоляцией для составления планов ремонтно-восстановительных работ, что позволяет наиболее рационально использовать финансовые средства и сокращать сроки работ. Полученная тепловая

карта линии теплопередачи позволяет получить распределение температуры по длине теплотрассы и определить по формуле (1) удельные тепловые потери как на контролируемых участках трубопровода, так и для линии теплопередачи в целом. Поскольку существующие системы обладают завышенной стоимостью, проанализированы существующие на рынке компоненты систем тепловой инфракрасной аэросъемки для определения тепловых потерь и произведен обоснованный выбор оборудования, что позволит спроектировать и создать более дешевую тепловизионную систему диагностики теплотрасс.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Методические указания по составлению энергетических характеристик для систем транспорта тепловой энергии (в трех частях): РД153-34.0-20.523-98. – М.: СПО ОРГРЭС, 1999.
2. Склоцкий, С. А. Экономическая эффективность тепловой инфракрасной аэросъемки при оценке состояния подземных тепловых сетей / С. А. Склоцкий, Т. Г. Пируева, В. П. Кашеев. – Режим доступа: www.aerogeophysics.com.

УДК 662.621

*В. Е. Аввакумов, А. М. Булаев***ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ГОРЮЧЕСТИ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ С ПОЛИМЕРНОЙ ОБОЛОЧКОЙ****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: xcpvld@yandex.ru

В статье приведен анализ средств для измерения плотности дыма при горении объекта, методов и средств контроля горючести и токсичности полимерных материалов. На основе анализа выявлены недостатки существующих систем контроля задымленности среды и изложены основные требования к испытательному стенду, а также возможные технические решения.

Ключевые слова: Электрические кабели. Полимерная оболочка. Инфракрасный твердотельный нагревательный элемент. Токсичность полимерных материалов. Стенды для исследования и анализа горючести.

*V. E. Avvakumov, A. M. Bulaev***INFORMATION SYSTEM CONTROL DEVICES OF COMBUSTIBILITY
OF ELECTRIC CABLES WITH THE POLYMERIC COVER****Volgograd State Technical University**

The article presents an analysis of the means to measure the smoke density during combustion of the object, methods and means of controlling the combustibility and toxicity of polymeric materials. On the basis of the analysis, the shortcomings of the existing smoke control systems of the medium are revealed and the basic requirements for the test bench, as well as possible technical solutions are set out.

Keyword: Electric cable. Polymer shell. Infrared solid-state heating element. Toxicity of polymeric materials. Stands for research and analysis of combustibility.

В настоящее время в промышленности и в быту широко внедряются полимерные материалы как наиболее конструктивно и экономически выгодный материал. Полимерные материалы находят свое применение в качестве изоляции для проводов, отделки помещений и многого другого.

Основным требованием к таким материалам является их негорючесть. Поскольку именно кабели являются основными причинами пожароопасных ситуаций, то к ним предъявляются повышенные требования. В отличие от натуральных строительных материалов при горении (тлении) полимерных материалов выделяются токсичные вещества, которые могут вызвать у человека отравление угарными газами и другими токсичными продуктами горения.

В настоящее время для решения этих задач контроля качества производства проводов и кабелей были разработаны ГОСТы и соответствующие испытательные стенды (ГОСТ Р МЭК 60331-11-2012, ГОСТ ИЕС 60331-12-2011, ГОСТ ИЕС 60332-3-25-2011 и др.). Необходимо отметить, что в основном подобные ГОСТы и стандарты были разработаны много лет назад и в настоящее время не удовлетворяют современным технологическим требованиям, воз-

можностям современной испытательно-измерительной техники и средствам анализа и обработки измерительной информации. Поэтому ГОСТы должны периодически обновляться в соответствии с требованиями по безопасности и учета современных технологических возможностей, а соответствующие стенды разрабатываться с учетом запросов новых ГОСТов.

Следует отметить, что требования к огнестойкости материалов, предъявляемые в данных областях, могут различаться между собой даже в пределах одной страны. То есть материалы для того или иного применения могут быть сходными, но требования к их применению и методы испытания должны проводиться с использованием разных стандартов, исходя из особенностей сферы применения и специфики условий эксплуатации. В течение большого периода времени между разными испытаниями на огнестойкость было мало общего. Для стандартизации выпускаемой продукции и реализации за рубежом необходимо, чтобы разрабатываемые ГОСТы соотносились с иностранными стандартами в этой области. За последнее время в РФ практически не выпускались стенды для исследования и анализа горючести полимерных материалов [1].

При анализе полимерных материалов на горючесть можно выделить две основных составляющие. К первой относится определение плотности дыма, выделяющегося при тепловом воздействии и горении. Ко второй – анализ выделяющихся газов с учетом их токсичного воздействия. Следует учитывать, что выделение токсичных продуктов горения не всегда связано с интенсивным процессом дымообразования, но при этом такой анализ требует более технологически сложного и дорогостоящего оборудования. С целью получения наиболее исчерпывающей информации требуется задействовать обе составляющие [2].

Устройство, рассматриваемое в данной статье, ориентировано только на определение оптической плотности дыма. При необходимости камера может быть дополнена газоанализатором. В существующих устройствах контроля задымленности среды реализован принцип измерения плотности дыма при горении объекта. Процесс возгорания объекта начинается с выделения дыма, поэтому оперативная регистрация дыма позволяет на более ранней стадии обнаружить в воздухе токсичные газы и даст больше времени на принятие мер безопасности и выполнение соответствующих инструкций.

Известны испытательные камеры для измерения плотности дыма при горении объекта [4–5]. Установка содержит дымовую камеру, продувочный вентилятор, осветительное устройство, вентилятор перемешивания, камеру сгорания, источник пламени, воздушный экран, держатель образца и фотоэлемент. Установка предназначена для измерения плотности дыма при горении кабелей в заданных условиях.

В качестве источника нагрева чаще всего используется спиртовая смесь. Она дает постоянную температуру и высокую повторяемость, однако константа температуры горения спирта не позволяет смоделировать весь спектр условий потенциального возгорания. Также спирт в процессе сгорает, следовательно, является расходным материалом. Так как источник нагрева расположен под образцом, то возможно его загрязнение продуктами, образованными в результате разрушения целостности образца. Вдобавок продукты сгорания спиртовой смеси загрязняют пробу при химическом анализе продуктов горения испытуемого образца.

Поэтому основным недостатком подобных устройств является ограниченная точность измерения, большие габариты установки, однотипные условия для возгорания.

Для повышения точности измерения авторами предложено: использовать в качестве источника нагрева электрический инфракрасный нагревательный элемент; для повышения чувствительности при малых объемах испытательной камеры – многопроходную оптическую систему; для снижения влияния опорного напряжения на источник излучения и исключения необходимости установки второго фотоэлемента использовать дополнительный оптический канал на основе одномодового оптоволокна и модуляцию обоих потоков излучения от источника.

К нагревательному элементу предъявляются следующие требования: однородность потока на поверхности испытываемого образца, управление с использованием ПИД-регулятора для временной стабильности, минимальное воздействие на количество кислорода в испытательной камере. ПИД-регулятор должен быть правильно настроен и создавать минимум шумов. Постоянные времени не очень велики для снижения инерционности.

Данным требованиям удовлетворяет твердотельный нагревательный элемент. Стандартный элемент этого типа имеет оболочку из жаростойкой нержавеющей стали и нагревательную спираль внутри. Излучение идет от поверхности оболочки. В тепловой контакт с оболочкой приводятся несколько термпар, что позволяет контролировать и стабилизировать тепловой поток излучения.

Преимущества электрического инфракрасного нагревателя

- легкое управление мощностью;
- возможность создания ряда условий для испытания;
- хорошая повторяемость эксперимента;
- не выжигает кислород, что важно для поддержания естественных условий в камере;
- позволяет выбрать любое пространственное положение нагревателя.

Недостатки электрического инфракрасного нагревателя

- необходимость внедрения дополнительной системы дожигания газов для создания условий, приближенных к пламенному горению (естественных условий при пожаре).

Нагреватель и исследуемый образец устанавливаются вертикально на заданном расстоянии друг от друга. Такое расположение обеспечивает естественные условия обдува и снижает возможность загрязнения нагревателя продуктами термического разложения образца.

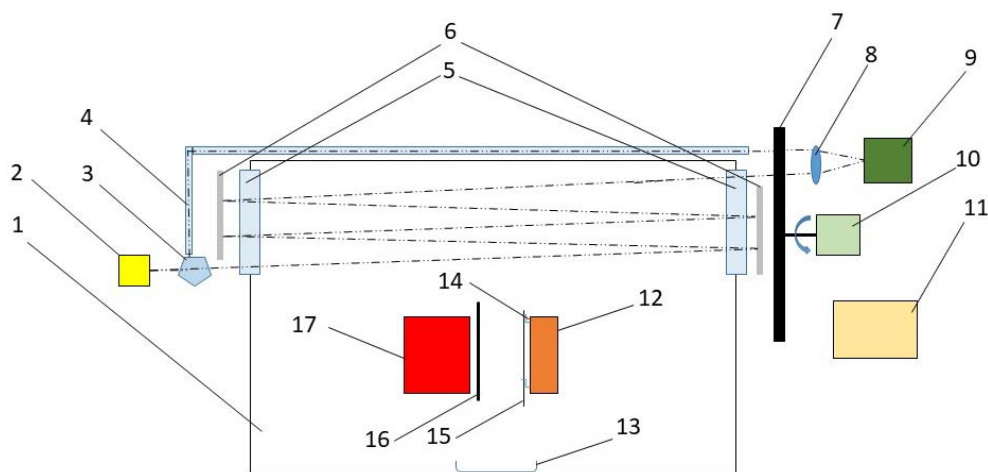


Рис. 1. Блочно-функциональная схема испытательной камеры:

1 – испытательная камера; 2 – источник излучения; 3 – призма; 4 – оптоволокну; 5 – прозрачные окна; 6 – зеркала; 7 – дисковый модулятор; 8 – собирающая линза; 9 – фотоприемный элемент; 10 – мотор; 11 – контроллер управления; 12 – съемный теплоизоляционный экран; 13 – поддон; 14 – держатель образца; 15 – испытуемый образец; 16 – съемный экран; 17 – инфракрасный нагревательный элемент

Испытуемый образец 15 закрепляется в специальном держателе 14 с теплоизоляционным экраном. Экран является съемным и препятствует отводу тепла с обратной стороны образца, и используется в случае тонких образцов. Если образец толстый, можно обойтись без экрана. Кабели необходимо расположить плотно, в контакте друг с другом. Под образцом находится поддон 13, в котором могут собираться жидкие полимерные массы, образованные в результате оплавления и разрушения структурной целостности оболочки образца.

В ходе испытания выделяются продукты дымообразования. Свет от источника излучения 2 попадает на призму 3, где он разделяется на два потока: первый проток проходит сквозь прозрачные окна камеры и многократно отражается от зеркал, расположенных за пределами камеры, позже через модулятор 7 он попадает на собирающую оптическую линзу 8 и, в конечном итоге, на фотоземента 9. Второй световой поток проходит через оптоволокну 4, далее проходит сквозь модулятор и собирающую линзу 8 и, в конечном итоге, тоже попадает на фотоземента. С помощью модулятора световые потоки попадают на фотоземента поочередно: это дает возможность исключить как помехи, образованные нестабильностью источника излучения (в частности и в иных установках используются системы на галогеновых лампах со стабилизацией по напряжению), так и избежать ошибок из-за различия спектральных характеристик фотоприемников, в случае использования нескольких фотоприемников. Контроллер управ-

ления 11 обрабатывает информацию с фотозлемента, управляет модулятором и вытяжной системой. Возможен расчет оптической плотности на микроконтроллере и вывод результатов на экран либо передача информации на персональный компьютер для дальнейшего анализа.

Необходимо получить однородную задымленность для точного анализа, однако проблема перемешивания воздушных масс в камере тесно связана с распределением кислорода в камере. Малый объем камеры затрудняет получение однородного дыма и требует принудительного перемешивания. Что негативно сказывается на условиях испытаний.

Так как камера герметична и количество кислорода в ней ограничено, то процесс дымообразования в связи с окислением имеет насыщение. При увеличении объема испытательной камеры влияние данного фактора снижается. Однако одновременно с этим снижается однородная задымленность.

Для уменьшения эффекта фоновой засветки от горящего образца, а также инфракрасного нагревателя рекомендуется помещение фоточувствительного элемента в длинную трубку с черным внутренним матовым покрытием и коллиматором на другом конце.

В свою очередь, внутренняя поверхность камеры также должна быть темной и матовой для снижения количества отражений и легко доступна для очистки. В данной стенде полностью открывающаяся передняя стенка обеспечивает полный доступ к очистке фотометрической системы и стенок камеры.

При тлении образца в тот момент, когда уже будет выделяться дым, возможно выделение горючих газов. Если горящие кабели окажутся силовыми, то после потери полимерным изоляционным материалом своих свойств, существенно повышается вероятность возникновения искры [5]. Необходимо предусмотреть систему дожигания газов для имитирования условий естественного пламенного горения. Она может быть электроискровой или газовой горелкой малой мощности, чей вклад в нагрев образца, выжигание кислорода и создание задымленности будет весьма незначительным.

Так как дым имеет значение для визуального восприятия желательного измерения приводить к кривой чувствительности глаза. Для этого спектральные характеристики источника излучения и приемника должны соответствовать кривой чувствительности глаза. Источник света должен быть непрерывного спектра (лампы накаливания), чтобы исключить влияние возможного наложения спектральных линий излучения источника и линий резонансного поглощения дымовой среды.

Применение дискового модулятора накладывает определенные требования на фотометрическую систему со стороны динамических характеристик фотоприемника. Приходится искать компромисс между динамическими и спектральными характеристиками. В установке используется фоторезистор СФ4-2 с небольшой инерционностью (постоянная времени $\tau = 30$ мкс), хоть и по спектральной характери-

стике это не самый лучший фоторезистор для испытательной камеры.

Выводы

Из проведенного анализа следуют дальнейшие задачи развития систем контроля задымленности среды: разработка управляемых и стабилизированных источников нагрева, усовершенствование источников освещения с целью обеспечения равномерного и стабильного светового потока, разработка фотоприемных систем с модуляцией светового потока и автоматической коррекцией погрешности, внедрение микроконтроллеров для обработки результатов измерения и управление процессом контроля и исследования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Попов, Д. А. Применение кабелей при проектировании / Д. А. Попов // Новая техника и технология. – 2015. – № 10. – С. 8–11.
2. Асеева, Р. М. Горение полимерных материалов / Р. М. Асеева, Г. Е. Заиков. – Москва : Химия. 1981. – 272 с.
3. Новицкий, К. Л. Оптико-электронные приборы для научных исследований / Л. А. Новицкий [и др.]. – Москва : Машиностроение, 2006. – 432 с.
4. Измерение плотности дыма при горении кабелей в заданных условиях. Испытательное оборудование : ГОСТ ИЕС 61034-1-2011 ; введ. 01.01.2013. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 17 с. – (Межгосударственный стандарт).
5. Описание изобретения к авторскому свидетельству 871048 (61) [Электронный ресурс] / Способ определения горючести электрических кабелей. – 2014. – Режим доступа: <http://www.findpatent.ru/patent/87/871048.html/> (дата обращения: 28.03.2018).
6. Черкасов, В. Н. Пожарная безопасность электроустановок / В. Н. Черкасов, Н. П. Костарев. – Москва : Академия ГПС МЧС России, 2002. – 377 с.

УДК 621.315.175

С. С. Дементьев, О. А. Колганов

ОПТИЧЕСКИЙ МЕТОД ДИАГНОСТИКИ ОЛЕДЕНЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛЭП НА ГИБКИХ ОПОРАХ*

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: c165tc34@yandex.ru

В статье рассмотрен принцип функционирования системы видеоконтроля прогибов линейных опор для мониторинга оледенения воздушных ЛЭП (ВЛЭП). Приведено описание предлагаемого метода, а также конструкции экспериментальной установки. Изложены результаты опыта по исследованию режима нагружения гибких линейных опор. Сделан вывод о целесообразности применения оптико-электронной измерительной системы ввиду простоты монтажа ее элементов и высоких метрологических характеристик.

Ключевые слова: интеллектуальные сети, мониторинг ВЛЭП, видеоизмерения, диагностика гололедообразования.

© Дементьев С. С., Колганов О. А., 2018

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

S. S. Dementyev, O. A. Kolganov

OPTICAL METHOD FOR DIAGNOSING ICING OF OHL ON FLEXIBLE TOWERS

Volgograd State Technical University

The principle of functioning of the video control system of deflections of linear towers for monitoring the icing of overhead power lines (OHL) is considered in the article. A description of the proposed method and the design of the experimental setup is given. The results of the experiment on the study of the loading regime of flexible linear supports are presented. The conclusion about the expediency of using the optoelectronic measuring system due to the ease of mounting its elements and high metrological characteristics is made.

Keywords: smart grids, OHL monitoring, video measurements, icing diagnostics.

Контроль состояния воздушных линий электропередачи (ВЛЭП) является необходимым условием обеспечения бесперебойного электроснабжения. Потребность в устройствах автоматического сбора информации о состоянии линий – прежде всего оледенении – продиктована экстремальным климатическим воздействием, а также физическим устареванием ВЛЭП. Внедрение подобных устройств может рассматриваться как один из этапов формирования электрических сетей нового поколения – *smart grids* («умных» сетей). Одной из особенностей *smart grids* является возможность автоматического переконфигурирования системы электроснабжения при аварийных отключениях ее отдельных участков, например – пострадавших от оледенения ВЛЭП [3].

В настоящее время большинство устройств мониторинга гололедообразования реализуют метод непосредственного измерения веса отложений. Данный метод требует значительного изменения конструкции линий, а именно установки тензометрических датчиков между траверсой опоры и гирляндой изоляторов ВЛЭП. Высокая стоимость и сложность монтажа датчиков веса привели к их относительно малому распространению даже в условиях объективной необходимости устройств такого назначения [1]. В связи с этим разработка новых методов мониторинга оледенения – бесконтактных, высокоточных и простых в реализации – остается актуальной задачей.

Помимо увеличения веса проводов, очевидно, что нарастание гололедных отложений вызывает упругую деформацию линейной опоры вдоль ее вертикальной оси. Данное явление имеет место на линиях, выполненных на стальных многогранных или композитных опорах, которые относятся к классу «гибких» опор [5]. Таким образом, для диагностики гололедообразования возможно использование оптического метода, аналогичного тому, который нашел применение для определения деформации высотных конструкций [2].

Техническая реализация метода

С целью реализации предлагаемого метода разработана оптико-электронная система для измерения деформации при отклонении гибкой опоры ВЛЭП по координатам x и y , а также устройство для определения z -координаты с помощью оптического дальномера [5].

Процесс контроля механических нагрузок включает в себя несколько операций. Первый этап подразумевает обработку информации о засветке ПЗС-матрицы от точечного источника света. На данном шаге осуществляется поиск области изображения (стоп-кадра), в которой находится пятно засветки, после чего определяются координаты центра тяжести пятна засветки, а также величина его смещения относительно начала координат.

Определение координат светового пятна осуществляется путем поиска и распознавания на стоп-кадрах фрагмента, соответствующего шаблонному (эталонному) изображению ТИС.

На рис. 1 показана схема измерительной системы, которая содержит точечный источник света (ТИС) 1, закрепленный на вершине опоры и снабженный защитным экраном, а также видеокамеру 2 с длиннофокусным объективом, устанавливаемую у основания стойки вместе с лазерным дальномером 3. Кроме того, в состав системы входит датчик ветрового давления на опору 4 (анеморумбометр) и блок обработки информации 5, на вход которого поступают сигналы с элементов 2, 3, 4.

Для дополнительного устранения бликов и шумовых засветок возможно введение в оптический канал наблюдения перед длиннофокусным объективом согласованного спектрального фильтра.

Как видно из рис. 1, при прогибе опоры точечный источник света смещается относительно оптической вертикальной оси и данное отклонение регистрируется видеокамерой 2, а лазерный дальномер 3 позволяет определить вертикальное смещение опоры. Выделение ветровой нагрузки из общего гололедно-ветрового

механического воздействия производится с помощью анеморумбометра 4.

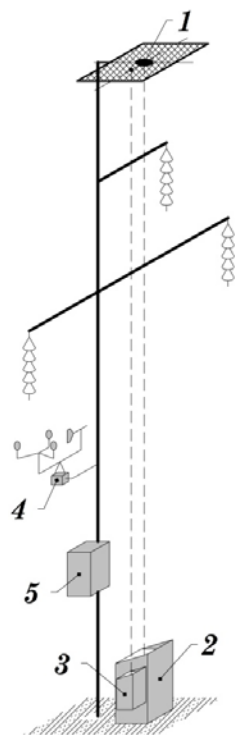


Рис. 1. Структурная схема системы контроля гололедных нагрузок по прогибу опоры

Данные видеорегистрации положения ТИС поступают на блок обработки информации 5. В качестве этого элемента системы предлагается использовать компьютер, оснащенный пла-

той видеозахвата (фрейм-граббером) для оцифровки и ввода в видеопамять изображений с аналоговой видеокамеры. Программное обеспечение (ПО) компьютера используется для автоматической обработки видеоинформации и расчета параметров оледенения с учетом ветрового давления. Полученные данные могут использоваться для определения интенсивности гололедообразования и прогнозирования аварий на отдельных участках линии.

Исследование деформации опоры

Эмпирическое подтверждение возможности диагностирования гололедных нагрузок на линию по прогибу ее опор было получено с помощью экспериментальной установки (ЭУ), схема которой приведена на рис. 2.

ЭУ установка включает в себя жесткую металло-деревянную платформу 1, на которой располагаются две вспомогательных гибких, выполненных из поливинилхлорида и алюминия опоры 2, а также опора 3, отличающаяся тем, что снабжена точечным источником света (ТИС) 4 (в виде светодиода с драйвером питания) и экраном 5. Излучение ТИС регистрируется аналоговой камерой видеонаблюдения 6, установленной у основания опоры 3. Передача аналогового видеосигнала от камеры выполняется в формате PAL, при этом оцифровывание и ввод в память компьютера 7 осуществляется с помощью платы видеозахвата (фрейм-граббера).

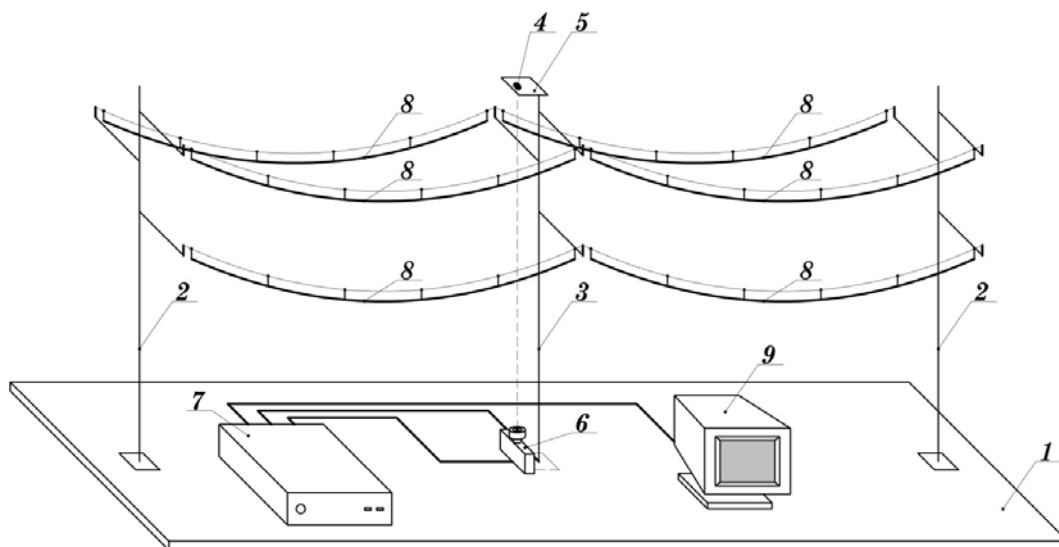


Рис. 2. Схема ЭУ по исследованию деформации гибких опор ВЛЭП

Подвешиваемые к проводам грузы 8 (реализованные в виде изогнутых в форме параболы стальных проволок) имитируют распределенную

гололедную нагрузку. Наличие на проводах дополнительного веса приводит к изгибу опоры и отклонению ТИС. Фиксируемое видеокаме-

рой 6 перемещение ТИС 4 транслируется на монохромный монитор видеонаблюдения 9.

Внешний вид экспериментальной установ-

ки, блока обработки информации, а также изображение ТИС на экране монитора приведены на рис. 3.

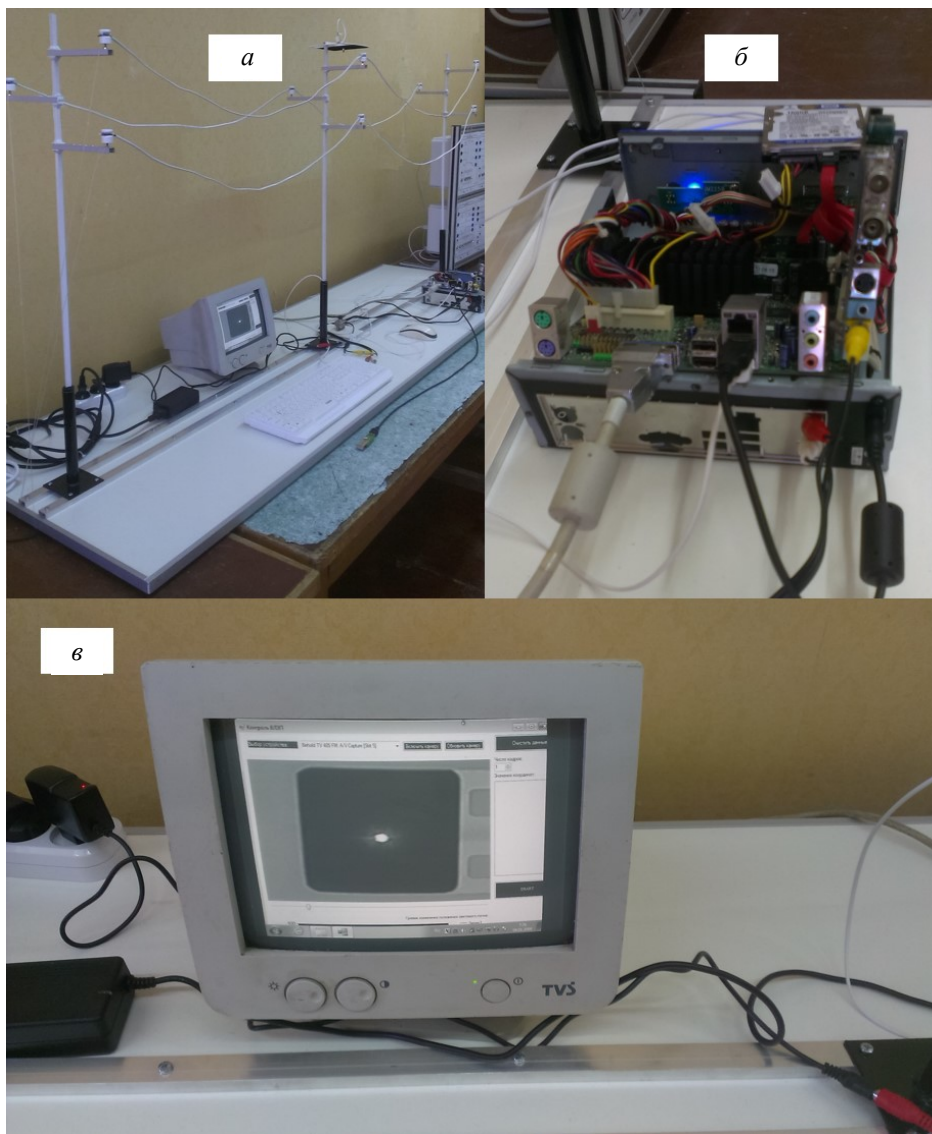


Рис. 3. Экспериментальная установка: внешний вид (а), блок обработки информации – компьютер с фрейм-граббером (б), монохромный монитор с изображением ТИС на экране (в)

Математическая модель изгиба выполненной из поливинилхлорида опоры реализуется в программном обеспечении ЭУ. Данная модель была получена следующим образом.

Опора ЭУ (рис. 4, а) представляет собой гибкий консольный стержень высотой h и жесткостью поперечного сечения на изгиб EJ (где E – модуль упругости материала стержня, Па; J – геометрический момент инерции поперечного сечения стержня), нагруженный тремя идентичными силами G , имеющими не меняющийся в процессе деформации эксцентриситет

$a_1=a_2=a_3=a$ и приложенными на высотах h_1, h_2, h_3 .

Заменим систему параллельных сил G равнодействующей $F = 3G$ (рис. 4, б), при этом высота точки приложения эквивалентной силы исходя из теоремы Вариньона будет определяться как

$$h_{\text{экв}} = \frac{h_1 + h_2 + h_3}{3}, \quad (1)$$

а эксцентриситет

$$e = \frac{a_1 - a_2 + a_3}{3}. \quad (2)$$

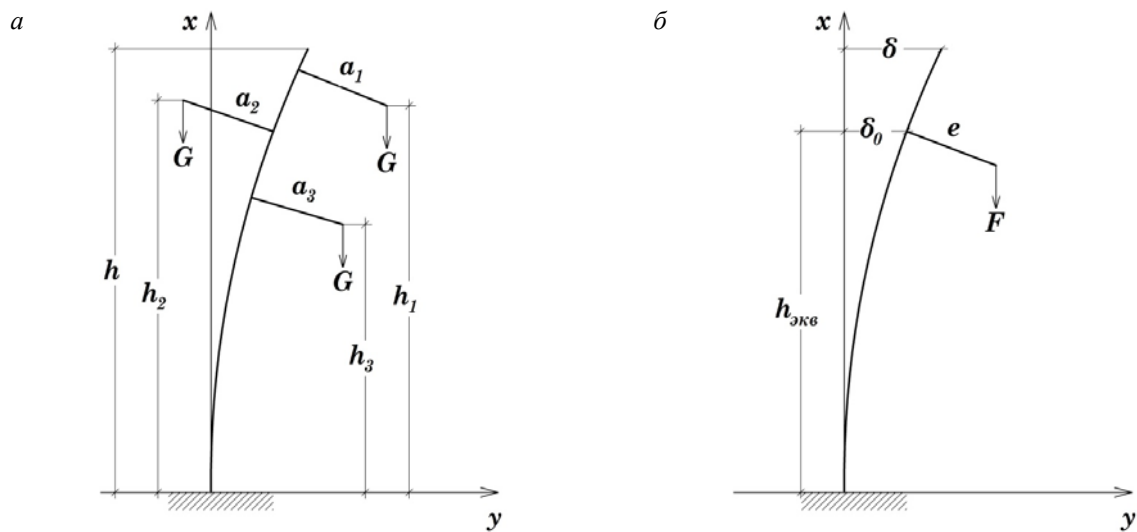


Рис. 4. Продольный изгиб гибкой опоры ЭУ

Обозначим через δ перемещение верхнего конца стержня (отклонение ТИС), а δ_0 – на уровне $h_{\text{экв}}$. Выражение для изгибающего момента в произвольном сечении стержня запишется в виде:

$$M = F(\delta + e - \delta_0),$$

а дифференциальное уравнение прогибов стержня:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{F}{EJ}(\delta + e - \delta_0), \quad (3)$$

при этом геометрический момент инерции поперечного сечения стержня:

$$J = \frac{1}{12}(\beta \cdot \alpha^3 - (\beta - \tau)(\alpha - \tau)^3),$$

где α , β – стороны прямоугольника в поперечном сечении опоры ЭУ, м; τ – толщина стенки опоры, м.

Введя обозначение $n^2 = F/EJ$, уравнение (3) можем представить в виде неоднородного дифференциального уравнения следующего вида [4]:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + n^2 y = n^2(\delta_0 + e). \quad (4)$$

Решение уравнения (4) записывается в виде суммы общего и частного решений:

$$y(x) = A \sin nx + B \cos nx + \delta_0 + e,$$

где A , B – постоянные, определяемые исходя из граничных условий $x = 0, y = 0$; $x = 0, y' = 0$; $x = h_{\text{экв}}, y = \delta_0$. Используя данные граничные условия, находим

$$A = 0, B = -(\delta_0 + e) = -\frac{e}{\cos nh_{\text{экв}}}.$$

Таким образом, с учетом равенств (1), (2) получим уравнение прогибов опоры экспериментальной установки:

$$y(x) = \frac{a_1 - a_2 + a_3}{3 \cos \left[\frac{1}{3} \sqrt{\frac{3G}{EJ}} (h_1 + h_2 + h_3) \right]} \left[1 - \cos \left(\sqrt{\frac{3G}{EJ}} x \right) \right]. \quad (5)$$

Линия прогибов опоры ЭУ в ходе эксперимента в момент приложения к проводам нагрузки $G = 0,179$ Н изображена на рис. 5.

Очевидно, что при $y = \delta$ и $x = h$ аналитическое решение уравнения (5) относительно искомого параметра G (веса, прикладываемого

к каждому проводу ЭУ) практически невозможно. В связи с этим в программе ЭУ поиск значения G , соответствующего отклонению ТИС δ , осуществляется посредством итерационного приближения с задаваемой пользователем точностью Δ .

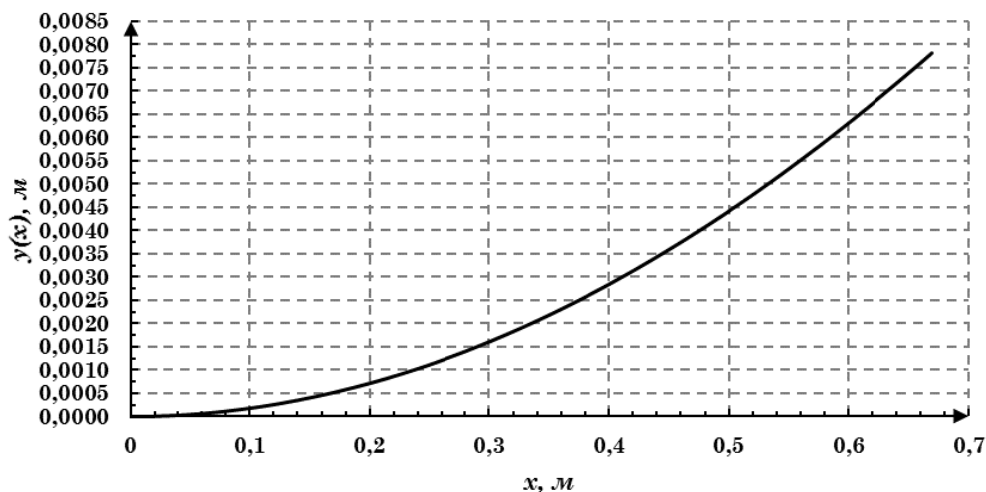


Рис. 5. График прогибов опоры ЭУ

Отметим, что величина смещения ТИС определяется по завершении процесса успокоения опоры после ее нагружения. Расчет режима нагружения опоры ведется с учетом собственного веса провода.

В результате проведенного опыта было установлено, что прикладываемая к каждому проводу нагрузка $G = 0,179$ Н вызывает смещение ТИС $\delta = 8$ мм. Найденное программно значение веса составило $G' = 0,162$ Н, что соответствует погрешности 9,72 %. Данная погрешность связана с трудно учитываемым наличием продольных ребер жесткости в гибких опорах (изготовленных из кабель-каналов малого сечения), отличным от нулевого веса траверс, а также приводимым в справочниках ориентировочным значением модуля упругости поливинилхлорида.

Выводы

Предлагаемый оптический метод диагностики оледенения ВЛЭП является полностью бесконтактным и потому наиболее простым, и удобным для реализации. На сегодняшний день возможность применения данного метода на линиях, выполненных на гибких опорах, доказана в лабораторных условиях. Тем не менее

можно полагать, что разработанная оптико-электронная измерительная система, не требующая установки тензометрических датчиков, имеет перспективы широкого внедрения в том числе в составе интеллектуальных электрических сетей (smart grids).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Башкевич, В. Я. Мониторинг воздушных линий электропередачи, эксплуатируемых в экстремальных метеословиях: монография / В. Я. Башкевич [и др.]. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2013. – 244 с.
2. Пат. 2506536 Российская Федерация, МПК G01B11/03. Способ субпиксельного контроля и слежения за перемещением удаленного объекта / Брюховецкий А. П., Бугаев Ю. Н., Суетенко А. В., Третьяков В. И., Усс М. О.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «НИУ «МЭИ». – № 2012113408/28; заявл. 09.04.2012; опубл. 10.02.2014, Бюл. № 4. – 15 с.
3. Желонкин, А. В. Будущее – за интеллектуальными электросетями / А. В. Желонкин, А. В. Белявский // Энергетика Татарстана. – 2010. – № 3. – С. 13–21.
4. Лукьянов, А. М. Расчет сжатых стержней на устойчивость и продольно-поперечный изгиб: метод. указания / А. М. Лукьянов, М. А. Лукьянов, А. И. Марасанов. – М.: МИИТ, 2012. – 48 с.
5. Шилин, А. Н. Оптический метод регистрации прогибов линейной опоры для диагностики ЛЭП / А. Н. Шилин, С. С. Дементьев // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2018. – Т. 61, № 6. – С. 490–497.

УДК 621.313.13

*Д. Г. Сницарук, И. А. Коптелова***ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ
УМНЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: norzes@mail.ru

Основная проблема при проектировании умных электромеханических систем (SEMS) заключается в обоснованном выборе узлов и элементов, которые отличаются большим разнообразием по функциональным возможностям, техническим характеристикам и их стоимости. В настоящее время отечественными и зарубежными фирмами выпускается очень большое количество приборов, узлов и элементов. Из этого следует, что проектирование SEMS является слабо формализованной задачей. Поэтому для обоснованного выбора узлов и элементов SEMS робототехнических комплексов необходимы методы решения многокритериальных оптимизационных задач при нечетком представлении информации. При проектировании сложных технических систем на практике в основном используются эвристические методы. Цель исследования заключается в формализации процесса проектирования SEMS робототехнических комплексов и разработка алгоритма для автоматизированной системы проектирования. Техническое задание на проектирование SEMS должно содержать сведения о функциях проектируемой системы, перечень требований и ограничений к основным характеристикам. Причем частные характеристики систем необходимо объединять в общие показатели качества, а менее значимые характеристики исключать. Кроме того, для уменьшения общего числа эксплуатационных характеристик до числа наиболее существенных необходимо исследовать их взаимную корреляцию и совместимость. Результаты работы заключаются в разработанной методике проектирования SEMS, которая основана на методе парных сравнений и расстановки приоритетов. Предложенный метод использует методику разбиения сложной задачи на более простые, что позволяет формализовать задачу многокритериальной оптимизации выбора технического решения из множества альтернатив при нечетком представлении информации. На основе предложенной методики разработана автоматизированная система проектирования SEMS. Результаты, полученные с помощью автоматизированной системы, совпадают с результатами, полученными коллективами и опытными специалистами, но за более длительный промежуток времени. Разработанная автоматизированная система позволяет значительно сократить время и повысить достоверность принятия решений при выборе альтернативных вариантов. Система обладает универсальностью настройки и имеет интуитивно понятный интерфейс, что позволяет эксперту не иметь высоких навыков в работе с ней. С помощью этой системы была разработана оптико-электронная система контроля геометрических параметров крупногабаритных деталей.

Ключевые слова: системный анализ, теория принятия решений, метод анализа иерархий, морфологический синтез, матрицы парных сравнений, нейронные сети.

*D. G. Snitsaruk, I. A. Koptelova***INTELLECTUALIZATION OF THE PROCESS
OF DESIGNING SMART ELECTROMECHANICAL SYSTEMS****Volgograd State Technical University**

The main problem in the design of smart electromechanical systems (SEMS) is to justify the choice of components and elements, which is a great variety of functionality, performance and cost. Currently, domestic and foreign firms produce a very large number of devices, components and components. From this, it follows that designing SEMS is a poorly formalized task. Therefore, for a reasonable choice of nodes and elements of the SEMS of robotic complexes, methods for solving multi-criteria optimization problems with fuzzy representation of information are needed. In the design of complex technical systems, in practice, heuristic methods are mainly used. Formalization of the process of designing SEMS robotic complexes and the development of an algorithm for an automated design system. The Terms of Reference for the design of SEMS should contain information about the functions of the system being designed, a list of requirements and limitations to the main characteristics. Moreover, the particular characteristics of the systems should be combined into general quality indicators, and the less significant characteristics should be excluded. In addition, to reduce the total number of operational characteristics to the number of the most significant, it is necessary to investigate their mutual correlation and compatibility. *Results:* The SEMS design methodology was developed, which is based on the method of paired comparisons and prioritization. The proposed method uses the technique of partitioning a complex problem into simpler ones, which makes it possible to formalize the problem of multi-criteria optimization of the choice of a technical solution from a set of alternatives with fuzzy information representation. Based on the proposed methodology, an automated SEMS design system was developed. The results obtained with the help of an automated system coincide with the results obtained by teams and experienced specialists, but over a longer period. The developed automated system allows significantly reducing the time and increasing the reliability of decision making when choosing alternative options. The system is versatile and has an intuitive interface that allows the expert not to have high skills in working with it. With the help of this system, an optic-electronic system for controlling geometric parameters of large-sized parts was developed.

Keywords: system analysis, decision theory, hierarchy analysis method, morphological synthesis, matrices of paired comparisons, neural networks.

Введение

Основная проблема проектирования умных электромеханических систем (SEMS) заключается в обоснованном выборе уже разработанных основных компонентов проектируемой системы. Выпускаемые отечественными и зарубежными фирмами основные узлы и блоки отличаются большим разнообразием по функциональным возможностям, техническим характеристикам и их стоимости. На начальном концептуальном этапе проектирования технической системы разрабатывается функциональная блок-схема системы и осуществляется выбор ее блоков и элементов. Необходимо отметить, что именно на этом этапе проектирования закладываются потенциальные возможности системы, определяющие ее технические, эксплуатационные и экономические показатели. Выбор блоков и элементов системы из большого разнообразия выпускаемой продукции является слабо формализованной задачей и очень сложно проанализировать весь объем предлагаемой продукции и сделать обоснованный выбор. Задача выбора наиболее оптимального варианта из большого количества вариантов альтернативных решений усложняется тем, что все эти варианты характеризуются нечеткой информацией. Поэтому для обоснованного выбора узлов и элементов SEMS робототехнических комплексов необходимы методы решения многокритериальных оптимизационных задач при нечетком представлении информации.

Ранее считалось, что выработка решения в подобных задачах является искусством, основанным на опыте, знаниях и интуиции. Однако в современных условиях при решении сложных, масштабных, ответственных практических задач этого недостаточно. Поэтому в настоящее время интенсивно развиваются научные методы анализа и синтеза технических решений, появились новые прикладные научные дисциплины: исследование операций, теория принятия решений, системный анализ, в рамках которых созданы специальные информационно-аналитические технологии, опирающиеся на новые математические методы.

Для выбора технических решений из большого количества вариантов и с большим количеством параметров и характеристик целесообразно использовать методы функционально-стоимостного анализа (ФСА), который, в сущности, является морфологическим методом.

К индивидуальным экспертным методам, но дополняемым определенной математической

обработкой результатов, можно отнести метод парного сопоставления и метод расстановки приоритетов. Наиболее простым и получившим широкое распространение является метод парного сравнения (например, важности свойств, параметров, функций, элементов). Результаты такой экспертизы представляются в соответствующих матрицах.

Методика выбора электропривода

Далее рассмотрена методика выбора электропривода для контрольно-измерительного робота в технологических процессах производства крупногабаритного оборудования.

В табл. 1 приведены критерии, по которым оцениваются варианты технических решений, в табл. 2 – технические решения.

Таблица 1

Обозначения	Технические характеристики
d_1	Диапазон скоростей вращения
d_2	Надежность
d_3	Пусковой момент
d_4	Возможность интеграции с цифровыми системами управления
d_5	Габаритные размеры
d_6	Инвестиционные затраты

Таблица 2

Обозначения	Варианты технической реализации
X_1	Двигатель постоянного тока с регулятором напряжения
X_2	Асинхронный двигатель с частотным регулированием
X_3	Синхронный двигатель с частотным регулированием
X_4	Шаговый двигатель цифровым управлением
X_5	Линейный шаговый двигатель цифровым управлением

Оценка в соответствии с указанным выше методом осуществляется с помощью комплексных приоритетов $P_{i \text{ ком}}$ по формуле (1):

$$P_{i \text{ ком}} = \sum_{j=1}^n \beta'_j P'_{ij}, \quad (1)$$

где β'_j – относительный приоритет (значимость) j -го критерия; P'_{ij} – относительный приоритет i -го варианта по j -му критерию; n – количество критериев ($n = 6$).

На первом этапе определяются значимости критериев (табл. 3). Для этого строится квадратная матрица приоритетов. В столбцах и строках записываются номера критериев, а на пересечении – коэффициенты (1,5; 1,0; 0,5), указывающие, какой вариант предпочтительнее. Следующий этап предусматривает последовательное определение абсолютных приоритетов $\sum$ вариантов. Для расчета β_j каждая строка (d_1-d_6)

в матрице умножается на вектор-столбец $\sum$. Для получения нормированного значения, т. е. относительного β_j необходимо разделить на $\sum_{i=1}^6 \beta_j$. По нормированному значению β_j вычисляются приоритеты критериев (табл. 4).

Необходимо отметить, что число градаций может быть увеличено, но при нечетком представлении информации возникает сложность задания коэффициента превосходства.

Таблица 3

Индекс критерия	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6	$\sum$	β_j	β'_j
d_1	1	1,5	1	1,5	1,5	1,5	8	46	0,227
d_2	0,5	1	0,5	0,5	1,5	1,5	5,5	31,25	0,155
d_3	1	1,5	1	1,5	1,5	1,5	8	46	0,227
d_4	0,5	1,5	0,5	1	1,5	1,5	6,5	39,25	0,194
d_5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1,5	4,5	24	0,119
d_6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	3,5	15,75	0,0779
Всего:								202,25	1

Таблица 4

Порядок приоритета параметров

Приоритет	1	2	3	4	5
Критерии	d_1, d_3	d_4	d_2	d_5	d_6

Из проведенного анализа следует, что для контрольно-измерительного робота приоритетными критериями являются диапазон скоростей и пусковой момент.

На втором этапе строятся квадратные матрицы для каждого из критериев. Для этого также применяют метод расстановки приоритетов

с той лишь разницей, что объектами сопоставления теперь являются не критерии оценки, а варианты решений. Этот этап предусматривает последовательное определение абсолютных приоритетов P_{ij} вариантов, а затем – относительных P'_{ij} , которые вычисляются в долях единицы. Для расчета P_{ij} каждая строка (X_1-X_5) в матрице умножается на вектор-столбец $\sum$. Нормированные значения, т. е. относительные P'_{ij} , получаются делением P_{ij} на $\sum_{i=1}^m P_{ij}$. По этому правилу для каждой таблицы критерия вычисляются приоритеты P'_{ij} .

Таблица 5

Индекс варианта	Матрица смежности по 1 критерию					$\sum$	P_{ij}	P'_{ij}
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5			
X_1	1	1,5	1,5	1	1,5	6,5	31,25	0,2637131
X_2	0,5	1	1	0,5	0,5	3,5	16,75	0,1413502
X_3	0,5	1	1	1	1,5	5	23,75	0,2004219
X_4	1	1,5	1	1	1,5	6	28,75	0,242616
X_5	0,5	1,5	0,5	0,5	1	4	18	0,1518987
Всего						25	118,5	1

Таблица 6

Индекс варианта	Матрица смежности по 2 критерию					Σ	P_{il}	P'_{ij}
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5			
X_1	1	0,5	0,5	0,5	0,5	3	14	0,1212121
X_2	1,5	1	1,5	1	1,5	6,5	31	0,2683983
X_3	1,5	0,5	1	0,5	0,5	4	17,5	0,1515152
X_4	1,5	1	1,5	1	1,5	6,5	31	0,2683983
X_5	1,5	0,5	1,5	0,5	1	5	22	0,1904762
Всего						25	115,5	1

Таблица 7

Индекс варианта	Матрица смежности по 3 критерию					Σ	P_{il}	P'_{ij}
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5			
X_1	1	1,5	0,5	0,5	0,5	4	18,5	0,1574468
X_2	0,5	1	1,5	0,5	0,5	4	18,5	0,1574468
X_3	1,5	0,5	1	0,5	0,5	4	18,5	0,1574468
X_4	1,5	1,5	1,5	1	1	6,5	31	0,2638298
X_5	1,5	1,5	1,5	1	1	6,5	31	0,2638298
Всего						25	117,5	1

Таблица 8

Индекс варианта	Матрица смежности по 4 критерию					Σ	P_{il}	P'_{ij}
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5			
X_1	1	0,5	0,5	0,5	0,5	3	14	0,1206897
X_2	1,5	1	1	0,5	0,5	4,5	20	0,1724138
X_3	1,5	1	1	0,5	0,5	4,5	20	0,1724138
X_4	1,5	1,5	1,5	1	1	6,5	31	0,2672414
X_5	1,5	1,5	1,5	1	1	6,5	31	0,2672414
Всего						25	116	1

Таблица 9

Индекс варианта	Матрица смежности по 5 критерию					Σ	P_{il}	P'_{ij}
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5			
X_1	1	0,5	1	0,5	0,5	3,5	16	0,1385281
X_2	1,5	1	1,5	0,5	0,5	5	22	0,1904762
X_3	1	0,5	1	0,5	0,5	3,5	16	0,1385281
X_4	1,5	1,5	1,5	1	1,5	7	34	0,2943723
X_5	1,5	1,5	1,5	0,5	1	6	27,5	0,2380952
Всего						25	115,5	1

Таблица 10

Индекс варианта	Матрица смежности по критерию					Σ	P_{Π}	P'_{ij}
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5			
X_1	1	0,5	1,5	0,5	0,5	4	18	0,1518987
X_2	1,5	1	1,5	0,5	0,5	5	22,5	0,1898734
X_3	0,5	0,5	1	0,5	1	3,5	17,25	0,1455696
X_4	1,5	1,5	1,5	1	1	6,5	31,25	0,2637131
X_5	1,5	1,5	1	1	1	6	29,5	0,2489451
Всего						25	118,5	1

Таблица 11

Критерии значимости β'_j	Относительный приоритет по каждому варианту				
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
0,2274413	0,263713	0,14135	0,200422	0,242616	0,151899
0,1545117	0,121212	0,268398	0,151515	0,268398	0,190476
0,2274413	0,157447	0,157447	0,157447	0,26383	0,26383
0,1940667	0,12069	0,172414	0,172414	0,267241	0,267241
0,118665	0,138528	0,190476	0,138528	0,294372	0,238095
0,0778739	0,151899	0,189873	0,14557	0,263713	0,248945
Комплексный приоритет	0,166207	0,180278	0,166039	0,263988	0,223487

Затем вычисляется комплексный показатель (приоритет) для каждого из вариантов $P_{i \text{ ком}}$ (табл. 11), который определяется как сумма произведений относительных приоритетов объекта на относительные приоритеты критериев. В последней строке указаны комплексные приори-

теты, которые получились путем суммирования произведений элементов первого и последующих столбцов таблицы.

Вариант, получивший наибольшее значение $B_{i \text{ ком}}$, может считаться лучшим из всех остальных. В рассматриваемом примере это $P_{I \text{ ком}} = 0,263988$.

Таблица 4

Критерий значимости, β'_j	Относительный приоритет по каждому варианту				
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
0,2506	0,2672	0,1724	0,1207	0,1724	0,2672
0,2103	0,1385	0,1385	0,2944	0,1905	0,2381
0,1448	0,2426	0,1362	0,2426	0,2426	0,1362
0,1751	0,2638	0,1574	0,1574	0,1574	0,2638
0,0995	0,2426	0,1362	0,1362	0,2426	0,2426
0,1197	0,2906	0,1581	0,1581	0,1581	0,2350
Комплексный приоритет	0,2363	0,1521	0,1873	0,1890	0,2352

По этому методу наибольший комплексный показатель имеет шаговый двигатель.

Заключение

Предложенная методика позволяет в процессе многовариантного поиска уже на начальном

этапе работать только с достоверными, взаимозависимыми и согласованными данными и исключать незначимые результаты, а также оказывать помощь эксперту в затруднительных ситуациях, связанных с расстановкой приоритетов,

указывающих предпочтительность альтернатив и критериев, и соответственно более обоснованно выбирать оптимальный вариант технического решения.

Рассмотренные методы индивидуальных экспертных оценок, даже с их математической обработкой, все же не позволяют избежать субъективизма. Для преодоления этого недостатка, особенно в тех случаях, когда нужно получить долговременные значения тех или иных показателей, например, значимость функций в типовых функциональных моделях, прибегают к проведению коллективной экспертизы. Увеличение числа экспертов при коллективной

экспертизе может быть увеличено с помощью интернета, причем привлекаться могут ведущие специалисты из разных творческих коллективов и научных школ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шилин, А. Н. Морфологический синтез оптико-электронных систем измерения размеров нагретых деталей / А. Н. Шилин, И. А. Шилина (И. А. Коптелова) // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2003. – № 3.
2. Шилин, А. Н. Автоматизация концептуального проектирования оптико-электронных систем измерения размеров нагретых деталей / А. Н. Шилин, В. В. Будько, И. А. Коптелова // Приборы. – 2006. – № 4.

УДК 662.621

И. И. Попов, И. А. Коптелова

АНАЛИЗ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: shilina@yandex.ru

В статье приведен анализ методов и средств для измерения напряжений и токов утечек проводов, жгутов и кабелей, а также методов и средств контроля целостности электрических цепей в промышленных приборах. На основе анализа выявлены недостатки существующих программных тестеров и изложены основные варианты улучшения технологического процесса при производстве промышленных приборов.

Ключевые слова: Электрические кабели. Программируемые тестеры. Модульное конструирование. Импульсная характеристика. Сопротивление изоляции.

I. I. Popov, I. A. Koptelova

ANALYSIS OF METHODS AND MEANS OF CONTROL OF ELECTRICAL CIRCUITS IN INSTRUMENT

Volgograd State Technical University

The article presents an analysis of methods and tools for measuring voltages and currents of leakage of wires, harnesses and cables, as well as methods and means of controlling the integrity of electrical circuits in industrial devices. Based on the analysis, the shortcomings of existing software testers are revealed and the main options for improving the technological process in the production of industrial devices are presented.

Keyword: Electrical cables. Programmable tester. A modular design. Impulse response. Insulation resistance.

В настоящее время в связи с развитием судостроительной промышленности России непрерывно увеличивается потребность в приборах контроля и управления для этих судов. На приборостроительных предприятиях наиболее трудоемкой и длительной по времени операцией является контроль готовой продукции. Операции контроля в основном выполняются вручную, что является причиной увеличения стоимости и снижения качества выпускаемых приборов. Одной из основных операций контроля является проверка электрических соединитель-

ных цепей, поэтому основной проблемой контроля является внедрение автоматизированных систем контроля. Решению этой задачи и посвящена эта статья, а именно разработке автоматизированной системы.

При изготовлении приборов для морских судов предъявляются повышенные требования к некоторым видам испытаний. Такие испытания, как сопротивление изоляции (ГОСТ 24606.2-81) и электрическая прочность (ГОСТ 31996-2012), являются основными при контроле уже собранного прибора.

Также стоит учитывать, что при проектировании приборов для морских судов разработчики используют модульный принцип конструирования, который описан в ГОСТ Р МЭК 60917-1-2011. С учетом этих требований и необходимо разработать программно-аппаратный комплекс для контроля таких приборов.

В существующих установках используют двух- или четырехпроводную схемы измерения:

- измерение сопротивления цепи по двухпроводной схеме выполняется путем подачи заданного тока и измерения напряжения между двумя точками;

- в четырехпроводной схеме (мост Кельвина) матрица переключателей делится на два набора внутренних шин. Первая шина (питание) обеспечивает подачу тестового тока на мост Кельвина, а вторая (измерительная) измеряет напряжение на выводах тестируемого устройства. Измерительные точки имеют четные адреса, точки питания нечетные. [5]

Анализ модульного принципа конструирования

В 1960-х годах разрабатывался стандарт Евромеханики (МЭК 60297), который был основан на базе стандарта США ASA C 83.9. В 1980-х годах данный стандарт был дополнен спецификациями, которые определили типоразмеры устанавливаемых печатных плат в субблоки, а в 1983 году получил окончательную формулировку и определил габаритные размеры шкафов, разрабатываемых для установки субблоков.

В дальнейшем стандарт дополнялся и усовершенствовался, но основные параметры конструкции были уже определены и не изменялись. Данный стандарт нашел применение в промышленности, а именно в таких сферах деятельности, как телекоммуникационное, военное и транспортное оборудование.

Основным параметром в стандартах МЭК 60297 является размер 19 дюймов (482,6 мм), который является шириной передней панели блоков.

Высота каждого отдельного блока равняется 13/4 дюйма (44,45 мм). Тогда как субблоки имеют разную высоту, но обычно по стандарту рекомендуется использовать $3 \cdot 13/4$ дюйма (133,35 мм) или $6 \cdot 13/4$ дюйма (266,7 мм). Из чего следует, что стандартные размеры печатной платы, которая устанавливается в субблоки, составляет 100 мм в высоту и 160 или 220 мм в глубину [4].

Необходимо учитывать, что глубина печатной платы может изменяться. Однако шаг должен меняться в пределах 60 мм. Данная особенность хорошо показана на рис. 1. Также высоту печатной платы тоже можно менять с шагом 13/4 дюйма. [4]

Субблоки представляют собой монтажные каркасы. Они состоят из двух боковых панелей с монтажными фланцами и минимум четырех поперечных несущих монтажных рельсов (рис. 1). Согласно стандарту МЭК 60297 к несущим рельсам крепятся направляющие с шагом 0,2 дюйма (5,08 мм). [4]

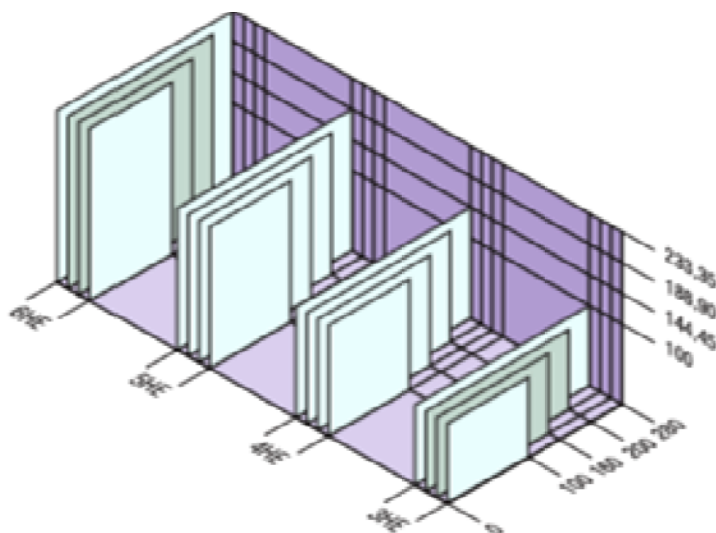


Рис. 1. Типоразмер печатных плат

Из рассмотренного выше можно сделать вывод, что при использовании модульного

принципа конструирования улучшается взаимосвязь разных блоков, субблоков, стоек, шка-

фов и т. д. При разработке приборов с помощью данного стандарта повышается их качество из-за минимальных различий в наладке оборудования, а также взаимозаменяемости.

Также в настоящее время проверка правильности электрического монтажа осуществляется в большинстве случаев в «ручную», из-за чего может снижаться качество изделия (человеческий фактор) и увеличиваться время на изготовление отдельного прибора. Для того чтобы уменьшить влияние данных факторов, необходимо использовать программируемые тестеры. Так как используется модульный принцип конструирования, то затраты на внедрение и наладку данных тестеров будут минимальны.

Анализ тестеров жгутов и кабелей, используемых на Российском рынке

Для контроля целостности электрической цепи, а также для тестирования сопротивления изоляции отдельно взятых проводов в промышленности используют тестеры жгутов и кабелей. На данный момент на рынке представлено множество моделей. Но необходимо выбрать ту модель, которая применима для приборов, сконструированных по модульному принципу.

Тестеры отечественного производства:

Лиана-P100E.

Тестер «Лиана-P100E» выпускается производителем ОАО «НПО «Радиян» (Санкт-Петербург). На сайте производителя технические данные на данный прибор отсутствуют. Также следует учитывать, что данная система не занесена в Госреестр, поэтому формально средством измерения не является. К недостаткам можно отнести то, что отсутствует четырехпроводная схема измерения, а максимальное напряжение для измерений 650 В. Максимально измеряемое сопротивление составляет 100 МОм, это значение является очень малым по сравнению с другими тестерами. Сопротивление изоляции с помощью этого тестера не измеряется.

ТЕСТ-9110 «Полет» (производитель – холдинг «Информтест»).

Данная система состоит из множества коммутаторов, которые можно дополнять в зависимости от потребностей на каждом отдельном производстве. Эти коммутаторы позволяют осуществлять необходимые измерения, а различаются они количеством установленных каналов для измерения и максимальным током.

Также следует учитывать, что выполняется данная система в нескольких стандартах, таких

как *VXI*, *AXIe*, *LXI*. У каждого стандарта есть свои достоинства и недостатки. Но главное преимущество – наличие одного программного обеспечения для использования.

Кабельный тестер «SYNOR5000» (производитель – Sefelec (Франция)).

Программное обеспечение для тестера «SYNOR5000» является метрологически значимым, т. е. является неизменным во время действия сертификата. Это является как преимуществом, так и недостатком.

Данный тестер комплектуется различными крос-платами (объединительными платами), которые подбираются по требованиям заказчика. Крос-плата объединяет в себе все нужные для измерений радиоэлектронные компоненты. Также он осуществляет все необходимые тесты жгутов и кабелей, и обладает гибким программным обеспечением.

Тестеры W454 и W434R.

W434R предназначен для измерения сопротивления изоляции и прочности изоляции. Но информация о том, на каких напряжениях эти измерения производятся, отсутствует. Согласно описанию типа W434 не «умеет» измерять сопротивление изоляции и не является высоковольтным тестером. Также, согласно описанию типа, этот прибор по своим параметрам соответствует низковольтным тестерам, которые дешевле примерно в десять раз. Тестер имеет коммутаторы по 64 канала, максимальное возможное число точек является 6600. Также данный тестер обладает высокой ценой.

При выборе тестера необходимо учитывать его параметры и виды испытания. Для гидроакустических систем связи одним из важных испытаний является «Сопротивление изоляции», так как приборы используются в условиях повышенной влажности. Для таких испытаний подходят тестеры SYNOR5000 и W454.

Теперь необходимо рассмотреть процесс измерения сопротивления изоляции.

Обзор процесса измерения сопротивления изоляции

Измерение сопротивления изоляции выполняет три функции:

- обнаружение коротких замыканий;
- измерение сопротивления в большом диапазоне при высоком напряжении;
- измерение электрической прочности изоляции.

Процесс проведения измерения сопротивления изоляции представлен на рис. 2:

1 – разряжается измерительная шина;
 2 – измеряется проводимость при низком напряжении для того, чтобы проверить наличие коротких замыканий. Если короткое замыкание было обнаружено, то процесс измерения прерывается;
 3 – если короткое замыкание отсутствует, то напряжение будет постепенно повышаться. При обнаружении пробоя на переднем фронте с программируемой крутизной измерение прерывается, при этом необходимо сохранить напряжение пробоя;

4 – напряжение будет поддерживаться на запрограммированном уровне запрограммированное время. Если обнаружится пробой на этом уровне, то измерение прекращается;

5 – в конце измерения напряжение понижается, и испытываемая цепь через сопротивление разряжается на землю.

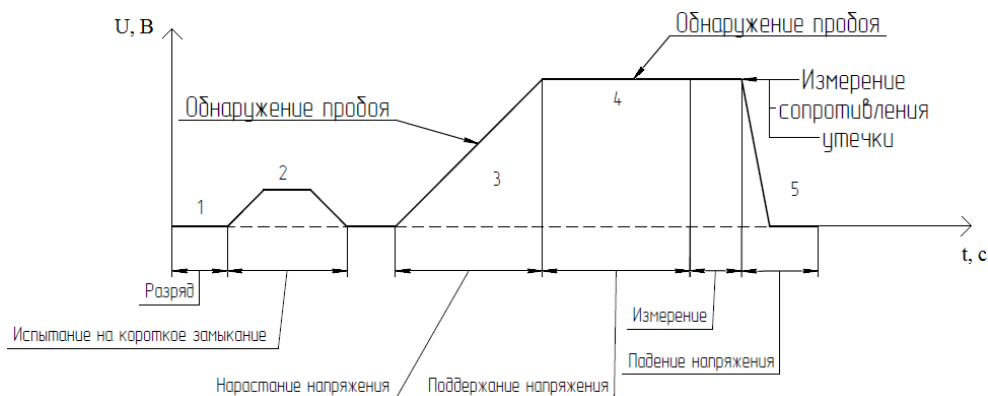


Рис. 2. Диаграмма входного воздействия постоянным током:

Также стоит учитывать, что при измерении прочности на пробой детектируется резкое увеличение тока с выходом за установленные пределы. В таком случае испытания на проверку короткого замыкания и высоковольтный тест должны быть пропущены из-за выхода за измеряемые пределы.

Рассмотрен процесс измерения сопротивления изоляции для постоянного тока. При определении напряжения пробоя изоляции переменным током детектируется так же, как и при постоянном токе, то есть резким увеличением испытательного тока с выходом за установленные пределы измерения (рис. 3).

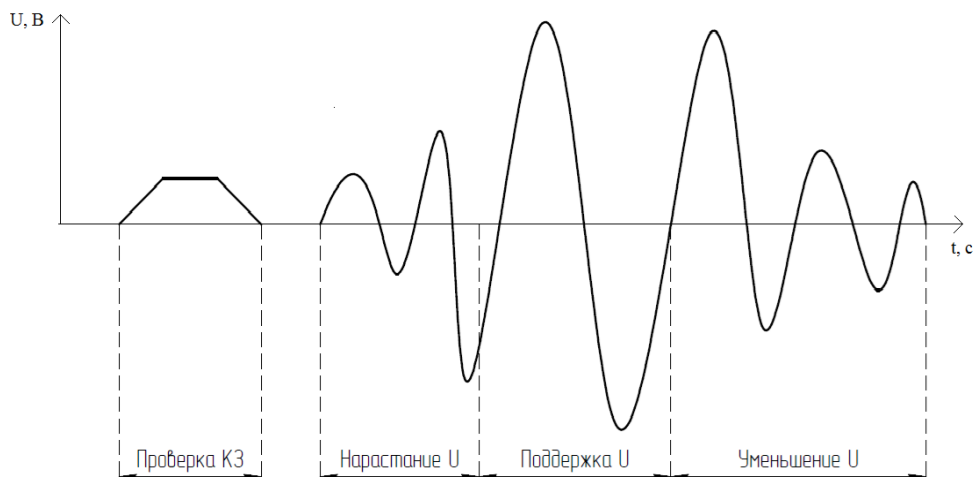


Рис. 3. Диаграмма входного воздействия переменным током

Обзор факторов, влияющих на погрешность измерения сопротивления изоляции

В процессе проверки правильности монтажа электрических цепей, а также больших энергоемких систем важным параметром является величина сопротивления изоляции в жгутах (проложенных внутри модулей третьего уровня и выходящих из них).

При влиянии поля на изоляцию происходят процессы:

1. Из-за свободных зарядов, которые присутствуют в диэлектриках (дефекты строения), в изоляции возникает ток сквозной проводимости i_u ;

2. Происходит замедленная поляризация. Смещение и поворот связанных дипольных молекул, которые создают ток абсорбции i_a ;

3. Происходит мгновенная поляризация, представляющая собой смещение и деформацию электронных оболочек атомов и ионов. Вследствие этого создается ток смещения i_c .

Для изучения данных процессов используют схему замещения, которая представлена на рис. 4.

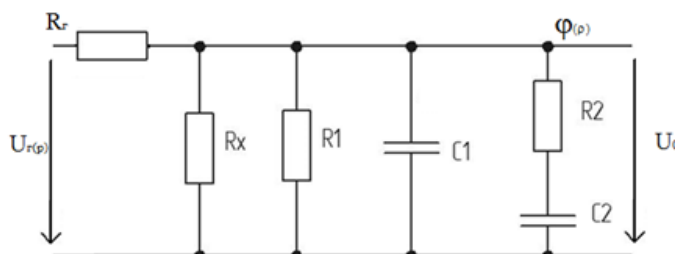


Рис. 4. Схема замещения объекта контроля:
 R_x – измеряемое сопротивление, R_g – сопротивление генератора,
 C_1 , R_1 , C_2 и R_2 паразитные параметры цепи и кабеля

Сопротивление R_1 обычно ставится высоким, из-за чего не оказывает заметного влияния на результат измерений. Однако в условиях повышенной влажности значение сопротивления уменьшается и может оказывать влияние на результат контроля. Поэтому данное явление необходимо учитывать. Данный резистор характеризует сопротивление сквозному току.

Емкость C_1 (геометрическая емкость) – это сумма емкостей между всеми соединениями в интерфейсе и измеряемой цепи. C_1 может быть около 4–5 нФ, но с низкоимпедансным источником напряжения измеряемого модуля она имеет малую постоянную времени.

Последовательная цепь R_2C_2 , которая образуется паразитной емкостью разомкнутого контакта реле и сопротивлением изоляции измеряемой цепи имеет самое большое влияние на скорость производимых измерений. Из-за того, что обеспечивает переменную по времени параллельную нагрузку на R_x , пока C_2 не будет полностью заряжена. Данная цепь сильно снижает точность измерений при проведении измерений на высокой скорости. R_2 – эквивалентные потери при дипольной поляризации. C_2 – емкость, обусловленная дипольной поляризацией.

Примем, что: $R_1 = 22$ кОм; $R_2 = 1$ кОм; $C_1 = 4$ нФ; $C_2 = 5$ нФ.

Так как разность потенциалов на объекте контроля есть не что иное как измеряемое напряжение [1]:

$$\varphi(p) = U_0(p) \quad (1)$$

Определим передаточную функцию четырехполюсника, рис. 4.

На измерение характеристик изоляции влияют паразитные сопротивления жгута, кабельной цепи и матрицы переключателей (используется в программируемом тестере). Структура измеряемого (R_x) и паразитных сопротивлений (R_1 , R_2) показана на рис. 4.

$$w(p) = \frac{U_0(p)}{U_c(p)}, \text{ где} \quad (2)$$

$$U_c(p)g_c = \varphi(p)(g_c + g_x + g_1 + pC_1 + \frac{1}{R_2 + \frac{1}{pC_2}}) \quad (3)$$

Преобразуем уравнение:

$$w(p) = \frac{g_c}{g_c + g_x + g_1 + pC_1 + \frac{pC_2}{R_2C_2p + 1}} \quad (4)$$

Выполним подстановку:

$$g_\Sigma = g_c + g_x + g_1, \quad (5)$$

$$w(p) = g_c \frac{R_2C_2p + 1}{R_2C_1C_2p^2 + (g_\Sigma R_2C_2 + C_1 + C_2)p + g_\Sigma} \quad (6)$$

Приравняем знаменатель к нулю и вычислим корни уравнения:

$$R_2C_1C_2p^2 + (g_\Sigma R_2C_2 + C_1 + C_2)p + g_\Sigma = 0$$

Корнями уравнения являются:

$$P_1 = -0,76 * 10^3; P_2 = -0,2 * 10^3.$$

Так как время для выхода на необходимое напряжение вычисляется по формуле:

$$\tau = \left| \frac{1}{p} \right| \quad (8)$$

Полученное время выхода:

$$\tau_1 = 5 * 10^{-3} \text{ с и } \tau_2 = 1.315 * 10^{-3} \text{ с}$$

Установленные в программируемом тестере реле имеют время переключения 50 мс. Полученное при расчете время, которое необходимо для выхода напряжения на необходимое для проведения испытания значение, получилось намного меньше, чем время переключения реле. Из этого можно сделать вывод, что имеется достаточный запас времени для проведения испытаний.

Из проведенного исследования следует, что длительность переходного процесса ограничена используемым реле. Если повысить быстродействие реле, то можно уменьшить время для измерения до 25 мс что существенно ускорит быстродействие установки.

Также стоит учитывать, что измеряемый модуль находится в поле, создаваемом током в линии питания. Не исключено, что данное поле может оказывать влияние на точность измерений. При снижении напряжения отношение сигнал/шум уменьшается, и поле начинает оказывать большее влияние на результаты. Чтобы снизить данный эффект, необходима синхронизация и интеграция сигналов в один или несколько циклов измерений.

Обзор работы программируемого тестера

Когда выбран тестер и рассмотрены процессы проводимых испытаний, необходимо рассмотреть принцип работы тестера непосредственно с прибором. Так как необходимо внедрение тестера в технологический процесс сборки модуля.

Рассмотрим функциональную схему работы программируемого тестера с использованием переходного устройства и ЭВМ.

От ЭВМ передается через *switch* программу, которая будет запускаться на тестере. Затем

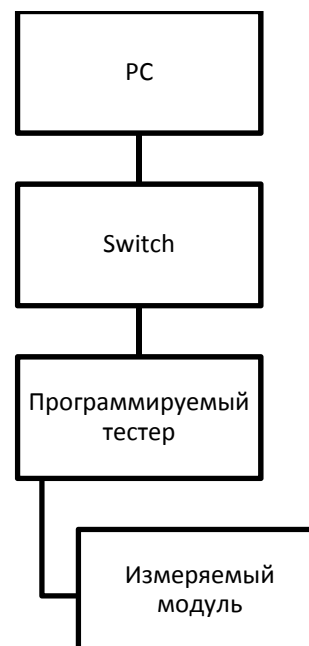


Рис. 5. Функциональная схема работы тестера при подключении к проверяемому модулю: PC – ЭВМ машина для загрузки на тестер тестовой программы и вывода результата; Switch – Коммутационное устройство для связи ЭВМ с тестером

тестер обрабатывает ее и запускает необходимый цикл испытаний. По завершению испытаний тестер передает обратно ЭВМ отчет о проведенных испытаниях.

Назначение отдельных модулей, которые установлены в программируемом тестере.

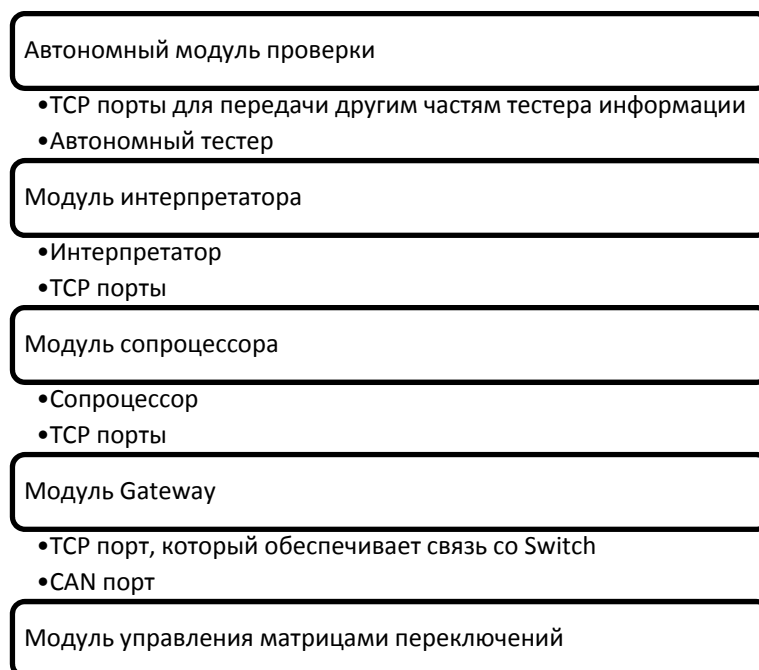


Рис. 6. Функциональное назначение блоков тестера [2]

Автономный модуль проверки состоит из автономного тестера, который управляет переключением реле внутри тестера, а также повышением или понижением подаваемых параметров.

Основная задача модуля интерпретатора состоит в том, чтобы построчно считывать скомпилированный код на ЭВМ и передавать его сопроцессору.

Модуль сопроцессора отвечает за обработку полученных данных либо от ЭВМ, либо от других модулей тестера.

Задача модуля *Gateway* (Сетевой шлюз) – это обеспечивать связи между тестером и ЭВМ.

Модуль управления матрицами переключений отвечает за переключение между крос-платами (если установлено больше 1).

Заключение

При использовании модульного принципа конструирования уменьшается время для изготовления партии приборов, также повышается взаимозаменяемость приборов в случае поломки или модернизации. Но если на этапе испытаний собранного прибора использовать программируемые тестеры, можно сократить время испытаний в несколько раз, а также повысить качество приборов исключением человеческого фактора.

При выборе тестера для модульного принципа конструирования стоит учитывать то, какие испытания заложены в тестер и сможет ли он удовлетворить потребности покупателя. Также стоит учитывать отрасли применения тестера.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шилин, А. Н. Анализ электрических цепей с управляемыми источниками: учебное пособие / А. Н. Шилин, О. А. Крутякова, К. Е. Кострюков. – РПК Политехник: Волгоград, 2005. – 44 с.
2. Новицкий, П. В. Оценка погрешностей результатов измерений / П. В. Новицкий, И. А. Зограф. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ленинград : Энергоатомиздат, 1991. – 304 с.
3. Бердичевский, М. Е. Конструктивы евро-механики / М. Е. Бердичевский. – Современные технологии автоматизации. – 2002. – № 4. – С. 52–57.
4. Конструктивы евро-механики: ГОСТ МЭК 60297-3-103 2002 ; введ. 01.07.2002. – Москва : Стандартиформ, 2014. – 17 с. – (Межгосударственный стандарт).
5. Руководство пользователя Synog 5000 версия 1.12 [Электронный ресурс] / Руководство пользователя. – 2012. – Режим доступа: <http://www.all-pribors.ru/docst/65448.pdf/> (дата обращения: 22.03.2018).
6. Попов, Д. А. Применение кабелей при проектировании / Д. А. Попов // Новая техника и технология. – 2015. – № 10. – С. 8–11.

УДК: 621.311

А. П. Хлебцов¹, А. Н. Шилин²

ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ДИАГНОСТИКИ ЦИФРОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ

¹ Астраханский государственный университет

² Волгоградский государственный технический университет

E-mail: gergines@mail.ru

В статье проведен анализ развития информационно-измерительных систем цифровых подстанций. Описывается технология проектирования информационно-измерительной системы цифровой подстанции. Рассмотрена система контроля и управления электротехническим оборудованием подстанций.

Ключевые слова: интеллектуальные сети, цифровая подстанция, электроснабжение, информационно-измерительная система.

A. P. Khlebtsov¹, A. N. Shilin²

TRENDS AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF INFORMATION AND MEASURING SYSTEMS FOR THE DIAGNOSTICS OF DIGITAL SUBSTATIONS

¹ Astrakhan State University

² Volgograd State Technical University,

The article analyzes the development of information and measuring systems of digital substations. The technology of designing an information and measuring system for a digital substation is described. The system of control and management of electrotechnical equipment of substations is considered.

Keywords: smart grids, digital substation, power supply, information and measuring systems.

Введение

Первоначально концепция информационно-измерительных систем в энергетике была сформулирована в начале 1970-х гг. в основу которых положена системная организация совместной автоматической работы средств сбора, обработки и передачи количественной информации. Дальнейшее системное развитие целостной информационной системы связано с развитием вычислительной техники, стандартных интерфейсов и обеспечением в энергосистемах централизованного, а затем иерархического управления. Современная информационная система контроля оборудования электросетевых комплексов представляет собой иерархически построенную диалоговую систему, обеспечивающую автоматизированный сбор и обработку информации, необходимой оперативно-технологическому персоналу для принятия решений по управлению связанными электрической сетью энергообъектами [1].

Во многих странах мира ведутся работы по созданию интеллектуальных электрических сетей. Одним из основных элементов активно адаптивной сети является «цифровая» подстанция. Создание таких подстанций – общемировая тенденция, работы над подобными проектами ведутся в Европе и США, Японии, Индии и Китае. Аналогичный проект реализуется и в Федеральной сетевой компании. Идея «цифровой» подстанции заключается в создании систем контроля, защиты и управления нового поколения, в которых вся информация рождается, перерабатывается и управляет оборудованием в цифровом формате. Проект предусматривает разработку и внедрение на подстанциях оптических цифровых измерительных трансформаторов и комплексов цифровой аппаратуры нового поколения. Современная цифровая аппаратура, выполняющая функции защиты и управления, открывает возможности быстрого прямого обмена информацией между устройствами, что позволяет сократить количество устройств и медных кабельных связей и более компактно их расположить. Поэтому цифровые технологии более экономичны на всех стадиях внедрения: при проектировании, монтаже, наладке и в эксплуатации [4].

Технология проектирования информационно-измерительной системы цифровой подстанции

Программно-аппаратные комплексы создаваемых цифровых подстанций должны обеспе-

чивать поддержку основных технологических функций единой энергетической систем (ЕЭС), выполняемых в процессе управления функционированием и эксплуатацией электрических сетей. Прежде всего должны поддерживаться выполняемые при оперативно-диспетчерском и технологическом управлении сетями основные операционные (в управлении диспетчера) и неоперационные (в ведении диспетчера) функции центра управления сетей (ЦУС). Определим перечни операционных и неоперационных функций (связанные и не связанные с непосредственным управлением электроэнергетическим режимом), выполнение которых может быть реализовано средствами ПАК ЦПС полностью или частично.

Операционные функции:

- поддержка процесса оперативных переключений с контролем выполнения проверочных операций; вывода оборудования в ремонт и ввод в работу по типовым программам переключений; проверки бланков переключений, составленных оперативным персоналом, перед производством сложных переключений по изменению эксплуатационного состояния или режима работы оборудования подстанции; уровней напряжения в контрольных пунктах сети имеющимися средствами регулирования напряжения;

- выполнение команд диспетчерского центра на изменение эксплуатационного состояния и режима работы; переключений на оборудовании с помощью устройств телеуправления;

- подготовка технологических режимов, обеспечивающих возможность вывода оборудования в ремонт;

- управление средствами автоматической частотной разгрузки – АЧР (устройствами частотного автоматического повторного включения – ЧАПВ) и системой автоматического ограничения напряжения – САОН;

- реализация ограничений и временных отключений потребителей электрической энергии по команде диспетчера соответствующего диспетчерского центра.

Неоперационные функции:

- поддержка проработки и формирования заявок на вывод из работы ЛЭП, оборудования и устройств объектов электросетевого хозяйства; разработки и организации своевременного пересмотра схем (ремонтных и нормального режима) подстанций; разработки общей схемы

сети, исполнительных схем устройств с использованием актуализируемой модели подстанции; разработки, своевременного пересмотра и согласования с соответствующим диспетчерским центром типовых программ (бланков) переключений, а также распределения объемов АЧР, ЧАПВ и САОН в соответствии с заданными СО объемами, уставками и указаниями по их размещению; оперативного прогноза и контроля электропотребления потребителей; выполнения расчетов балансов и фактических потерь электроэнергии в оборудовании и ЛЭП, организации сбора данных по учету электроэнергии; координации и контроля сроков проведения ремонтных работ на ЛЭП, оборудовании и устройствах объектов электросетевого хозяйства;

– сбор и оперативный анализ первичной информации действия защит;

– контроль загрузки работающего оборудования, фактического выполнения заданного объема АЧР (ЧАПВ), САОН, правильности действия РЗА;

– регистрация всех обстоятельств возникновения технологического отключения, оперативных переговоров, расчета места повреждения на ЛЭП;

– мониторинг состояния основной электрической сети; мониторинг и анализ технологических отключений, повреждаемости оборудования, качества электроэнергии и анализ причин отклонения от нормированных величин.

Функции взаимодействия с субъектами электроэнергетики:

– поддержка: формирования фрагмента расчетной электрической схемы ОЭС по территории; анализа электрических режимов; эксплуатационного обслуживания устройств РЗА и ПА в соответствии с действующими нормативно-техническими документами;

– мониторинг эксплуатации и функционирования устройств РЗА и ПА;

– коммерческий учет электроэнергии, включая контроль качества электроэнергии;

– организация контрольных измерений потокораспределения, нагрузок и уровней напряжения в электрических сетях;

– осуществление замеров, необходимых для управления режимами работы объектов.

Каждая из подстанций предоставляет свои средства для участия в обеспечении процессов функционирования ЕЭС в целом, что иллюстрируется укрупненной диаграммой, приведенной на рис. 1 [2].



Рис. 1. Участие подстанции в обеспечении процессов функционирования энергосистемы

Система контроля и управления электротехническим оборудованием подстанций

Система включает в состав подсистемы нижнего уровня (рис. 2): АСКУЭ, АСУТП и ССД. Подсистема ССД нижнего уровня в СКУЭТО подстанций ПОЭС включает: первичные измерительные преобразователи (ПИП); системы телемеханики СТМ на основе аналого-цифровых устройств; устройства связи с объектом (УСО или устройства сбора данных – УСД) на основе

программируемых контроллеров, служащих для организации каналов ТМ и передачи информации на верхний уровень АСДУ ЦУС РСК.

Подсистема ССД нижнего уровня должна обеспечивать надежное функционирование системы АСДУ РСК при передаче с ПС ПОЭС первичной информации. В ССД нижнего уровня СКУЭТО с целью оперативного контроля и управления подстанциями 110 и 35 кВ должен быть предусмотрен мониторинг оборудования в режиме реального времени.

Отсюда следует, СКУЭТО на основе подсистем АСКУЭ, АСУТП и ССД нижнего уровня ПС в ПОЭС решает следующие задачи:

- учет потребления электроэнергии на подстанциях;
- диагностика электротехнического оборудования;
- релейная защита;
- анализ информации, в первую очередь результатов регистрации аварийных процессов;
- контроль режима работы подстанций и его отображение для оперативного персонала;
- дистанционное управление электрооборудованием;
- автоматическое регулирование и аварийное включение резерва.

В итоге, ИИС ЦУС РСК (рис. 2) на основе АСКУЭ, АСТУ и АСДТУ верхнего уровня и СКУЭТО с подсистемами АСКУЭ, АСУТП и ССД нижнего уровня подстанций обеспечивает:

- сбор первичной информации по параметрам технологических процессов и состоянию сетевого электрооборудования с привязкой по времени в соответствии с условиями и требованиями задач технологического управления;

- обработку информации с целью предоставления оперативному и другому персоналу оперативной, учетной и аналитической информации в текстовой, видеографической и аудиоформах согласно алгоритмам и сценариям задач технологического управления;

- хранение и архивирование информационных массивов первичной, результирующей, нормативно-справочной и другой информации в интересах текущих процессов реального времени, а также для последующего использования при анализе событий;

- передачу управляющих воздействий на сетевое электрооборудование и системы автоматики;

- организацию информационного взаимодействия с системами верхнего ранга.

Таким образом, для задач автоматизированного сбора и обработки, хранения и передачи информации о состоянии, режимах и параметрах электрооборудования необходимо использование современных микропроцессорных средств верхнего ЦУС РСК и нижнего СКУЭТО подстанций ПОЭС уровней, поддерживающие стандартные протоколы информационного обмена в архитектуре ИИС [3].

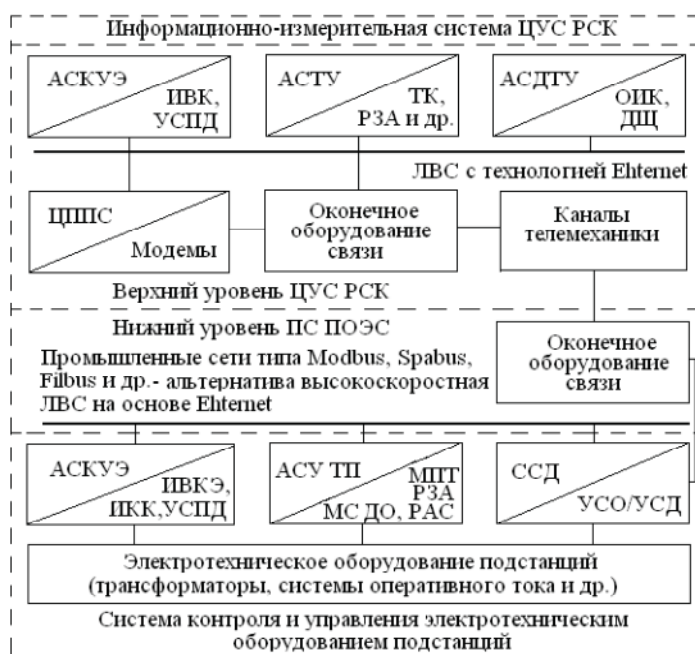


Рис. 2. Архитектура информационно-измерительной системы центра управления сетями региональной сетевой компании

Автоматизированная система управления технологическими процессами

Характерной особенностью современных АСУ ТП, создаваемых на новых и комплексно реконструируемых подстанциях ЕНЭС, стано-

вится выполнение ими функций интеграции с автономными смежными системами подстанции. Такими системами являются основные информационно-технологические и управляющие системы, включая:

- релейную защиту и автоматику (РЗА);
- противоаварийную автоматику (ПА);
- систему коммерческого (и технического) учета электроэнергии (АИИС КУЭ);
- системы контроля (мониторинга) состояния электротехнического оборудования ПС (трансформаторного оборудования, щитов постоянного тока (ЩПТ), щитов собственных нужд (ЩСН) и др.);
- автономно функционирующие устройства регистрации аварийных событий и процессов (РАС), определения места повреждения на ВЛ (ОМП), контроля качества электроэнергии (ККЭЭ), организации векторных измерений тока и напряжения для целей системы мониторинга переходных процессов (СМПП);
- комплексы средств связи.

Указанные системы, помимо выполнения своего основного назначения, используются как интегрируемые функциональные подсистемы АСУ ТП.

Интегрируемые подсистемы (устройства) должны выполнять свои основные функции практически независимо от состояния других средств автоматизации на ПС – это обеспечивает требуемый уровень надежности функционирования и живучести, как отдельных узлов, так и всего комплекса управления в целом. В общем случае информационный обмен между интегрируемыми подсистемами (устройствами) и АСУ ТП должен включать передачу следующих данных:

- измеряемые и вычисляемые параметры, характеризующие текущий режим и состояние контролируемого и управляемого оборудования;
- статусные сигналы (недостоверность выдаваемой информации, неисправности, потеря сигнала единого времени и т. д.);
- специальная информация (осциллограммы, информация об уставках и внутренней логике, временные срезы и т. п.);
- команды к исполнительным органам, органам настройки, квитирования местной сигнализации.

Информационный обмен между МП устройствами смежных систем и АСУ ТП должен осуществляться в цифровом виде с использованием международных стандартных протоколов МЭК с помощью внутрисистемных средств коммуникации. Перечисленные особенности, характерные уже для создаваемых в настоящее время АСУ ТП подстанций ЕНЭС, естественно

сохраняются и углубляются при переходе к построению «цифровых» подстанций.

Выводы

Подводя итог рассмотрению основных особенностей и тенденций создания систем управления подстанциями ЕЭС, сформулируем основные общие факторы и направления, характеризующие перспективы развития современных АСУ ТП, прежде всего их технологических функциональных подсистем, при переходе к ЦПС.

1. Оснащение современных подстанций ЕНЭС основным электротехническим оборудованием, сочетающим высокую надежность функционирования и управляемость с цифровизацией информационного обмена с подстанционной системой контроля и управления, позволит в рамках ЦПС практически реализовать планируемый переход на «необслуживаемые» подстанции ЕЭС, т. е. на управление подстанцией без постоянного дежурства на ней оперативного персонала – с использованием прямого телеуправления оборудованием ПС из центров управления сетями (ЦУС).

2. Другим направлением функционального развития современных интегрированных АСУ ТП подстанций ЕЭС является рациональная автоматизация процессов обработки (в том числе «интеллектуальной») текущей информации, принятия и выполнения решений по управлению оборудованием подстанции и координации основных информационно-технологических и управляющих систем ЦПС на основе использования актуализируемых математических моделей технологических процессов ПС, реализуемых средствами функциональной координирующей подсистемы (ФКП) в составе АСУ ТП. Существенное увеличение объемов технологической информации (прежде всего, неоперативной, включающей данные регистрации аварийных событий и процессов (РАС), мониторинга состояния оборудования ПС, контроля качества электроэнергии и т. п.), сделает реальным быстрое дальнейшее развитие автоматизированной системы технологического управления. [3]

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чичев, С. И. Информационно-измерительная система электросетевой компании / С. И. Чичев, В. Ф. Калинин, Е. И. Глинкин – М.: Издательский дом «Спектр», 2011. – 156 с.
2. Чичев, С. И. Методология проектирования цифровой подстанции в формате новых технологий / С. И. Чичев, В. Ф. Калинин, Е. И. Глинкин. – Москва: Издательский дом «Спектр», 2014. – 228 с.
3. Чичев, С. И. Система контроля и управления электротехническим оборудованием подстанций / С. И. Чичев,

В. Ф. Калинин, Е. И. Глинкин. – М.: Издательский дом «Спектр», 2011. – 140 с.

4. Шилин, А. Н. Интеллектуальные электрические сети: проблемы и решения / А. Н. Шилин, А. А. Шилин // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 8 (81) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011.

5. Гуревич, В. И. Микропроцессорные реле защиты: новые перспективы или новые проблемы? / В. И. Гуревич // Пром. энергетика. – 2006. – № 3, 4.

6. Пилипенко, Г. В. Тенденции построения технологической сети связи электроэнергетики в современных условиях / Г. В. Пилипенко // Электрические станции. 2014. – № 3. – С. 26–29.

УДК 662.621

В. В. Малый, В. Е. Аввакумов

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ РАДИОМЕТР ДЛЯ РАДИОУГЛЕРОДНОГО АНАЛИЗА

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: xcpvld@yandex.ru

Измерение слабого радиоактивного излучения обладает сложностями ввиду слабого выделения на фоне космического излучения и большой длительности эксперимента. В статье предлагается автоматизированный программно-аппаратный комплекс регистрации, хранения и обработки данных радиоактивного анализа, реализованный путем модернизации устаревшего оборудования.

Ключевые слова: автоматизированная система, радиоуглеродный анализ, слабое радиоактивное излучение, модернизация устаревшего оборудования.

V. V. Maliy, V. E. Avvakumov

AUTOMATED RADIOMETER FOR RADIOCARBON ANALYSIS

Volgograd State Technical University

The measurement of weak radioactive radiation has complexities due to of weak selecting from cosmic radiation and long duration of the experiment. The article proposes automated hardware and software system of recording, storing and processing radioactive data, implemented by upgrading obsolete system.

Keywords: automated system, radiocarbon analysis, weak radioactive radiation, upgrading obsolete system.

Вопрос использования возобновляемых источников энергии в связи с истощением ископаемых источников энергии имеет актуальное значение. Основным назначением разрабатываемой установки является радиоуглеродный анализ, который позволяет определить источник происхождения сырья, а также установить качество и выявить фальсификации. Радиологический контроль востребован и в других областях науки и техники. К примеру, радиоуглеродный анализ является одной из разновидностей радиоизотопной датировки, который применяется для определения возраста каких-либо исторических и археологических находок биологического происхождения путем измерения содержания радиоактивного изотопа углерода ^{14}C относительно стабильных изотопов углерода. Существенным дополнением является возможность использования для считывания радиационных меток и маркировок.

Метод радиоуглеродного анализа существует уже продолжительное время, и имеется большое количество устаревшего оборудования. Причем, устарели не сами принципы реги-

страции, а именно методы учета, сбора и обработки информации, а также электронные компоненты и составляющие. Имеются в наличии установки, созданные для ручного проведения испытания при помощи оператора. Человеку приходится производить настройку, работать с получаемой информацией и контролировать сбои, что уменьшает точность ввиду операторской погрешности.

Работа таких радиометров основана на сцинтилляционных детекторах.

Принцип работы заключается в следующем: при β -распаде ядра испускается β -частица, которая, проходя через сцинтиллятор, вместе с ионизацией атомов и молекул возбуждает их. При возвращении в невозбужденное состояние, атомы сцинтиллятора испускают фотоны. Фотоны, при попадании на фотокатод ФЭУ, выбивают электроны, которые, проходя по множеству динодов, усиливаются и попадают на анод ФЭУ, результатом чего является возникновение электрического импульса. В итоге, с полученным электрическим импульсом производится дальнейшая работа.

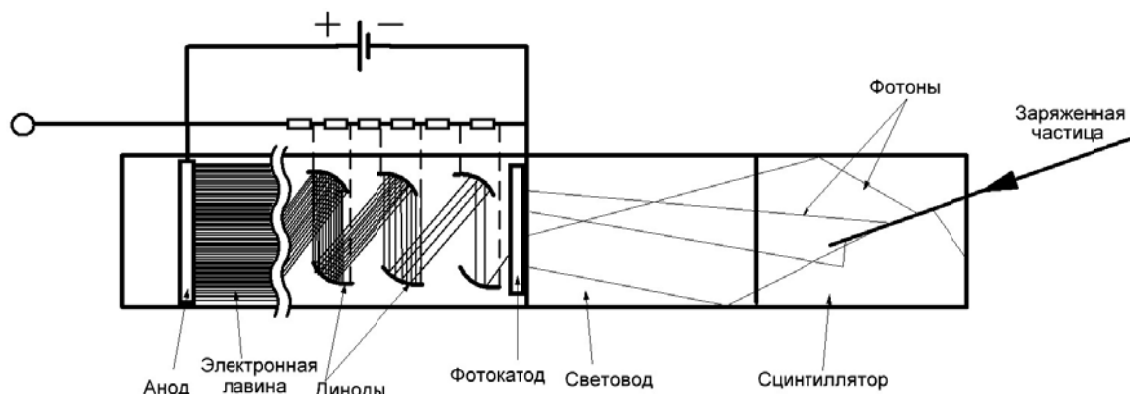


Рис. 1. Схема сцинтилляционного счетчика

Радиологический контроль при малых интенсивностях излучения сцинтилляционными методами обладает определенными трудностями из-за наличия собственных шумов приемников излучения и существенного вклада фоновое излучения.

Одним из путей увеличения точности прибора является использование усилителя-дискриминатора, где импульсы ниже установленного уровня дискриминации отсеиваются. Стоит заметить, что импульсы дискриминируются по амплитуде, так как шумовые импульсы обычно имеют меньшую амплитуду.

Однако этого не достаточно. Поэтому для уменьшения влияния шумов ФЭУ используются работы фотодетекторов по схеме совпадения. При этом применяются два и более фотоэлектронных умножителя, являющиеся частью идентичных каналов, которые устанавливаются на определенный угол относительно предыдущих. Для приведения сигнала к общему виду, используется генератор одиночных импульсов, который преобразует каждый поступающий импульс в стандартизованный прямоугольный импульс, а они в свою очередь поступают на

схему совпадения. Использование работы фотодетекторов по схеме совпадения позволяют исключить импульсы, полученные в результате сторонних воздействий на какой-либо канал.

Световой импульс, вызванный попаданием радиоактивной частицы в сцинтиллятор, регистрируется только в том случае, если импульс проявился во всех каналах. Длительность высвечивания светового импульса с сцинтиллятора составляет несколько десятков наносекунд. Так как время распространения электрического импульса в каждом канале различно, то необходимо задаться таким временем совпадения, чтобы не пропустить полезный импульс, и не зарегистрировать ложные. С учетом времени нарастания фронтов и динамических характеристик ФЭУ, это время составляет 100–150 нс.

Конструктивно блок детектирования состоит из корпуса, механизма перемещения проб и двух блоков ФЭУ. Блок детектирования предназначен для регистрации и преобразования квантов света сцинтиллятора в импульсы тока с помощью двух фотоэлектронных умножителей ФЭУ-35. Структурная схема представлена на рис. 2.

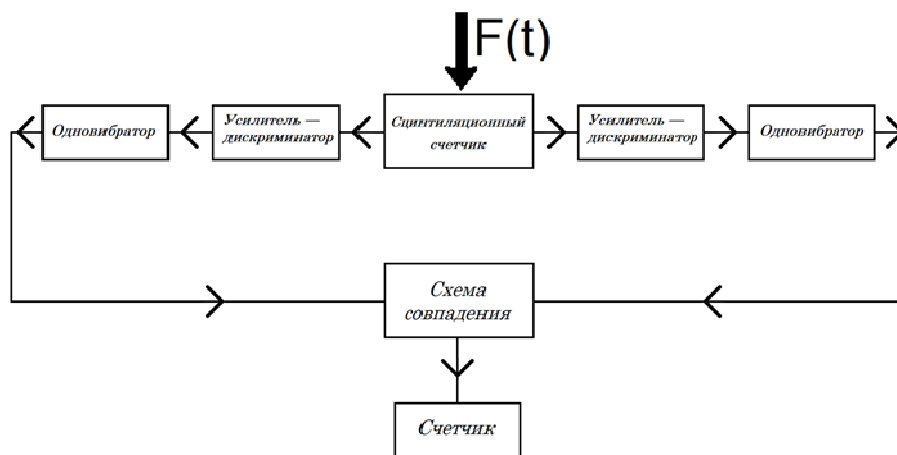


Рис. 2. Структурная схема установки

Для защиты сцинтиллятора от внешнего ионизирующего излучения корпус выполнен из свинца толщиной 30 мм армированного сталью. На крышке расположен зажим защитного заземления.

Каждый из двух блоков ФЭУ состоит из фотоэлектронного умножителя, делителя напряжения, распаянного на панели ФЭУ, и печатной платы с фильтрующими конденсаторами, сопротивлениями нагрузки и переходным высоковольтным конденсатором. Все элементы расположены в металлическом корпусе, на крышке которого располагаются два разъема: питания СР-50-65 и сигнальный СР-50-73. Питание ФЭУ-35 производится подачей на катод через сопротивление нагрузки высокого напряжения отрицательной полярности при заземлении анода.

В корпусе блоки ФЭУ расположены под углом 90° для уменьшения оптической связи между фотоэлектронными умножителями.

Источник высоковольтного напряжения предназначен для питания блоков ФЭУ постоянным напряжением отрицательной полярности в диапазоне от 800 до 1500 В. Источник выполнен по обратноточковой схеме, которая является простой в изготовлении и обеспечивает его высокую надежность. Малые пульсации выходного напряжения достигаются применением двухзвенного RC фильтра.

Усилитель-дискриминатор предназначен для усиления и отбора импульсов блока детектирования, обусловленных вспышкой света сцинтиллятора, среди импульсов шумов фотоэлектронных умножителей. Усилитель-дискриминатор собран по схеме [2], где предварительный широкополосный усилитель выполнен на двух элементах микросхемы 100ЛП216Т. Его коэффициент усиления по напряжению около 30–50 в зависимости от индивидуальных особенностей ИС. Для подавления синфазной помехи на компаратор подаются и прямой и инверсный сигнал с выхода предусилителя. Этим же достигается дополнительное увеличение усиления. В качестве дискриминирующего элемента используется компаратор 597СА2 с двухполярным питанием. Он также осуществляет согласование уровней между усилителем и формирователем одиночных импульсов. Так как для питания микросхем усилителя-дискриминатора используется напряжение питания отрицательной полярности, то и напряжение дискриминации необходимо задавать отрицатель-

ным. Напряжение питания микроконтроллера положительное, поэтому управление напряжением дискриминации осуществляется через оптронную развязку на РС817. Нулевой порог достигается при напряжении дискриминации равном 4.5–5 В. При уменьшении напряжения дискриминации порог увеличивается и достигает максимального значения при 0 В. Усилитель-дискриминатор дополнен на выходе формирователем одиночных импульсов на микросхеме К155АГ1. Данная микросхема выбрана по причине блокировки повторного запуска до окончания предыдущего. Длительность формируемого импульса 0.12 мкс. Для каждого ФЭУ используется свой усилитель-дискриминатор с индивидуально настраиваемым порогом дискриминации.

Регулирование порога дискриминации осуществляется при помощи ЦАП по принципу ШИМ. Число ступеней дискриминации 256 (разрядность ЦАП 8). Частота ШИМ 8 кГц. Пульсации ШИМ снижаются RC-фильтром. Опторазвязка для напряжения дискриминации организована по схеме, изображенной на рис. 3. Изменяя соотношение плеч делителя, можно изменять диапазон регулировки напряжения дискриминации, тем самым повышая разрешающую способность.

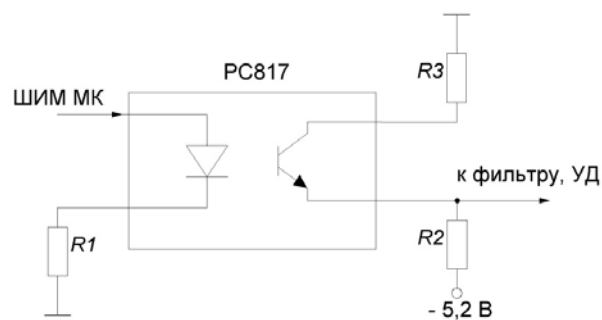


Рис. 3. схема формирования напряжения дискриминации: МК – микроконтроллер, УД – усилитель-дискриминатор

Результатом правильной настройки напряжения дискриминации является ежесекундная регистрация 1–5 импульсов эталонного раствора чистого сцинтиллятора, при измерении в каждом канале отдельно. Стоит заметить, что вероятность регистрации шумовых импульсов, путем наложения друг на друга и прохождения через схему совпадения, очень мала. Но этого достаточно, чтобы не опасаться потерять «полезный» импульс.

Счетчик импульсов организован на базе микроконтроллера АТmega88, так как все вы-

числения и обработка измерительной информации осуществляется на ПК. Это позволило разгрузить основное устройство от большинства вычислительных операций и упростить его программно и схемотехнически.

На счетчик могут поступать данные с каждого канала по отдельности, или же с обоих вместе. Управление выбором каналов осуществляется при помощи микросхемы 74НСТ08, представляющей собой четыре элемента 2И (рис. 4).

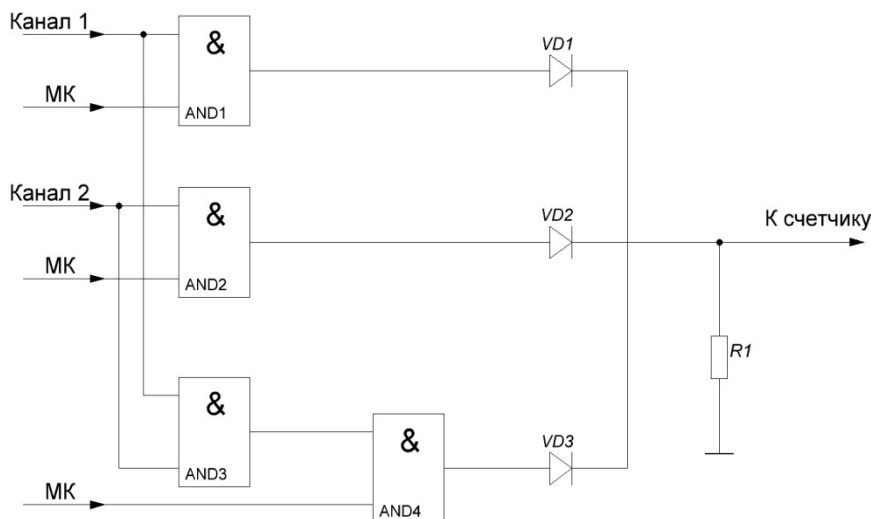


Рис. 4. Схема работы 74НСТ08

Ее использование обосновано динамическими характеристиками по сравнению с отечественными аналогами. Комбинируя входные сигналы от каналов с управляющим сигналом микроконтроллера, осуществляется выбор, какой из сигналов поступает на вход счетчика. Счетчик ведет подсчет импульсов, а также отправляет информацию на компьютер, где она анализируется и при необходимости вносятся изменения в настройку прибора.

При регистрации слабого радиационного излучения существует множество проблем. Одной из них является то, что параметры ФЭУ непостоянны. Предварительная настройка и вывод на рабочий режим является весьма трудоемкими и не обеспечивают должной точности, так как в процессе работы установки ее параметры могут изменяться вследствие влияния окружающей среды, нагрева и т. д. Учитывая то, что радиационное излучение очень слабое и сравнимо с фоновым космическим излучением, эксперименты могут длиться очень долго, вплоть до нескольких дней. Исходя из этого, был разработан метод автоматической калибровки и настройки каждого канала в отдельности путем изменения порога дискриминации при периодической проверки в ходе испытания.

Использование ПК позволило реализовать режим самопроверки, который позволяет отслеживать сбои и производить корректировку

рабочих параметров с целью повышения точности и надежности измерения.

Связь с ПК осуществляется посредством UART или беспроводного интерфейса Bluetooth. При этом прибор по-прежнему сохранил возможность работать автономно (в ручном режиме с оператором).

Последовательность работы установки выглядит следующим образом: на сцинтилляционный счетчик поступает радиационное воздействие, и при завершении цикла, рассмотренного ранее, полученный электрический импульс расходуется на две ветви.

Далее, в каждой из ветвей сигнал поступает на усилитель-дискриминатор, где импульсы ниже установленного уровня дискриминации отсеиваются. Оставшиеся импульсы поступают на генератор одиночных импульсов, который формирует прямоугольный импульс длительностью ~120 нс, который далее поступает на схему совпадения. Если происходит наложение сигналов, поступивших на схему совпадения двумя путями, то он засчитывается и далее отправляется на счетчик. Данные о числе зарегистрированных импульсов отправляются на ПК, где они хранятся и обрабатываются в режиме реального времени. Это позволяет использовать не только цифровые фильтры для обработки данных, а также учитывать зависимость изменения радиационного фона, в зависимости от

времени суток и других факторов, что положительно сказывается на точности измерений. Так же, раз в 20 минут производится самопроверка, и, в случае необходимости, перенастройка каналов.

Данный способ получения информации позволяет воспользоваться данными, даже если эксперимент не будет завершен до конца.

В ы в о д

Предложен, разработан и реализован способ модернизации устаревшей установки для регистрации слабого радиоактивного излучения. Использование данного решения позволяет рас-

ширить номенклатуру оборудования для радиоуглеродного анализа и вновь ввести в эксплуатацию устаревшее оборудование.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Каримуллин, К. Р. Детектирование световых импульсов в режиме счета фотонов / К. Р. Каримуллин, В. А. Зуйков, В. В. Самарцев // Ученые записки Казанского государственного университета. Серия: Физико-математические науки. – Казань: Каз. гос. ун-т, 2006. – Т. 148, К. 1. – С. 135–141.

2. Импульсный усилитель-дискриминатор для счета фотонов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://infml.sai.msu.ru/~victor/rus/ait/pmts/ampls.html> (Дата обращения 01.04.2018).

УДК 681.786.42

Д. Г. Сницарук

ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННАЯ ПРОЕКЦИОННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПРОФИЛОГРАММ ОБЕЧАЕК*

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: norzes@mail.ru

Рассмотрена оптико-электронная проекционная система (ОЭПС) контроля профилограмм обечаек, использующая в качестве метода поиска центра измеряемой детали метод поиска центра с помощью геометрического центра тяжести проекции профиля детали, при котором по снимку профиля методами технического зрения выделяется контур детали, исходя из которого высчитываются координаты центра. Для проверки выбранного метода было проведено математическое моделирование и реализован прототип ОЭПС, которые показали положительные результаты.

Ключевые слова: обечайка, труба, профилограмма, контроль профилограмм, оптико-электронные системы контроля, геометрический центр тяжести, распознавание изображений, поиск центра детали.

D. G. Snitsaruk

OPTICAL-ELECTRONIC PROJECTION SYSTEM OF MONITORING PROFILOGRAMMS OF SHELLS

Volgograd State Technical University

The paper presents the optical-electronic projection system (OEPS) for monitoring the profilograms of shells. OEPS used a method of searching for the center of the measured part the method of finding the center with the help of the geometric center of gravity of the projection of the profile of the part, in which the contour of the part, the coordinates of the center are calculated. To test the chosen method, mathematical modeling was carried out and a prototype of the OEPS was implemented, which showed positive results.

Keywords: shell, pipe, profilogram, control of profilograms, optoelectronic control systems, geometric center of gravity, image recognition, search for the center of a detail.

Введение

Наиболее большой вклад в экономику Российской Федерации вносит добыча, транспортировка и переработка нефти и газа. Для транспортировки этих природных ресурсов строятся протяженные трубопроводы, а для переработки – крупногабаритные ректификационные колонные аппараты. В обоих случаях основной их

базовой деталью являются полые цилиндрические детали, называемые в машиностроении обечайками. В нефтехимической и газовой промышленности их диаметры могут достигать 10 м и более. На заводах обечайки изготавливаются из листового материала в валковых листогибочных машинах, а затем для придания заготовке формы замкнутой оболочки выполняет-

© Сницарук Д. Г., 2018

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

ся сварка листа по образующей. После сварки обечайки выполняется операция ее правки также в валковых листогибочных машинах. Технологическая точность производства обечаек оказывает существенное влияние на производительность работ при сборке и монтаже оборудования, а также на эксплуатационные характеристики готовой продукции. Поэтому при производстве обечаек необходим контроль их геометрических параметров, определяемых отклонением реальной поверхности от базовой цилиндрической поверхности. Необходимо отметить, что качество обечаек оказывает существенное влияние на производительность сборочных и монтажных операций, а также на качество выпускаемого оборудования и его эксплуатационные характеристики. Основной геометрической характеристикой обечайки является профилограмма поперечного ее сечения.

В настоящее время на предприятиях отраслей, выпускающих крупногабаритное корпусное оборудование, в качестве средств контроля используются контактные средства и реже оптические на базе теодолита [1]. Необходимо отметить, что эти средства не обеспечивают необходимой точности и оперативности контроля, а в процессе формообразования в нагретом состоянии их невозможно использовать. Поэтому для повышения качества выпускаемой продукции необходимо внедрение современных приборов контроля геометрических параметров обечаек в процессе их формообразования. Для реализации операции контроля профилограммы необходимо предварительно определить центр поперечного сечения обечайки.

Из механики известен точный метод определения центра масс, применяемый для описания положения системы рассредоточенных масс в пространстве [2]. Однако для определения центра поперечного сечения крупногабаритных оболочек этот метод сложно применить из-за технической реализации.

В нефтегазовом машиностроении в качестве центра профилограммы, относительно которого осуществляют расчет отклонений [3], рекомендуют выбирать центр прилегающей окружности. Этот метод широко применяется при анализе профилограмм деталей машиностроения при токарной и шлифовальной обработке. Для крупногабаритных деталей, в форме поперечного сечения преобладает вторая гармоническая составляющая (эллипс), этот метод сложно

алгоритмизировать и соответственно автоматизировать.

Для определения центра детали, в форме поперечного сечения которой преобладает эллипс, разработан метод прямоугольника [5], где в качестве центра профилограммы выбирают центр прямоугольника. Этот метод сравнительно легко реализуется с помощью механических и оптико-электронных устройств, но для его реализации необходимы громоздкие конструкции [6, 7], что является недостатком этого метода.

Существует метод поиска центра, основанный на гармоническом анализе спектра предварительно снятой профилограммы [8]. Преимуществом данного метода является независимость точности от формы детали, однако данный метод обладает низким быстродействием, так как сам процесс снятия профилограммы происходит пошагово.

Наиболее точным оптическим методом поиска центра детали является метод поиска геометрического центра тяжести, являющийся упрощенным методом определения центра масс, в котором снимается контур детали, после чего с помощью специальных алгоритмов рассчитывается геометрический центр тяжести, совпадающий с центром детали. Данный метод не зависит от формы детали, однако требователен к точности изготовления системы, его реализующей и ее элементной базы.

Из проведенного анализа существующих методов и средств определения центра профиля поперечного сечения обечаек, относительно которого должен осуществляться контроль профилограммы, следует, что метод поиска геометрического центра тяжести является наиболее перспективным для реализации.

Разработанное устройство

Структурно-функциональная схема устройства изображена на рис. 1. Система содержит цифровую камеру, подключенную к управляющей вычислительной машине (УВМ), соединенной с микроконтроллером (МК) с помощью интерфейса RS-232. Микроконтроллер подключен к многоканальному драйверу шаговых двигателей (ДШД), с которым соединяются шаговые двигатели для перемещения камеры по оси x и y .

Драйвер представляет собой пару микросхем L297 и L298 соединенных по схеме, изображенной на рис. 2.

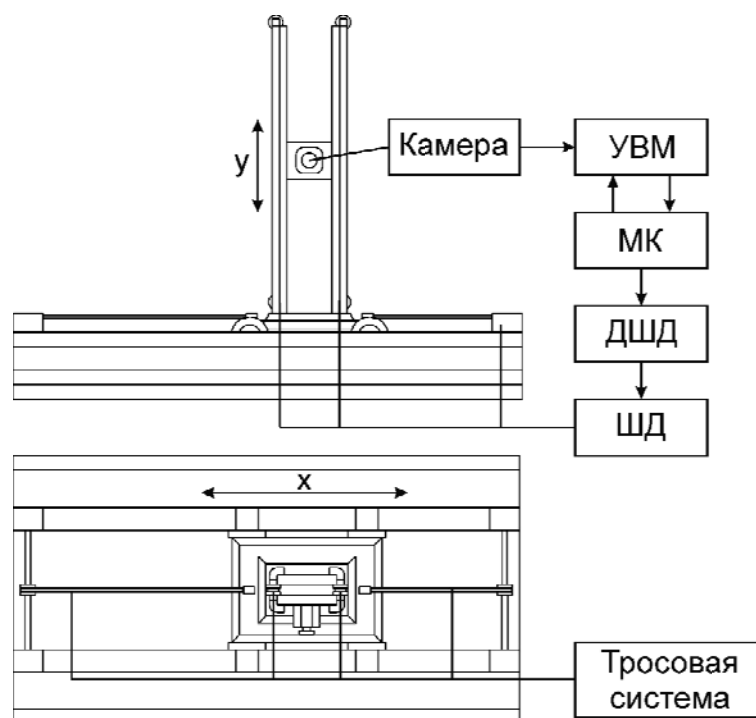


Рис. 1. Структурно-функциональная схема устройства

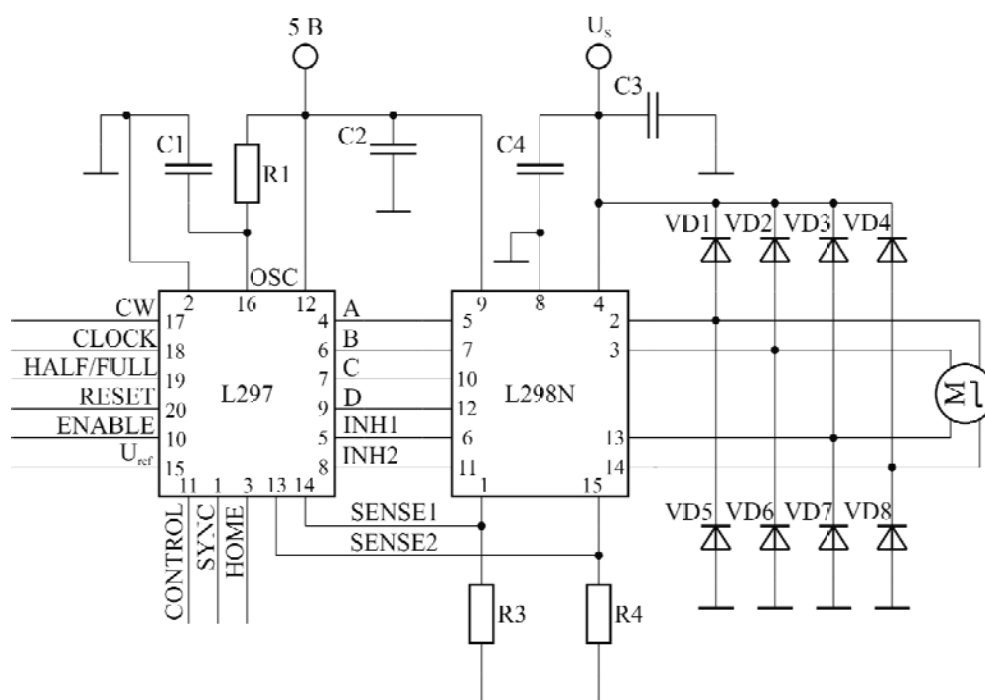


Рис. 2. Схема драйвера шагового двигателя

Выводы драйвера подключаются к микроконтроллеру, который с помощью команд, передаваемых с УВМ, управляет вращением шаговых двигателей и посредством тросовой передачи перемещают камеру в заданные координаты. Тросовая система представляет собой четыре ролика, расположенные на каретке, пе-

ремещаемой по оси x , и четыре ролика, расположенные на каретке, перемещаемой по оси y . Величина шага при этом рассчитывается, исходя из технических характеристик шагового двигателя и диаметра ролика. В реализованном прототипе используются шаговые двигатели 17HS4401, обладающие 200 шагами на оборот

в полношаговом и 400 шагами на оборот в полушаговом режиме, и ролики диаметром 15 мм. Таким образом один полушаг двигателя дает $0,9^\circ$, при этом линейное перемещение будет равняться длине дуги сегмента круга радиусом 7.5 мм, образованной углом 0.9° (1).

$$\Delta x = \Delta y = 7.5 \cdot \frac{\pi}{180} = 0,12 \text{ мм.} \quad (1)$$

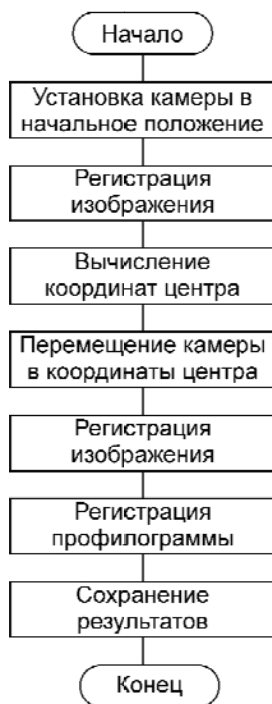


Рис. 3. Алгоритм работы системы

Следовательно, максимальная точность позиционирования камеры в прототипе составляет 0,12 мм.

Работа системы описывается алгоритмом, изображенным на рис. 3.

Начальное положение камеры является левым нижним положением, допустимым конструкцией. Это положение считается за точку с координатами (0 мм; 0 мм). В дальнейшем координаты определяются через смещение относительно начальной точки. После регистрации изображения происходит его обработка, заключающейся в выделении контура детали из общего фона, для чего изображение бинаризуется с помощью алгоритма Брэдли с последующей медианной фильтрацией, после чего восстанавливается контур детали и заливается контрастным цветом. После чего происходит поиск геометрического центра тяжести по (2), процесс которого проиллюстрирован на рис. 4.

$$x_c = \frac{I_x}{S}; \quad y_c = \frac{I_y}{S}, \quad (2)$$

где $S = \sum_D \Delta x \Delta y$ – площадь фигуры, ограниченной контуром детали; $I_x = \sum_D x_i \Delta x \Delta y$ – статический момент относительно оси абсцисс, Δx и Δy элементы, которые принадлежат площади фигуры, ограниченной контуром детали, а x_i – координата конкретного элемента (пикселя) по оси абсцисс. $I_y = \sum_D y_i \Delta x \Delta y$ – статический момент относительно оси ординат,

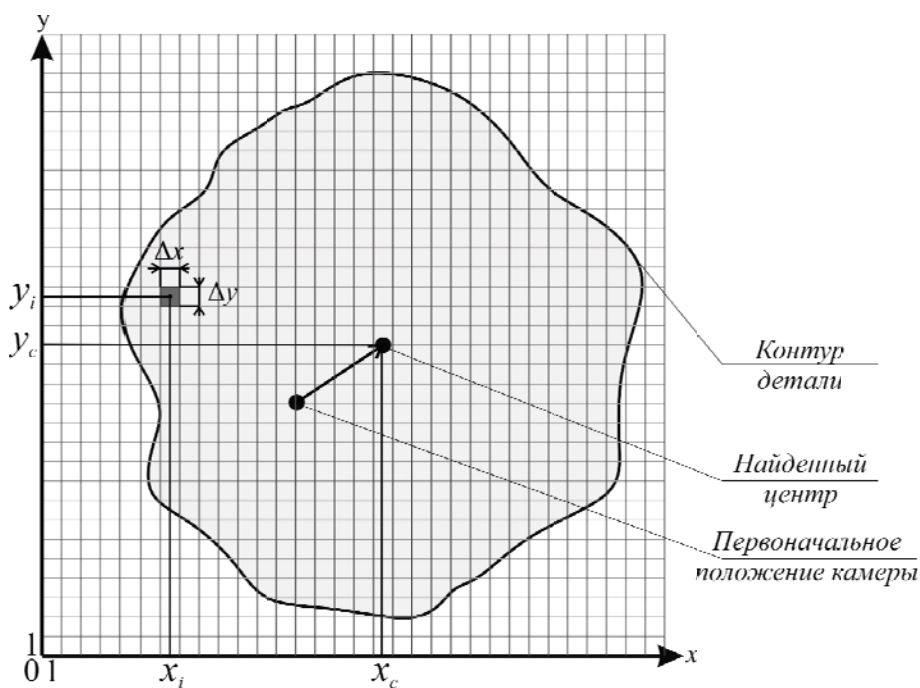


Рис. 4. Иллюстрация метода геометрического центра тяжести

Δx и Δy элементы, которые принадлежат площади фигуры, ограниченной контуром детали, а y_i – координата конкретного элемента (пикселя) по оси ординат. Данный алгоритм был

реализован в виде прикладного программного пакета для ЭВМ и был протестирован как на идеальных, так и на реальных изображениях (рис. 5).

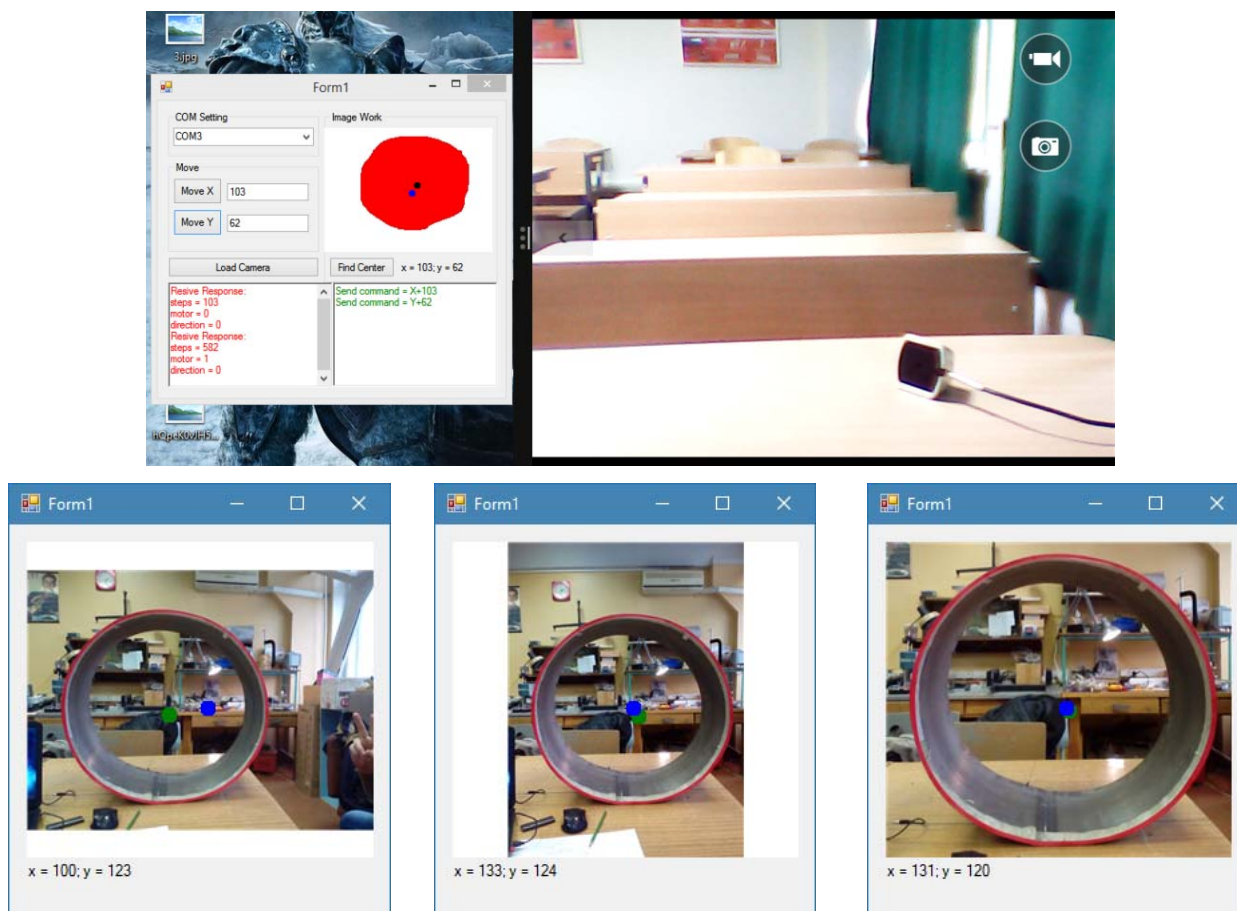


Рис. 5. Экранные формы программного пакета для поиска центра (синяя точка – центр изображения, зеленая – найденный центр детали)

После определения центра на изображении, необходимо перейти к центру в метрической системе, относительно начального положения камеры, для чего необходимо рассчитать пропорцию между длиной и шириной пикселя на изображении и длиной и шириной реального участка поверхности. В прототипе использовалась IP-камера ZORQ ZQ-IPC3-BAS-28VO, с разрешением 2048x1536, матрицей 1/2.8 дюйма (ширина 4.84, длина 3.63) и варифокальным объективом с фокусным расстоянием от 2.8 до 12 мм (для дальнейших расчетов примем фокусное расстояние в 12 мм).

Угол обзора рассчитывается, исходя из размера матрицы и фокусного расстояния (3) (рис. 6):

$$\alpha = 2 \arctg \left(\frac{d}{2F} \right), \quad (3)$$

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

Исходя из (3) угол обзора составляет 17.202° и 22.803° по вертикали и горизонтали соответственно. Исходя из угла обзора можно рассчитать область видимости камеры (4) (рис. 6):

$$A = 2tg \left(\frac{\alpha}{2} \right) L \quad (4)$$

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

Исходя из (4) область видимости составляет 3.025 м в высоту и 4.033 м в ширину. Таким образом, одному пикселю на изображении будет соответствовать $3.025 \text{ м} / 1536 = 2 \text{ мм}$ реального объекта, что и составляет разрешающую способность системы и максимальную точность позиционирования камеры. Более высокую точность можно получить, используя более длиннофокусные объективы.

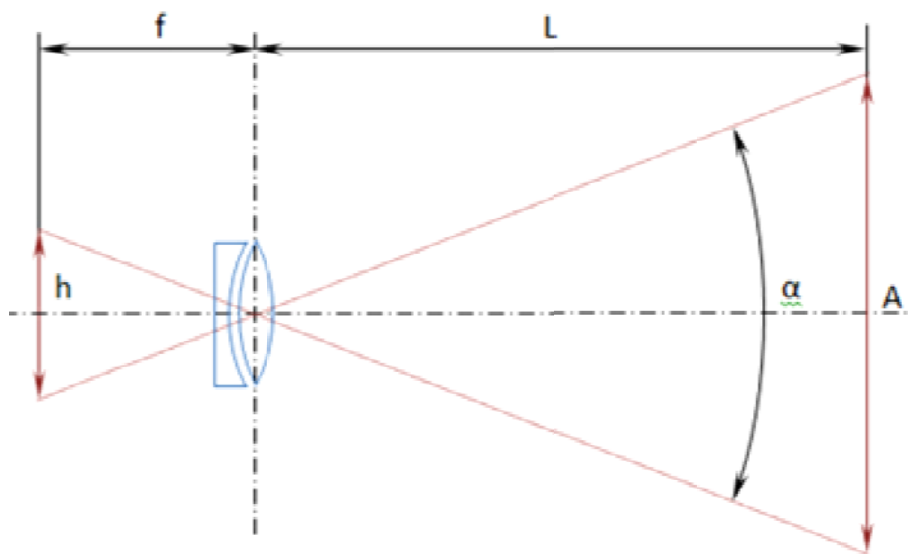


Рис. 6. Оптическая схема камеры

Предположим, что центр детали определен в точке (1000; 800), после чего координаты центра и сторона участка отправляется с помощью протокола RS-232 в микроконтроллер, который пересчитывает координаты в метрическую систему и рассчитывает количество шагов, которое необходимо сделать шаговым двигателям для того, чтобы центр изображения камеры и центр детали лежали на одной горизонтальной оси (3).

$$N_x = \frac{1000 \cdot 2}{0,12} = 16666;$$

$$N_y = \frac{800 \cdot 2}{0,12} = 13333$$

После расчета происходит подача импульсов на драйвер. После выставления камеры в центр детали осуществляется повторная регистрация изображения, которая бинаризуется и фильтруется тем же образом, что и изображение, с помощью которого находился центр, после чего по изображению регистрируется профилограмма детали с заданным оператором угловым шагом по алгоритму, изображенному на рис. 7.

После регистрации профилограмма передается на ЭВМ оператора для последующей ее обработки и хранения.

На основе алгоритмов и расчетов, приведенных выше, спроектирован и реализован

прототип ОЭПС (рис. 8), который был протестирован на модели обечайки (рис. 5).



Рис. 7. Алгоритм регистрации профилограммы

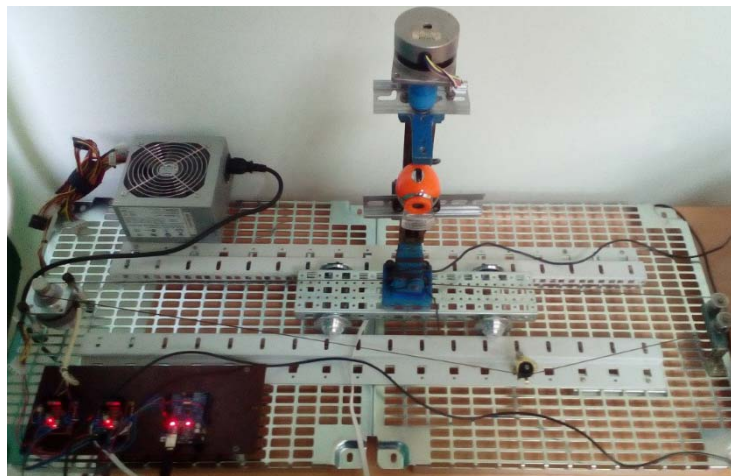


Рис. 8. Фотография прототипа устройства

Прототип показал достоверность расчетов и корректность основных разработанных алгоритмов, последующая модернизация которого заключается в усовершенствовании элементной базы и увеличении точности механических конструкций.

Заключение

Внедрение прибора в промышленность позволит повысить качество выпускаемой продукции, за счет использования информации о геометрических параметрах основных базовых деталей – обечаек. Эта информация позволит реализовать оптимальную сборку оборудования с минимальными отклонениями сопрягаемых поверхностей. В результате такой сборки снижаются трудовые затраты и повышаются эксплуатационные характеристики выпускаемой продукции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шилин, А. Н. Метрологический анализ устройства позиционирования оптико-электронного прибора контроля крупногабаритных оболочек вращения / А. Н. Шилин, Д. Г. Сницарук // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2017. – № 5. – С. 39–45.
2. Шилин, А. Н. Определение центров профилограмм обечаек при сборке корпусов нефтеаппаратуры / А. Н. Шилин, С. А. Петров // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2010. – № 9. – С. 15–19.
3. ГОСТ 28187-89. Основные нормы взаимозаменяемости. Отклонения формы и расположения поверхностей. Общие требования к методам измерений. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1996. – 19 с.
4. Шилин, А. Н. Анализ методов и схем измерения геометрических параметров обечаек в процессе их формообразования / А. Н. Шилин // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2002. – № 9. – С. 44–52.
5. Шилин, А. Н. Адаптивная оптико-электронная система контроля профилограмм оболочек вращения / А. Н. Шилин, Д. Г. Сницарук // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2018. – № 2. – С. 40–45.
6. П. м. 159150 РФ, МПК G01B11/00. Оптико-электронное устройство для измерения размеров обечаек / Д. Г. Сницарук, А. Н. Шилин; ВолгГТУ. – 2016.
7. Шилин, А. Н. Оптико-электронная система контроля профилограмм внутренних поверхностей обечаек / А. Н. Шилин, Д. Г. Сницарук // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 11 (176) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2015. – (Серия «Электроника, измерительная техника, радиотехника и связь»; вып. 12). – С. 74.
8. Шилин, А. Н. Оптико-электронный дальнометрический прибор контроля профилограмм обечаек / А. Н. Шилин, Д. Г. Сницарук, А. А. Степанов // Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт : научный журнал № 2 (19) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2017. – С. 53–57.

УДК 622.78.8:558

А. А. Коноваленко, А. И. Нефедьев

ДАТЧИК НАЛИЧИЯ ПЛАМЕНИ ДЛЯ КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: nefediev@rambler.ru

В статье приведены проблемы контроля наличия пламени в топке печи. Рассмотрены различные методы контроля пламени, показаны их достоинства и недостатки. Приведена конструкция и параметры разработанного опто-ионизационного датчика пламени, позволяющего контролировать пламя в топке печи с высокой надежностью.

Ключевые слова: контроль пламени, топка, печь, опто-ионизационный датчик, фотодатчик.

A. A. Konovalenko, A. I. Nefediev

THE SENSOR OF THE PRESENCE OF THE FLAME FOR THE BOILER INSTALLATION

Volgograd State Technical University

The problems of controlling the presence of a flame in a furnace are given. Various methods of flame control are considered, their advantages and disadvantages are shown. The design and parameters of the developed opto-ionization flame sensor are given, which allows controlling the flame in the furnace with high reliability.

Keywords: flame control, furnace, furnace, opto-ionization sensor, photo sensor.

Стабильное пламя в топках котельных установок является необходимым условием их работы [1]. В процессе пуска котельной установки возможны ситуации создания взрывоопасных концентраций топлива в случае невоспламенения горелки и несвоевременного отключения подачи топлива к данной горелке. В энергетике в обязательном порядке применяется защита, отключающая все запальные устройства и прекращающая подачу топлива к котлу и горелкам при невоспламенении или при погасании факела горелки при растопке котла [2].

Контроль наличия пламени осуществляется при помощи датчиков, основное предназначение которых заключается в обеспечении безопасного функционирования различных установок по сжигания твердого, жидкого или газообразного топлива [3]. Датчики и приборы для контроля пламени также участвуют в автоматическом или полуавтоматическом процессе розжига пламени, осуществляют постоянный контроль за процессом сгорания топлива с учетом всех требуемых условий и мероприятий по защите. Таким образом, надежность и безотказность работы котельных установок всецело зависит от правильного выбора датчиков контроля пламени [4].

Для контроля наличия пламени при сжигании в топках котлов газа и жидкого топлива применяются как методы прямого контроля (ультразвуковой, термометрический, ионизационный, фотоэлектрический), так и методы косвенного контроля (контроль за разрежением в топке, контроль за давлением топлива в подающем трубопроводе, за давлением или перепадом давления перед горелкой, а также контроль за наличием постоянного источника воспламенения). Также широко применяются методы контроля, основанные на электрическом потенциале пламени, и на электрической пульсации пламени [5].

Наиболее часто применяемый фотоэлектрический метод контроля за горением топлива заключается в измерении степени видимого и невидимого излучения пламени соответствующими фотодатчиками, фиксирующими оптические

свойства пламени. Фотодатчики, применяемые в таких системах, осуществляют регистрацию всех изменений интенсивности принимаемого ими светового потока, и отличаются они друг от друга по длине волны, принимаемой от источника излучения. При сгорании топлива излучение происходит в видимом, инфракрасном и ультрафиолетовом спектре. Основная часть энергии, излучаемой пламенем, соответствует инфракрасной части спектра, и характеризуется длиной волны 0,8–800 мкм. Видимому излучению соответствует длина волны в диапазоне 0,4–0,8 мкм, ультрафиолетовому излучению соответствует длина волны в диапазоне 0,28–0,4 мкм (области УФ-А и УФ-В). В соответствии с выбранным чувствительным элементом фотодатчики делятся на инфракрасные, ультрафиолетовые или просто датчики светимости [6].

Также часто используется ионизационный метод контроля, основанный на использовании электрических свойств пламени. Работа датчика ионизации основана на фиксировании электрических процессов, возникающих и протекающих в пламени. К таким процессам можно отнести способность пламени проводить ток, возбуждать в электродах, помещенных в пламя, собственную э.д.с., выпрямлять переменный ток, что во всех случаях обуславливается степенью ионизации пламени. Преимуществом ионизационного метода является безынерционность, так как при погасании контролируемого пламени ионизационные процессы сразу прекращаются, что приводит к практически мгновенному отключению подачи газа в горелки котла. Недостатком ионизационного метода контроля является нестабильная работа в условиях с интенсивно запыленной рабочей атмосферой, а также в условиях сильного вихревого движения газов. Ионизационный контроль надежно работает в условиях прямотруйного факела, не имеющего застойных вихревых зон.

Надежность работы датчика пламени и надежность всей системы защиты от погасания пламени зависят как от правильного выбора типа датчика, так и от места и способа его установки. Все типы датчиков пламени имеют опре-

деленные достоинства и недостатки, и неправильный выбор типа датчика или его неправильная установка может вызвать возникновение ложного сигнала. Для снижения вероятности ошибки обнаружения пламени при выборе датчиков для конкретного проекта необходимо принимать во внимание все их особенности [7].

Таким образом, для повышения надежности работы и уменьшения количества остановок котла из-за подачи ошибочного сигнала от датчика пламени необходимо применять несколько различных датчиков, работающих на принципиально независимых друг от друга принципах.

Для решения этой задачи был разработан датчик контроля пламени горелки комбинированного типа, сочетающий в себе оптический и ионизационный принципы работы [8]. В оптической части разработанного датчика происходит выделение и усиление переменного сигнала, возникающего в процессе горения. Так как при горении топлива образуются пульсации яркости пламени горелки, то они являются индикатором процесса горения, и преобразуются

в электрический сигнал при помощи фотодатчика, сигнал с которого усиливается, нормализуется по амплитуде, и поступает в устройство обработки сигнала. Второй датчик работает на ионизационном принципе, при этом ток между его электродами проходит только при наличии пламени. Таким образом, сигнал на выходе второго датчика появляется также только при наличии пламени. При отсутствии пламени ток между электродами датчика не протекает.

Конструкция разработанного опто-ионизационного датчика контроля пламени горелки котельной установки приведена на рис. 1. Датчик состоит из оптической системы ОС, представляющей собой стержень из кварцевого стекла, помещенного в защитную оболочку, датчика ионизации ДИ, представляющей собой керамический стержень, внутри которого находятся два электрода из жаропрочной стали, и корпус, внутри которого находятся устройство обработки сигналов и на котором установлены разъем Р1 для подключения к устройству автоматики, и разъем питания Р2.

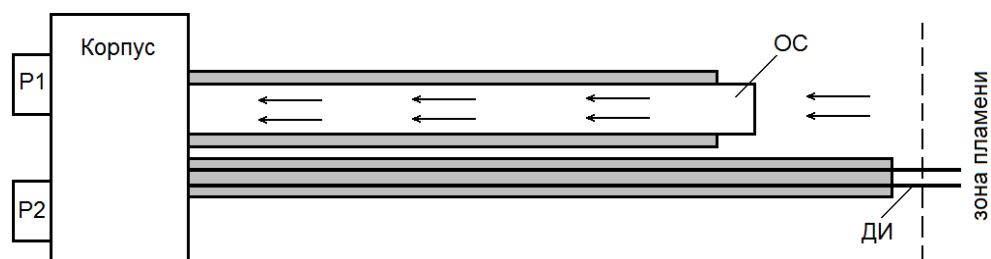


Рис. 1. Опто-ионизационный датчик контроля пламени

Структурная схема устройства обработки сигналов с датчиков приведена на рис. 2. В состав устройства входят: фотодатчик ФД, усилитель-формирователь сигналов фотодатчика УФ1, усилитель-формирователь сигналов датчика ионизации УФ2, и микроконтроллер МК. Микроконтроллер связан с устройством автоматики через разъем Р1. Напряжение питания подводится через разъем Р2.

При наличии пульсаций пламени на выходе фотодатчика ФД возникают сигналы переменной амплитуды (высокочастотные пульсации яркости факела), которые усиливаются при помощи усилителя-формирователя УФ1, приводятся к логическим уровням и подаются на один из входов микроконтроллера МК.

Через электроды ионизационного датчика ДИ протекает ток только при наличии пламени. Сигнал с датчика ионизации усиливается, приводится к логическим уровням при помощи

усилителя-формирователя УФ2 и подается на второй вход микроконтроллера, который производит обработку сигналов с фотодатчика ФД и датчика ионизации ДИ, и формирует управляющий сигнал для блока автоматики котла, одновременно отражая наличие/отсутствие пламени на световом индикаторе.

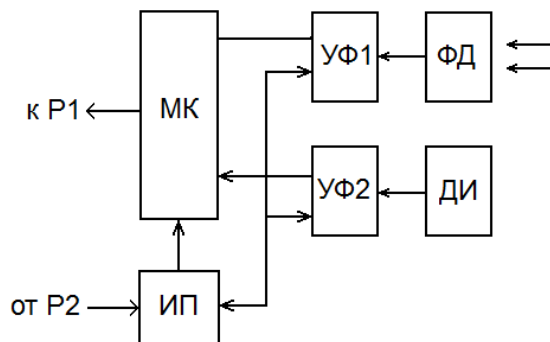


Рис. 2. Структурная схема устройства обработки сигналов

Микроконтроллер, кроме формирования признака наличия и отсутствия пламени в топке котла, также обеспечивает самодиагностику с выводом состояния датчика на световой индикатор.

Разработанный опто-ионизационный датчик контроля пламени горелки котельной установки позволяет контролировать наличие пламени при сжигании газа или жидкого топлива. Для повышения надежности работы применены режимы автоматической и ручной настройки чувствительности датчиков и влияния фонового излучения, самоконтроля прибора по превышению температуры, контроля обрыва линий связи, загрязнения оптической системы датчика, и вызванного этим снижения чувствительности.

Параметры опто-ионизационного датчика

Коммуникационный протокол	RS-485
Время срабатывания, при появлении/погасании пламени с, не более.....	0,5/1
Напряжение питания, В	12–24
Потребляемый ток, А, не более	0,2
Температура окружающего воздуха, °С	-25 ...+85
Масса, кг, не более	0,3

Основными функциями комбинированного опто-ионизационного датчика контроля являются сигнализация погасания пламени, что вызывает быстрое срабатывание защиты и прекращение подачи топлива, самоконтроль исправности датчика, автоподстройку параметров датчика, сохранение параметров датчика в энергонезависимой памяти микроконтроллера при исчезновении питания и сбоях в работе, а также формирование дискретного выходного сигнала для устройства автоматики.

Таким образом, сочетание в одном устройстве двух различных датчиков, работающих на двух независимых друг от друга принципах, и имеющих общее устройство обработки сигналов, позволит обеспечить повышенную надежность определения наличия пламени при сжигании газа или жидкого топлива в котельной установке.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Береснев, А. Л. Повышение эффективности теплогенераторных установок методом контроля горения топлива по сигналу ионного тока. [Электронный ресурс] / А. Л. Береснев, А. Ю. Будко // «Инженерный вестник Дона», 2013, № 4. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1973> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.
2. РД 153-34.1-35.108-2001. Технические условия на выполнение технологических защит и блокировок при использовании мазута и природного газа в котельных установках в соответствии с требованиями взрывобезопасности. – М.: ОРГРЭС. - 2002.
3. Huth, A. Heilos. Fuel flexibility in gas turbine systems: impact on burner design and performance // A volume in Woodhead Publishing Series in Energy, Siemens AG Energy, Germany, 2013, P. 635–684.
4. Полтавцев, О. В. Датчики контроля пламени – один из важнейших факторов безопасной работы котельной [Электронный ресурс] / О. В. Полтавцев // Новости теплоснабжения. – 2016. – № 12 (196). – Режим доступа : www.rosteplo.ru/nt/196 (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.
5. Берсенева, И. С. Автоматика отопительных котлов и агрегатов / И. С. Берсенева, М. А. Волков, Ю. С. Давыдов. – М.: СТРОЙИЗДАТ, 1979. – 376 с.
6. Приборы контроля пламени, сигнализаторы горения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.termonika.ru/inf/pribory-kontrolya-plameni-signalizatory-goreniya.shtml> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.
7. Луговской, А. И. Контроль за работой печей и факельного хозяйства / А. И. Луговской, С. А. Логинов, Г. Д. Паршин, Е. А. Черняк // Химия и технология топлив и масел. – 2000. – № 5. – С. 50–52.
8. Нефедьев, А. И. Комбинированный датчик контроля пламени / А. И. Нефедьев, А. А. Коноваленко // Молодой ученый. – 2018. – № 21. – С. 69–71. – Режим доступа: URL <https://moluch.ru/archive/207/50699/> (дата обращения: 06.06.2018).

УДК 629.113

Ю. Я. Комаров, А. Алишхан

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ПЕРЕСЕЧЕНИИ ОМАРА АБУ РИША В РАЙОНЕ МУХАФАЗА В Г. АЛЕППО (САР)

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: atrans@vstu.ru, alaalaash@yahoo.com

В этом исследовании были проанализированы статистические данные о пересечении дорожного движения и текущая ситуация дорожного движения на пересечении Омара Абу Риша, а также был выявлен ряд дорожных проблем, которые привели к снижению качества эксплуатации на этом пересечении и повлияли на последующие пересечения в регионе. Чтобы устранить эти проблемы и повысить уровень обслуживания, для каждой проблемы был предложен ряд решений, основанных на изучении и анализе текущей реальности пересечения. При реализации этих решений цель исследования может быть достигнута за счет повышения уровня эксплуатации в целом и повышения уровня безопасности дорожного движения.

Ключевые слова: Омар Абу Риша – название пересечения, организация дорожного движения, кольцевое пересечение.

YU. Y. Komarov, A. Alshahwan

STUDY AND ANALYSIS OF TRAFFIC PROBLEMS IN OMAR ABU RISHA INTERSECTION IN MUHAFAZH ZONE IN ALEPPO (SAR)

Volgograd State Technical University

This study analyzed traffic intersection statistics and the current traffic situation at the intersection of Omar Abu Risha, and also identified a number of road problems that led to a decrease in the level of operation at this intersection and affected subsequent crossings in the region. To eliminate these problems and improve the level of service, for each problem, a number of solutions were proposed, based on the study and analysis of the current reality of the intersection. With the implementation of these solutions, the research objective can be achieved by increasing the level of operation in general and improving the level of road safety.

Keywords: Omar Abu Risha- the name of the intersection, organizations of road traffic, the circular intersection.

Введение

Одними из наиболее опасных участков УДС являются пересечения в одном уровне. Наилучшим образом отвечают требованиям движения пересечения в разных уровнях. Однако их строительство связано с большими капиталовложениями. В связи с этим целесообразно применять кольцевые пересечения, обеспечивающие пропускную способность, по величине близкую к пропускной способности пересечений в разных уровнях [1, 4].

Город Алеппо важный коммерческий и экономический центр не только в Сирии, но и на всем Ближнем Востоке. В этом исследовании мы изучим и оценим фактическое состояние дорожного движения на пересечении Омара Абу Риша в районе Мухафаза в г. Алеппо и выясним наиболее важные проблемы и их причины, а также попытаемся найти решения, актуальные на сегодняшний день и на дальнейшую перспективу, которые помогут улучшить управление дорожным движением и его организацию на перекрестке Омара Абу Риша, в частности, и в районе Мухафаза в целом.

Проблематика вопроса

Развитие района Мухафаза в последние годы и увеличение числа различных видов деятельности, сопровождающиеся увеличением плотности движения и объема транспортных потоков в регионе, создало ряд проблем трафика на основных перекрестках в районе, в первую очередь на пересечении Омара Абу Риша, который подвергался многим временным задержкам [2, 3], особенно в часы «пик» в дополнение к недостаточной текущей ситуации кольца с изменениями движения в течение дня, в дополнение к низкому уровню безопасности движения пешеходов на этом перекрестке.

Цели и задачи

Целью исследования является повышение качества эксплуатации и уровня безопасности движения транспортных потоков (ТП) и пешеходов, в частности, на перекрестке Омара Абу Риша, и в районе Мухафаза в целом.

В целях сокращения проблем дорожного движения на пересечении Омара Абу Риша и повышение качество обслуживания в целом и повышение уровня безопасности движения пешеходов, будет изучена и проанализирована текущая дорожная ситуация на пересечении и выявлены проблемы движения, которые возникают на пересечении и на основе которых будет предложено несколько решений для достижения цели исследования.

Пути исследования

Для достижения цели исследования были предприняты следующие этапы:

Первый этап: Описать текущую дорожную ситуацию на пересечении

На этом этапе будут определены статус пересечения, статистика движения и текущая ситуация с дорожным движением на перекрестке.

Текущая ситуация

Перекресток Омара Абу Риша расположен в районе Мухафаза. Все его стороны расположены на одном уровне. Он находится между четырьмя основными дорогами (пр. Омара Абу Риша дороги с севера – пр. Инженерия с юга – пр. Ибн аль – Нафис с востока – пр. Университет с запада), как показано на рис. 1. Дорожное движение на пересечении организовано с помощью четырех светофоров, распределенных на четырех подходах, которые работают в соответствии с фиксированной системой контроля. Все подходящие к нему дороги имеют центральные разделительные полосы, а также возвышенный «остров» диаметром 23,5 м [2, 3].

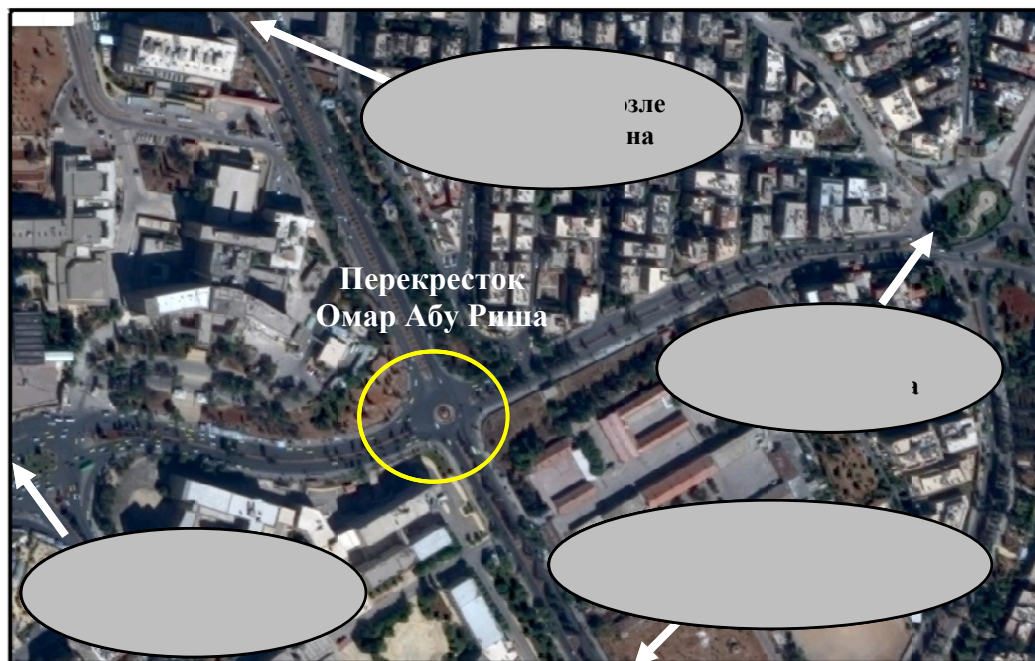


Рис. 1. Перекресток Омар Абу Риша

Компоненты трафика на перекрестке в 2013 г.

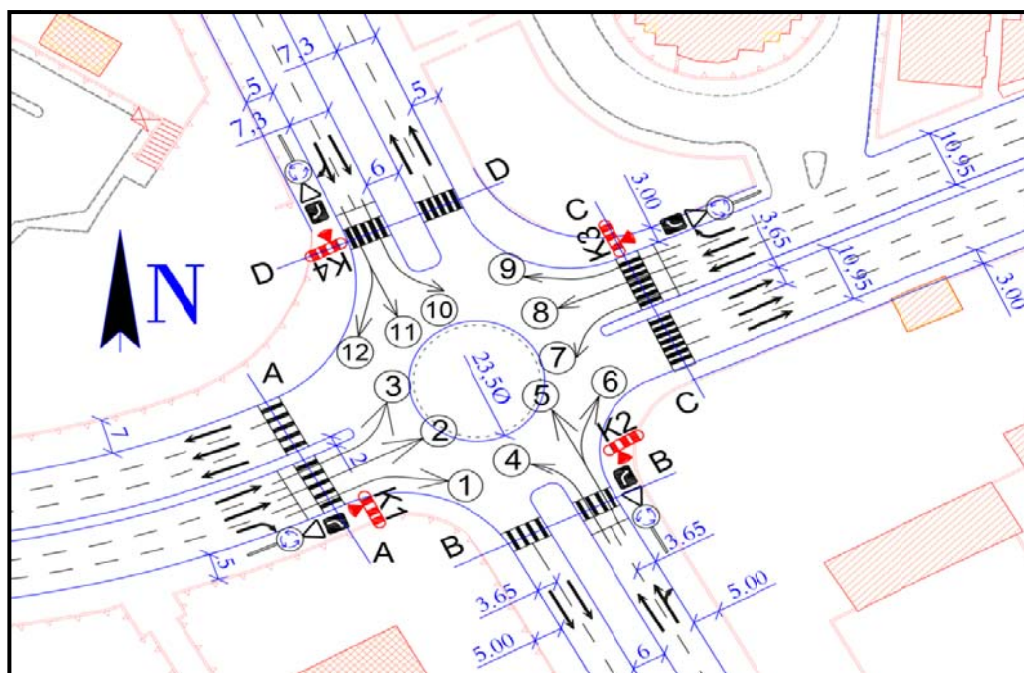


Рис. 2. Схема движения на пересечении Омар Абу Риша [3]

Получены статистические данные о перекрестке Омара Абу Риша, в часы «пик» в 2013 году [3].

На рис. 2 показаны некоторые характеристики трафика пересечения (потoki трафика – полосы движения – некоторые дорожные измерения – пешеходные переходы – светофоры и дорожные знаки).

На графике (рис. 3) показаны компоненты транспортных потоков движения на пересечении: количество транспортных средств каждого типа для каждого направления движения до пересечения, согласно статистике в 2013 году. Получено, что западный вход пересечения с потоками движения (1–2–3) характеризуется самым интенсивным движением.

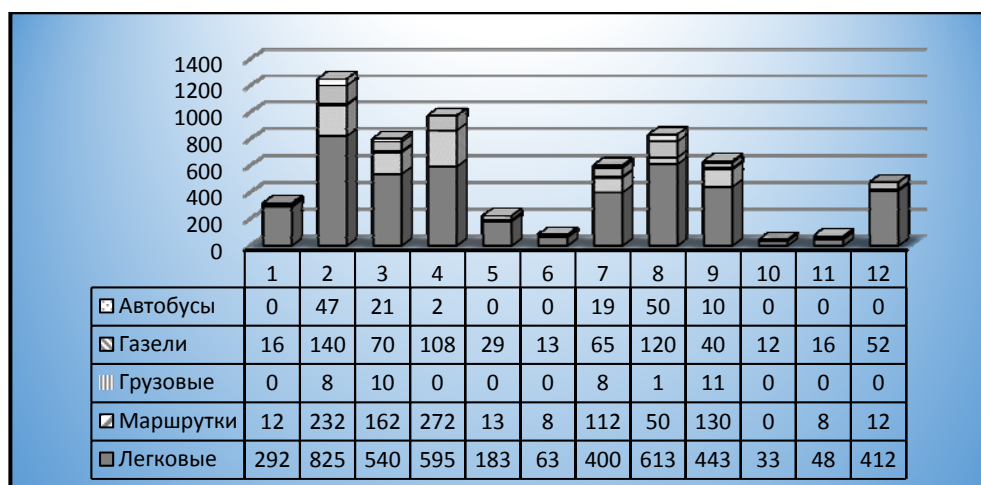


Рис. 3. Поток транспортных средств в часы «пик» (с/ч) [3]

На пересечении зарегистрированы различные виды транспортных средств, процент которых различается по типу [3].

График (рис. 4) показывает количество каж-

дого типа транспортных средств на пересечении, где наибольший процент имеют легковые автомобили (70 %), затем маршрутное такси (16 %) и самый низкий процент грузовые автомобили (1 %).

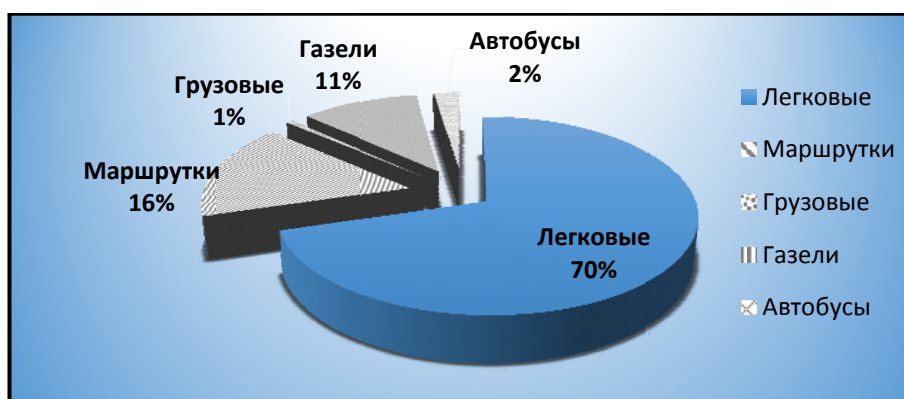


Рис. 4. Процент различных транспортных средств, поступающих на перекресток в часы «пик» [3]

Чтобы представить влияние изменения типа транспортного средства (ТС) на объем движения, все ТС были преобразованы в эквивалентный приведенный автомобиль, а приведенная интенсивность движения была определена количеством эквивалентных транспортных средств, в соответствии с табл. 1 [2, 3], где показаны интенсивности движения по номерам потоков и для всего пересечения в целом в 2013 году [3].

Приведенная интенсивность на пересечении увеличилось на 52 % по сравнению с 2005 годом [3].

Таблица 1

Номер потока	Количество (ЭТС)	Процент от всего потока пересечения (%)
1	334	4
2	1517	20
3	961	13
4	1170	16
5	246	3
6	95	1
7	729	10
8	995	13
9	745	10
10	51	1
11	84	1
12	508	7
всего потока пересечения	7434	100

Светофоры

На каждом входе пересечения установлен светофор, временное расписание светофоров представляет собой двухфазную программу, которая работает в соответствии с системой фиксированного контроля. Различные фазы и время фаз показаны в табл. 2 [3].

Таблица 2

Фазы	Светофоры	Красный	Желтый	Зеленый	Время цикла
Фаза 1	K1 + K3	45 сек	3 сек	50 сек	98 сек
Фаза 2	K2 + K4	50 сек	3 сек	45 сек	98 сек

Пешеходные переходы

Муниципальные учреждения (университет Алеппо – больница университета – государственные учреждения) и мероприятия, которые там проводят, делают движение пешеходов в районе пересечения активным.

В табл. 3 показано количество пешеходов в часы «пик» в каждом из пешеходных направлений [3], указанных на рис. 3.

Таблица 3

Пешеходы	
Направление	Количество пешеходов/ч
A – A	980
B – B	720
C – C	590
D – D	484

Второй этап: Проблемы пересечения Омара Абу Риша

На этом этапе определены наиболее важные проблемы на пересечении, которые влияют на ситуацию с дорожным движением и безопасность дорожного движения на пересечении, чтобы позже найти пути их решения.

Заторовые ситуации в зоне кругового движения

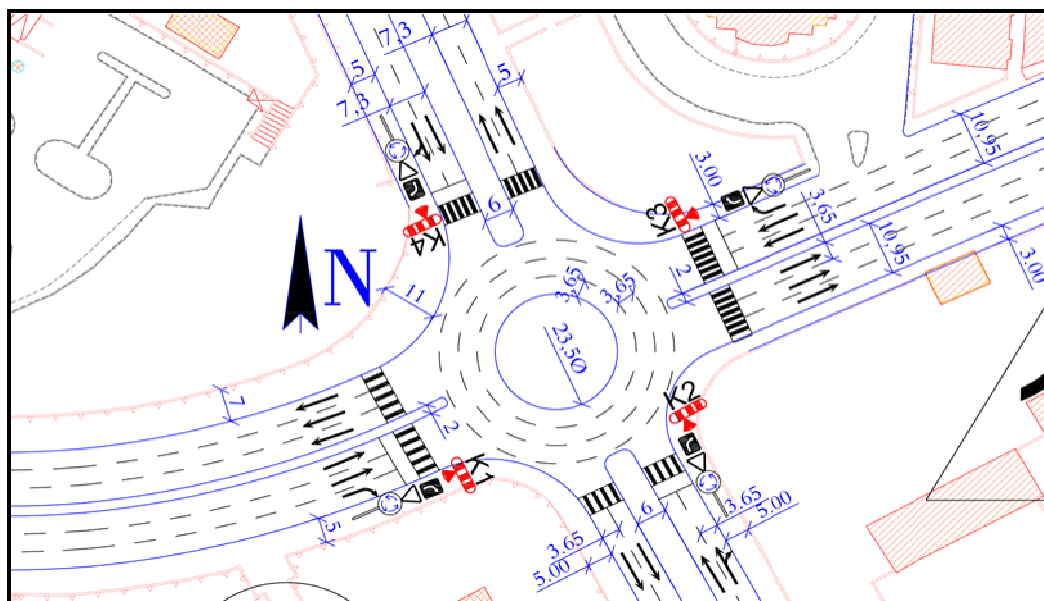


Рис. 5. Схема размеров и полос в зоне кольца

На рис. 5 видно, что диаметр кольца составляет 23,5 м [3] и зона кругового движения пересечения содержит три полосы движения. Этого количества недостаточно для обеспечения нормальной пропускной способности (без пробок) для входящих потоков трафика в кольцо. Нужно обратить внимание, что общее количество эквивалентных транспортных средств в часы «пик» увеличилось примерно на 52 % по сравнению с уровнем 2005 года,

а количество полос в зоне кругового движения не изменилось. Это самый большой затор, который происходит во время первой фазы светофора. В это время входящие потоки трафика на пересечении составляют 71 % от общего объема движения на пересечении, в результате увеличивается количество остановок в круговой зоне, растет число ДТП, увеличивается время движения, загрязнение воздуха и потребление топлива.

светофора для потоков (1–2–3) и (7–8–9). Дать зеленый свет для потоков (1–2–3) перед подачей зеленого света потоку (7–8–9) через промежуток времени, который поможет снизить загрузку полос движения внутри круговой зоны.

Предлагаемые решения для уменьшения времени задержки:

- Моделирование потоков трафика пересечения и расчет временного цикла светофора, чтобы учесть изменения входящих потоков движения на круговом пересечении по типу и плотности, а также распределение интенсивности движения на входе в пересечение. Таким образом, временные рамки светофорного цикла соответствуют интенсивности трафика на каждом входе перекрестка и уменьшают время задержки.

- Моделирование пересечения входящих потоков трафика с использованием переменной системы светофорных циклов для входящей интенсивности в разные периоды таким образом, чтобы временный цикл светофора, а также длительность каждой фазы изменялись в соответствии с интенсивностью входящих потоков движения, где наиболее длительный период подается самым плотным потокам.

- Дать предпочтение потокам (1–2–3) и потокам (4–5–6) как наиболее интенсивным (рис. 2). Начать фазу зеленого сигнала для этих потоков до зеленой фазы других потоков, что поможет их эффективному пропуску.

Заключение

Проанализировав ситуацию дорожного движения на пересечении Омара Абу Риша в г. Алеппо (САР) и рассмотрев наиболее важные проблемы, влияющие на дорожную ситуацию пересечения, можно предложить некоторые решения, с помощью которых можно решить или сократить проблемы и повысить уро-

вень качества эксплуатации на пересечение в целом. Делаем следующие заключения:

1. Транспортная ситуация на пересечении Омара Абу Риша нуждается в ряде мероприятий для улучшения качества эксплуатации пересечения, как одного из самых важных пересечений в районе Мухафаза, что должно положительно повлиять на качество эксплуатации близлежащих перекрестков.

2. Расписание длительности цветовых фаз светофора не соответствует текущей ситуации движения на пересечении. Необходимо пересмотреть и рассчитать фазы светофорного регулирования в соответствии с текущими изменениями дорожного движения.

3. Сведения о показателях пересечения указывают на рост количества автомобилей, использующих пересечение. Это требует улучшения инфраструктуры пересечения и расширения кругового пересечения, как было упомянуто в предложениях, чтобы повысить качество эксплуатации пересечения с большим количеством транспортных средств.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Джавадов, А. А. Основные этапы развития кольцевых пересечений / А. А. Джавадов, Ю. Я. Комаров, И. Ю. Грошев // Молодой ученый. – 2015. – № 23. – С. 131–133.
2. Аль-Мохамед, Р. Автомобильный транспорт / Риад Аль-Мохамед; профессор на кафедре автомобильного транспорта, Алеппо университета, Сирия. – Инженерия трафика (2). – 2013. – С. 90–120.
3. Аль-Мохамед, Р. Аналитическое исследование влияния сигналов трафика на поток колец в г. Алеппо с использованием компьютерных программ / Р. Аль-Мохамед, Д. Каро // Кандидатская диссертация – Университет Алеппо – Сирия. – 2015. – С. 72–139.
4. Поздняков, М. Н. Организация движения на кольцевых пересечениях: учеб. пособие / М. Н. Поздняков. – Ростов-на-Дону: Рост. гос. строит. ун-т, 2010.

УДК629.3.017

*Альсаламех Бальсам, В. И. Рязанцев***О РАБОТЕ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ РЕАКЦИЙ ДОРОГИ
НА КОЛЕСА АВТОМОБИЛЯ СОВМЕСТНО
С СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ СХОЖДЕНИЕМ КОЛЕС****МГТУ им. Н. Э. Баумана**

E-mail: ryazantsev1@yandex.ru

В ранее опубликованных работах рассматривались вопросы повышения устойчивости и управляемости автомобиля, связанные с применением новой системы активной безопасности – системы стабилизации вертикальных реакций дороги на колеса автомобиля (СВРДК). В этой статье анализируется влияние на устойчивость движения автомобиля совместного применения системы стабилизации вертикальных реакций дороги на колеса автомобиля и системы управления схождением колес (САРС). Представляется целесообразным анализ эффективности совместного применения двух систем при движении автомобиля по периодическому профилю на режиме, когда дорога возбуждает подвеску на частоте резонанса вертикальных колебаний колес. Оценивается влияние работы двух систем на устойчивость движения автомобиля на периодическом профиле по прямой при действии боковых сил (ветра) и по кругу. Результаты исследования показывают целесообразность применения системы стабилизации вертикальных реакций дороги на колеса для обеспечения эффективности работы системы управления схождением колес при движении автомобиля по периодическому профилю.

Ключевые слова: система стабилизации вертикальных реакций дороги на колеса автомобиля (СВРДК), система управления схождением колес (САРС), устойчивость движения автомобиля.

*Alsalameh Balsam, V. I. Ryazantsev***ON THE WORK OF THE SYSTEM OF STABILIZATION OF VERTICAL REACTIONS
OF THE ROAD TO THE WHEELS OF THE CAR TOGETHER WITH
THE CONTROL SYSTEM FOR THE CONVERGENCE OF THE WHEELS****MSTU N. E. Bauman**

In previously published papers, the issues of improving the stability and controllability of the car were discussed, related to the application of the new active safety system-the stabilization system for vertical reactions to the car's wheels (SVRDК). This article analyzes the impact on the stability of the car's motion using a system of stabilizing the vertical reactions of the road to the car's wheels and the wheel drive control system (SARS). It seems advisable to analyze the effectiveness of the joint application of the two systems when the car moves along the periodic profile in a mode where the road excites the suspension at the frequency of resonance of the vertical oscillations of the wheels. The influence of the operation of the two systems on the stability of the vehicle's motion on the periodic profile on the straight line under the action of lateral forces (wind) and in a circle is estimated. The results of the research show the expediency of using the system of stabilizing vertical reactions of the road to the wheels to ensure the efficiency of the control system for the convergence of the wheels when the vehicle moves along a periodic profile.

Keywords: system of stabilization of vertical reactions of the road to the wheels of the car (SVRDК), the control system for the convergence of wheels (SARS), stability of the vehicle movement.

Введение

Среди множества автоматизированных систем, применяемых в настоящее время в автомобиле, значительное их число должны обеспечить повышение устойчивости и улучшение управляемости автомобиля. Можно отметить такие системы, как антиблокировочная система (АБС), противобуксовочная система (ПБС), система курсовой устойчивости (ESP), система распределения тормозных сил между передним и задним мостами (EBD), система активного управления схождением колес (САРС). В процессе работы над повышением безопасности автомобиля предлагаются новые системы активной безопасности, и, в частности, предлага-

ется новая система – система стабилизации вертикальных реакций дороги на колеса автомобиля (СВРДК) при движении по периодическому профилю. В случае применения многочисленных систем активной безопасности, естественно может возникать вопрос о взаимодействии таких систем. В настоящей статье рассматривается взаимодействие системы стабилизации вертикальных реакций дороги на колеса автомобиля с системой активного управления схождением колес и влияние применения этих систем на устойчивость движения автомобиля. В этом плане представляется необходимым исследовать ряд различных режимов движения автомобиля по дороге с периодическим

профилем, что позволяет оценить эффект от применения системы СВРДК. Последняя выполнена на основе традиционной подвески, которая рассмотрена в многочисленных работах современных авторов [1–5]. В ней содержится дополнительный элемент – управляемый электрический линейный двигатель или гидроцилиндр. До последнего времени введение таких элементов в подвеску обосновывалось необходимостью управления колебаниями подрессоренной массы. Этой теме посвящены также многочисленные работы [6–13]. В рамках настоящей работы будем рассматривать использование вышеупомянутых элементов с целью повышения устойчивости движения автомобиля.

Система активного управления углом схождения колес одной оси в прямолинейном движении

Принципы управления схождением колес автомобиля на различных режимах его движения по ровной дороге описаны в работе [14]. В простейшем случае для управления схождением колес при движении по прямой, CAPS содержит элементы, представленные на блок-схеме (рис. 1). В их состав входят датчики поперечных сил, действующих на каждое управляемое колесо; исполнительный механизм, позволяющий регулировать длину поперечной тяги; блок управления, принимающий сигналы от датчиков и вырабатывающий команду, подаваемую на исполнительный механизм, а также источник энергии, требуемой для работы привода, регулирующего длину поперечной тяги рулевой трапеции.

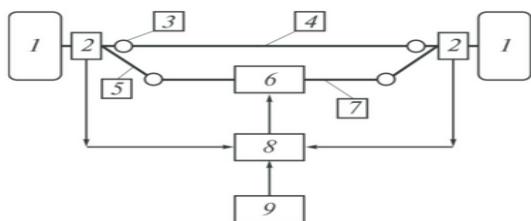


Рис. 1. Блок-схема CAPS в прямолинейном движении: 1 – автомобильное колесо; 2 – датчик боковой силы на колесе; 3 – поворотный шарнир колеса; 4 – мост; 5 – поворотный рычаг; 6 – исполнительный механизм; 7 – поперечная полутяга; 8 – блок управления; 9 – источник энергии

Управление схождением колес при движении автомобиля на вираже или на прямой под действием боковой внешней силы (силы бокового ветра, например) выполняется по несколько более сложному алгоритму. В этом случае могут быть применены дополнительно датчики вертикальных реакций дороги на колеса или системы, заменяющие их. В автомобиле Sonata 6 фирмы Hyundai непосредственное измерение

боковых сил, действующих на колеса на повороте, было заменено измерениями с помощью системы, включающей датчик угла поворота рулевого колеса и датчик скорости автомобиля [14–16], что позволяет оценить суммарную боковую силу, действующую на колеса и тем самым примерно оценить боковые силы, действующие на каждый мост. На основе этих данных возможно управлять схождением колес при движении автомобиля на повороте.

Структура и математическая модель системы стабилизации вертикальных реакций дороги на колеса автомобиля

Новый метод повышения устойчивости движения автомобиля, т. е. повышения его активной безопасности, основан на управлении колебаниями вертикальных реакций дороги на колеса автомобиля с целью стабилизации этих реакций. На рис. 2 схематически представлена система стабилизации вертикальной реакции дороги для одного колеса. Подвеска с системой стабилизации вертикальной реакции включает подрессоренную массу, имитирующую кузов автомобиля, неподрессоренную массу, имитирующую массу автомобильного колеса с подвижными деталями подвески, подшипникового узла и тормозного механизма. Подрессоренная и неподрессоренная массы связаны упругим элементом и амортизатором. Параллельно им включен управляемый элемент – исполнительное устройство, называемое актюатор.

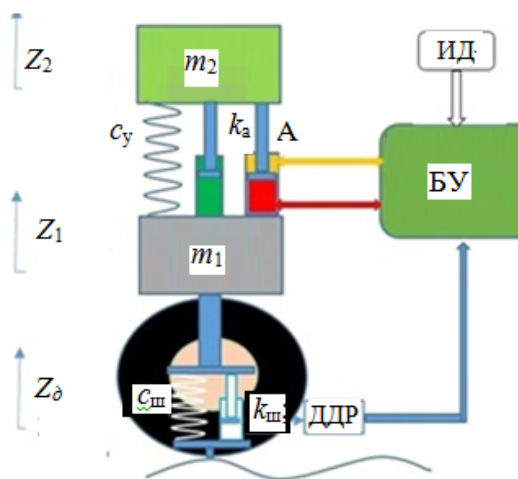


Рис. 2. Схема управления реакцией дороги на колесо автомобиля при движении по периодическому профилю: m_1 , m_2 – неподрессоренная и подрессоренная массы; c_y – жесткость упругого элемента; k_a – коэффициент сопротивления амортизатора; А – актюатор (например, гидроцилиндр); $c_{ш}$ – радиальная жесткость шины; $k_{ш}$ – коэффициент неупругого сопротивления шины; БУ – блок управления; ДДР – датчик динамического радиуса; ИД – источник давления; z_2 , z_1 – вертикальные координаты подрессоренной и неподрессоренной масс; z_d – вертикальная координата профиля дороги

Представленная выше модель описывается уравнениями

$$\begin{aligned} m_2 \cdot \ddot{z}_2 &= c_y \cdot (z_1 - z_2 + A_{II}) + k_a \cdot (\dot{z}_1 - \dot{z}_2) + cc \cdot (z_1 - z_\delta - r_{cm}) - m_2 \cdot g \\ m_1 \cdot \ddot{z}_1 &= -c_y \cdot (z_1 - z_2 + A_{II}) - k_a \cdot (\dot{z}_1 - \dot{z}_2) - cc \cdot (z_1 - z_\delta - r_{cm}) - m_1 \cdot g + \\ &+ c_{ui} \cdot (z_\delta - z_1 + A_{ui}) + k_{ui} \cdot (\dot{z}_\delta - \dot{z}_1) \end{aligned}$$

Здесь cc – передаточный коэффициент, определяющий величину силы, создаваемой в актюаторе; A_{II} , A_{ui} – постоянные коэффициенты, r_{cm} – статический радиус колеса

Динамическая модель движения автомобиля в пространстве

С помощью динамической модели автомобиля выполнен расчет траектории движения автомобиля, скоростей, боковых сил и прочих параметров. В основе математической модели рассматриваемой системы шесть обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка, описывающих поступательные и вращательные движения поддрессоренной массы m автомобиля. С помощью этих уравнений определяем элементарные поступательные и угловые перемещения поддрессоренной массы автомобиля относительно осей собственной системы координат x_a, y_a, z_a . Для определения перемещений автомобиля в пространстве относительно глобальной системы координат $OXYZ$ используем матрицы перехода.

$$\begin{cases} m \cdot (\ddot{x}_{ac} + \omega_{ya} \cdot \dot{z}_{ac} - \omega_{za} \cdot \dot{y}_{ac}) = \Sigma F_{xa} \\ m \cdot (\ddot{y}_{ac} + \omega_{za} \cdot \dot{x}_{ac} - \omega_{xa} \cdot \dot{z}_{ac}) = \Sigma F_{ya} \\ m_{ПОД} \cdot (\ddot{z}_{ac} + \omega_{xa} \cdot \dot{y}_{ac} - \omega_{ya} \cdot \dot{x}_{ac}) = \Sigma F_{za} \\ I_{xa} \cdot \dot{\omega}_{xa} + (I_z - I_y) \cdot \omega_{za} \cdot \omega_{ya} = \Sigma M_{xa} \\ I_{ya} \cdot \dot{\omega}_{ya} + (I_x - I_z) \cdot \omega_{xa} \cdot \omega_{za} = \Sigma M_{ya} \\ I_{za} \cdot \dot{\omega}_{za} + (I_y - I_x) \cdot \omega_{xa} \cdot \omega_{ya} = \Sigma M_{za} \end{cases}$$

К шести дифференциальным уравнениям добавляются четыре уравнения движения колес автомобиля.

$$m_{ij} \cdot \ddot{z}_1 = F_{zij} - m_{ij} \cdot g - F_{znij} \quad i=1, 2 \quad j=1, 2$$

Здесь I_{xa} , I_{ya} , I_{za} – моменты инерции относительно осей собственных координат x_a , y_a , z_a ; ω_{xa} , ω_{ya} , ω_{za} , $\dot{\omega}_{xa}$, $\dot{\omega}_{ya}$, $\dot{\omega}_{za}$ – угловые скорости и ускорения относительно осей x_a , y_a , z_a собственных координат; $\dot{x}_{ac}$, $\dot{y}_{ac}$, $\dot{z}_{ac}$, $\ddot{x}_{ac}$, $\ddot{y}_{ac}$, $\ddot{z}_{ac}$ – продоль-

ные скорости и ускорения центра масс по осям x_a , y_a , z_a ; ΣF_{xa} , ΣF_{ya} , ΣF_{za} – суммы сил по осям x_a , y_a , z_a ; ΣM_{xa} , ΣM_{ya} , ΣM_{za} – суммы моментов по осям x_a , y_a , z_a ; m – масса автомобиля; $m_{ПОД}$ – поддрессоренная масса; m_{ij} – масса колеса ij ; F_{zij} – реакция от дороги на колесо ij ; F_{znij} – действующая сила от подвески колеса ij на кузов.

В реальном движении автомобиля на режиме резонанса колес может возникнуть их отрыв от дороги. В этом случае математическое описание связи колеса с дорогой принимает нелинейный характер. К описанию, принятому для линейной модели, добавляется условие, заключающееся в том, что вертикальная реакция колеса не может быть отрицательной. Для решения нелинейной задачи такого вида применим метод имитационного моделирования, реализуемый в пакете MatlabSimulink. В процессе моделирования выполнялся автоматический расчет параметров ПИД-регулятора в программе MatlabSimulink. Полученные результаты представлены в последующем изложении.

Моделирование некоторых режимов движения автомобиля по периодическому профилю с применением систем СВРДК и САРС

В компьютерном эксперименте выполнены расчеты движения автомобиля по периодическому профилю дороги на ряде режимов, характеризующихся как отсутствием, так и применением СВРДК:

- 1) движение по прямой при наличии боковой силы (с ветровой нагрузкой);
- 2) движение по кругу;

Моделирование прямолинейного движения автомобиля по синусоидальному профилю с амплитудой 0.04 м в режиме резонанса колеса (на частоте 10 гц) позволяет оценить эффективность управления процессом стабилизации вертикальных реакций на этой частоте (рис. 4).

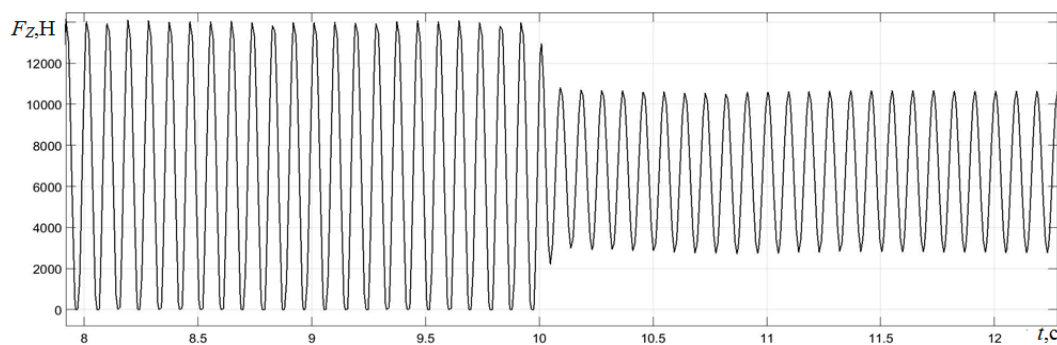


Рис. 4. Изменения вертикальной реакции дороги на колесо автомобиля при движении в резонансном режиме колеса по синусоидальному профилю с амплитудой 0.04 м без управления (при $t = 0-10$ с) и с управлением вертикальными реакциями (при $t > 10$ с)

В режиме движения без управления вертикальными реакциями величина амплитуды вертикальной реакции колеса составляет 14500 Н. В режиме движения с управлением амплитуда вертикальной реакции уменьшается до 7855 Н, практически в два раза. Это существенно увеличивает устойчивость автомобиля в поперечном направлении, повышая безопасность его движения.

Моделирование движения автомобиля по прямой под действием боковой, линейно возрастающей силы F_y

Допустим, что внешняя боковая сила проходит через центр масс автомобиля, который

в нашем случае находится в центре автомобиля (подвеска автомобиля выполнена симметричной), значения коэффициентов сопротивления увода передних и задних колес одинаковые. Диаграмму изменения силы бокового ветра можно видеть на рис. 5.

Результаты расчетов, выполненных в процессе моделирования движения автомобиля, представлены на рис. 6.

В таблице представлены результаты расчетов отклонения центра масс автомобиля под действием бокового ветра при работе в различных сочетаниях систем СВРДК и САРС.

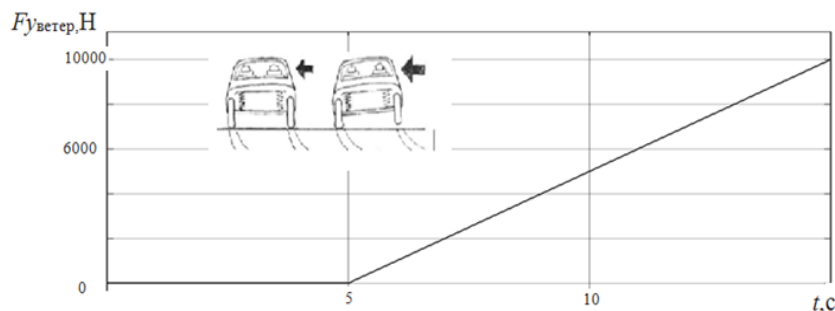


Рис. 5. Изменения боковой силы, действующей на автомобиль

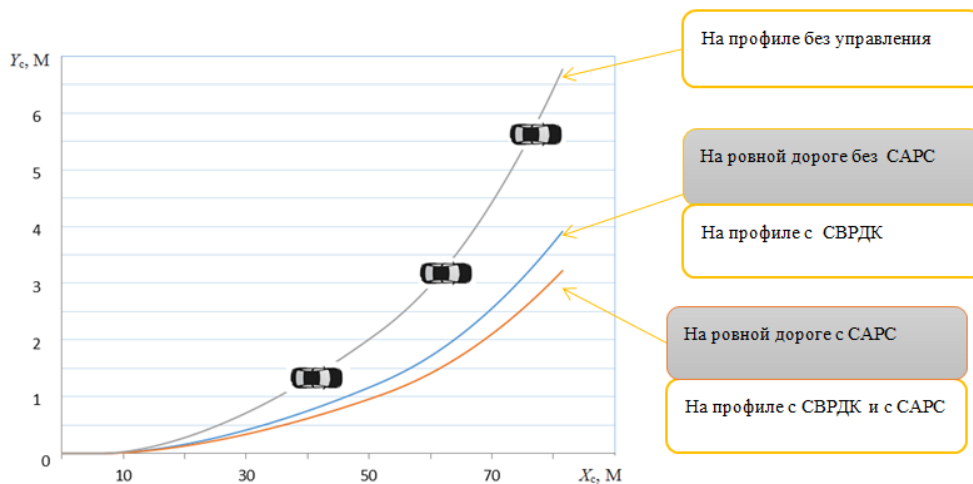


Рис. 6. Кривые траекторий центра масс при его движении по прямой под действием бокового ветра в различных комбинациях систем СВРДК и САРС

Характер дороги	Боковое смещение ΔY (м) при $t=15$ с			
	Без управления	САРС	СВРДК	САРС СВРДК
На ровной дороге	3.9	3.3	—	—
На профиле с амплитудой	6.8	6.8	3.9	3.3

Влияние совместного применения СВРДК и САРС при движении автомобиля по кругу на дороге с периодическим профилем

Рассмотрим влияние на устойчивость движения автомобиля применения управления вертикальными реакциями дороги на колеса автомобиля (СВРДК) и управления сходимением (САРС) при его движении по кругу с периодическим профилем дороги в режиме резонанса

колес. Как и при исследовании прямолинейного движения, в качестве одного из характерных режимов движения выполним моделирование движения автомобиля по кругу накатом. Результаты расчета представлены на рис. 7. За базу для сравнения результатов расчетов принято движение автомобиля по кругу с радиусом 22.5 м с начальной скоростью 10 м/с и последующим ее увеличением.

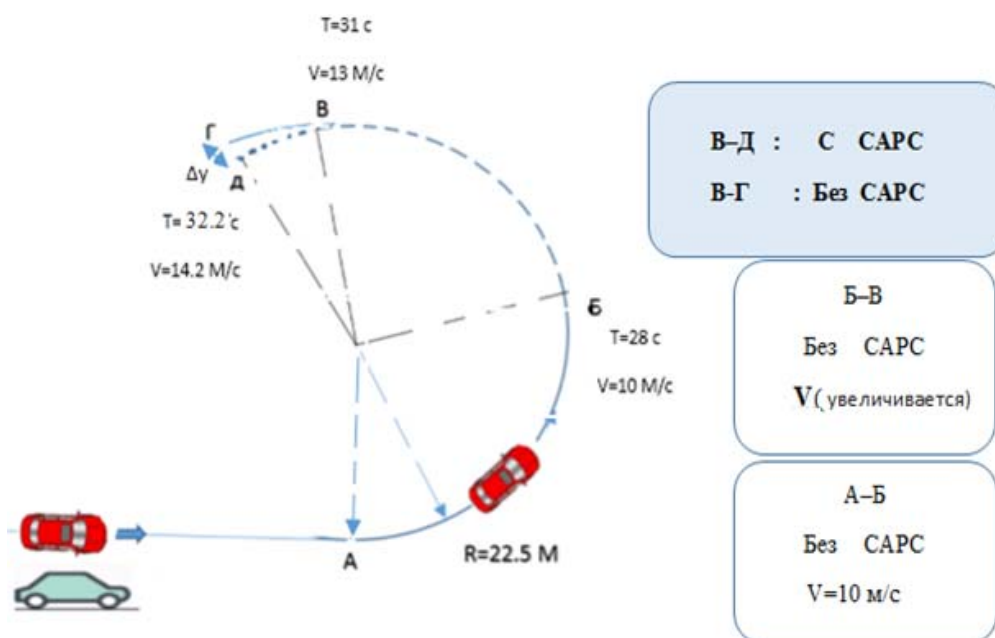


Рис. 7. Траектории движения накатом по кругу в режиме с управлением сходимением колес на всех осях и без управления при движении по ровной дороге (СВРДК не работает)

На диаграммах приняты обозначения положения автомобиля на траектории: *A* – начало расчета (начало моделируемого движения автомобиля); *B* – конец режима движения с постоянной скоростью, или начало разгона; *B* – выход первого колеса, заднего внутреннего, и очень скоро вслед за ним переднего внутреннего колеса автомобиля (при отсутствии управления) на боковое скольжение; *D* – положение автомобиля с работающей САРС (без СВРДК) в момент, соответствующий началу бокового скольжения передней оси автомобиля; *DI* – положение автомобиля с работающей САРС и СВРДК в момент t_d , соответствующий началу

бокового скольжения передней оси автомобиля, *I* – положение автомобиля (без САРС и без СВРДК) в момент t_d , *II* – положение автомобиля с работающей САРС (без СВРДК) в момент t_d .

При движении автомобиля с неуправляемым сходимением с увеличением скорости до 14,2 м/с отклонение наружу от заданной траектории составляет $\Delta y = 0,53$ м.

На рис. 8 и 9 представлены результаты расчета движения автомобиля на дорогах с различной амплитудой профиля дороги при использовании различных комбинаций применения СВРДК и САРС.

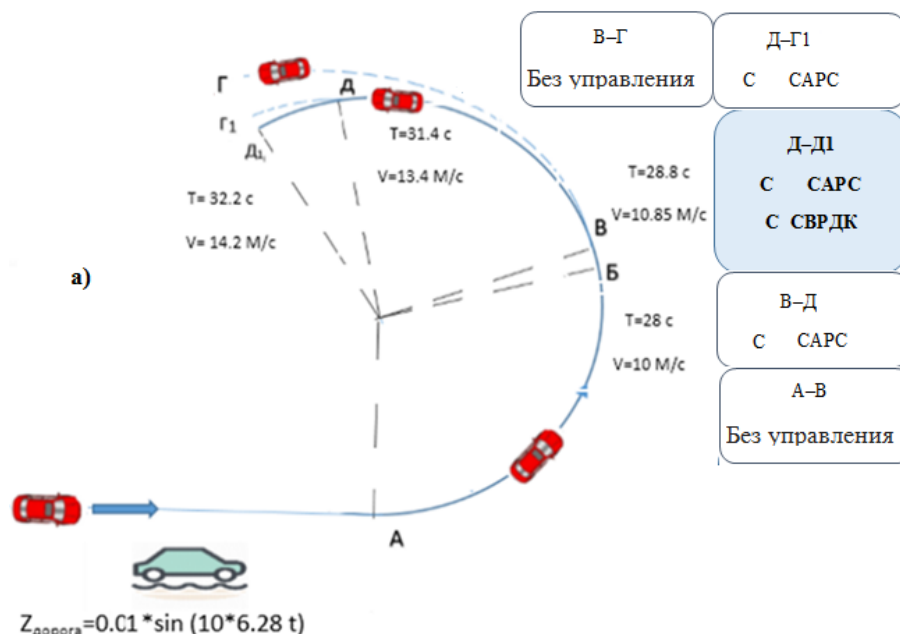


Рис. 8. Траектории движения автомобиля накатом по кругу в режиме с управлением схождения колес на всех осях при движении по периодическому профилю дороги с амплитудой 0,01 м, с управлением и без управления вертикальными реакциями дороги на колеса

При движении автомобиля по периодическому профилю дороги с амплитудой 0,01 м (рис. 8) автомобиль без СВРДК движется по кругу с постоянной скоростью 10 м/с без бокового скольжения колеса. Через 0,7 с после начала разгона автомобиль начинает скользить боком. В упомянутом случае система САРС не в состоянии обеспечить устойчивое движение автомобиля. Для продолжения движения без бокового скольжения необходимо включить систему СВРДК, что позволяет получить более

стабильный контакт между дорогой и колесами, и обеспечить более эффективную работу системы САРС, повышая устойчивость движения автомобиля. При движении автомобиля по дороге с амплитудой профиля 0,01 м отклонение траектории автомобиля с неуправляемым схождением и неуправляемыми вертикальными реакциями составляет $\Delta y = (y_{Д1} - y_{Г1}) = 1.05$ м (без САРС и без СВРДК). При использовании управления схождением колес $\Delta y = y_{Д1} - y_{Г1} = 0.61$ м (с САРС, но без СВРДК).

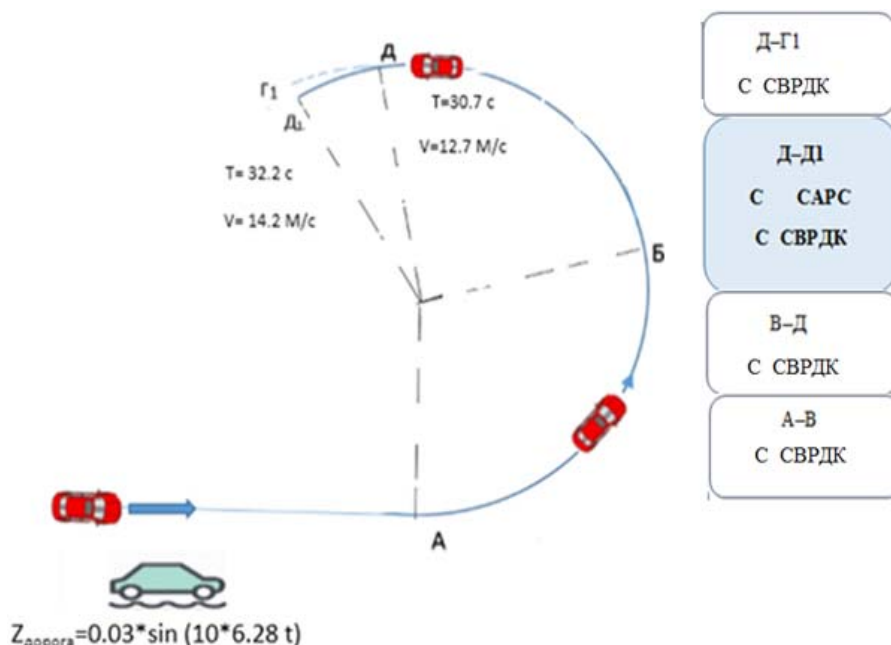


Рис. 9. Траектории движения накатом по кругу в режиме с регулированием схождения колес на всех осях при движении по периодическому профилю дороги с амплитудой 0,03 м

При движении автомобиля по периодическому профилю дороги с амплитудой 0,03 м отклонение наружу траектории автомобиля с неуправляемым схождением составляет до $\Delta y = y_{Д1} - y_{Г1} = 0.8$ м. Как показано на рис. 8–9, система стабилизации вертикальных реакций дороги на колеса автомобиля позволяет достигать максимальной скорости автомобиля без бокового скольжения колес, соответствующей максимальной скорости на ровной дороге с управлением схождением, точка Д на рис. 7, и Д1 на рис. 8 и 9.

Отсутствие включенной системы СВРДК не позволяет автомобилю, двигающемуся со скоростью 10 м/с, даже войти на траекторию круга. Используя СВРДК, автомобиль устойчиво входит и движется по круговой траектории со скоростью до 14.2 м/с (точка Д). Получаем отклонение от траектории, сравнимое с соответствующим отклонением в результате движения по ровной дороге (рис. 7).

Расчеты показали, что при совместном применении систем СВРДК и САРС возможно устойчивое движение автомобиля и при амплитуде периодического профиля дороги большей, чем 0.03 м. Значения затрачиваемой мощности и значения управляющих параметров в системе управления СВРДК зависят от амплитуды дороги.

Чтобы показать влияние параметров регулятора на работу системы СВРДК в расчете движения автомобиля по профилю с амплитудой 0,03 м, уменьшали значение коэффициента пропорционального регулятора в 10 раз. При этом мощность управления уменьшалась на 8 %. В результате расчета получилось, что скорость машины с СВРДК и с работающей САРС в момент начала скольжения составляет 12.26 м/с против ранее полученной 14.2 м/с.

Заключение

Рассмотренные результаты моделирования движения автомобиля с системами СВРДК и САРС позволяют прийти к выводу о том, что применение предлагаемой активной подвески, представляющей собой систему стабилизации вертикальных реакций дороги на колеса автомобиля, вместе с системой управления схождением колес автомобиля, САРС, позволяет обеспечить эффективность работы системы САРС при движении автомобиля по периодическому профилю дороги, что повышает устойчивость движения автомобиля в условиях действия бо-

ковой внешней силы (на вираже, при боковом ветре) и возбуждении от дороги на резонансной частоте колес.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ларин, В. В. Теория движения полноприводных колесных машин / В. В. Ларин. – Москва, Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. – 391 с.
2. Jazar, R.N. Vehicle Dynamics: Theory and Application. NY, Springer Science+Business Media, 2008. 1015 p.
3. Жеглов, Л. Ф. Спектральный метод расчета систем поддрессирования колесных машин / Л. Ф. Жеглов. – Москва, Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2013. – 212 с.
4. Жилейкин, М. М. Повышение быстроходности многоосных колесных машин путем адаптивного управления упруго-демпфирующими элементами системы поддрессирования: дис. ... д-ра техн. наук / М. М. Жилейкин. – Москва, 2012. – 280 с.
5. Попов, Д. Н. Механика гидро- и пневмоприводов / Д. Н. Попов. – Москва, Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 320 с.
6. Venkateswarulu E., Ramesh raju N., Seshadri G. The active suspension system with hydraulic actuator for half car model analysis and self-tuning with PID controllers. International Journal of Research in Engineering and Technology, 2014, vol. 3, is. 9, pp. 415–421. URL: <http://esatjournals.net/ijret/2014v03/i09/IJRET20140309065.pdf> (дата обращения 15 февраля 2017).
7. Fang J. Active suspension system of quarter car. A thesis presented to the graduate school of the University of Florida in partial fulfillment of the requirements for the degree of master of science, University of Florida, 2014. 70 p. URL: <http://matlabproject.ir/form/files/246735.pdf> (дата обращения 1 февраля 2017).
8. Kruczek A., Stribrsky A. A Full-Car Model for Active Suspension – Some Practical Aspects. Proceedings of the IEEE International Conference on Mechatronics, 2004, pp. 41–45. Available at: ieeexplore.ieee.org/iel5/9394/29807/01364409.pdf (accessed 15 February 2017).
9. Fu Cheng Wang. Design and Synthesis of Active and Passive Vehicle Suspensions. A dissertation submitted for the degree of Doctor of Philosophy, University of Cambridge. United Kingdom, 2001. Available at: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.6.5818&rep=rep1&type=pdf> (accessed 1 February 2017).
10. Kruczek A., Stribrsky A., Honcu J., Hlinovsky M. Automotive active suspension – case study on H-infinity control. Proceedings of the 13th WSEAS International Conference on Automatic Control, Modelling and Simulation, 2011, pp. 392–397. Available at: <http://wseas.us/e-library/conferences/2011/Lanzarote/ACMOS/ACMOS-78.pdf> (accessed 1 February 2017).
11. Fayyad S.M. Constructing Control System for Active Suspension System. Contemporary Engineering Sciences, 2012, vol. 5, no. 4, pp. 189–200. Available at: <http://m-hikari.com/ces/ces2012/ces1-4-2012/fayyadCES1-4-2012-1.pdf> (accessed 15 February 2017).
12. Kruczek A., Stribrsky A., Honcu J., Hlinovsky M. Active Suspension – Case Study on Robust Control. World Academy of Science, Engineering and Technology, 2011, vol. 78, pp. 411–416. Available at: <http://waset.org/publications/15781/active-suspension-casestudy-on-robust-control> (accessed 15 February 2017).
13. Chantranuwathana S., Huei Peng. Adaptive robust force control for vehicle active suspensions. International Journal of Adaptive Control and Signal Processing, 2004, pp. 83–102.

Available at: https://www.researchgate.net/publication/227657270_Adaptive_robust_force_control_for_vehicle_active_suspensions (accessed 15 February 2017).

14. Рязанцев, В. И. Активное управление сходимостью колес автомобиля / В. И. Рязанцев. – Москва, изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007. – 212 с.

15. [1] Lee U., Lee S., Catala A. A new 4WS concept for Hyundai Sonata. URL: http://www.autofocusasia.com/engine_chassis_systems/active_geometry_control дата обращения 20.11.2014).

16. Lee S., Sung H., Lee U. The Development of Active Geometry Control Suspension (AGCS) System, SAE 2005-01-1927.

УДК 656.121

К. В. Егоров, Ю. Я. Комаров, А. А. Джавадов

**ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНЫХ УЗЛОВ
В ПОСЕЛЕНИЯХ, ГОРОДСКИХ ОКРУГАХ, ГОРОДАХ ФЕДЕРАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ**

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: atrans@vstu.ru

В статье рассмотрены новейшие методические рекомендации по устойчивому развитию транспортно-пересадочных узлов в поселениях, городских округах, городах федерального значения Российской Федерации, одобренные научно-техническим советом открытого акционерного общества «Научно-исследовательского института автомобильного транспорта» и согласованные заместителем министра транспорта Российской Федерации, обозначены преимущества и недостатки нового документа, а также сделан вывод о применимости документа в процессе организации устойчивого развития транспортно-пересадочных узлов. Вынесены на обсуждение предложения по совершенствованию методических рекомендаций для решения практических задач развития транспортно-пересадочных узлов.

Ключевые слова: транспортно-пересадочный узел, транзитно-ориентированное развитие, общественный транспорт, пешеходная доступность, городской округ

K. V. Egorov, Yu. J. Komarov, A. A. Djavadov

**PROBLEMS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF TRANSPORT HUBS
IN THE SETTLEMENTS, URBAN DISTRICTS, FEDERAL CITIES
OF THE RUSSIAN FEDERATION AND WAYS OF THEIR SOLUTION**

Volgograd State Technical University

Article deals with the latest methodical recommendations on sustainable development of transport hubs in the settlements, urban districts, federal cities of the Russian Federation, approved by the scientific-technical Council of open joint stock company "Scientific research, institute motor transport" and agreed by the Deputy Minister of transport of the Russian Federation. Ways of improvement of methodical recommendations for the solution of practical tasks of development of transport hubs is proposed to be discussed.

Keywords: transport hub, transit-oriented development, public transport, pedestrian accessibility, urban district.

Методические рекомендации по устойчивому развитию транспортно-пересадочных узлов (далее – ТПУ) в поселениях, городских округах, городах федерального значения Российской Федерации (далее – Методические рекомендации) разработаны в начале 2017 года, одобрены научно-техническим советом открытого акционерного общества «Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта» и согласованы заместителем министра транспорта Российской Федерации [1] как руководство по проектированию и строительству ТПУ в границах городов Российской Федерации.

Стоит отметить, что в настоящее время в Российской Федерации нет единого стандарта

строительства и проектирования ТПУ, в первую очередь связано это с тем, что нет единого утвержденного определения понятия ТПУ, их классификации. Рассматриваемые Методические рекомендации в первую очередь являются попыткой систематизировать требования к ТПУ под единой нормативно-правовой основой, а также задать закономерно высокие и отвечающие современным тенденциям развития крупных городов требования по благоустройству и строительству новых ТПУ.

Методические рекомендации состоят из четырех разделов и блока приложений. Первый раздел представляет собой общие положения. В общих положениях перечислены целевые ау-

дитории пользователей Методических рекомендаций, которые включают себя как органы исполнительной власти субъектов Российской Федерации, органы местного самоуправления, так и проектные организации, транспортные предприятия, что говорит о предполагаемой широкой применимости нормативного документа. Второй и третий раздел представляют собой блок определений и классификационный блок различных типов ТПУ. Четвертый раздел представляет собой сами Методические рекомендации по устойчивому развитию ТПУ. Завершаются Методические рекомендации блоком приложений, включающим в себя в основном справочный материал к разделам II и III, а также некоторые количественные показатели параметров ТПУ, описываемых в разделе IV.

Стоит отметить, что при создании рассматриваемых Методических рекомендаций использовался Федеральный закон № 220 от 13 июля 2015 г. «Об организации регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [2]. Указанный закон в настоящее время является основанием для применения административного ресурса регионами Российской Федерации в сфере регулирования деятельности общественного транспорта. Кроме того, закон инициирует подготовку регионами комплексных транспортных схем, неотъемлемой частью которых и должны являться ТПУ.

На этапе апробации принимаемого нормативного документа в области организации устойчивого развития ТПУ важно оценить его практическую применимость как в условиях городов федерального значения, так и менее крупных городов Российской Федерации.

Практическая применимость разделов II «Классификация транспортно-пересадочных узлов» и III «Границы транспортно-пересадочных узлов» с точки зрения целевой аудитории пользователей Методических рекомендаций в настоящее время представляется высокой и целесообразной. Раздел наполнен количественными показателями, исключаящими их многозначную трактовку. При окончательном утверждении Методических рекомендаций, в рамках практических и научно-исследовательских работ, а также в ходе проектирования появляется возможность однозначного определения класса транспортно-пересадочного узла (и соответ-

ствующего утверждения уровня проведения исследовательских или проектных работ), вместе с тем каждый город на основе статистической обработки данных о фактических пассажиропотоках может принять свою шкалу градации ТПУ по критерию среднесуточного пассажиропотока.

В Методических рекомендациях также предлагается многопозиционная многоуровневая система классификации ТПУ: по значению ТПУ в системе транспортных коридоров (5 уровней); по среднему показателю пассажиропотока через ТПУ за единицу времени (6 уровней), основой для этой позиции была принята существующая многоуровневая система классификации автовокзалов и автостанций [3]; по выполняемой функции в утренний пиковый период (7 уровней); по месту ТПУ в планировочной структуре города (3 уровня); по расположению ТПУ в городском контексте (4 уровня); по потенциалу развития прилегающих к ТПУ территорий (3 уровня). По каждой из позиций уровни в зависимости от значимости или величины показателя несколько усложняет применение предлагаемого классификатора ТПУ. В практических целях было бы целесообразно по каждой позиции упорядочить значимость уровней либо в только в порядке увеличения, либо только в порядке уменьшения. Данный шаг, как было указано выше, также позволит оптимизировать подход по выбору и утверждению целесообразного уровня проведения исследовательских или проектных работ по конкретному ТПУ.

Методическими рекомендациями предлагается логичный шаг по введению механизма определения границ ТПУ «на местности», с учетом градостроительных и прочих особенностей территории. Количественным показателем измеряется лишь радиус зоны посадки/высадки на транспорт (окружность радиусом в 250 метров, что в два раза меньше существующего на территории Российской Федерации стандарта пешеходной доступности маршрутов общественного транспорта) [4], а также радиус территории экономического освоения территории (окружность радиусом в 800 метров).

Несмотря на универсальность разделов II и III Методических рекомендаций, они больше ориентированы на крупные города с населением свыше 500 тыс. жителей. В менее крупных городах стандартная классификация, без введения местных коэффициентов, будет однотипной и не в полной мере сможет передать те или иные особенности какого-либо ТПУ.

По практической применимости раздела IV «Рекомендации по устойчивому развитию транспортно-пересадочных узлов» Методических рекомендаций целесообразно отметить следующее.

При общей относительной универсальности разделов II и III Методических рекомендаций для городов и поселений в целом, раздел IV Методических рекомендаций ориентирован преимущественно на города Федерального значения, а также наиболее развитые города Российской Федерации с населением свыше 1 млн человек.

Подраздел 9 «Обеспечение высококачественного обслуживания пассажиров» раздела IV Методических рекомендаций, описывает общие требования ко времени и расстояниям пешеходных переходов в границах ТПУ, по информационному сопровождению пассажиров, требования, направленные на минимизацию конфликтов и обеспечение комфортного пешеходного движения, требования к оборудованию ТПУ удобствами и общественными пространствами, требования к безбарьерной среде и вертикальным перемещениям на территории ТПУ [5], требования к прогнозированию и минимизации рисков чрезвычайных ситуаций, аварий, правонарушений и действий и правонарушений, а также требования к организации освещения территории ТПУ. Однако подраздел 9 содержит исключительно качественные показатели организации обслуживания пассажиров и не содержит количественные показатели, таким образом, указанный подраздел наиболее целесообразно применять на стадии концептуального проектирования ТПУ.

Подраздел 10 «Обеспечение баланса развития различных видов транспорта» раздела IV Методических рекомендаций, описывает общие требования к реорганизации улично-дорожной сети с учетом показателей существующей (перспективной) транспортной системы и доли каждого вида транспорта (способа передвижения) в структуре перевозок. Также подраздел содержит общие требования к организации дорожного пространства. Таким образом, подраздел описывает необходимость проектирования сбалансированного транспортного комплекса с обязательным применением специализированных систем имитационного моделирования, основываясь на принципах транзитно-ориентированного развития [6].

Подраздел 10, также как и подраздел 9, содержит преимущественно качественные пока-

затели развития, направленного на обеспечение баланса различных видов транспорта, и не содержит количественные показатели. Указанный подраздел также наиболее целесообразно применять на стадии концептуального проектирования ТПУ, причем с применением средств имитационного моделирования (что в настоящий момент резко ограничивает круг возможных проектных подрядных организаций в регионах Российской Федерации).

Подраздел 11 «Обеспечение операционной эффективности общественного транспорта» раздела IV Методических рекомендаций, описывает общие требования к компоновке ТПУ, включая требования к схемам движения транспорта и пешеходов по территории ТПУ, схемам расположения служебных зон и помещений, зон отстоя транспорта, к схемам зон посадки и высадки пассажиров, а также к организации эксплуатации ТПУ. Подраздел целесообразен для выработки общих требований к ТПУ на этапе предварительных проектных проработок, а также на этапе концептуального проектирования.

Подраздел 12 «Интеграция общественного транспорта с другими видами транспорта» раздела IV Методических рекомендаций, описывает общие требования к организации пешеходных и велосипедных связей, организации связи такси и зон посадки/высадки общественного легкового транспорта, организации связей перехватывающих парковок с маршрутами общественного транспорта, проходящими через ТПУ. Причем приоритет направлен на наиболее удобную, комфортную и безопасную организацию пешеходных связей, рекомендуется широкое применение средств замедления движения личного транспорта. Подраздел также наиболее применим в вопросах и задачах концептуального проектирования.

Подраздел 13 «Интеграция транспортно-пересадочных узлов с городской средой» раздела IV Методических рекомендаций, описывает общие требования к организации общественного пространства как доминантного пространства на объекте транспортной инфраструктуры, которым и является ТПУ. Кроме того, подраздел содержит принципиальные требования к организации процесса землепользования в районе ТПУ. Узел должен быть спроектирован с учетом интересов пешеходов и пассажиров общественного транспорта таким образом, чтобы обеспечить инвестиционную привлекательность прилегающей территории. Кроме того, раздел со-

держит рекомендации по концепции архитектурных решений и художественного оформления пространства ТПУ соответствующего общей политике устойчивого развития. Подраздел наиболее применяем в вопросах и задачах концептуального проектирования.

Подраздел 14 «Обеспечение экономической эффективности за полный жизненный цикл» раздела IV Методических рекомендаций содержит принципиальные рекомендации по ведению коммерческой деятельности на территории ТПУ, а также на прилегающей территории. В подразделе ТПУ рассматривается как многопрофильное пространство, интегрированное в современную городскую среду, представляющую собой комплексное развитие зон общественного транспорта, зон ведения бизнеса, производственных и селитебных зон. Подраздел наиболее применяем в вопросах и задачах концептуального проектирования.

Подраздел 15 «Использование экологически эффективных методов проектирования и строительства» раздела IV Методических рекомендаций представляет собой рекомендации по выбору материалов и по управлению отходами, рекомендации по оптимизации энергопотребления, а также повторяются рекомендации по благоустройству территории ТПУ. Подраздел наиболее применяем в вопросах и задачах концептуального проектирования.

Обобщая проанализированную информацию в контексте заключения о возможности распространения Методических рекомендаций в городах Российской Федерации, следует отметить, что разделы Методических рекомендаций II и III в целом универсальны и могут быть использованы, с учетом местных особенностей транспортной системы, в вопросах проектирования ТПУ, а также в процессе выполнения прикладных задач оптимизации и иных научно-исследовательских работ.

Основной раздел (IV) Методических рекомендаций в целом сформирован в полном соответствии со стандартом транзитно-ориентированного развития (Transit-oriented development Standart), разработанным институтом политики транспорта и развития (Institute for Transportation & Development Policy). Настоящий стандарт одобрен ООН и используется в качестве концептуального руководства по проектированию и внедрению комплексных транспортных систем в городах всего мира, в частности, практически во всех крупных европейских городах.

Таким образом, Методические рекомендации соответствуют общемировой тенденции транспортного развития городов – транзитно-ориентированному развитию.

Среди принципиальных рекомендаций, обозначенных в рассматриваемом документе, стоит особо выделить указанную разработчиком необходимость проведения компьютерного имитационного моделирования ТПУ (как моделирования пешеходных потоков, так и моделирования транспортных потоков на макро- и микроуровне) с использованием специализированного программного обеспечения, а также переход к индивидуально-ориентированному проектированию объекта с учетом уникальных особенностей месторасположения. Именно эти требования устанавливают новую высокую планку к проектным и подрядным организациям.

Очевидным минусом существующих Методических рекомендаций является общая слабая проработка блока количественных нормативных показателей при широком спектре качественных показателей, толкование которых не исключает разночтений, что заметно ограничивает область применимости документа целевыми аудиториями.

Таким образом, распространение Методических рекомендаций в крупных городах Российской Федерации желательно с точки зрения развития транспортной и общегородской инфраструктуры, но требует значительного дополнительного привлечения финансовых средств, либо бюджетных, либо крупных социально-ответственных инвесторов. Также учитывая необходимый высокий уровень к подходу в выполнении проектирования (наличие специализированного дорогостоящего программного обеспечения и, в первую очередь, обученных квалифицированных его пользователей) в регионах необходимо либо создание собственной программной базы (с обучением и подбором собственных специалистов), либо постоянное привлечение к проектированию подрядчиков из других регионов, обладающих необходимой базой.

Таким образом, Методические рекомендации будут иметь более широкое практическое применение, в первую очередь, после наполнения основного раздела IV количественными показателями.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Методические рекомендации по устойчивому развитию транспортно-пересадочных узлов в поселениях, го-

родских округах, городах федерального значения Российской Федерации [Текст] ; одобрены Научно-техническим советом открытого акционерного общества «Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта», протокол № 2 от 25.04.2017 [Материалы Министерства транспорта Российской Федерации].

2. Федеральный закон № 220 от 13 июля 2015 г. «Об организации регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»: офиц. Текст. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/39950>.

3. ВСН-АВ-ПАС-94 (РД 3107938-0181-94) Ведомственные строительные нормы. Автовокзалы и пассажирские автостанции [утв. Протоколом Минтранса РФ от 17.05.1994 № 2]. – [Электронный ресурс]. – Режим

доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200043595>.

4. СП 42.13330.2015 Свод правил. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СП 42.13330.2011 (СНиП 2.07.01 – 89*) [утв. Приказом Минстроя России от 20.12.2016 № 1034/пр]. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.minstroyrf.ru/docs/14465/>.

5. СП 35-101-2001 Свод правил. Проектирование зданий и сооружений с учетом доступности для маломобильных групп населения. Общие положения [одобрен Постановлением Госстроя России от 16.07.2001 № 70]. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200023318>.

6. Стандарт транспортно-ориентированного развития. Сайт института политики транспорта и развития (ITDP) [Электронный ресурс]. – Волгоград, 2017. – Режим доступа: <https://www.itdp.org/tod-standard/>.

УДК 621.433.2

Е. А. Захаров, Э. Г. Сафаров, В. А. Алимов

К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ БИТОПЛИВНЫХ СИСТЕМ ПИТАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: tig@vstu.ru

Рассмотрена возможность практического применения бинарных топлив на борту автомобиля. Проведена оценка эффективности одновременной работы двигателя на смесях пропан-бутанового топлива с бензином с целью повышения мощности двигателя. Приведен детальный обзор установки, разработанной на базе Волгоградского государственного технического университета, позволяющей измерять скорость сгорания и распространения пламени при различном варьировании состава смеси в различных фазах с целью изучения механизма сгорания бензино-газовой смеси в полной мере.

Ключевые слова: бинарное топливо, пропан-бутан, бензин, скорость сгорания, скорость распространения пламени.

E. A. Zakharov, E. G. Safarov, V. A. Alimov

TO THE EVALUATION OF EFFICIENCY OF BI-FUEL SYSTEMS OF POWER SUPPLY OF AUTOMOBILE MOTORS

Volgograd State Technical University

The possibility of practical application of binary fuels on board the car is considered. The efficiency of simultaneous operation of the engine on blends of propane-butane fuel with gasoline was evaluated to increase engine power. A detailed overview of the installation developed on the basis of the Volgograd State Technical University is given, which makes it possible to measure the velocity and propagation of a flame with different changes in the composition of the mixture in different phases in order to study the transport of combustion of the gas-gas mixture in full.

Keywords: binary fuel, propane-butane, gasoline, combustion rate, flame propagation velocity.

В настоящее время наблюдается устойчивая тенденция увеличения числа ДВС, в том числе автомобильных, работающих на газовых топливах. Переход на газовые топлива позволяет снизить эксплуатационные затраты, улучшает экологические показатели и по некоторым данным увеличивает срок службы двигателей. Вместе с тем на газовых топливах мощность двигателей с принудительным искровым зажиганием уменьшается. При использовании сжиженных пропанобутановых смесей сни-

жение мощности составляет 10–15 %.

Для пуска и прогрева двигателей, работающих на сжиженных пропанобутановых смесях, приходится иметь на борту автомобиля некоторый запас бензина. В связи с этим имеется принципиальная возможность на некоторых режимах подавать в двигатель одновременно два вида топлива. Как показали результаты ряда исследований [1–6], при таком битопливном питании удается получить мощность двигателя большую, чем при работе на бензине.

В частности в работе М. А. Береснева [5] утверждается, что питании двигателя бинарным топливом, содержащим 40 % пропанобутановой смеси, максимальный крутящий момент двигателя автомобиля М-21 на 9 % превышает тот же показатель при работе на бензине. При этом отмечено некоторое незначительное ухудшение экологических характеристик.

Практическое применение бинарных топлив в своей работе рассматривал С. А. Фролов [6]. В ходе проведения исследований были рас-

считаны теоретические цикловые подачи топлива при работе двигателя на бензине, газе и бензо-газовой смеси, рассчитана теоретическая внешняя скоростная характеристика, на которой обозначена зона использования бензо-газовой смеси в зависимости от скоростного режима двигателя (рис. 1). Помимо этого была создана запатентованная экспериментальная установка для проведения испытаний двигателя, работающего на бензине, газе и бензо-газовой смеси.



Рис. 1. Теоретическая внешняя скоростная характеристика двигателя, работающего на бензо-газовой смеси: 1 — эффективный удельный расход топлива при работе на газе; 2 — эффективный удельный расход топлива при работе на бензине; 3 — часовой расход бензина; 4 — часовой расход газа; 5 — эффективная мощность при работе на бензине; 6 — эффективная мощность при работе на газе; 7 — крутящий момент при работе на бензине; 8 — крутящий момент при работе на газе

Для того чтобы в полной мере оценить эффективность применения в двигателях с искровым зажиганием бинарных топлив, состоящих из указанных выше компонентов, требуются данные о влиянии соотношения пропана, бутана и бензиновых фракций в смесевом бинарном топливе на величину нормальной скорости распространения пламени в смесях такого топлива с воздухом.

Значение нормальной скорости распространения пламени можно экспериментально определить, сжигая топливовоздушные смеси различного состава в камере постоянного объема. При этом для получения надежных данных необходимо определить методику приготовления смесей, обеспечивающую стабильность состава при условии, что все компоненты топливовоздушной смеси должны находиться в камере сгорания в газовой фазе.

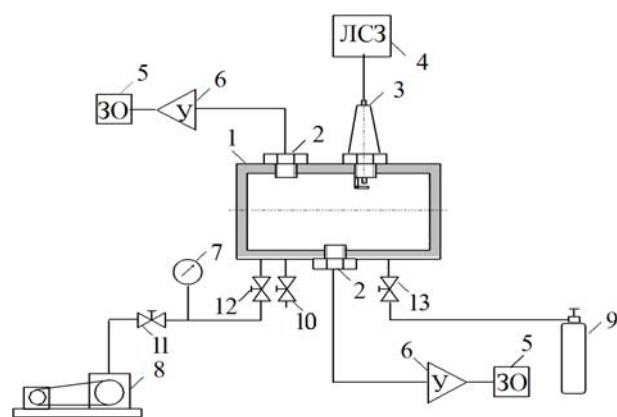


Рис. 2. Схема экспериментальной установки с камерой сгорания постоянного объема:

1 — камера сгорания постоянного объема; 2 — ионизационные датчики; 3 — свеча зажигания; 4 — лабораторная система зажигания; 5 — электронный запоминающий осциллограф; 6 — усилители электрических сигналов; 7 — вакуумметр; 8 — вакуумный насос; 9 — баллон с топливовоздушной смесью; 10, 11, 12, 13 — вентили

Схема лабораторной установки с камерой сгорания постоянного объема, которая используется на кафедре «Теплотехника и гидравлика» ВолгГТУ для экспериментального определения нормальной скорости распространения пламени в топливовоздушных смесях различного состава, представлена на рис. 2. Собственно камера сгорания (1) цилиндрической формы с внутренним диаметром 90 мм и длиной 115 мм оснащена двумя ионизационными датчиками (2) и источником зажигания (3) – искровой свечой, импульсы напряжения на которую поступают от специальной лабораторной системы зажигания (4). Применение двух ионизационных датчиков исключает необходимость рассматривать процесс образования начального очага горения и определять его длительность.

Исходя из конструкции установки, видимую скорость w_b распространения пламени находят делением разности расстояний от ионизационных датчиков до источника зажигания на величину промежутка времени между сигналами датчиков. Нормальную скорость распространения пламени w_n вычисляют с учетом величины коэффициента ε_b расширения продуктов сгорания: $w_n = w_b / \varepsilon_b$. Коэффициент расширения продуктов сгорания в свою очередь вычисляют, зная коэффициент молекулярного изменения μ_0 и температуры исходной топливовоздушной смеси и продуктов сгорания: $\varepsilon_b = \mu_0 \cdot (T_b / T_u)$.

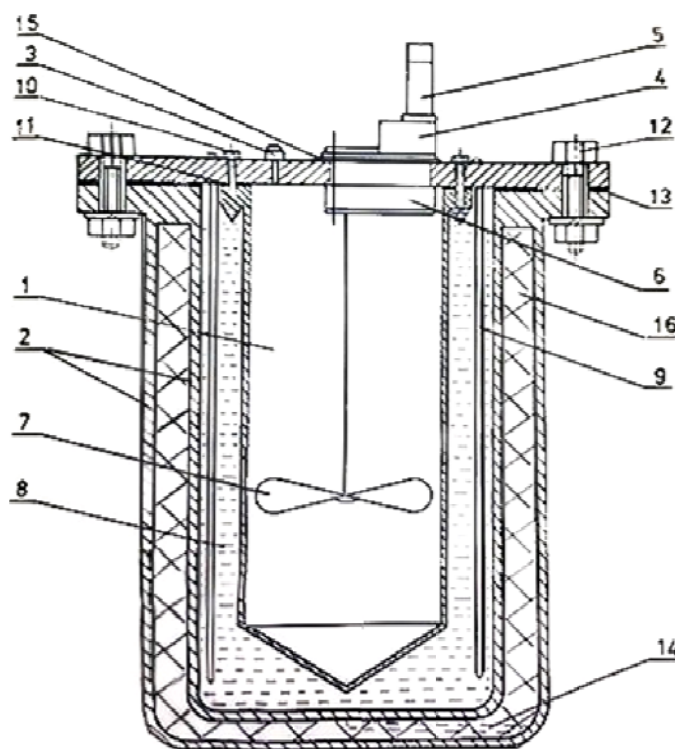


Рис. 3. Миксер для приготовления топливовоздушных смесей:
1 – сосуд, 2 – термостат, 3 – клапан, 4 – согласующий редуктор, 5 – мешалка, 6, 15 – магниты, 7 – лопасти вентилятора, 8 – масляная ванна, 9 – нагреватель, 10, 11 – подвод масла, 12 – гайка, 13 – крышка, 14 – сливная трубка, 16 – изоляция

При определении нормальной скорости распространения пламени в топливовоздушных смесях бензина с газовыми топливами необходимо, чтобы все фракции бензина находились в состоянии пара. Для приготовления топливовоздушных смесей, соответствующих указанным условиям, установка дополнена специальным термометрированным миксером (рис. 3). Миксер рассчитан на приготовление смесей

под давлением, не превышающим атмосферное, и представляет собой герметичный сосуд из нержавеющей стали (1) емкостью $9,69 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$, погруженный в масляную ванну. Масло подогревается до заданной температуры ($150 \dots 200 \text{ }^\circ\text{C}$), которая поддерживается системой регулирования. Система обеспечивает поддержание заданной температуры с отклонением $\pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Для получения однородных по составу топливовоз-

душных смесей в миксере установлена тихоходная лопастная мешалка с приводом, обеспечивающим регулируемую частоту вращения в интервале от 0 до 300 мин⁻¹. Привод мешалки осуществляется через магнитную муфту, что позволяет при работе мешалки сохранять герметичность внутреннего пространства миксера.

Для приготовления топливовоздушных смесей, содержащих, кроме бензина, некоторое количество пропанобутановой смеси, а также для обеспечения многократного повторения опытов с выбранным составом смеси предлагается следующая методика. Миксер вакууммируется до заданного остаточного давления, после чего в него через специальный клапан впрыскивается необходимая масса бензина. Так как давление в подогретом миксере много меньше давления насыщенных паров всех фракций бензина, происходит интенсивное испарение всей его поданной массы. После временной задержки, необходимой для испарения бензина, в миксер подается пропанобутановая смесь. Количество поданной пропанобутановой смеси определяют по ее парциальному давлению. После этого миксер заполняется воздухом до атмосферного давления. Массы бензина и пропанобутановой смеси, которые надо подать в миксер, предварительно вычисляют по известным формулам [1] исходя из требуемого соотношения топлива и воздуха. Для того чтобы обеспечить возможность многократного повторения опытов для одного и того же состава топливовоздушной смеси, в миксере приготавливается сильно обогащенная смесь, которая затем в камере сгорания доводится дополнительным воздухом до требуемого в опытах значения коэффициента избытка воздуха. Перед каждым опытом камера сгорания вакууммируется. Под действием созданного разрежения в камеру сгорания через

регулируемый клапан поступает из миксера требуемое количество обогащенной топливовоздушной смеси. Затем камера сгорания соединяется с атмосферой, из которой в нее поступает дополнительный воздух, обеспечивая требуемое в опытах значение коэффициента избытка воздуха.

Рассмотренная выше аппаратура и предлагаемая методика проведения опытов позволяют экспериментально определять значения нормальной скорости распространения пламени в различных по соотношению компонентов смесях бензина и пропанобутановых композиций с воздухом и дают возможность получать достаточные для получения надежных статистических оценок объемы данных в воспроизводимых условиях эксперимента.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Орлин, А. С. Двигатели внутреннего сгорания. Т. 1 / А. С. Орлин, Д. Н. Вырубов, Г. Г. Калиш, М. Г. Круглов, О. Б. Леонов, С. Е. Лебедев, Б. Г. Либрович, М. М. Чурсин. – М.: Издательство машиностр. лит., 1957. – 397 с.
2. Левашов, М. Г. Повышение эффективности эксплуатации газобаллонных автомобилей путем применения комбинированной системы впрыска: дис. ... канд. техн. наук / Левашов М. Г. – Оренбург: СибАДИ, 2007. – 120 с.
3. Пат. 2216636. Способ подачи и смешения газа и бензина в карбюраторную систему двигателя внутреннего сгорания и устройство для его реализации / Жихарев А. Г., Маркова В. А. – №2001119758/06; Заявл. 16.07.2001, опубл. 20.11.2003 // Патент на изобретение.
4. Пат. 2211360. Двухтопливная система питания для газового двигателя внутреннего сгорания / Певнев Н. Г., Трофимов А. В., Хамов И. В. (Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия). – №2002101937/06; Заявл. 23.01.2002, опубл. 27.08.2003 // Патент на изобретение.
5. Береснев, М. А. Метод L-вариаций для управления ДВС при работе на бинарном топливе / М. А. Береснев, А. Л. Береснев // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 3. – С. 251–256.
6. Фролов, С. А. Применение бинарного топлива в двс с искровым зажиганием / С. А. Фролов // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6.

УДК 629.114.2

М. А. Омаров, А. И. Нефедьев

ИЗМЕРИТЕЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ДЛЯ СИСТЕМЫ КЛИМАТ-КОНТРОЛЯ АВТОМОБИЛЯ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: nefediev@rambler.ru

Приведены принципы работы системы климат-контроля современного автомобиля. Рассмотрены типы систем климат-контроля, их устройство, типы и количество датчиков. Предложена четырехзонная система климат-контроля с цифровыми датчиками температуры, позволяющая измерять и поддерживать температуру в салоне автомобиля с высокой точностью.

Ключевые слова: климат-контроль, автомобиль, датчик температуры, микроконтроллер.

M. A. Omarov, A. I. Nefediev

TEMPERATURE METER FOR THE SYSTEM CLIMATE CONTROL CAR

Volgograd State Technical University

The principles of the climate control system of a modern car are given. The types of climate control systems, their construction, types and number of sensors are considered. A four-zone climate control system with digital temperature sensors is proposed, which allows to measure and maintain the temperature in the passenger compartment with high accuracy.

Keywords: climate control, car, temperature sensor, microcontroller.

Во многих случаях поездку на автомобиле, особенно в городе, можно приравнять к стрессовой ситуации, но водитель, для поддержания безопасности дорожного движения, должен быть полностью сосредоточен на управлении. При этом микроклимат в салоне является немаловажным фактором для обеспечения хорошего самочувствия, а значит, способствует снижению напряжения. Поэтому для комфортных и безопасных поездок многие производители автомобилей оснащают свои машины опцией климат-контроля. Современный климат-контроль является высокотехнологичной системой, состоящей из множества взаимосвязанных компонентов, отвечающих за обеспечение благоприятной обстановки в салоне автомобиля. Таким образом, система климат-контроля позволяет устанавливать и поддерживать комфортную для водителя и пассажиров температуру воздуха [1].

Автомобильный климат-контроль (КК) – это система, состоящая из кондиционера, отопителя, датчиков температуры и влажности, системы фильтрации воздуха и электронного блока управления. КК поддерживает микроклимат в салоне автомобиля вне зависимости от того, какая погода на улице [2, 3].

Принцип работы КК в отличие от кондиционера заключается в применении электронного блока управления (ЭБУ) с обратной связью, на который поступает информация с датчиков, фиксирующих температуру в разных уголках автомобильного салона. Для измерения температуры используются один или несколько датчиков, подключенных к ЭБУ, и который в зависимости от заложенной в него программы управляет исполнительными устройствами. Водитель устанавливает в блоке управления желаемые температурные параметры, а ЭБУ за счет сигнала обратной связи от датчиков поддерживает их, и при необходимости корректирует работу охлаждающей или отопительной системы.

Поскольку в состав системы КК кроме кондиционера входит отопитель, следовательно, систему КК можно использовать и для обогрева салона. Кроме того, кондиционер и отопитель осушают проходящий через них воздух, что дает возможность препятствовать запотеванию стекол автомобиля. В более совершенных системах ЭБУ учитывает также воздействие солнечных лучей на внутреннюю температуру салона (используется датчик ультрафиолетового излучения) [2, 3].

Системы КК делятся по разным критериям – наличию отдельных рабочих зон, мощности, удобству управления, наличию дополнительных функций.

На сегодняшний день используются однозонные, двухзонные, трехзонные и четырехзонные системы КК. Однозонный КК – это самая простая из представленных систем. Он устроен по описанному выше принципу и контролирует параметры воздуха в районе водителя и переднего пассажира.

Простейший однозонный КК может обеспечить автоматическую подачу охлажденного или подогретого воздуха в режимах: «ноги», «голова», «голова/ноги», «ветровое стекло/ноги», «ветровое стекло». В последнем режиме воздух дополнительно осушается с целью недопущения запотевания.

Двухзонный КК делит воздушное пространство на две части между водителем и передним пассажиром. Для этих зон можно установить разные климатические параметры, что дает дополнительное удобство.

Трех- и четырехзонные системы КК позволяют также устанавливать индивидуальные климатические параметры и для задних пассажиров. Последний вариант считается наиболее совершенным и комфортным, но самым сложным и дорогим из перечисленных [2, 3].

Многозонные системы КК имеют дополнительные, более расширенные режимы работы распределения воздуха в салоне.

Основными датчиками, применяемыми в системе КК, являются датчики температуры. Они расположены как в салоне машины, так и с ее внешней стороны. Внутрисалонные датчики контролируют климатические показатели в тех зонах, где они установлены. Также имеется датчик контроля температуры на выходе отопителя/охладителя. Внутрисалонные датчики часто имеют принудительный обдув для того, чтобы информация о температуре поступала от них с минимальной задержкой. Чем больше зон в системе КК, тем больше количество датчиков температуры. Внешние датчики предназначены для контроля температуры воздуха снаружи автомобиля [4, 5].

Упрощенная структурная схема КК приведена на рис. 1. Основными элементами системы КК являются: блок управления (БУ), измеритель температуры (ИТ), блок индикации (И) и исполнительные устройства (ИУ).

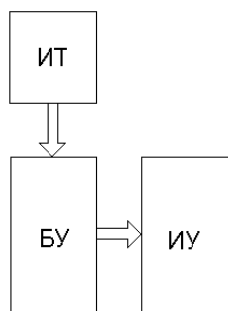


Рис. 1. Структурная схема КК

Для применения в составе системы КК был разработан многозонный измеритель температуры с восемью выносными датчиками, который позволяет измерять температуру в восьми точках, и отображать информацию на жидкокристаллическом дисплее (ЖКИ). Структурная схема измерителя температуры (ИТ) приведена на рис. 2.

Основными элементами измерителя температуры являются датчики температуры (ДТ1... ДТ8), микроконтроллер (МК), индикатор (И) и источник питания (ИП).

Основой измерителя температуры является микроконтроллер ATmega8A [6]. В качестве термодатчиков применены широко распространенные цифровые датчики температуры DS18B20[7]. Каждый из цифровых датчиков ДТ1...ДТ8 подключен к одному выводу порта микроконтроллера, что позволило использовать упрощенную процедуру их опроса. Датчики опрашиваются поочередно с интервалом 2 се-

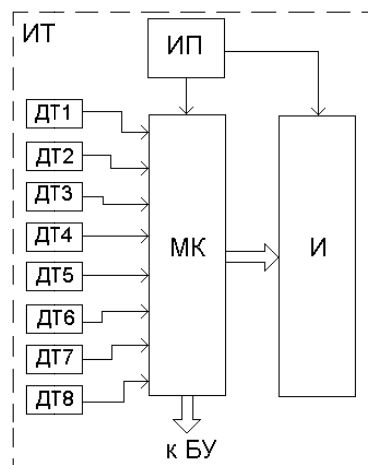


Рис. 2. Структурная схема измерителя температуры

кунды, что позволяет избежать завышения измеренной температуры из-за саморазогрева датчиков DS18B20, которое возникает при их частом опросе. Информация отображается на четырехстрочном знакосинтезирующем ЖКИ типа WH2004A. Диапазон измерения температуры определяется параметрами датчика, и составляет от минус 55 °С до +125 °С. Дискретность индикации температуры установлена программно, и равна 0,1 °С. Погрешность измерения температуры составляет ±0,5 °С в диапазоне –10...+85 °С и ±2 °С в диапазоне –55...+125 °С.

Выбор цифрового датчика DS18B20 для измерения температуры в первую очередь обусловлен удобством их применения. Цифровые датчики могут подключаться через длинные проводные линии, и в отличие от аналогового сигнала, получаемого с аналогового датчика, цифровой сигнал устойчив к воздействию помех. При использовании цифровых датчиков совместно с микроконтроллером имеется возможность подключить к одной линии сразу несколько цифровых датчиков. Причем цифровая форма передачи данных позволяет использовать цифровые датчики температуры совместно с микроконтроллерами, не имеющими аналого-цифрового преобразователя.

В системе КК использованы датчик температуры наружного воздуха, датчик температуры испарителя, датчик температуры радиатора отопителя, датчик температуры, расположенный в воздуховоде передней панели и четыре датчика температуры, расположенные в четырех зонах внутри салона автомобиля.

Четырехзонный КК создает оптимальные условия в любом месте салона автомобиля по заданному водителем или пассажирами пара-

метрам с учетом температуры наружного воздуха. Для водителя могут быть установлены одни параметры температуры, а для пассажиров могут быть установлены другие параметры. В системе КК заложены функции охлаждения салона летом и обогрева зимой с постоянной вентиляцией воздуха. Установка режима производится водителем или пассажирами через БУ.

Таким образом, использование цифровых датчиков температуры в системе КК позволяет измерять температуру с высокой точностью, что оказывает существенное влияние на создание комфортных и безопасных условий для поездки в автомобиле.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Климат-контроль в автомобиле [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://advicelawyer.ru/avtomobil/klimat-kontrol.html>, свободный. – (Дата обращения: 15.02.2018 г.).

2. Теоретические основы управления микроклиматом автомобиля [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.mskjapan.ru/articles/osnova_upravlenia_mikroklimatom, свободный. – (Дата обращения: 15.02.2018 г.).

3. Принципы работы микроклимата [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.lrman.ru/freelander/2/electrics/microclimate/principles_of_climate, свободный. – (Дата обращения: 15.02.2018 г.).

4. Данов, Б. А. Электронные системы управления иностранных автомобилей / Б. А. Данов. – М. : Горячая линия – Телеком, 2002. – 224 с.

5. Соснин, Д. А. Новейшие автомобильные электронные системы / Д. А. Соснин, В. Ф. Яковлев. – М. : СОЛОН-Пресс, 2005. – 240 с.

6. Atmega8a [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.kfti.knc.ru/personal/dak/datasheets/atmega8a.pdf>, свободный. – (Дата обращения: 15.02.2018 г.).

7. DS18B20 programmable resolution 1-wire digital thermometer [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://avr.ru/int/files/datasheet/ds18b20.pdf>, свободный. – (Дата обращения: 15.02.2018 г.).

УДК 62-533.7

С. Н. Братышев

ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ПО КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА ПРИМЕРЕ ПРЕДПРИЯТИЙ АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Астраханский государственный университет

E-mail: sera.brat@mail.ru

В статье дана оценка целесообразности проведения мероприятий по компенсации реактивной мощности по итогам энергетического обследования промышленных предприятий Астраханской области. Проведен анализ помесечных сведений о потреблении активной и реактивной энергии перерабатывающего комбината и завода по изготовлению резиновой медицинской пробки. Определены средневзвешенные значения коэффициента мощности данных предприятий. Для перерабатывающего предприятия рекомендовано применение автоматизированной статической компенсирующей установки. Показано, что внедрение компенсирующей установки на перерабатывающем комбинате позволит снизить нагрузочные потери в линии и нагрузочные потери в силовом трансформаторе в среднем на 43 %.

Также рассмотрен случай, когда проведение дополнительных мероприятий по компенсации реактивной мощности на предприятии нецелесообразно. Для завода по производству резиновой медицинской пробки было установлено, что в связи с наличием крупных потребителей с высокими значениями коэффициента мощности (прессовочных машин, ТЭНов, электрокалориферов, шприц-машин) и синхронных двигателей, работающих в режиме перевозбуждения, дополнительное применение устройств компенсирующих реактивную мощность не требуется.

Ключевые слова: активная и реактивная энергия, компенсация реактивной мощности, сокращение нагрузочных потерь, энергетическое обследование.

S. N. Bratyshev

VIABILITY ASSESSMENT OF CARRYING OUT REACTIVE POWER COMPENSATION OPERATIONS USING AN EXAMPLE OF ASTRAKHAN REGION ENTERPRISES

Astrakhan State University

This article deals with viability assessment of carrying out reactive power compensation operations based on the results of energy inspection of Astrakhan region manufacturing plants. The analysis of monthly data on active and reactive energy consumption of a processing plant and a rubber medical stopper manufacturing plant has been carried out. Average power factors of these plants have been determined. It is recommended to use an automated static compensation assembly for the processing plant. The analysis has testified that the implementation of the compensation assembly at the processing plant makes it possible to reduce load losses in the line and in power transformer by an average of 43%.

The case when it is impractical to carry out additive measures for reactive power compensation at a plant has been considered. It has been found out that additional application of reactive power compensation assemblies for a rubber medical stopper manufacturing plant is not required due to the presence of large high value factor consumers (crimping machine, electric heating tubes, electric air heaters, extrusion machines) and synchronous motors operating in the mode of over-excitation.

Keywords: active and reactive energy, reactive power compensation, load losses reduction, energy inspection.

Одним из основных вопросов, решаемых при проектировании и эксплуатации систем электроснабжения промышленных предприятий, являются вопросы компенсации реактивной мощности: выбор типа, мощности, места установки и режима работы компенсирующего устройства (КУ).

Как известно [3; 5], компенсация реактивной мощности позволяет:

- 1) обеспечить баланс реактивной мощности в электрической сети предприятия;
- 2) снизить потери мощности и электроэнергию в системе электроснабжения;
- 3) улучшить показатели качества электроэнергии в системе электроснабжения промышленного предприятия.

Учитывая, что границы балансовой принадлежности и эксплуатационной ответственности между потребителями-предприятиями и энергоснабжающей организации в настоящее время установлены, как правило, на уровне напряжения 6–10 кВ, актуальным является решение задачи размещения устройств компенсации реактивной мощности (КРМ) в промышленных распределительных сетях 0,4–6(10) кВ [2]. Варианты размещения устройств компенсации реактивной мощности могут быть:

- централизованная компенсация реактивной мощности на стороне высшего напряжения;
- централизованная компенсация на стороне низшего напряжения;
- групповая компенсация реактивной мощности на стороне низшего напряжения;
- индивидуальная компенсация на стороне низшего напряжения.

Следует заметить, что во многих промышленных сетях 0,4–6 (10) кВ оборудование для компенсации реактивной мощности при проектировании не предусматривалось и по настоящее время отсутствует. В то же время необходимость применения компенсации реактивной мощности подтверждается результатами мониторинга режимов работы промышленных (производственных) электросистем.

Выбор места установки, типа и мощности устройств КРМ является достаточно сложной технико-экономической задачей, которая может решаться как на стадии проектирования промышленного объекта, так и при эксплуатации уже существующего. Выбор оптимального варианта размещения устройств КРМ осуществляется на основе технико-экономи-

ческих расчетов. При этом учитываются:

- затраты на приобретение и установку устройств КРМ и дополнительного оборудования;
- снижение потерь активной мощности в электрической сети (в линиях электропередачи и трансформаторах).

Кроме выполнения требования наибольшей экономичности при выборе устройств КРМ, необходимо обеспечить соблюдение требований нормативно-правовых документов в области компенсации реактивной мощности и технические ограничения для обеспечения нормальной работы электроприемников сети, основным из которых является допустимость отклонений напряжений [4].

В настоящем исследовании рассмотрены вопросы целесообразности применения устройств КРМ на ряде промышленных предприятий Астраханской области.

Одним из объектов исследований являлся комбинат по переработке сельскохозяйственной продукции.

Важно обозначить, что значительная часть технологического процесса перерабатываемого комбината построена на использовании электрооборудования, основой которого являются асинхронные двигатели.

В табл. 1 приведены значения потребления активной и реактивной энергии перерабатываемого комбината за 2016 г. Сведения о потреблении электроэнергии были получены в результате запроса в энергоснабжающую организацию.

На основе произведенного расчета установлено, что диапазон, в котором изменяется значение коэффициента мощности, составляет 0,69–0,82.

Наименьшие значения коэффициента мощности принимает в летние месяцы. В это время электрооборудование испытывает наибольшие нагрузки, именно на летний период приходится половина годового выпуска продукции перерабатываемого комбината. Загруженность электрооборудования также является одним из факторов повышенного потребления реактивной энергии.

В ходе обследования предприятия по переработке сельхозпродукции были рассчитаны значения нагрузочных потерь в линии (фидере) и обмотках трансформатора для двух случаев, а именно, для случая отсутствия установки КРМ и для случая установки КРМ с целью повышения $\cos \varphi$ до 0,96.

Таблица 1

Помесячные сведения о потреблении активной и реактивной энергии перерабатывающего комбината

Месяц	Активная энергия кВт*ч	Реактивная энергия квар*ч	Козф. мощности, cos φ
Январь 2016	64922,895	60373,89	0,732
Февраль 2016	85354,47	82782,27	0,717
Март 2016	200128,73	138655,9	0,821
Апрель 2016	114482,57	79396,92	0,821
Май 2016	89080,29	67919,89	0,795
Июнь 2016	273838,32	263843,7	0,72
Июль 2016	313060,73	315169,4	0,704
Август 2016	367045,02	386690,9	0,688
Сентябрь 2016	357584,45	365964,1	0,698
Октябрь 2016	235837,67	227768,9	0,719
Ноябрь 2016	247004,73	188117,7	0,795
Декабрь 2016	247230,41	182861,2	0,803
ВСЕГО	2595570,285	2359544,77	0,751

Расчет нагрузочных потерь в фидерах напряжением 6 кВ

Для определения значений силы тока и нагрузочных потерь необходимо рассчитать коэффициент мощности:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}, \quad (1)$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}, \quad (2)$$

где P – активная энергия, кВт · ч; Q – реактивная мощность, квар · ч; S – полная мощность, кВА; $\cos \varphi$ – коэффициент мощности.

Среднегодовое значение силы тока определяется по формуле:

$$I = \frac{W_{\text{акт}} \cdot 1000}{N \cdot 24 \cdot \sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi}, \quad (3)$$

где $W_{\text{акт}}$ – годовое потребление активной энергии, кВт · ч; N – число рабочих дней в год (в среднем 25 дней каждый месяц); 24 – количество рабочих часов в сутках; U – линейное напряжение, 6000 В; $\cos \varphi$ – коэффициент мощности.

Нагрузочные потери в кабельной линии определяем по формуле:

$$W_{\text{нагр.потери}} = \frac{3 \cdot L \cdot r \cdot I^2 \cdot 24 \cdot N}{1000}, \quad (4)$$

где L – длина кабельной линии, км; I – среднегодовое значение силы тока, А; r – погонное сопротивление кабеля, Ом/км; N – число рабочих дней в год (в среднем 25 дней каждый месяц).

Погонное сопротивление кабелей принимаем в соответствии с ГОСТом [1].

Таблица 2

Нагрузочные потери в линии 6 кВ

Активная энергия, кВт · ч	Реактивная энергия, квар*ч	Полная энергия, кВА*ч	cos φ	Сила тока, А	Нагрузочные потери в линии, кВт*ч
До компенсации					
2595570,285	2359544,77	3517535,148	0,751	47,01	13583,466
После компенсации					
2595570,285	757041,333	2703719,047	0,96	36,134	7778,779

Расчет нагрузочных потерь в силовых трансформаторах

Нагрузочные (переменные потери) в силовых трансформаторах зависят от нагрузки.

Средневзвешенное значение силы тока в обмотке трансформатора находится из формулы:

$$I = \frac{W_{\text{акт.год}} \cdot 1000}{N \cdot 24 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ВН}} \cdot \cos \varphi}, \quad (5)$$

где $W_{\text{акт.год}}$ – годовое потребление электрической энергии, кВт · ч; $U_{\text{ВН}}$ – линейное напряжение по высокой стороне; N – число рабочих

дней в году (в среднем 25 дней каждый месяц); $\cos \varphi$ – коэффициент мощности.

Нагрузочные (переменные) потери в трансформаторах определяются с учетом коэффициента их загрузки:

$$K_3 = \frac{I}{I_{\text{номВН}}}, \quad (6)$$

$$I_{\text{номВН}} = S_{\text{ном}} / \sqrt{3} \cdot U_{\text{ВН}}, \quad (7)$$

где $U_{\text{ВН}}$ – линейное напряжение на высокой стороне, 6000 В; $S_{\text{ном}}$ – номинальная мощность трансформатора, 1000 кВА.

Мощность нагрузочных потерь в трансформаторе (кВт):

$$P_{\text{нагр-тр}} = K_3^2 \cdot P_{\text{к.з.}}, \quad (8)$$

где $P_{\text{к.з.}}$ – потери мощности при коротком замыкании, кВт (из технического паспорта).

Нагрузочные потери:

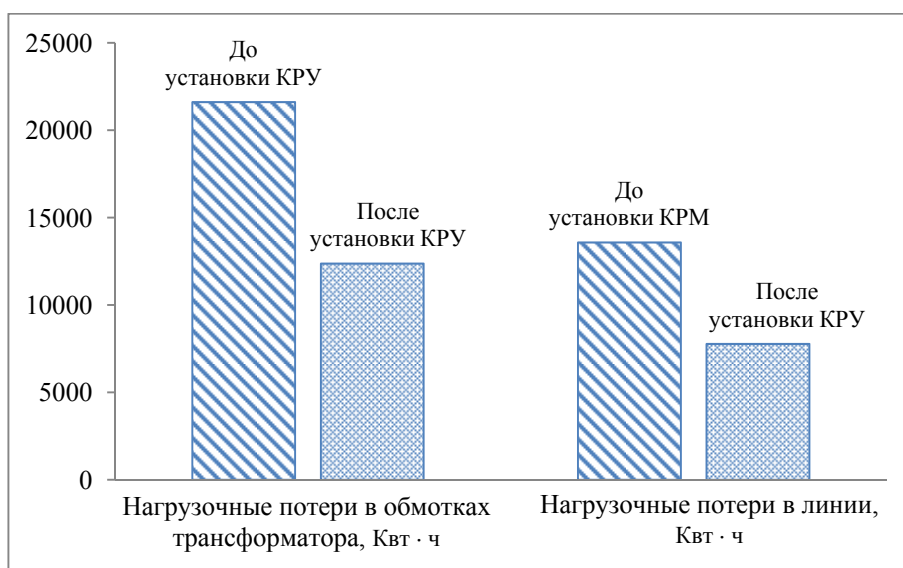
$$W_{\text{нагр-тр}} = P_{\text{нагр-тр}} \cdot 24 \cdot N, \quad (9)$$

где N – число рабочих дней в год (в среднем 25 дней каждый месяц); 24 – количество рабочих часов в сутках.

Таблица 3

Нагрузочные потери в силовом трансформаторе

Активная энергия, кВт · ч	Сила тока, А	$\cos \varphi$	Коэффициент загрузки	Нагрузочные потери в трансформаторе, кВт · ч
До компенсации				
2595570,285	47,01	0,751	0,488	21614,166
После компенсации				
2595570,285	36,134	0,96	0,375	12377,682



Нагрузочные потери (кВт · ч) до и после внедрения установки компенсации реактивной мощности

Как видно из рисунка, после внедрения установки компенсации реактивной мощности нагрузочные потери в линии (фидере) и в обмотках трансформатора сократятся на 42,7 % и 43 % соответственно.

Исходя из полученных в настоящем исследовании результатов, была показана целесообразность применения установки компенсации реактивной мощности для перерабатывающего комбината. В ходе энергетического обследования, в качестве мероприятия по повышению

коэффициента мощности была рассчитана и предложена к внедрению на производство автоматизированная статическая компенсирующая установка напряжением 0,4 кВ.

Однако могут иметь место случаи, когда установка компенсирующих устройств не требуется. Одним из таких примеров является завод по изготовлению резиновой медицинской пробки, также находящийся на территории Астраханской области.

Электрооборудование данного предприятия

можно разделить на крупных потребителей активной (прессовочные машины, ТЭНы, электрокалориферы, шприц-машины) и активно-реактивной (компрессоры, насосные установки, вытяжные вентиляторы, конвейеры, вальцы и др.) энергии.

В табл. 4 приведены значения потребления активной и реактивной энергии одного из фи-

деров завода. Сведения о потреблении электроэнергии были получены нами в результате проведения энергетического обследования предприятия в 2016 г. Данные получены с помощью специального измерительного комплекса (АСКУЭ) установленного на границе балансовой принадлежности предприятия и энергосбытовой компании.

Таблица 4

Помесячные сведения о потреблении активной и реактивной энергии завода по одному из фидеров

Месяц	Активная энергия, кВт · ч	Реактивная энергия, квар · ч	Коэф. мощности, cos φ
Январь 2015	165495,6	81004,06	0,898
Февраль 2015	171904,32	83179,62	0,90
Март 2015	168222,24	85355,13	0,891
Апрель 2015	161868	81206,57	0,893
Май 2015	169331,76	83904,9	0,896
Июнь 2015	172683,84	85565,88	0,896
Июль 2015	140291,28	69515,17	0,896
Август 2015	129446,64	65141,59	0,893
Сентябрь 2015	143998,32	71352,03	0,896
Октябрь 2015	162277,68	80409,56	0,896
Ноябрь 2015	169430,4	83953,78	0,896
Декабрь 2015	178447,2	81421,66	0,909
ВСЕГО	1933397,28	952009,95	0,896

Исходя из значений, приведенных в табл. 4, средневзвешенное за год значение коэффициента мощности равняется 0,89. В целом, для завода величина коэффициента мощности имеет неплохие значения. Достаточно высокие значения cos φ обусловлены двумя факторами:

1. На данном предприятии в большом количестве применяются потребители активной мощности, прежде всего, нагревательные и термические установки. Данное оборудование в процессе эксплуатации не нуждается в использовании реактивной энергии, тем самым, средневзвешенное значение коэффициента мощности всего промышленного предприятия повышается.

2. В технологическом процессе задействовано 3 синхронных двигателя (мощность одного из них составляет 630 кВт, мощность остальных – по 315 кВт). Использование данного вида электродвигателей предполагалось еще на стадии проектирования строительства завода. Точками присоединения синхронных двигателей к электрической сети являются шины цеховых распределительных пунктов напряжением

6 кВ. Применяются данные синхронные двигатели в качестве привода резиномесителей, где необходимо соблюдать определенную скорость перемешивания синтетических гранул. Как известно [3], синхронные двигатели, работающие в режиме перевозбуждения, имеют отрицательный угол φ, характеризуются отрицательной реактивной мощностью и тем самым компенсируют положительную реактивную мощность асинхронных двигателей.

Таким образом, на основе проведенного энергетического обследования было установлено, что проведение дополнительных мероприятий по компенсации реактивной мощности на предприятии по производству резиновых медицинских пробок экономически нецелесообразно.

Заключение

1. Рассмотрена методика оценки целесообразности проведения мероприятий по компенсации реактивной мощности, основанная на анализе помесечных сведений о потреблении активной и реактивной энергии группы электропотребителей промышленного предприятия.

2. Показано, что установка устройства компенсации реактивной мощности на перерабатывающем комбинате позволяет сократить нагрузочные потери в линии на 42,7 %, нагрузочные потери в обмотках трансформатора на 43 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 22483-2012 (IEC 60228:2004). Жилы токопроводящие для кабелей, проводов и шнуров (с поправкой). Москва: Стандартинформ, 2014.
2. Ефременко, В. М. Выбор оптимальных способов компенсации реактивной мощности в электрических сетях промышленных предприятий / В. М. Ефременко, Р. В. Беляевский, Н. В. Пономарев // Вестник Кузбасского технического университета. Энергетика. – 2011. – № 5. – С. 81–84.
3. Кабышев, А. В. Компенсация реактивной мощности в электроустановках промышленных предприятий: учеб. пособие / А. В. Кабышев ; Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 234 с.
4. Карагодин, В. В. Оптимизация размещения устройств компенсации реактивной мощности в распределительных электрических сетях / В. В. Карагодин, Д. В. Рыбаков // Вопросы электромеханики. – 2015. – Т. 144. – С. 43–50.
5. Железко, Ю. С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов / Ю. С. Железко. – М.: ЭНАС, 2009. – 456 с.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

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

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

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

Редактор РИО, ответственный за выпуск
В. В. Свитачева

Компьютерная верстка:
Е. В. Макарова

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

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

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

Темплан 2018 г. Поз. № 23ж. Подписано в печать 29.06.2018 г. Формат 60 x 84 1/8.
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать офсетная. Усл.-печ. л. 9,3. Уч.-изд. л. 8,7.
Тираж 100 экз. Свободная цена. Заказ №
Оригинал-макет и электронная версия подготовлены РИО ИУНЛ ВолгГТУ
400005, г. Волгоград, пр. В. И. Ленина, 28, корп. 7.
Отпечатано в типографии ИУНЛ ВолгГТУ
400005, г. Волгоград, пр. В. И. Ленина, 28, корп. 7.