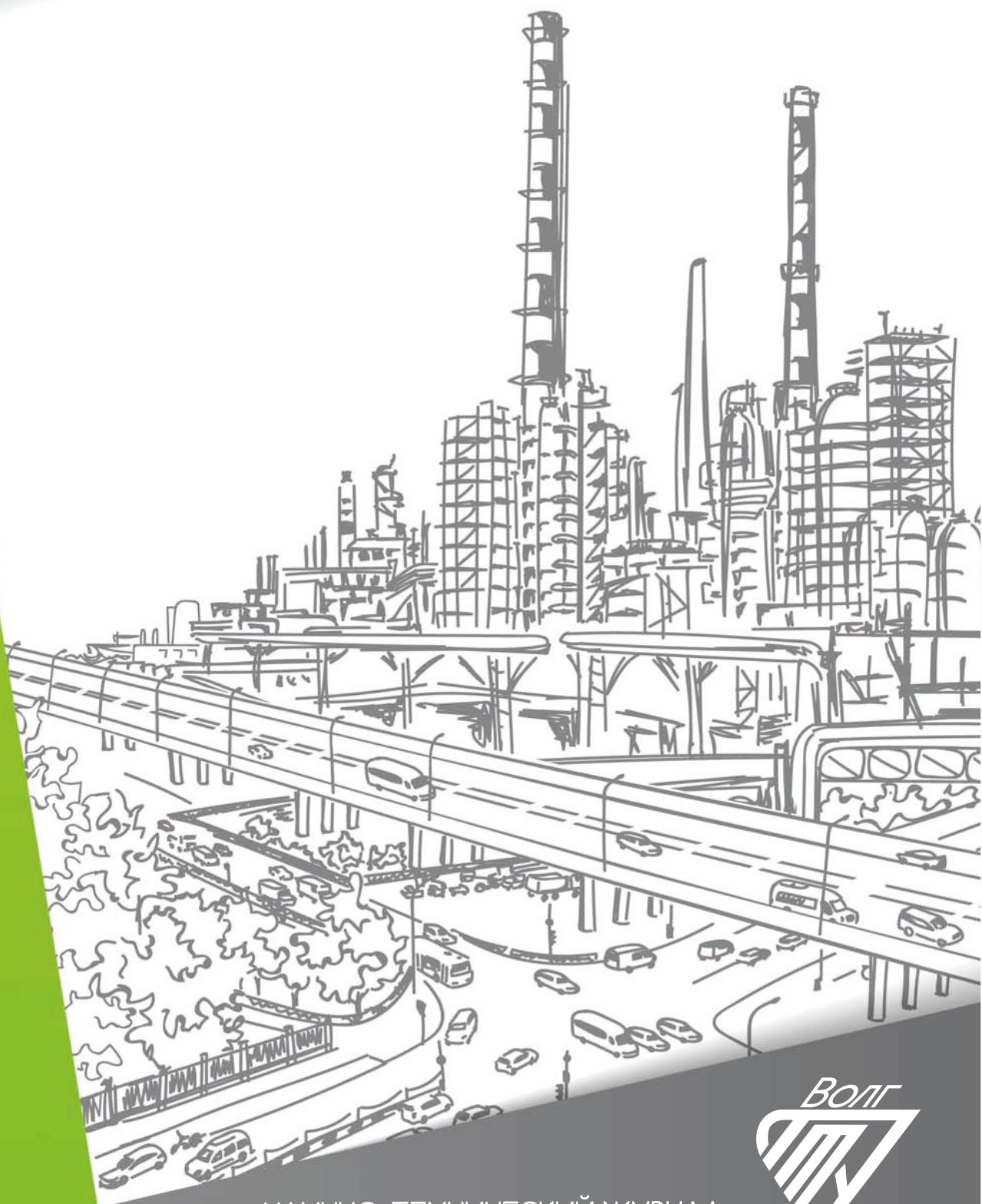


ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ:

промышленность и транспорт

№ 2 (35)
2021



16+

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ





Издается
с января 2004 г.

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

ISSN 2500-0586

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

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

Редакционная коллегия:

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

Ответственный секретарь
П. С. Васильев – к.т.н., доц., ВолГТУ

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

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

№ 2 (35)
Июнь
2021

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

Адрес редакции:
РФ, 400005, Волгоград, пр. В.И. Ленина, 28
Гл. редактор: телефон: +7 (8442) 23-00-76
e-mail: rector@vstu.ru

Отв. секретарь: телефон: +7 (8442) 24-84-31
e-mail: pahp@vstu.ru

Официальный сайт Учредителя: www.vstu.ru

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Волгоградского государственного технического университета

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

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

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

Статьи печатаются бесплатно



Published since
January 2004 г.

ISSN 2500-0586

Editor-in-chief

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

Editorial Board:

I. I. Artuchov – D. Sc. (Engineering), Prof.,
SSTU, Saratov
E. V. Balakina – D. Sc. (Engineering),
Prof., VSTU, Volgograd
A. V. Baranov – D. Sc. (Physical and Math.),
Prof., Gubkin University, Moscow
A. B. Golovanchikov – D. Sc. (Engineering),
Prof., VSTU, Volgograd
A. E. Gorodetskij – D. Sc. (Engineering),
Prof., IPME, St Petersburg
A. P. Darmanyan – D. Sc. (Engineering),
Prof., VSAU, Volgograd
A. M. Ivanov – D. Sc. (Engineering), Prof.,
MADI, Moscow
A. V. Keller – D. Sc. (Engineering), Prof.,
NAMI, Moscow
V. V. Korotaev – D. Sc. (Engineering), Prof.,
ITMO University, St Petersburg
G. O. Kotiev – D. Sc. (Engineering), Prof.,
BMSTU, Moscow
A. A. L'vov – D. Sc. (Engineering), Prof.,
SSTU, Saratov
M. Clemens – D. Sc. (Engineering), Prof.,
University of Stuttgart, Germany
V. A. Markov – D. Sc. (Engineering), Prof.,
BMSTU, Moscow
A. E. Novikov – D. Sc. (Engineering), Prof.,
VSTU, Volgograd
B. V. Skvortsov – D. Sc. (Engineering), Prof.,
Samara University, Samara
E. A. Fedyanov – D. Sc. (Engineering), Prof.,
VSTU, Volgograd
B. T. Fomichev – D. Sc. (Engineering),
Prof., VSTU, Volgograd
A. N. Shilin – D. Sc. (Engineering),
Prof., VSTU, Volgograd

Executive Secretary
P. S. Vasilyev – PhD, Associate Prof.

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

VSTU Publisher tel.:

+7 (8442) 24-84-08

+7 (8442) 24-84-05

e-mail: zavrio@vstu.ru

© Volgograd State Technical University,

«Energo- i resursosberezhenie: promyshlennost' i transport», 2021

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 (35)
June
2021

FOUNDER:

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

Periodicity: four times per year

Editorial office address:

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

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

Official website: www.vstu.ru

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

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

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

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

The articles are published for free.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

- | | |
|-----------------------|---------------------------|
| Арванитаки Н. В. 9 | Кузнецова Н. С. 9, 22, 36 |
| Атаманюк Р. Г. 54 | Латышов К. В. 14 |
| Богале М. А. 32 | Мак Б. В. 48 |
| Валюнин М. С. 19 | Макартичан С. В. 36 |
| Гусев В. Г. 41 | Нефедьев А. И. 19, 41 |
| Дементьев С. С. 6, 45 | Рощин Д. А. 54 |
| Дикарев П. В. 6 | Халяпин В. В. 25 |
| Жабин С. С. 36 | Чередников Н. А. 45 |
| Зенина Е. Г. 14 | Шилин А. А. 9, 22 |
| Исаев И. А. 22 | Шилин А. Н. 25, 45 |
| Коптелова И. А. 9 | |

AUTHOR INDEX

- | | |
|----------------------------|-----------------------|
| Arvanitaki N. V. 9 | Latyshov K. V. 14 |
| Atamanyuk R. G. 54 | Mac B. V. 48 |
| Bogale M. A. 32 | Makartichyan S. V. 36 |
| Cherednikov N. A. 45 | Nefed'ev A. I. 19, 41 |
| Dement'ev S. S. 6, 45 | Roshchin D. A. 54 |
| Dikarev P. V. 6 | Shilin A. A. 9, 22 |
| Gusev V. G. 41 | Shilin A. N. 25, 45 |
| Halyapin V. V. 25 | Valyunin M. S. 19 |
| Isaev I. A. 22 | Zenina E. G. 14 |
| Koptelova I. A. 9 | Zhabin S. S. 36 |
| Kuznetsova N. S. 9, 22, 36 | |

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Дементьев С. С., Дикарев П. В.</i> Диагностика гололедообразования и «пляски» проводов на воздушных линиях электропередачи.....	6
<i>Шилин А. А., Кузнецова Н. С., Коптелова И. А., Арванитаки Н. В.</i> Теория принятия решений в задачах повышения эффективности систем энергоснабжения.....	9
<i>Зенина Е. Г., Латышов К. В.</i> Анализ натурных эксплуатационных характеристик работы гидроагрегата для разработки методики получения универсальных характеристик гидротурбин.....	14
<i>Нефедьев А. И., Валюнин М. С.</i> Входной контроль кварцевых резонаторов.....	19
<i>Шилин А. А., Кузнецова Н. С., Исаяев И. А.</i> Автоматическая система ориентации панели солнечных батарей.....	22
<i>Шилин А. Н., Халяпин В. В.</i> Особенности проектирования информационно-измерительной системы коррозионного мониторинга магистральных газопроводов.....	25
<i>Богале М. А.</i> Анализ проблем энергетического обеспечения Эфиопии.....	32
<i>Макартичан С. В., Жабин С. С., Кузнецова Н. С.</i> Сравнительный анализ существующих методов измерения уровня жидкостей в резервуарах.....	36
<i>Нефедьев А. И., Гусев В. Г.</i> Устройство для контроля параметров искрового разряда в ДВС.....	41
<i>Шилин А. Н., Чередников Н. А., Дементьев С. С.</i> Анализ области применения облачных технологий.....	45
<i>Мак Б. В.</i> Оптико-электронный прибор для измерения коэффициента излучения и температуры контролируемого объекта.....	48
<i>Атаманюк Р. Г., Роцин Д. А.</i> Метрологический анализ оптических методов измерения расстояний.....	54
К сведению авторов.....	59

CONTENTS

<i>Dement'ev S. S., Dikarev P. V.</i> DIAGNOSTICS OF ICE FORMATION AND "DANCING" OF WIRES ON OVERHEAD POWER LINES.....	6
<i>Shilin A. A., Kuznetsova N. S., Koptelova I. A., Arvanitaki N. V.</i> THE THEORY OF DECISION-MAKING IN PROBLEMS OF INCREASING THE EFFICIENCY OF ENERGY SUPPLY SYSTEMS.....	9
<i>Zenina E. G., Latyshov K. V.</i> ESTIMATION OF INCREASING THE EFFICIENCY OF HYDRAULIC UNIT OPERATION BY USING NATURAL TESTS.....	14
<i>Nefed'ev A. I., Valyunin M. S.</i> INPUT CONTROL OF QUARTZ RESONATORS.....	19
<i>Shilin A. A., Kuznetsova N. S., Isaev I. A.</i> AUTOMATIC SOLAR PANEL ORIENTATION SYSTEM.....	22
<i>Shilin A. N., Halyapin V. V.</i> DESIGN FEATURES OF AN INFORMATION-MEASURING SYSTEM FOR CORROSION MONITORING OF MAIN GAS PIPELINES.....	25
<i>Bogale M. A.</i> ANALYSIS OF THE PROBLEMS OF ENERGY SUPPLY IN ETHIOPIA.....	32
<i>Makartichyan S. V., Zhabin S. S., Kuznetsova N. S.</i> COMPARATIVE ANALYSIS OF EXISTING METHODS FOR MEASURING THE LEVEL OF LIQUIDS IN TANKS.....	36
<i>Nefed'ev A. I., Gusev V. G.</i> DEVICE FOR PARAMETER CONTROL OF SPARK DISCHARGE IN A COMBUSTION ENGINE.....	41
<i>Shilin A. N., Cherednikov N. A., Demytyev S. S.</i> ANALYSIS OF THE AREA OF CLOUD TECHNOLOGY APPLICATION.....	45
<i>Mac B. V.</i> OPTICAL-ELECTRONIC INSTRUMENT FOR MEASURING THE RADIATION COEFFICIENT AND TEMPERATURE OF THE CONTROLLED OBJECT.....	48
<i>Atamanyuk R. G., Roshchin D. A.</i> METROLOGICAL ANALYSIS OF OPTICAL METHODS FOR MEASURING DISTANCES.....	54

С. С. Дементьев, П. В. Дикарев

**ДИАГНОСТИКА ГОЛОЛЕДООБРАЗОВАНИЯ И «ПЛЯСКИ» ПРОВОДОВ
НА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ***

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»

e-mail: c165tc34@yandex.ru, dikarev.pavel@mail.ru

Рассмотрен принцип функционирования устройства для мониторинга оледенения ЛЭП по провисанию проводов. Дано описание численной модели провисания провода. Приведена оценка погрешности измерения гололедной массы при отклонении характеристик проводов от номинальных.

Ключевые слова: интеллектуальные сети, мониторинг ЛЭП, диагностика оледенения, «пляска» проводов.

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

**DIAGNOSTICS OF ICE FORMATION AND "DANCING"
OF WIRES ON OVERHEAD POWER LINES**

Volgograd State Technical University

The principle of operation of the device for monitoring the glaciation of power transmission lines by sagging wires is considered. A description of the numerical model of the wire sagging is given. An estimate of the error in measuring the ice mass is given when the characteristics of the wires deviate from the nominal ones.

Keywords: smart grids, monitoring of power lines, diagnostics of glaciation, "dance" of wires.

Введение

Наиболее распространенной причиной выхода из строя воздушных ЛЭП является наличие гололедных отложений на проводах, в связи с чем существует объективная потребность в оснащении линий устройствами диагностики оледенения [1]. Использование датчиков метеорологических нагрузок в качестве первичного источника информации о состоянии линии

является одним из этапов построения «умных» сетей электроснабжения (*smart grids*).

Устройство диагностики

На сегодняшний день одним из наиболее перспективных способов мониторинга гололедообразования на ЛЭП является оптический метод, подразумевающий контроль провисания проводов по данным видеорегистрации.

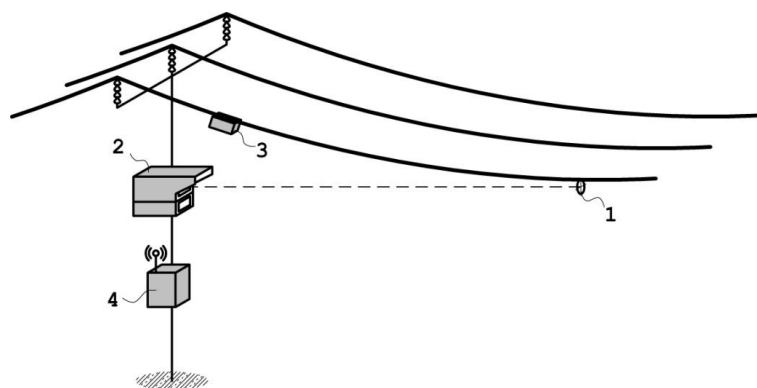


Рис. 1. Устройство диагностики оледенения ЛЭП

Устройство, реализующее данный метод (рис. 1), включает в себя закрепляемую на проводе на удалении от начала пролета оптическую метку 1, соответственным образом ориентированную ПЗС-камеру 2, монтируемую вместе с инфракрасным прожектором на стойке опоры, накладной датчик температуры 3, устанавливаемый на проводе вблизи опоры, а также вычислительный и телекоммуникационный модули 4.

Увеличение провисания провода в точке крепления оптической метки 1 свидетельствует о наличии гололедных отложений, при этом по изменению координат оптической метки с характерной частотой 0,2–0,4 Гц можно судить о возникновении опасных колебаний, именуемых «пляской» проводов.

Контроль гололедной нагрузки.

Моделирование провисания оледенелого провода и расчет веса отложений

Для линии, проходящей по равнинной местности, режим работы провода в пролете в текущих условиях нагружения описывает уравнение состояния провода [2]:

$$\frac{\sigma}{\gamma} \sinh \frac{\gamma l}{2\sigma} = \frac{\sigma_{и}}{\gamma_{и}} \sinh \frac{\gamma_{и} l}{2\sigma_{и}} \left[1 + \frac{\sigma - \sigma_{и}}{E} + \alpha(t - t_{и}) \right], \quad (1)$$

где σ , γ , t – механическое напряжение в материале провода [Н/мм²], удельная нагрузка [Н/(м·мм²)] и температура провода [°C] соответственно в рассчитываемом режиме; $\sigma_{и}$, $\gamma_{и}$, $t_{и}$ – механическое напряжение в материале провода, удельная нагрузка и температура провода соответственно в исходных условиях; E , α – модуль

упругости [Н/мм²] и температурный коэффициент линейного удлинения [град⁻¹] материала провода соответственно; l – длина пролета, м.

Как отмечается в [1], уравнение (1) является трансцендентным, требующим итеративного решения, а также точного вычисления гиперболических функций, что в совокупности затрудняет его использование на практике. В связи с этим традиционно для расчета режима провисания провода применяется упрощенное уравнение [1]:

$$\sigma - \frac{\gamma^2 l^2 E}{24\sigma^2} = \sigma_{и} - \frac{\gamma_{и}^2 l^2 E}{24\sigma_{и}^2} - \alpha E(t - t_{и}). \quad (2)$$

Уравнение (2) выведено на основании приближенных выражений для длины провода и деформаций, в частности, рассматривая распределение веса провода не по его длине, а по длине пролета, что также является определенным допущением [1]. Таким образом, данное выражение может использоваться лишь в оценочных расчетах, например, на этапе проектирования ЛЭП при расчете проводов на механическую прочность.

С учетом всего вышеизложенного для реализации оптического метода диагностики разработана численная модель провисания оледенелого провода.

Натянутый в пролете провод представим в виде совокупности стержней с шарнирными соединениями (рис. 2), которые обозначим точками C_i , где $i = 0 \dots n$. При таком разбиении шарниры C_0 , C_n совпадают с точками опор. Проекцию i -го стержня на ось абсцисс обозначим Δx_i , на ось ординат – Δy_i .

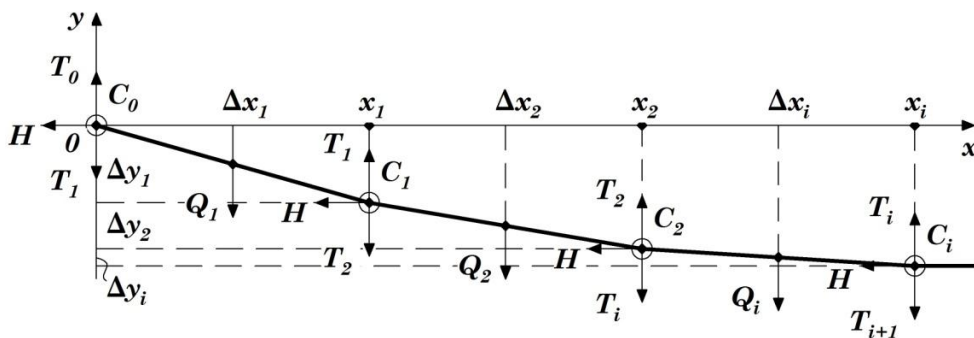


Рис. 2. Разбиение провода на конечные элементы и характер приложения сил

К каждому i -му стержню приложена сила Q_i , равная по величине собственному весу провода и весу гололедной муфты на участке, заключенном между точками с координатами $(x_i; y_i)$ и $(x_{i-1}; y_{i-1})$. Длина данного участка L_i бу-

дет отличаться, благодаря чему возможна замена равномерно распределенной по длине провода нагрузки множеством сосредоточенных сил Q_i , величина которых изменяется в силу изменения L_i , но приложенных через равные

промежутки $0,5\Delta x_i$ (считая, что сила действует в середине стержня).

Кривая провисания провода $y(x)$ с высокой точностью описывается уравнением параболы [1], которое в данном случае может иметь вид:

$$y(x) = \frac{f_1}{l_1(l-l_1)}x^2 - \frac{f_1 l}{l_1(l-l_1)}x, \quad (3)$$

где l_1 – расстояние, на котором подвешена оптическая метка l (рис. 1), от начала пролета, м; f_1 – стрела провеса провода в точке крепления оптической метки l [м], фиксируемая видеокамерой 2.

С учетом (3) длину L_i каждого участка находим как

$$L_i = \int_{x_{i-1}}^{x_i} \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} = \frac{r}{4f_1} \left[\frac{f_1}{r^2} \left[(2x_i - l) \sqrt{r^2 + f_1^2 (2x_i - l)^2} - (2x_{i-1} - l) \sqrt{r^2 + f_1^2 (2x_{i-1} - l)^2} \right] + \ln \frac{f_1 (2x_i - l) + \sqrt{r^2 + f_1^2 (2x_i - l)^2}}{f_1 (2x_{i-1} - l) + \sqrt{r^2 + f_1^2 (2x_{i-1} - l)^2}} \right], \quad (4)$$

где $r = l(l-l_1)$.

Тогда величина силы Q_i , действующая на каждый i -й стержень, составит:

$$Q_i = (G_{\text{пр}} + G_{\text{гм}}) L_i,$$

где $G_{\text{пр}}$, $G_{\text{гм}}$ – удельный вес провода и погонный вес гололедной муфты соответственно, Н/м.

Вертикальную составляющую тяжения T_{y0} провода в шарнире C_0 можем определить следующим образом:

$$T_{y0} = \frac{G_{\text{пр}} + G_{\text{гм}}}{l} \sum_{i=1}^n L_i (l - x_{i-1} - 0,5\Delta x_i). \quad (5)$$

Горизонтальная составляющая тяжения H в любой точке провода имеет одно и то же значение [1], которое ввиду малости участков разбивания провода может бы вычислено как

$$H = T_{y0} \frac{x_1 - x_0}{y(x_1) - y(x_0)}. \quad (6)$$

Используя (5) и (6), составим выражение для расчета механического напряжения σ в материале провода в текущем режиме нагружения гололедом:

$$\sigma = \frac{(x_1 - x_0)(G_{\text{пр}} + G_{\text{гм}})}{Sl[y(x_1) - y(x_0)]} \sum_{i=1}^n L_i (l - x_{i-1} - 0,5\Delta x_i),$$

где S – площадь сечения провода, мм².

Вводя обозначение

$$u = \frac{x_1 - x_0}{Sl[y(x_1) - y(x_0)]} \sum_{i=1}^n L_i (l - x_{i-1} - 0,5\Delta x_i)$$

с учетом температурной деформации провода получим формулу для вычисления погонного веса гололедной муфты:

$$G_{\text{гм}} = \frac{\sigma_{\text{и}}}{u} + \frac{E(L/L_{\text{и}} - \alpha(t - t_{\text{и}}) - 1)}{u} - G_{\text{пр}}, \quad (7)$$

где L – длина провода в пролете [м] в рассматриваемом режиме, вычисляемая по (4) на участке $[0; l]$; $\sigma_{\text{и}}$, $L_{\text{и}}$, $t_{\text{и}}$ – параметры исходного режима, определяемые при калибровке измерительного устройства.

Оценка погрешности измерения гололедной массы

Как показано выше в (7), вес гололеда можно представить в виде функции двух переменных $G_{\text{гм}} = F(E, \alpha)$. Значения модуля упругости E и температурного коэффициента линейного удлинения α не являются постоянными ввиду деградации материала провода при его старении, коррозии и наличия остаточных деформаций, вызванных многочисленными циклами нагружения-разгружения провода при его долговременной эксплуатации – все перечисленное в совокупности приводит к уменьшению величины E и увеличению α [3].

Для оценки погрешности $\Delta G_{\text{гм}}$, вызванной отклонениями величин E , α от номинальных значений $E_{\text{ном}}$, $\alpha_{\text{ном}}$ используем стандартное выражение:

$$\Delta G_{\text{гм}} = \frac{\partial F}{\partial E} \Delta E + \frac{\partial F}{\partial \alpha} \Delta \alpha, \quad (8)$$

где $\Delta E = E_{\text{ном}} - E$, $\Delta \alpha = \alpha - \alpha_{\text{ном}}$.

В силу того, что $\frac{\partial F}{\partial E} = \frac{L/L_{\text{и}} - \alpha(t - t_{\text{и}}) - 1}{u}$,

$$\frac{\partial F}{\partial \alpha} = -\frac{E(t - t_{\text{и}})}{u}, \text{ с учетом (8) находим}$$

$$\Delta G_{\text{ГМ}} = \frac{1}{u} [\Delta E (L/L_{\text{и}} - 1) - (t - t_{\text{и}})(\alpha \Delta E + E \Delta \alpha)]. \quad (9)$$

Используя (9) и соотношение

$$\delta G_{\text{ЗМ}} = 100(\Delta G_{\text{ГМ}}/G_{\text{ГМ}}),$$

можем оценить относительную погрешность измерения веса гололедных отложений, которая при $\Delta E/E_{\text{ном}} = 3\%$, $\Delta \alpha/\alpha_{\text{ном}} = 1\%$ для линии с известными параметрами (провод АС-150/24, IV район по гололеду, II район по ветру, $l=200$ м, $l_1=65$ м, $\Delta t=10$ °С) составит 12,9 %. Полученный результат свидетельствует о необходимости

ти коррекции заданных характеристик проводов при использовании измерительного устройства. Коррекция может быть выполнена при условии сброса гололедных отложений и $\Delta t=0$ °С, однако подробное описание соответствующего алгоритма выходит за рамки рассмотрения в данной работе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ТКП 641-2019 (33240) «Линии электропередачи воздушные. Ветровые воздействия, гололедные нагрузки и ветровые воздействия при гололеде» // Министерство энергетики Республики Беларусь. – Утвержден 18.11.2019; введен в действие 01.02.2020.
2. Кесельман, Л. М. Основы механики воздушных линий электропередачи / Л. М. Кесельман. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 352 с.
3. Костин, В. Н. Системы электроснабжения. Конструкции и механический расчет: Учебное пособие / В. Н. Костин. – СПб.: СЗТУ. – 93 с.

УДК 621

А. А. Шилин, Н. С. Кузнецова, И. А. Коптелова, Н. В. Арванитакис

ТЕОРИЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ЗАДАЧАХ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»

e-mail: artex23@yandex.ru

В статье приведен анализ известных методов принятия решений в задачах повышения эффективности систем энергоснабжения на примере газификации районов. Из проведенного анализа получен вывод, наибольшими потенциальными возможностями обладает метод анализа иерархий, предложенный Т. Саати. Этот метод широко используется в различных областях деятельности человека и особенно в экономике и управлении.

Ключевые слова: энергосбережение, энергоэффективность, энергоснабжение, теория принятия решений, метод анализа иерархий.

A. A. Shilin, N. S. Kuznetsova, I. A. Koptelova, N. V. Arvanitaki

THE THEORY OF DECISION-MAKING IN PROBLEMS OF INCREASING THE EFFICIENCY OF ENERGY SUPPLY SYSTEMS

Volgograd State Technical University

The article analyzes the well-known methods of decision-making in the problems of improving the efficiency of energy supply systems on the example of gasification of districts. From the analysis, it is concluded that the method of analyzing hierarchies proposed by T. Saati has the greatest potential. This method is widely used in various fields of human activity, especially in economics and management.

Keywords: energy saving, energy efficiency, energy supply, decision theory, hierarchy analysis method.

В настоящее время одной из наиболее актуальных проблем энергетики является задача повышения энергоэффективности систем энергоснабжения предприятий. Получение обобщенных показателей качества электроснабжения, характеризующих уровень энергетической эффективности, является довольно сложной задачей из-за сложности ее формализации и наличия

неразрешимых противоречий. Поэтому поиск компромисса связан с решением сложных многоцелевых оптимизационных задач. Интегральная оценка энергоэффективности предприятия позволяет оценить потенциал энергоэффективности и является основой для создания системы энергоснабжения на предприятии.

Для получения обобщенных показателей ка-

чества электроснабжения необходим метод комплексной оценки энергетической эффективности систем энергоснабжения. Однако методов комплексной оценки энергетической эффективности систем энергоснабжения сравнительно мало. Анализ потенциала мероприятий по энергосбережению с помощью частных показателей энергоэффективности не позволяет получить системные оценки. Поэтому для разработки метода комплексной оценки необходим анализ существующих методов и методик, которые используются для оценки энергосберегающих мероприятий, и выбор или разработка метода удовлетворяющего поставленной задаче.

Рассмотрим общую методику оценки эффективности работ по энергосбережению через удельный расход энергии на единицу продукции (энергоёмкость продукции) [1].

1. Эффективность отдельного энергосберегающего мероприятия (т у.т., кВт·ч, ГДж) определяется следующим образом:

$$\mathcal{E}_m = (\delta_1 - \delta_2) P_2, \quad (1)$$

где $\mathcal{E}_m$ – эффект в материальной (энергетической) форме; δ_1, δ_2 – удельный расход энергии (ТЭР) в т у.т. или кВт·ч на единицу продукции до и после осуществления мероприятия, изменение которого вызвано данным мероприятием; P_2 – объем годового выпуска продукции после осуществления мероприятия, выраженный в ед. продукции.

2. Экономическая эффективность, руб./год

$$\mathcal{E}_m = \mathcal{E}_m \cdot C = (\delta_1 - \delta_2) P_2 C, \quad (2)$$

где C – цена (тариф) энергоресурса, руб./т у.т., руб./ГДж, руб./кВт·ч и др.

3. Срок простой (без учета дисконтирования) окупаемости затрат на реализацию мероприятий по энергосбережению $T_{ок}$ (год) определяется следующим образом:

$$T_{ок} = \frac{Z_m}{(\delta_1 - \delta_2) P_2 C}, \quad (3)$$

где Z_m – затраты денежных средств, израсходованных (планируемых) для реализации мероприятия, руб.

4. Относительная эффективность в денежной форме, руб./руб.:

$$\mathcal{E}_{yd} = \frac{\mathcal{E}_m C}{Z_m} = \frac{Z_m}{(\delta_1 - \delta_2) P_2 C}. \quad (4)$$

В советское время $\mathcal{E}_{yd} = E_o = 0,125$, т. е. $T_{ок} = 8$ лет.

Сейчас считается, что энергосберегающие мероприятия обеспечивают соответствующую эффективность, если относительный эффект $\mathcal{E}_{yd}$ составляет на рубль вложений: до 1 руб. – низкую; от 1 до 2 – среднюю; более 2 – высокую («короткие деньги»).

С учетом полученных результатов можно сформулировать выводы о показателях энергетической и экономической эффективности разработанной новой технологии, оборудования, систем управления и т. д.

Вывод: Этот широко известный метод позволяет определять общую эффективность для простых задач анализа, однако для многокритериальной оценки эффективности этот метод не применим.

Метод комплексной оценки [2]. Этот метод был использован при анализе эффективности газификации административно-территориальных образований. Этот метод основан на использовании следующих частных показателей: уровень газификации территориального образования – Y_{1n} , количество газифицированных населенных пунктов – Y_{2n} , протяженность существующих газопроводов – Y_{3n} , число установленных газовых плит – Y_{4n} , количество водонагревательных и отопительных агрегатов – Y_{5n} , число не газифицированных населенных пунктов – X_{1n} , количество обслуживающего персонала – X_{2n} , численность населения – X_{3n} . Выбор частных критериев обусловлен их использованием поставщиками газа при определении степени газификации муниципальных районов.

На основе частных показателей и использования методологии DEA сформирован обобщенный критерий оценки эффективности энергоснабжения n -го территориального образования газовым топливом в виде максимизируемого функционала, как отношения взвешенной суммы показателей газоснабжения – Y_{1n}, Y_{2n}, Y_{3n} , прямым образом влияющих на эффективность газоснабжения, к взвешенной сумме характеристик – X_{1n}, X_{2n} знаменателя, обратным образом влияющих на величину максимизируемого функционала

$$f_{1n} = \max_{u_{1n}, u_{2n}, u_{3n}, v_{1n}, v_{2n} \in G} \frac{u_{1n} \cdot Y_{1n} + u_{2n} \cdot Y_{2n} + u_{3n} \cdot Y_{3n}}{v_{1n} \cdot X_{1n} + v_{2n} \cdot X_{2n}}. \quad (5)$$

Обобщенный критерий эффективности газобеспечения f_{1n} сконструирован в соответствии с возрастанием его значений при увеличении уровня газификации Y_{1n} , числа газифицированных пунктов Y_{2n} , протяженности газопроводов Y_{3n} и при уменьшении количества негазифицированных населенных пунктов X_{1n} , и численности обслуживающего персонала X_{2n} . Функционалы (1) формируются для каждого из n муниципальных районов и для 7 городских округов. Для ранжировки территориальных образований по обобщенному критерию эффективности газификации сформирован базовый район (район-индикатор) с $n = 1$, показатели газоснабжения которого отвечают нормативным значениям газификации. В соответствии с этим функционал f_{1n} конструируется для n объектов – территориальных образований газоснабжения. Следовательно, в (5) $n = 1, 2 \dots 35$.

Положительные весовые коэффициенты $u_{1n}, u_{2n}, u_{3n}, v_{1n}, v_{2n}$, определяющие ранги частных показателей газоснабжения $Y_{1n}, Y_{2n}, Y_{3n}, X_{1n}, X_{2n}$, при конструировании обобщенных критериев $f_{1n}, n = 1, 2 \dots 35$, полагаются неизвестными. Их величины отыскиваются из условий наложения ограничений на область значений весовых коэффициентов $(u_{1n}, u_{2n}, u_{3n}, v_{1n}, v_{2n}) \in G$, определяемую системой n неравенств, отвечающих нормированию обобщенных показателей газообеспечения районов на интервале $[0; 1]$

$$\begin{aligned} \frac{u_{1n} \cdot Y_{1_1} + u_{2n} \cdot Y_{2_1} + u_{3n} \cdot Y_{3_1}}{v_{1n} \cdot X_{1_1} + v_{2n} \cdot X_{2_1}} &\leq 1 \\ \frac{u_{1n} \cdot Y_{1_2} + u_{2n} \cdot Y_{2_2} + u_{3n} \cdot Y_{3_2}}{v_{1n} \cdot X_{1_2} + v_{2n} \cdot X_{2_2}} &\leq 1 \\ &\dots\dots\dots \\ \frac{u_{1n} \cdot Y_{1_{35}} + u_{2n} \cdot Y_{2_{35}} + u_{3n} \cdot Y_{3_{35}}}{v_{1n} \cdot X_{1_{35}} + v_{2n} \cdot X_{2_{35}}} &\leq 1 \end{aligned} \quad (6)$$

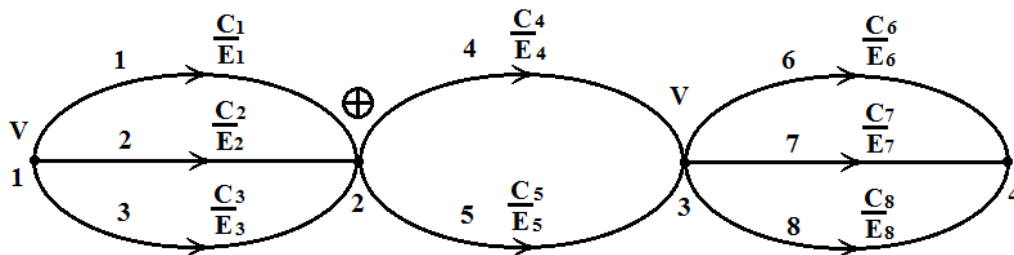
Система соотношений (5) и (6) для $n = \{1, 2 \dots 35\}$ определяет n задач нелинейного математического программирования. Решение n -задач дает значения обобщенной эффективности газообеспечения n -ой территории $-f_n$, определенные на единичном интервале $[0, 1]$, и соответствующие им весовые коэффициенты $u_n = \{u_{1n}, u_{2n}, u_{3n}\}$, $v_n = \{v_{1n}, v_{2n}\}$, максимизирующие функционал (6).

Основу данного метода составляет обобщенный максимизирующий функционал, который является интегрирующим показателем и не позволяет провести сравнительный анализ по отдельным показателям и соответственно наиболее оптимально выбрать мероприятия по энергосбережению.

$$\begin{aligned} D &= D_1 \cap D_2 \cap D_3 \\ \{ F(c) &= \sum_{i=1}^n E_1(i) + \sum_{i=1}^m E_2(i) + \sum_{i=1}^k E_3(i) \} \quad (7) \\ \sum_{i=1}^n C_1(i) &+ \sum_{i=1}^m C_2(i) + \sum_{i=1}^k C_3(i) \leq k \end{aligned}$$

Метод многокритериальной оценки [3]. При анализе мероприятий по энергосбережению – снижению тепловых потерь методом многокритериальной оценки авторами была использована граф-схема (рис. 1).

Вершинами графа являются характерные точки СТСПП (система теплоснабжения промышленного предприятия), в которых происходит разделение потока энергии (центральный тепловой пункт ЦТП, Индивидуальный тепловой пункт, ТК и т. п.). Каждая из дуг графа, представляет техническое или организационное мероприятие, обеспечивающие экономию тепловой энергии на данном участке системы, которое имеет свои затраты – C (стоимость внедрения) и свой эффект – E (количество сэкономленной тепловой энергии в стоимостном выражении).



Граф-схема мероприятий по энергосбережению

Дуги 1, 2, 3 соответствуют тем мероприятиям, которые могут быть реализованы на центрально-тепловом пункте предприятия (замена теплообменного оборудования, его теплоизоляция или установка частотно-регулируемых приводов на электродвигатели сетевых насосов).

Дуги 4 и 5 соответствуют тем мероприятиям, которые могут быть выполнены для снижения потерь тепловой энергии при ее транспортировке от ЦТП к ТП (изоляция трубопроводов теплоизоляционными материалами).

Дуги 6, 7, 8 определяют мероприятия по энергосбережению и энергоэффективности в ТП: автоматизация ТП, перевод системы отопления

на дежурный режим, регулирование теплоносителя по фасаду здания.

Если на рассматриваемом уровне системы теплоснабжения может быть применено одно или несколько направлений повышения энергетической эффективности из всей совокупности дуг, то указывается символ «V». Для возможности внедрения из всей совокупности только одного мероприятия применяется знак «⊕». В случае необходимости внедрения всего подмножества мероприятий указывается знак «Λ».

Для изучения фактического состояния системы теплоснабжения и оценки распределения тепловых потоков внутри предприятия составлено уравнение теплового баланса ПП:

$$\begin{aligned} \sum Q_{pm} = & \sum Q_k Q_k^{nmp} + \sum Q^{ch} + \sum Q_{nom_k} + \sum Q_{nom_{нар}} + \\ & + \sum Q_{nom_{вода}} + \sum Q_{nom_{техн}} + \sum Q_{nom_{от}} + \sum Q_{nom_{ГВС}}, \end{aligned} \quad (8)$$

где Q_{pm} – располагаемая теплота; Q_k^{nmp} – потребление теплоты k -м потребителем; Q^{ch} – объем теплоты на собственные нужды котельных или ЦТП; Q_{nom_k} , $Q_{nom_{сн}}$, $Q_{nom_{нар}}$, $Q_{nom_{вода}}$, $Q_{nom_{техн}}$, $Q_{nom_{от}}$, $Q_{nom_{гвс}}$ – потери теплоты котлами; теплоты энергетическим оборудованием котельной, при передаче пара; теплофикационной воды; при технологическом процессе; в системе отопления и вентиляции; в системе ГВС.

А основе результатов анализа уравнения теплового баланса, делается вывод о возможности снижения потерь теплоты на каждом уровне системы с помощью внедрения энергосберегающих мероприятий.

Методика анализа энергосберегающих мероприятий. Формулируется задача оптимизации потерь теплоты в СТСПП. Для энергосервисной компании мероприятие по энергосбережению оценивается двумя критериями:

- сумма капитальных и эксплуатационных затрат, C ;
- эффект получаемый от внедрения мероприятия, выраженный в стоимостном выражении от объема сэкономленной тепловой энергии, E .

Решение задачи снижения потерь в СТСПП состоит в выборе мероприятий, стоимость которых не превышает запланированного объема, и их внедрение обеспечит получение максимального эффекта.

Пусть D – множество всех мероприятий по энергосбережению, состоящее из трех непересекающихся подмножеств D_1 , D_2 и D_3 .

Подмножество D_1 содержит n мероприятий, которые планируются к внедрению в тепловых пунктах цехов. Подмножество D_2 содержит m мероприятий, которые планируются к внедрению на участке от ЦТП (центральный тепловой пункт) до ИТП (индивидуальный тепловой пункт) цехов. Подмножество D_3 содержит k мероприятий, которые планируются к внедрению на самом верхнем уровне СТСПП (в ЦТП).

Тогда n -мерные вектора $C_1(i)$, $C_2(i)$, $C_3(i)$ и $E_1(i)$, $E_2(i)$, $E_3(i)$ содержат стоимости и эффекты мероприятий из подмножеств D_1 , D_2 и D_3 .

С учетом введенных обозначений задача снижения тепловых потерь в СТСПП решается следующим образом:

1. Составление множества D планируемых мероприятий и декомпозиция его на три непересекающихся подмножества D_1 , D_2 и D_3 в зависимости от места внедрения мероприятий.

2. С помощью МАИ и метода АСФ вначале из подмножеств D_1 , D_2 и D_3 затем из множества D проводится выбор эффективных мероприятий.

3. Задается значение максимального финансирования (K) направленного на реализацию выбранных мероприятий.

4. Составляется целевая функция, значение которой должно быть максимальным в результате решения задачи следующего вида:

Так как СТСПП является сложной системой, то для учета зависимостей между ее элементами, при выборе мероприятий для подмножеств D_i , должны быть разработаны диаграммы причинно-следственных связей.

Для выбора эффективного подмножества мероприятий по энергосбережению на ПП используются методы многокритериального оценивания. Проанализированы следующие методы: min (max) свертка, мультипликативный МАИ. Достоинством данных методов является сведение многоэкстремальной проблемы к некоторой однокритериальной задаче, целевая функция которой представляет собой свертку исходных локальных критериев. Основным недостатком данных методов является наличие субъективности при определении весовых коэффициентов.

На основе анализа рассмотренных методов был выбран МАИ, который позволяет выявлять несогласованность суждений и использовать единую шкалу отношений для сравнения качественных показателей.

Для минимизации субъективного фактора при получении интегральных оценок эффективности рассматриваемых мероприятий дополнительно применена методология многокритериального оценивания сравнительной эффективности – анализ среды функционирования. Она позволяет определять сравнительную эффективность каждого мероприятия по отношению к другим сопоставимым объектам, при этом рассчитывается степень их «удаленности» от эффективных объектов.

Проведен анализ методов экономической оценки инвестиций в энергосберегающие мероприятия. В связи с тем что во время проведения исследований в основном рассматриваются крупно затратные мероприятия с длительным сроком окупаемости (5–7 лет), то для расчета экономического эффекта выбран метод дисконтированного срока окупаемости затрат. Сущность метода дисконтированного срока окупаемости состоит в том, что с первоначальных затрат на реализацию инвестиционного проекта (ИП) последовательно вычитаются дисконтированные денежные доходы с тем, чтобы окупилась инвестиционные расходы.

Метод анализа иерархий с двухступенчатым использованием парных сравнений [4–8]. Наибольшее влияние на энергоэффективность промышленных предприятий оказывает обоснованный выбор оборудования, поскольку именно современное оборудование позволяет сократить потери энергии. Так, например, внедрение частотно-регулируемых приводов позволяет сокращать потери за исключения повторных включений оборудования с непрерывным циклом работы.

Для проектирования и модернизации энергетической системы необходимы методы проектирования, учитывающие большое количество на рынке отечественного и зарубежного электрооборудования. Основная проблема проектирования заключается в обоснованном выборе оборудования, которое отличается большим разнообразием, как по функциональным возможностям, так и по стоимости.

Для решения этой задачи целесообразно использовать теорию принятия решений и в частности морфологический синтез, который основан на последовательном сравнительном анализе альтернативных вариантов.

Приведем краткий алгоритм морфологического синтеза:

1. Сужение области поиска за счет неудовлетворения требования:

- выбираются требования, у которых тип свертки одинаков во всех вершинах;
- проверка вершин, отобранных на первом шаге, на соответствие требованиям; если требования не выполняются, то вершина помечается как удаленная;
- перебор всех вершин от листьев к корню и проверка двух правил: если имеем вершину "И", и один из приемников помечен как удаленный, то и она помечается как удаленная; если вершина "ИЛИ" и все приемники удаленные, то вершина помечается как удаленная.

2. Перебор вариантов и сравнение показателей:

- рассчитывается одно из поддереьев;
- находится среди сгенерированных поддереьев такое, у которого будет наилучший набор критериев;
- для использования морфологического синтеза должна быть проведена большая подготовительная работа; кроме того, перебор дерева может и не привести к результату или дать очевидное решение.

Достоинством метода является возможность его автоматизации. Данный метод позволяет осуществлять последовательный выбор по каждому определенному параметру без учета их весовых коэффициентов для каждого варианта технического решения. В то же время определенный вариант решения с различной степенью легкости может обеспечить необходимое свойство системы, а какие-то свойства этим вариантом вообще не могут быть обеспечены. Поэтому необходим метод, который учитывал бы не только приоритеты каждого свойства или критерия, но и степень легкости

обеспечения этого свойства вариантом решения, т. е. необходимо введение весовых коэффициентов для каждого варианта решения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Щелоков, Я. М. Энергетическое обследование: справочное издание: В 2-х томах. Том 2. Электротехника / Я. М. Щелоков. – Екатеринбург, 2011. – 150 с.
2. Дилигенский, Н. В. Системный анализ и оптимизация проектных решений энергоснабжения жилого здания в современных строительных технологиях / Н. В. Дилигенский, В. И. Немченко, М. В. Посашков // Известия Самарского научного центра РАН. – Самара: СамНЦ РАН, 2010. – Т. 12, № 4(3). – С. 553–557.
3. Мокроусов, В. С. Применение специализированной граф-схемы для описания вариантов энергосберегающих

мероприятий / В. С. Мокроусов // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2012. – № 5. – С. 85–87.

4. Джонс, Дж. К. Методы проектирования / Дж. К. Джонс; перевод с англ. – М.: Мир, 1986. – 326 с.

5. Моисеева, Н. К. Основы теории и практики функционально-стоимостного анализа / Н. К. Моисеева, М. Г. Карпунин. – М.: Высш. шк., 1988. – 192 с.

6. Одрин, В. М. Метод морфологического анализа технических систем / В. М. Одрин. – М.: ВНИИПИ, 1989. – 312 с.

7. Саати, Т. Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Л. Саати. – М.: Радио и связь, 1989.

8. Шилин, А. Н. Морфологический синтез опто-электронных систем измерения размеров нагретых деталей / А. Н. Шилин, И. А. Шилина (И. А. Коптелова) // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2003. – № 3. – С. 51–61.

УДК 621.22-546

Е. Г. Зенина, К. В. Латышов

АНАЛИЗ НАТУРНЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАБОТЫ ГИДРОАГРЕГАТА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МЕТОДИКИ ПОЛУЧЕНИЯ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГИДРОТУРБИН

Московский энергетический институт (филиал, г. Волжский)

e-mail: kirilllatyshov99@gmail.com

Проведено сравнение теоретически построенных универсальных характеристик и характеристик, построенных в результате натурных испытаний. Рассмотрены различные методы испытаний, а также проанализированы потери, вследствие использования характеристик, построенных теоретически. Предложено дальнейшее направление исследований в данной области, с целью увеличения точности и уменьшения затрат.

Ключевые слова: гидроэнергетика; гидротурбина; энергоэффективность; натурные испытания; рабочая характеристика; универсальная характеристика; моделирование; оценка эффективности.

E. G. Zenina, K. V. Latyshov

ESTIMATION OF INCREASING THE EFFICIENCY OF HYDRAULIC UNIT OPERATION BY USING NATURAL TESTS

Moscow Power Engineering Institute (branch, Volzhsky)

A comparison of theoretically constructed characteristics and characteristics built as a result of in-kind tests was made. Various test methods are considered, as well as losses due to the use of characteristics built theoretically are analyzed. Further direction of research in this field is proposed in order to increase accuracy and reduce costs.

Keywords: hydropower; hydroturbine; field tests; energy efficiency; performance data; universal characteristic; modeling; efficiency assessment.

Введение

Гидроэлектростанции – это уникальные, технически сложные объекты. Ввиду особенностей своей работы, они имеют целый ряд преимуществ перед электростанциями других типов. Энергоэффективность работы ГЭС непосредственно зависит от качества работы энергетического оборудования. Необходимость повышения эффективности диктует существующий рынок электроэнергии и мощности. Дабы получать максимум от оборудования, не-

обходимо не только поддерживать его наилучшие технические характеристики, но и обеспечивать как можно более качественную его настройку. Все это в результате приводит к оценке коэффициента полезного действия агрегатов. Чем выше КПД при производстве электроэнергии и мощности, тем выше энергоэффективность работы гидрогенераторов.

Задача оптимизации гидроэлектростанций сводится к повышению КПД гидроагрегатов, несущих нагрузку при соблюдении всех требо-

ваний к надежности их функционирования. Сложность решения данной задачи заключается в ее многокритериальности, а также необходимости выполнения большого количества ограничений. ГЭС необходимо выполнять системные функции по поддержанию напряжения в энергосистеме и регулированию перетоков мощности, исполнять плановый диспетчерский график и план по выработке электроэнергии, в то же время рационально использовать механический ресурс гидроагрегатов и т. д.

В процессе работы гидроэлектростанции используют типовые характеристики, описывающие функционирование гидроагрегатов. Как известно, гидроагрегат состоит из генератора и гидротурбины. Каждый из данных элементов имеет свою энергетическую характеристику, и чем точнее построены эти характеристики, тем выше эффективность использования ресурсов. Энергетические характеристики связывают в себе мощность гидроагрегата, напор, расход воды, коэффициент полезного действия, а также некоторые характеристики, зависящие от типа гидроагрегата, а именно, угол открытия направляющего аппарата и угол поворота лопа-

ток рабочего колеса. Для точного регулирования мощности используются универсальные, эксплуатационные и рабочие характеристики.

Зачастую данные характеристики, построенные на стадии проектирования, существенно отличаются от реальных характеристик турбин. Это связано с тем, что в ходе проектных работ используется большое количество эмпирических формул и приближений. Все это и дает в результате существенные отклонения, в процессе реальной работы. Именно для этого и применяются натурные испытания, целью которых является построение наиболее точных характеристик. Далее будем рассматривать характеристики, относящиеся к поворотной лопастной гидротурбине, установленной на Волжской ГЭС.

Одной из ключевых является рабочая характеристика, показывающая изменение коэффициента полезного действия от мощности. Рассмотрим рабочую характеристику гидротурбины (рис. 1). Исходя из рисунка, можем видеть, что КПД гидротурбины достаточно сильно варьируется, особенно это заметно в зоне низкой мощности.

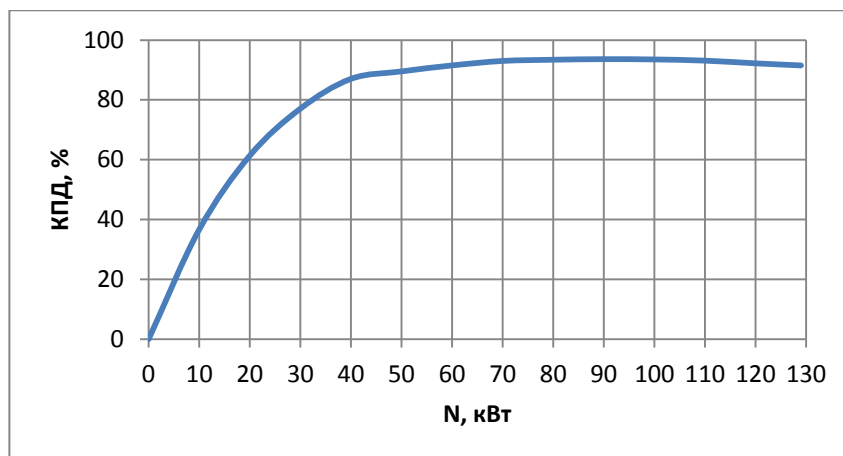


Рис. 1. Рабочая характеристика гидротурбины

Активная мощность генератора связана с мощностью турбины следующим соотношением:

$$N_G = N_T \cdot \eta_G, \quad (1)$$

где N_G — мощность генератора, МВт; N_T — мощность турбины, МВт; η_G — КПД генератора, о.е.

Главной энергетической характеристикой генератора является его рабочая характеристика (рис. 2). Из характеристики видно, что при

изменении мощности, значение КПД генератора изменяется не столь значительно, нежели в случае с рабочей характеристикой гидротурбины. Кроме того, коэффициент полезного действия генератора измерять значительно проще и измерения в разы более точные. Отсюда делаем вывод, о том, что в основном отклонения в значениях КПД гидроагрегата в целом приносит гидротурбина [1].

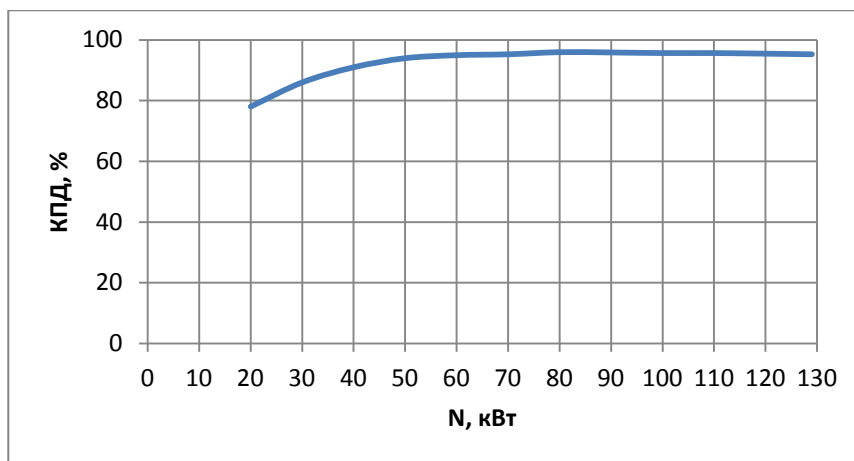


Рис. 2. Рабочая характеристика генератора

Наиболее точным способом построения характеристик на данный момент являются энергетические испытания, с их помощью можно оценить энергоэффективность производства в целом. Энергетические испытания выполняются абсолютным и индексным методами.

Абсолютный метод предусматривает определение фактических значений КПД. Абсолютный метод предусматривает определение фактических (абсолютных) значений КПД. При проведении испытаний абсолютным методом рекомендуется использовать наиболее отработанный метод «площадь – скорость», при котором расход воды определяется интегрированием поля местных скоростей, измеряемых гидрометрическими вертушками. Испытания проводятся при напоре, близком к расчетному.

При индексном методе определяется индексное или относительное значение КПД, то есть степень изменчивости КПД от мощности. Для проведения испытаний индексным методом необходимо наличие как минимум двух пьезометрических выводов из спиральной камеры, расположенных в одном и том же радиальном ее сечении, один из которых размещается на внешнем радиусе спирали, другой – на внутреннем радиусе у статорных колонн.

При проведении испытаний используется ГОСТ 28842-90 и Международные правила натуральных приемочных испытаний по определению гидравлических характеристик турбин, аккумуляющих насосов и обратимых турбин [3].

По результатам натуральных испытаний можем наблюдать значительные расхождения

в характеристике, построенной по результатам натуральных испытаний и заводской характеристикой (рис. 3) [2].

Для сравнения двух характеристик примем напор, равным расчетному для данной гидротурбины и проанализируем параметры, сравнив, как абсолютную, так и относительную погрешность измерений.

По результатам проведенного анализа (табл.1) видно, что заводские характеристики завышены. Далее, проведя аналогичные исследования для всего спектра рабочих напоров и мощностей, можем обнаружить, что при отклонениях от номинальных значений растут и значения погрешностей. Так, при высоком напоре, можем наблюдать относительную погрешность, достигающую до 7,1 %, что, несомненно, много. Таким образом, встает проблема необходимости создания математического аппарата для решения данной задачи.

С целью упрощения анализа большого объема данных, описывающих погрешности измерения КПД при различных значениях напора и мощности используем формулу для нахождения среднеквадратичных значений данных погрешностей (2):

$$x_{\text{срк}} = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot (x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2)}, \quad (2)$$

где x – относительная погрешность; n – общее количество измерений.

Затем, проанализировав рабочие напоры турбины, получим следующие значения относительных погрешностей коэффициента полезного действия (табл. 2).

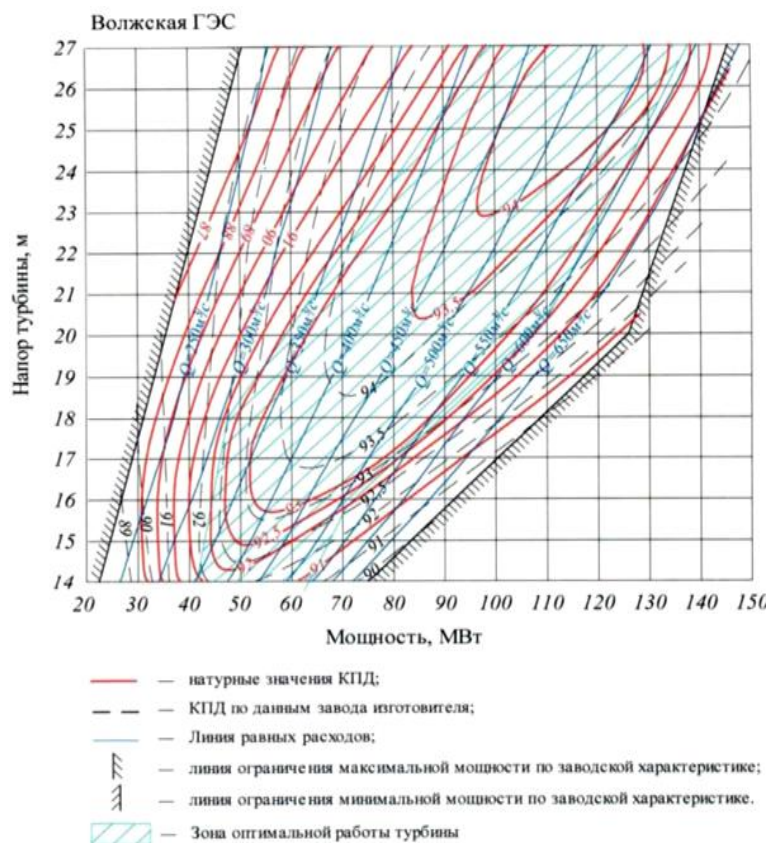


Рис. 3. Натурная эксплуатационная характеристика гидротурбины № 20

Таблица 1

**Сравнительный анализ заводской характеристики и характеристики,
построенной в результате натурных испытаний**

Мощность, МВт	Заводская характеристика, %	Натурные испытания, %	Абсолютная погрешность, %	Относительная погрешность, %
40	91,5	87	4,5	5,178
50	92,5	89,5	3	3,355
60	93,4	91,5	1,9	2,077
70	94	93	1	1,079
80	94,3	93,4	0,9	0,964
90	94,2	93,6	0,6	0,641
100	94	93,5	0,5	0,535
110	93,6	93,1	0,5	0,538
120	93,2	92,2	1	1,085
129	92,7	91,5	1,2	1,312

Таблица 2

Среднеквадратичные погрешности построения универсальной характеристики

Мощность, МВт	40	50	60	70	80	90	100	110	120	129
Среднеквадратичная погрешность, %	5,07	4,42	3,16	2,33	1,83	1,26	1,08	1,04	1,88	1,09

Рассчитаем величину потерь активной мощности. Для расчета будем принимать отрезок времени равный одному месяцу, и учиты-

вать изменения активной мощности по ходу месяца. Для расчета используем следующую формулу:

$$N_{\text{мес}} = 40 \cdot x_{40} \cdot t_{40} + 50 \cdot x_{50} \cdot t_{50} + \dots + 129 \cdot x_{129} \cdot t_{129}, \quad (3)$$

где $N_{\text{мес}}$ – суммарные потери энергии за месяц, МВт·ч; x_k – среднеквадратичная погрешность, при мощности k МВт, о.е.; t_n – время, которое гидроагрегат работал на мощности k МВт, ч; k – мощность гидроагрегата, МВт.

Проведя расчеты, получим, что потери мощности для одного агрегата, в случае использования заводской характеристики составят 1050 МВт·ч, что составит около 3,5 % от месячной выработки электроэнергии. В масштабах станции потери достигнут значений, сопоставимых с месячной выработкой электроэнергии небольшой теплоэлектростанции.

Таким образом, авторами может быть сделан вывод о том, что проведение натурных испытаний и построение по ним характеристик дает возможность более точного регулирования гидротурбины. Но несмотря на большую точность, нежели у заводских характеристик, характеристики, построенные по результатам натурных испытаний, также не гарантируют 100 % точность. Помимо накопления погрешности измерений характеристик гидротурбины, существует ряд особенностей, связанных с натурными измерениями. При измерении расхода с помощью ультразвукового метода наблюдаются неточности, а в случае более старых методов, таких как гигрометрические вертушки, отклонения достигают больших значений. Сложность возникает из-за неоднородности течения водного потока. Кроме того, в ходе эксплуатации в большинстве случаев вообще не применяются расходомеры, а расход вычисляется из эмпирических формул.

Натурные испытания являются достаточно дорогостоящими, так как приходится выводить

из работы гидроагрегат. Кроме того, в ходе испытаний рассматриваются лишь некоторые значения напоров и мощностей, остальные значения выводятся из различных зависимостей, что нельзя назвать абсолютно точным.

Создание модели, с помощью которой можно представить работу гидроагрегата снизит трудоемкость измерений и повысит точность построения характеристик. Это будет являться следствием того, что появится возможность проводить большое количество испытаний, охватывающих весь спектр возможных режимов работы агрегата.

В данный момент существует достаточно математических моделей, описывающих характер протекания жидкости, но их главным минусом является сложность и как следствие, отсутствие точных и простых инженерных алгоритмов вычислений. Именно поэтому необходимо создание программных комплексов, способных рассчитывать весь процесс и отображать его для последующего анализа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гидроэнергетика: учебник для вузов / А. Ю. Александровский [и др.]; под ред. В. И. Обрезкова. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 512 с.
2. Дмитриев, С. Г. Вибрационные испытания гидроэнергетического оборудования. Натурные испытания гидроагрегатов № 13, 20, 21. Проведение вибрационных испытаний гидрогенераторов № 5, 20 для перемаркировки на большую мощность Филиала ОАО «Русгидро» – «Волжская ГЭС»: технический отчет (этап 3) / С. Г. Дмитриев, В. А. Минаков, Д. Д. Козлов, И. А. Федосеев. – Москва, 2014. – 75 с.
3. Методические указания по проведению натурных испытаний гидротурбинных агрегатов при вводе их в эксплуатацию на ГЭС. Москва: СПО ОРГРЭС, 2001. – 13 с.

УДК 621.373.512

*А. И. Неведьев, М. С. Валюнин***ВХОДНОЙ КОНТРОЛЬ КВАРЦЕВЫХ РЕЗОНАТОРОВ****ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»**

e-mail: nefediev@rambler.ru

Для повышения качества продукции на всех этапах ее жизненного цикла необходимо проводить входной контроль комплектующих изделий. Рассмотрены задачи и виды входного контроля. Предложен прибор для контроля параметров кварцевых резонаторов в диапазоне 0,03–30 МГц, приведена его структурная схема и принцип работы. Показаны результаты измерения частоты кварцевого резонатора.

Ключевые слова: кварцевый резонатор, микроконтроллер, индикатор, частотомер, генератор, триггер Шмидта, контроль качества, входной контроль.

*A. I. Nefed'ev, M. S. Valyunin***INPUT CONTROL OF QUARTZ RESONATORS****Volgograd State Technical University**

To improve the quality of products at all stages of its life cycle, it is necessary to carry out incoming inspection of components. The tasks and types of input control are considered. A device is proposed for monitoring the parameters of quartz resonators in the range 0.03 - 30 MHz, its structural diagram and principle of operation are given. The results of measuring the frequency of a quartz resonator are shown.

Keywords: quartz resonator, microcontroller, indicator, frequency counter, generator, Schmidt trigger, quality control, input control.

Производство и применение электрорадиоизделий (ЭРИ) немислимо без всестороннего контроля, который осуществляется на всех стадиях их производства. На стадии разработки ЭРИ основная задача технического контроля – проверка выполнения требований нормативно-технической документации, а также контроль качества отдельных приборов или целых партий. На стадии производства изделия задачей технического контроля является контроль качества и состояния технологического процесса. На стадии эксплуатации изделия технический контроль обеспечивает проверку соответствия параметров изделия требованиям технических условий (ТУ) при хранении, транспортировании и эксплуатации [1].

При производстве продукции большое значение имеет качество комплектующих изделий. Покупка необходимых комплектующих для изготовления конечной продукции является риском возникновения брака в процессе производства. Поэтому и возникает необходимость входного контроля покупных электронных или электромеханических изделий, который является важным элементом системы менеджмента качества предприятия [2].

Главная цель входного контроля заключается в выявлении неисправных ЭРИ, потенциально ненадежных ЭРИ, а также контрафактной продукции. Входной контроль применяют для

исключения установки в приборы ЭРИ с явными и скрытыми дефектами. В зависимости от назначения приборов, входной контроль может быть сплошным или выборочным. Например, для ЭРИ с индексом «ОС» применяется сплошной входной контроль [2, 3].

Входной контроль является неотъемлемой частью процесса производства электронных изделий повышенной надежности. На входном контроле выявляются явные и скрытые дефекты ЭРИ, и он может носить как пассивный, так и активный характер. Пассивный контроль качества регистрирует только сам факт наличия дефекта ЭРИ по принципу «годен – негоден». При диагностирующем контроле о параметре получают точную информацию, по которой можно сделать вывод о его соответствии или не соответствии требованиям ТУ [4].

Для снижения уровня брака входному контролю подвергаются ЭРИ, вспомогательные и комплектующие изделия, другие материалы, используемые в производстве наиболее ответственных технических изделий [3, 5].

Объем операций входного контроля зависит прежде всего от типа ЭРИ, а также от режима его работы в устройстве.

Необходимость введения входного контроля ЭРИ на предприятиях, производящих приборы специального назначения, объясняется прежде всего экономической целесообразностью

обнаружения дефектного ЭРИ на более ранних стадиях, а также отсутствием на многих предприятиях 100 %-ного выходного контроля из-за его высокой стоимости. При разрушающих испытаниях изделия в принципе не могут быть подвергнуты 100 %-ному контролю. Кроме того, ЭРИ могут поставляться разными предприятиями-изготовителями, отличающимися культурой производства, также может возникнуть необходимость использования ЭРИ в условиях, не предусмотренных ТУ на них.

Наиболее ответственной частью входного контроля является пассивный и/или диагностирующий контроль. Параметры ЭРИ, исследуемые в процессе входного контроля, задаются разработчиком изделия.

В случае, если один или несколько технических параметров ЭРИ не удовлетворяют требованиям нормативной документации, то такие изделия считаются не прошедшими входной контроль, бракуются, и запрещены к использованию в производстве.

При необходимости применить ЭРИ в более тяжелых режимах, чем предусмотренные требованиями ТУ, могут быть проведены дополнительные проверки. В этом случае режимы и объем проверок согласовываются между потребителем и поставщиком.

В процессе входного контроля могут быть выявлены ЭРИ, не соответствующие требованиям ТУ. В этом случае они бракуются и возвращаются поставщику с предъявлением рекламаций, кроме случаев, когда ЭРИ проверялось в более тяжелых режимах, чем это предусмотрено соответствующими ТУ.

Входной диагностический контроль ЭРИ иностранного производства имеет некоторые отличия от контроля отечественных ЭРИ из-за отсутствия ТУ. Технические параметры импортных ЭРИ приводятся в соответствующих спецификациях фирм-изготовителей, при этом электрические режимы импортных ЭРИ должны удовлетворять требованиям стандарта ESA PSS-01-301 [6, 7].

Существует большая вероятность того, что среди ЭРИ, закупаемых предприятием, всегда содержатся потенциально ненадежные ЭРИ со скрытыми дефектами. У таких ЭРИ в процессе эксплуатации отказы появляются в первую очередь. Для выявления потенциально ненадежных ЭРИ на входном контроле проводится серия испытаний по одному или нескольким параметрам при воздействии дестабилизирующих факторов, моделирующих максимально тяже-

лые условия эксплуатации, что позволяет быстро выявить скрытые дефекты. Например, при испытаниях кварцевых резонаторов на термоциклы и воздействие повышенной температуры позволяет исследовать температурную нестабильность частоты, режим работы резонатора (номер гармоники), старение (долговременную нестабильность частоты), и др.

При термоциклах (чередующиеся нагрев и охлаждение) хорошо выявляется негерметичность корпуса резонаторов. Если корпус кварцевого резонатора негерметичен, влага проникает внутрь и вызывает коррозию металлизации. Но в большинстве случаев термоциклы являются нормальным режимом работы ЭРИ в электронной аппаратуре, так как они возникают из-за нагрева и охлаждения аппаратуры в процессе работы. Повышенные температуры также вызывают ускоренное старение кварцевых резонаторов, что позволяет прогнозировать изменение параметров резонатора во времени, и его надежность [8].

Помимо указанных воздействий качество кварцевых резонаторов хорошо выявляют механические испытания с постоянной или изменяющейся нагрузкой, при которых выявляются дефекты монтажа кристалла, корпуса и внешних выводов [9, 10]. Такие испытания дают полную картину состояния кварцевого резонатора.

Таким образом, кварцевые резонаторы, прошедшие входной контроль, являются качественными, и могут быть использованы в производстве.

Одним из основных требований, предъявляемых к автогенераторам, является требование стабильности частоты колебаний. Обычные LC-фильтры в качестве частотно-зависимых элементов автогенератора обеспечивают стабильность частоты в пределах $(1...2) \cdot 10^{-5}$ [11]. Но часто требуется более высокая стабильность частоты, поэтому широко применяется метод стабилизации частоты генераторов с помощью электромеханических устройств – кварцевых резонаторов, которые обеспечивают высокую точность и стабильность гармонических колебаний. Добротности кварцевых резонаторов составляет 10^5 для большинства типов, что позволяет уменьшить относительную нестабильность до $10^{-3}... 10^{-4} \%$ [11].

Для проведения параметрического входного контроля кварцевых резонаторов был разработан прибор, структурная схема которого представлена на рис. 1.

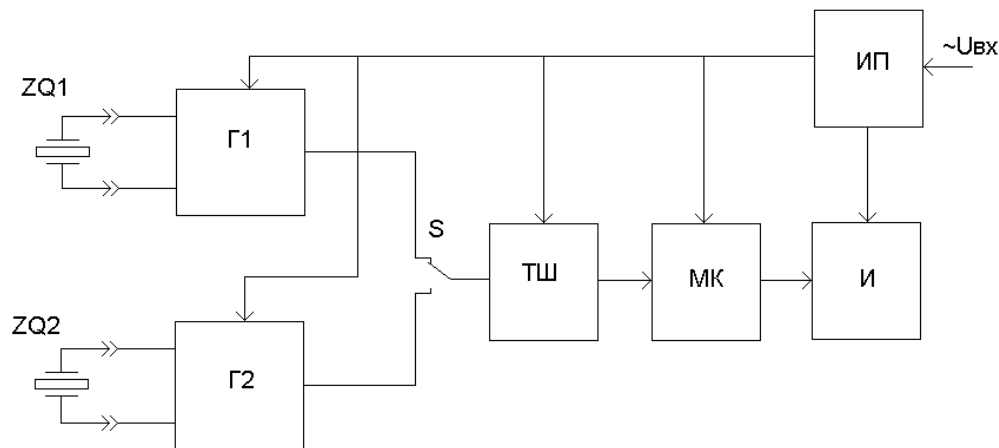


Рис. 1. Структурная схема прибора для контроля кварцевых резонаторов

Основу прибора составляют два генератора, к которым подключаются кварцевые резонаторы. К генератору Г1 подключаются кварцевые резонаторы в диапазоне частот 1–30 МГц, к генератору Г2 – в диапазоне частот 0,03–2 МГц. Генераторы Г1 и Г2 построены на микросхемах 74НС4060. Напряжение с выхода генераторов поступает на вход триггера Шмидта через переключатель диапазонов S. Триггер Шмидта позволяет получить более крутые фронты сигнала с выхода генераторов.

Микроконтроллер МК типа PIC16F628A, на вход которого поступает последовательность импульсов с триггера Шмидта, работает в режиме частотомера с автоматическим переключением предела измерения. Информация о частоте работы кварцевого генератора выводится на ЖК-индикатор типа WH1602A фирмы Winstar. Источник питания ИП обеспечивает выходное напряжение 5 В для питания всех каскадов прибора.

$$f = n / t, \quad (1)$$

где f – частота, n – количество импульсов, поступивших на вход микроконтроллера, t – время измерения.

На рис. 2 показаны результаты измерения частоты кварцевого резонатора НС-49U частотой 10,7 МГц на индикаторе WH1602A.

Измерение частоты кварцевых резонаторов может быть проведено как для определения работоспособности, так и для измерения его частоты в процессе диагностического контроля.

Таким образом, применение простого и недорогого разработанного устройства для входного контроля позволит упростить контроль параметров кварцевых резонаторов, что в итоге обеспечит отсев дефектных и потенциально ненадежных изделий, а также контрафактной продукции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Иевлев, В. И.* Электронная компонентная база ЭВМ специального назначения / В. И. Иевлев, Г. А. Филиппов. – Екатеринбург : УрФУ, 2012. – 162 с.
2. ГОСТ 24297-87. Входной контроль продукции. Основные положения. Введ. 1988-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2008. – 7 с.
3. *Абрамович, И. Л.* Входной контроль – инструмент защиты от контрафактной элементной базы / И. Л. Абрамович, С. Ф. Жулинский, Б. М. Ковалев // Методы менеджмента качества. – 2013. – № 3. – С. 40–48.
4. ГОСТ Р 8.731-2010. Государственная система обеспечения единства измерений. Система допускового контроля. Основные положения. Введ. 2012-01-01. – М.: ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2011. – 12 с.
5. *Урличич, Ю.* Контрафактная продукция на рынке электронных компонентов / Ю. Урличич, Н. Данилин // Современная электроника, 2006, № 5. – С. 6–8.

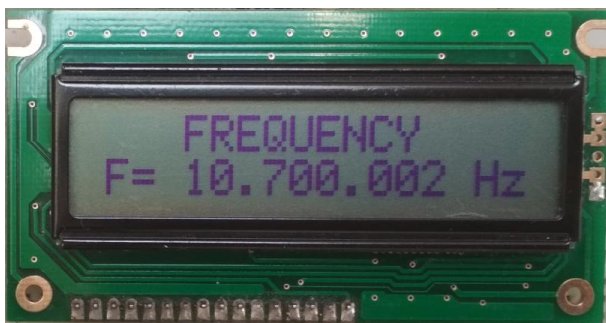


Рис. 2. Результаты измерения частоты кварцевого резонатора НС-49U

Принцип работы частотомера основан на подсчете входных импульсов в течение 1 секунды, т. е.

6. Зубавичус, В. Применение импортных ЭРИ в современной специальной аппаратуре / В. Зубавичус // Современная электроника. – № 4. – 2006. – С. 18.

7. РД В 319.04.35.00-01. Положение о порядке применения электронных модулей, комплектующих изделий, электрорадиоизделий и конструктивных материалов иностранного производства в системах, комплексах и образцах ВВТ и их составных частях. – М.: МО РФ, 2001. – 62 с.

8. ГОСТ РВ 20.39.304-98. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование военного назначения. Требования стойкости к внешним факторам. Введ. 1998-07-09. – М.: Изд-во стандартов, 1999. – 55 с.

9. Горлов, М. Отбраковочные технологические испытания как средство повышения надежности партии ИС / М. Горлов, А. Строгонов, А. Арсентьев, А. Емельянов, В. Плебанович // Технологии в электронной промышленности. – 2006. – № 1. – С. 70–75.

10. Горлов, М. Технологические тренировки интегральных схем / М. Горлов, А. Строгонов, Д. Шацких // Технологии в электронной промышленности. – 2009. – № 4. – С. 196–199.

11. Хоменко, И. В. Кварцевые резонаторы и генераторы : учеб. пособие / И. В. Хоменко, А. В. Косых ; Минобрнауки России, ОмГТУ. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2018. – 160 с.

УДК 621

А. А. Шилин, Н. С. Кузнецова, И. А. Исаев

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОРИЕНТАЦИИ ПАНЕЛИ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: shilin.jr@gmail.com

В статье приведен анализ существующих систем позиционирования панели солнечных батарей, способных функционировать при рассеянном свете. Из проведенного анализа сделан вывод, что из всех существующих систем не обнаружено технического решения, удовлетворяющего требованиям по точности позиционирования, простоте конструкции и надежности. В статье приведена конструкция системы автоматической ориентации панели солнечных батарей. Разработанная система позволяет повысить энергоэффективность работы солнечных батарей за счет автоматической ориентации панели солнечных батарей в положение, при котором возможно получение максимальной мощности при рассеянном свете. Для определения оптимального положения панели солнечных батарей система содержит малогабаритное сканирующее устройство, осуществляющее перед включением батареи сканирование небесного пространства. После определения сканирующим устройством угловых координат участка пространства с максимальной яркостью с помощью системы управления осуществляется позиционирование батареи в эти координаты.

Ключевые слова: солнечная энергетика, солнечные батареи, фотопреобразователи, системы позиционирования.

A. A. Shilin, N. S. Kuznetsova, I. A. Isaev

AUTOMATIC SOLAR PANEL ORIENTATION SYSTEM

Volgograd State Technical University

The article provides an analysis of existing positioning systems for solar panels that can function in diffused light. From the analysis, it is concluded that of all the existing systems, no technical solution has been found that meets the requirements for positioning accuracy, simplicity of design and reliability. The article describes the design of the automatic orientation system of the solar panel. The developed system makes it possible to increase the energy efficiency of solar panels by automatically orienting the solar panel to the position where it is possible to obtain maximum power in diffused light. To determine the optimal position of the solar panel, the system contains a small-sized scanning device that scans the celestial space before turning on the battery. After the scanning device determines the angular coordinates of the area of space with the maximum brightness, the battery is positioned in these coordinates using the control system.

Keywords: solar energy, solar panels, photo converters, positioning systems.

В настоящее время широко развивается не традиционная энергетика на базе солнечных батарей, которые используются в качестве источника энергии для домов, коттеджей и различных устройств: светофоров, систем мониторинга воздушных линий электропередач, транс-

портных средств и т. д. Основным требованием конструкции солнечной батареи является получение максимальной мощности с единицы площади батареи. Солнечные батареи небольших габаритов обычно содержат систему автоматического управления, позволяющее непре-

рывно осуществлять ориентацию на источник энергии (солнце). Такие системы управления оснащены датчиком для определения координат источника, который устанавливается на самой панели солнечных батарей [1].

Основным недостатком такой системы является непрерывная работа системы автоматического управления положением батареи относительно источника, следовательно, и большим расходом энергии на перемещение массивной панели. Энергия, затрачиваемая на перемещение, может быть соизмерима с вырабатываемой электроэнергией. Сложность работы системы заключается в определении угловых координат для позиционирования батареи при облачной погоде, поскольку в этом случае максимальный поток энергии может поступать не от источника, а от отражающих поверхностей (облаков, зданий, снега и т. д.), что снижает КПД установки. Часто отраженный поток энергии может быть больше, чем прямой от солнца, который блокируется облаками.

В связи с этим весьма актуальной задачей является создание системы управления, позволяющей повысить эффективность солнечной панели при изменении поступающего потока излучения и уменьшить затраты на поиск углового положения солнечной батареи, при котором батарея вырабатывает максимальную электрическую мощность.

Для решения этой задачи известно также устройство [2], содержащее панели солнечных батарей, закрепленных на трех взаимно перпендикулярных осях с возможностью поворота вокруг своих осей. Поворот солнечных батарей осуществляется таким образом, что в светлое время суток панели постоянно обращены к солнцу и вырабатывают энергию максимальной мощности за счет увеличения суммарной площади всех панелей. Солнечные панели находятся в разных плоскостях и отражают свет друг от друга, что позволяет увеличивать эффективность батарей. Управление положением батарей осуществляется с помощью компьютерной программы, учитывающей дату, время суток, погодные условия и температуру воздуха. Солнечные панели соединены с аккумуляторной батареей.

Недостатком этого устройства является сложность механической конструкции для управления положением батарей. Кроме того, довольно сложно выявить положение, при котором может быть получена максимальная мощность, а именно необходима математиче-

ская зависимость влияния этих факторов на вырабатываемую мощность. Кроме того, в этом устройстве используются солнечные панели как отражатели, однако, солнечная батарея не является идеальным отражателем с коэффициентов близким к 1 и поэтому возникает сомнение возможного повышения КПД за счет отражения света от солнечных панелей.

Известен интеллектуальный одноосный солнечный трекер [3]. Система управления трекером включает квадратную матрицу фотоэлектрических элементов, блок вывода электроэнергии, источник управления двигателем с микроконтроллером, проботоотборник мощности и вычислитель экстремальных значений мощности. Оптимальный угол положения матрицы фотоэлектрических элементов, соответствующий максимальной мощности, рассчитывается экстремальным вычислителем и устанавливается электроприводом. Процесс управления ориентацией одноосного солнечного трекера состоит из следующих последовательных фаз: а) наблюдение за облачным покровом над устройством слежения за солнцем; б) сравнение наблюдаемого облачного покрова с моделями облачного покрова, хранящимися в базе данных, причем каждая модель облачного покрова связана со значением уставки ориентации для солнечного трекера; в) сопоставление наблюдаемого облачного покрова с моделью облачного покрова; г) управление ориентацией солнечного трекера путем применения значения уставки ориентации к модели облачного покрова, выбранной на этапе в).

Основным недостатком этого устройства является ограниченная точность позиционирования матрицы в положение, при котором может быть получена максимальная мощность. Ограничение точности обусловлено моделями облачного покрова, хранящимися в базе данных, поскольку практически заранее учесть в модели облачный покров в другое время практически невозможно. Поиск оптимального угла за счет перемещения массивной матрицы фотоэлектрических элементов, что снижает энергетическую эффективность устройства.

Известен также аналогичный предыдущему устройству интеллектуальный солнечный трекер [4]. Принцип его работы основан на использовании итерационного метода поиска оптимального угла позиционирования по математическому выражению. Этому устройству присущи те же недостатки, что и предыдущему устройству.

Наиболее близким по проблеме разработки наиболее эффективного устройства позиционирования солнечного источника энергии является система автоматической ориентации панели солнечных батарей по направлению потока света, которое лишено недостатков предыдущего устройства. Это устройство содержит панель солнечной батареи с четырьмя цифровыми датчиками свет, установленными совместно с солнечной батареей на поворотном механизме. Система управления устройством соединена с датчиками света и шаговым двигателем, установленным на основании, и обеспечивающим автоматический поворот вокруг вертикальной оси. Устройство содержит стержень с регулятором длины, осуществляющим поворот панели относительно горизонтальной оси [5].

Основным недостатком этого устройства является то, что источник энергии, а именно солнце, может быть закрыт облаками и на солнечную панель поступает свет, отраженный от различных объектов: горы, снег, здания, облака, поэтому данная система автоматической ориентации не позволяет определить положе-

ние батареи, при которой возможно получить максимальную энергию. То есть батарея должна быть ориентирована в те координаты пространства, где можно получить максимальную энергию, причем источник излучения световой энергии уже не является точечным и поэтому данное устройство не позволяет определить это положение. Кроме того, сам принцип ориентации солнечной батареи по точечному источнику (солнцу), который должен непрерывно работать, является относительно энергоемким.

Из проведенного анализа существующих систем позиционирования следует, что для повышения энергоэффективности солнечных батарей в облачную погоду необходимо разработать умную систему позиционирования, позволяющую определять угловое положение солнечной батареи, при котором отдаваемая мощность максимальна. Разработка такой системы приведена ниже.

На рис. 1 изображена конструкция автоматической системы ориентации панели солнечных батарей, на рис. 2 – схема сканирования небесного пространства.

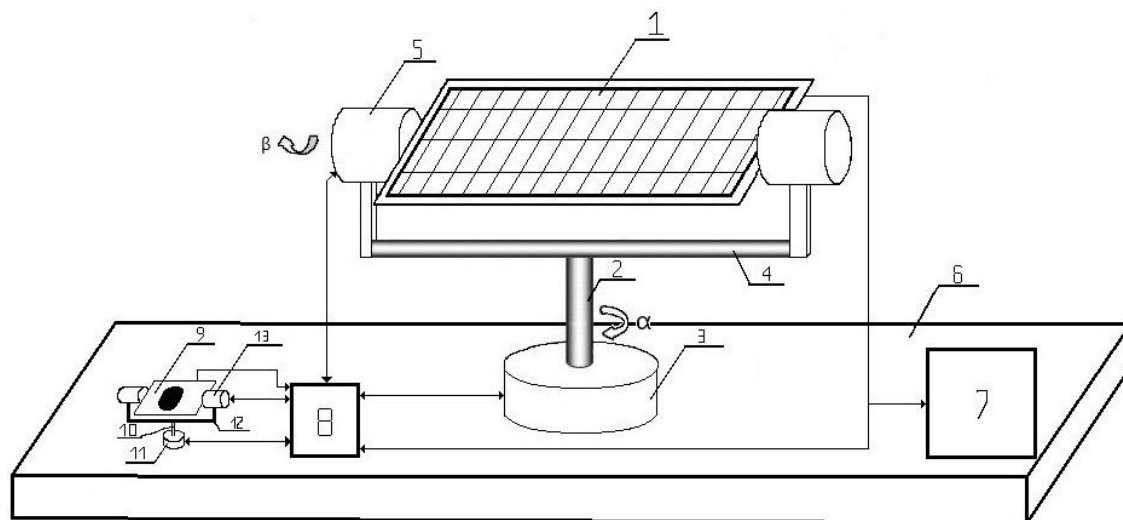


Рис. 1. Конструкция автоматической системы ориентации панели солнечных батарей

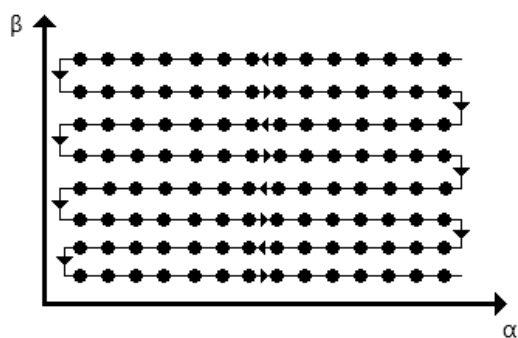


Рис. 2. Схема сканирования небесного пространства

Система содержит поворотное устройство, на котором установлена панель солнечных батарей 1 (рис. 1) с возможностью двух координатных угловых перемещений α и β с помощью поворотного устройства. Поворотное устройство представляет собой вертикальный вал 2, на котором установлены шаговый двигатель 3 для поворота солнечной панели 1 вокруг вертикальной оси и поворотная рама 4 с возможностью поворота относительно горизонтальной оси с помощью шагового двигателя 5. Пово-

ротное устройство панели 1 закреплено на массивной станине 6. Солнечная панель 1 соединена с накопителем энергии и устройством вывода 7. Шаговые двигатели 3 и 5 соединены с цифровым блоком управления 8. К блоку управления 8 подключен одноэлементный датчик светового потока 9 с оптической системой. Датчик 9 закреплен на двух координатном сканирующем устройстве [6] с возможностью угловых перемещений α и β с помощью поворотного устройства, кинематическая схема которого идентична кинематической схеме привода панели 1 солнечных батарей. Сканирующее устройство датчика содержит вертикальный вал 10, на котором размещены шаговый двигатель 11 для поворота датчика 9 вокруг вертикальной оси и поворотная рама 12 с возможностью поворота относительно горизонтальной оси с помощью шагового двигателя 13. Поворотное устройство двух координатного сканирующего устройства закреплено на массивной станине 6.

Пространственная зона обзора одноэлементного датчика светового потока 9 соответствует зоне обзора солнечной панели.

Перед работой солнечной батареи осуществляется сканирование неба одноэлементным датчиком светового потока 9 (схема сканирования изображена на рис. 2). Сканирование осуществляется шаговыми двигателями 11 и 13 с помощью блока управления 8. В процессе сканирования цифровым блоком управления 8 осуществляется регистрация яркости участков зоны. По завершению сканирования участков зоны неба выполняется обработка информации

блоком управления 8, а именно: определение участка с максимальной яркостью. Блок управления 8 с помощью шаговых двигателей 3 и 5 устанавливает панель 1 на позицию таким образом, чтобы нормаль к плоскости панели 1 была направлена на участок с максимальной яркостью. После этого осуществляется подключение солнечной панели 1 к накопителю 7 или внешней цепи.

Введение в систему позиционирования двухкоординатной маломощной информационно-измерительной сканирующей системы, регистрирующей яркость небесного пространства и определяющей угловые координаты солнечных батарей, при которых солнечные батареи вырабатывают максимальную мощность от рассеянного потока излучения позволяет повысить энергетическую эффективность солнечной станции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Селиванов, К. В. Устройство автоматической ориентации панели солнечных батарей по направлению потока света / К. В. Селиванов, рег. № 2017 135 852, от 10.10.2017, Роспатент, 2017.
2. Галаванишвили, С. С. Солнечная батарея / С. С. Галаванишвили, рег. №2019 100 949, от 10.01.2019, Роспатент, 2019.
3. esp@tenet, рег. № 2016CN-0562985 от 2016-07-15.
4. Huangshan Ruiji New Energy Co., рег. № CN 105958930 B, от 2016.09.21, Государственное ведомство интеллектуальной собственности Китайской Народной Республики, 2016.
5. Патент на полезную модель РФ №180 765 от 10.10.2017, МПК F24J 2/54 (2006.01), опубл. 2017.
6. Мирошников, М. М. Теоретические основы оптико-электронных приборов / М. М. Мирошников. – Л.: Машиностроение, 1983. – 696 с.

УДК 681.518.3:620.193.9

А. Н. Шилин, В. В. Халяпин

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОРРОЗИОННОГО МОНИТОРИНГА МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: HalyapinVV@yandex.ru

Определены структура и функциональная схема разрабатываемой системы. Приведен минимальный перечень разрабатываемых дополнительных измерительных устройств. Показана процедура передачи информации и загрузки в информационно-измерительную систему. Представлен экран выбора исходных данных для формирования графической части системы.

Ключевые слова: информационно-измерительная система; структура системы; поддержка принятия решений системой; порядок отбора данных системой.

A. N. Shilin, V. V. Halyapin

DESIGN FEATURES OF AN INFORMATION-MEASURING SYSTEM FOR CORROSION MONITORING OF MAIN GAS PIPELINES

Volgograd State Technical University

The structure and functional diagram of the system being developed have been determined. The minimal list of additional measuring devices under development is presented. The procedure for transferring information and loading into an information-measuring system is shown. The screen for selecting initial data for the formation of the graphical part of the system is presented.

Keywords: information-measuring system; system structure; decision support by the system; order of data selection by the system.

Введение

Единая система газоснабжения России – это совокупность технологических объектов, обеспечивающих непрерывный цикл подачи газа от скважины до конечного потребителя. Общая протяженность газопроводов в России составляет 180,2 тыс. км, газ прокачивают 254 компрессорные станции общей мощностью 47,1 тыс. МВт (по объектам, принадлежащим ПАО «Газпром»). При этом наиболее сложными в диагностике и обслуживании являются объекты, относящиеся к магистральным газопроводам из-за их большой протяженности. В зоне ответственности газотранспортной региональной организации может быть несколько тысяч километров магистральных сетей. Статистика показывает, что причиной каждой третьей аварии на проложенном в земле трубопроводе является электрохимическая коррозия [1]. По данным Ростехнадзора, предварительный материальный ущерб от аварий в 2018 году составил 79,6 млн рублей (в 2017 году – 79 млн рублей). На сайте представлена вся доступная информация об авариях на газотранспортных объектах в период с 2014 по 2018 год. По данным Ростехнадзора, основными причинами аварий в 2018 году являются разгерметизация трубопроводов, вызванная физическим износом, коррозией металла труб и растрескиванием под напряжением [2]. Основными опасными факторами, способствующими возникновению аварийных ситуаций, являются: наличие горючих газов; физический износ металла из-за перемещений газопровода из-за сезонных изменений уровня грунтовых вод и изменения геологического строения почвы по длине газопровода; нарушение сплошности изоляционного покрытия; коррозия и механическое повреждение металла газопроводов; старение системы электрохимической защиты; пересечение газопроводами водных преград и искусственных сооружений.

Актуальность

При проведении периодических осмотров несоответствия выявляются и впоследствии устраняются, но не уделяется внимания причинам несоответствий и факторам, негативно влияющим на тело трубы и изоляционное покрытие газопровода. Для определения причинно-следственных связей возникновения коррозионных повреждений необходимо исследовать взаимосвязь влияния отдельных факторов одновременно в пространстве и во времени, а также в различных пространственно-временных масштабах.

Надежность газотранспортной системы Газпрома обеспечивается внедрением передовых методов диагностики, своевременным капитальным ремонтом и профилактикой. После проведения анализа рисков и оценки системной значимости приоритет отдается тем объектам, ремонт которых даст максимальный эффект. Более того, для этой оценки необходимо использовать большой объем информации. В свою очередь, диагностика без систематического использования накопленной статистической информации не позволяет полностью определить фактическое техническое состояние и выдать коррозионный прогноз газопровода.

Поэтому для качественного мониторинга технического состояния трубопроводов необходима разработка и внедрение информационно-измерительных систем, основанных на современных достижениях в области измерительной техники и телекоммуникационных систем [3].

Постановка задачи

Анализ обстоятельств аварий, произошедших на опасных производственных объектах, свидетельствует о том, что наиболее частая причина аварий носит организационный характер, выявленные при расследовании нарушений требований федеральных норм и правил в области промышленной безопасности, отсутствие

достаточного контроля за техническим состоянием опасного производственного объекта является показателем неудовлетворительной организации систем производственного контроля на опасном производственном объекте.

Надежность транспортировки газа определяется техническим состоянием линейной части магистрального газопровода, оборудованием линейных сооружений и площадных объектов.

Методы повышения надежности:

- Систематическая диагностика и мониторинг технического состояния линейной части магистрального газопровода и оборудования объектов территории;

- Надежный анализ и прогноз изменения технического состояния;

- Выявление причин вредного воздействия на объекты газотранспортной системы.

Техническое обслуживание газопроводов условно можно разделить на две категории получения информационных данных:

1. Измерения, произведенные обслуживающим персоналом;

2. Автоматические измерения, выполняемые встроенными измерительными приборами или дополнительно разработанными датчиками.

Хотя электрохимический механизм коррозии почвы изучен достаточно глубоко, сложность проблемы настолько велика, что уровень науки пока не позволяет объяснить и математически выразить закономерности, точно определяющие кинетику процессов коррозии почвы при длительной эксплуатации металлов. В настоящее время существует острая необходимость в хотя бы приблизительных методах оценки опасности коррозии подземных сооружений.

По состоянию на 2021 год было предпринято множество попыток систематизировать причины повреждения изоляции магистрального газопровода и возникновения коррозионных дефектов. Требования нормативно-технической документации регламентируют измеряемые факторы на момент проведения обследования или в короткий промежуток времени. В то же время обзор литературы позволяет сделать вывод о том, что околотрубное пространство представляет собой сложную динамическую систему с множеством постоянно меняющихся факторов. Индивидуальные успехи изобретений и информационных систем вместе со статистикой и выявлением определенных зависи-

мостей позволяют сделать вывод о возможности разработки информационно-измерительной системы для мониторинга и прогнозирования дефектов изоляции и коррозионных дефектов.

Информационно-аналитические модели должны решать следующие задачи:

- Выявление участков газопровода, на которых возможны аварии (ранжирование участков по прогнозируемому техническому состоянию с опасностью коррозии).

- Определение направлений первоочередных диагностических работ, включая поточную дефектоскопию (ИДТ), плановый профилактический и текущий ремонт трубопроводов, а также работы по замене изоляционного покрытия и реконструкции систем электрохимической защиты (ЭХЗ).

- Планирование дополнительных исследовательских работ на плохо прогнозируемых участках магистральных газопроводов.

Теоретическая часть

Актуальные разработки в области прогнозирования и построения информационных систем для магистральных газопроводов подробно рассмотрены в статье «Информационные системы и процессы». На данный момент не существует целостной системы, определяющей необходимые зависимости в протекании коррозионных процессов.

В связи с тем, что большинство магистральных газопроводов имеют срок эксплуатации более 20 лет, информационная составляющая представлена разрозненными формами отчетности, проектной и технической документацией на бумаге [4]. Поэтому отдельный, довольно сложный вопрос – это структурирование и выстраивание связей между полученной информацией. На рис. 1 представлена структура разработанной информационно-измерительной системы коррозионного мониторинга газопроводов. В качестве реально разработанных счетчиков используются:

1. Регистратор режимов удаленных энергообъектов;

2. Автономный регистратор потенциала на контрольно-измерительном пункте (КИП);

3. Регистратор параметров околотрубного пространства.

Стоит отметить, что в зависимости от внешних почвенно-климатических факторов и диагностических данных количество регистрируемых параметров околотрубного грунта, измеряемых регистратором № 3, может варьироваться.

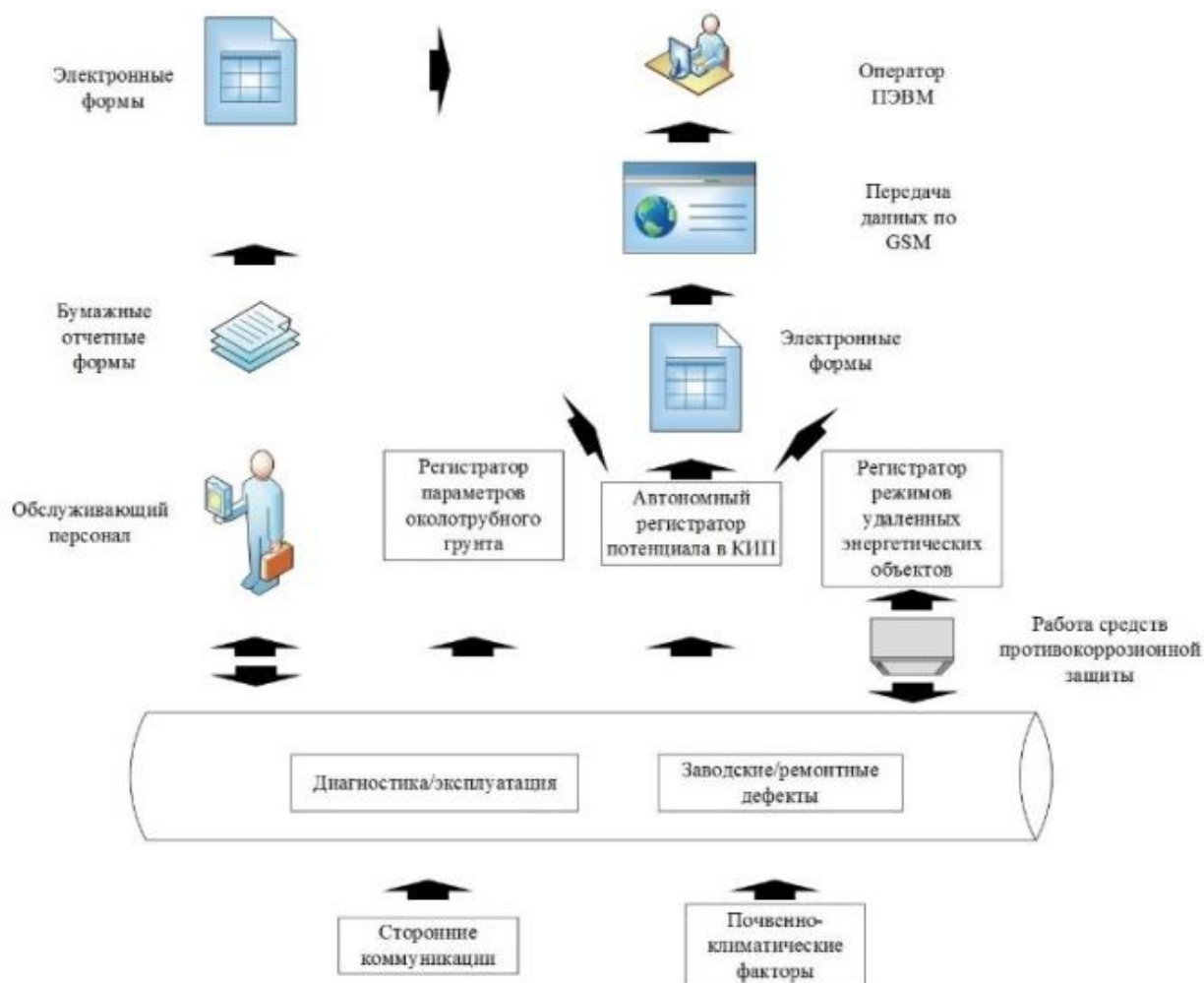


Рис. 1. Структура разработанной информационно-измерительной системы

Функциональная схема информационных звеньев разработанной информационно-измерительной системы мониторинга коррозии га-

зопровода, содержащая пять информационных блоков, представлена на рис. 2.

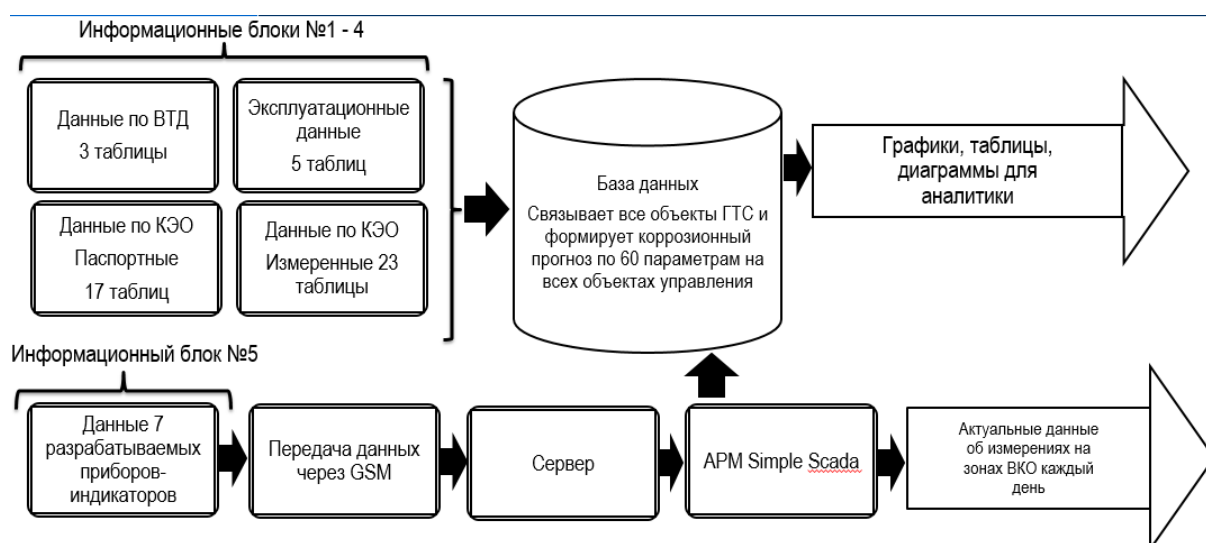


Рис. 2. Функциональная схема разработанной информационно-измерительной системы

Информационные блоки № 1–№ 4 представляют собой данные технических отчетов зарегистрированных лабораторий с периодичностью от 3 до 10 лет в зависимости от условий эксплуатации и оперативных измерений, проводимых эксплуатационной службой в течение года. Данные в виде файлов Excel загружаются в базу данных.

В настоящий момент при проведении периодических коррозионных обследований техническое состояние средств электрохимической защиты обследуемого газопровода проверяется на соответствие нормативно-технической документации, в частности ГОСТ 51164-98. По сути, это означает, что система защиты от коррозии соответствует нормативным требованиям в определенный момент времени. Устранение замечаний происходит без детального анализа происходящих процессов коррозии и старения за последние 10 лет и без надлежа-

щего прогноза на последующие периоды. Такой подход позволяет выявить несоответствие требованиям, но не учитывает возможное возникновение дефектов в промежутке времени между обследованиями.

Практическое значение

Информационные блоки № 3, № 4 «Паспортные и замеренные данные коррозионных исследований» представляют собой основной набор фильтрационных данных, в соответствии с которым будут производиться выборки данных из информационной базы данных газопроводов (рис. 3). Отбор проб по данным последнего коррозионного обследования позволяет наиболее точно оценить коррозионное состояние газопровода на выбранном участке трассы. С учетом решаемых задач разработанную информационную систему можно отнести к системе поддержки принятия решений [5].

Рис. 3. Экран выбора данных информационно-измерительной системы

После выбора необходимой интересующей информации и нажатия кнопки построения графика формируется графическая часть информационной системы и все выбранные данные отображаются на группе графиков в выбранных диапазонах пробега газопровода. Километр объектов, привязанных к трассе газопровода, является связующим элементом для построения объектов на графиках. Основная работа по унификации данных проводится на подготовительном этапе перед загрузкой в базу

данных. Графики строятся последовательно, один за другим, что позволяет визуально определять существующие зависимости.

Степень влияния факторов на вероятность нарушения целостности участка газопровода определяется совокупностью существующих на этом участке условий, способствующих усилению коррозии почвы, а также эффективностью пассивной и активной защиты газопровода от агрессивного коррозионного воздействия.

За последние 20 лет разработано, утвержде-

но и применяется несколько аналогичных методик определения коррозионной опасности площадок, например, СТО Газпром 2-3.5-252-2008 «Методика продления срока безопасной эксплуатации магистральных трубопроводов ОАО Газпром». Метод предназначен для оценки комплексного показателя, характеризующего коррозионную активность грунта вдоль трассы газопровода с целью последующего районирования территории по коррозионной агрессивности. В качестве комплексного показателя коррозионной активности используется оценка, учитывающая 14 различных факторов. Зонирование территории предусматривает выделение участков вдоль трассы с заданными значениями комплексного показателя коррозионной агрессивности.

Разработанная информационно-измерительная система коррозионного мониторинга магистральных газопроводов учитывает в своей работе 59 внешних и внутренних факторов. Критерии делятся на основные и дополнительные. Условия отнесения участка магистрального газопровода к одной из трех степеней коррозионной опасности могут корректироваться в зависимости от конкретного газопровода.

Особое влияние имеют несколько факторов, для которых разработаны дополнительные собственные индикаторы:

1. Защита газопровода во времени – регистратор отключений удаленных энергообъектов.

2. Стабильность защитного потенциала и времени деполяризации газопровода при отключении установок катодной защиты – Автономный регистратор защитного потенциала подземных сооружений.

3. Определение «зон разгрузки» подробно рассмотрено в статье «Зона разгрузки как фактор потенциальных источников дефектов изоляции магистрального газопровода на примере

участка длиной 55 км – учитывается в информационной системе программным методом.

4. Изменчивость удельного сопротивления грунта – учитывается в информационной системе программным методом.

Значительная часть газопроводов имеет пленочное покрытие, и при длительной эксплуатации этого защитного покрытия нередко возникает коррозия под пленкой. В то же время в сочетании с отключениями средств электрохимической защиты потенциалы в процессе деполяризации выравниваются в начале отслоения и в самой отдаленной точке через четыре минуты после отключения. Поэтому при разработке индикатора учитывалась минутная разрядность при написании цикла срабатывания для проверки срабатывания средств электрохимической защиты.

В соответствии с ГОСТ Р 51164-98 потенциал поляризации (потенциал без омической составляющей, электрохимический потенциал) является основным показателем, характеризующим защиту конструкции от коррозии.

При проектировании автономного регистратора защитного потенциала подземных сооружений использовался метод измерения суммарного защитного потенциала. Поскольку при отключении установок катодной защиты омическая составляющая защитного потенциала стремится к нулю, а регистрируемый защитный потенциал является поляризационным потенциалом газопровода. Такой подход позволит существенно сэкономить на электронных компонентах при изготовлении регистратора при выполнении основных функций – измерения полного защитного потенциала при включенных средствах электрохимической защиты, измерения потенциала поляризации при выключенных устройствах электрохимической защиты и времени деполяризации трубопровода.

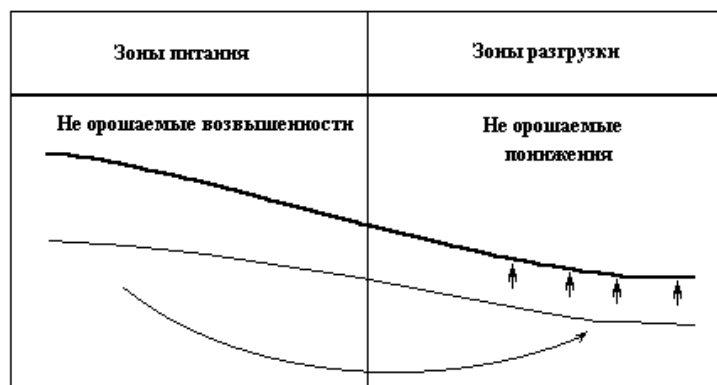


Рис. 4. Пополнение полей грунтовыми водами в зависимости от местности

Определение «зон разгрузки» (рис. 4). Полученные результаты позволяют определить, что фактором повреждения изоляционного покрытия является не только наличие естественных низин и участков скопления влаги, но и близость к пашням, так как прилегающие к ним нерабочие участки будут зонами разгрузки [6].

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

Изменчивость удельного сопротивления грунта - при определении изменчивости удельного сопротивления грунта учитываются подходы, описанные в СТО Газпром 2-2.3-1160-

2018, при этом длину соседних участков с переменным значением удельного сопротивления можно регулировать с помощью коэффициента длины $X \cdot L$ (рис. 5).

В то же время степень изменчивости грунта с точки зрения удельного электрического сопротивления также следует рассматривать как показатель коррозионной опасности среды прокладки трубопровода. Резкое изменение сопротивления грунта указывает на возможность образования коррозионных макропар. В Волгоградской области постоянно увеличивается площадь земель, подверженных опустыниванию. По данным Госкомзема, площадь засоленных земель в области за последние 20 лет увеличилась в 2,6 раза. Здесь произошло 20 аварий из-за общей коррозии. Значительное внимание уделяется характеристикам грунтов, в которых проложен газопровод.

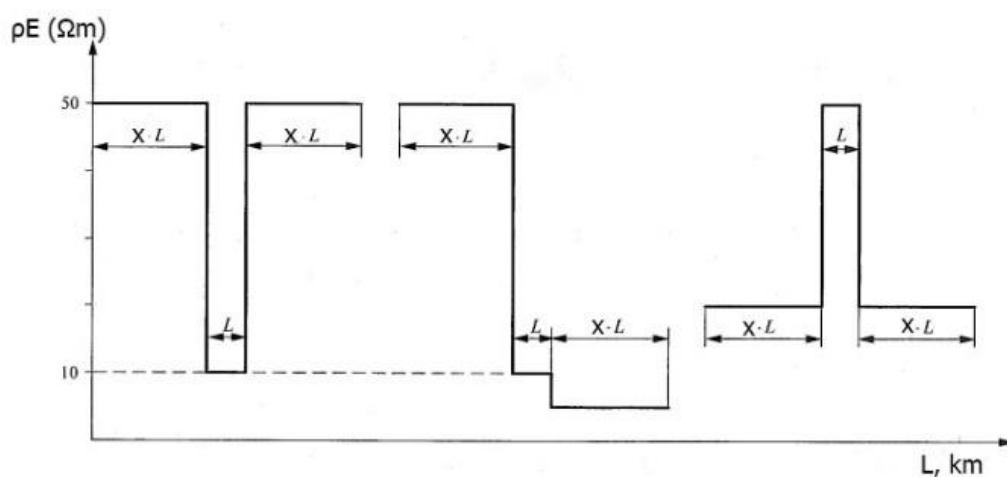


Рис. 5. Иллюстрация различных типов почв чередования с различными значениями удельного сопротивления почвы

Подробно это рассмотрено в статье «Определение основных территориальных факторов, влияющих на возникновение и протекание коррозионных процессов на магистральных газопроводах большого диаметра Волгоградской, Ростовской и Воронежской областей» [7].

По схожим косвенным признакам зависимости зон разгрузки и периодичности чередования грунтов они проецируются на соседние участки газопроводов, проходящие в однолинейном коридоре или на другом километре того же газопровода с аналогичными природными условиями для прогнозирования возможного развития коррозионных процессов и эти участки можно отнести к определенным категориям при отсутствии полной диагностической информации для самоидентификации этих участков.

Остальные 59 факторов, учитываемых при наличии диагностической информации, определяются как основные или вспомогательные. После определения категории каждому фактору присваивается собственная оценка для каждого конкретного газопровода или участка газопровода. В дальнейшем при низком значении доверительного интервала причин коррозионных процессов на заданном участке газопровода корректируются ранее установленные точки до получения правильных результатов.

Разрабатываемая модель информационно-измерительной системы мониторинга коррозии магистральных трубопроводов проходит испытания на 36 участках магистральных газопроводов, которые имеют максимально возможную диагностическую информацию за весь период эксплуатации.

Заключение

Выявление закономерностей возникновения и развития коррозионных дефектов металла труб и дефектов изоляции магистральных газопроводов в условиях функционирования средств антикоррозионной защиты, прогнозирование возникновения и развития коррозионных дефектов и дефектов изоляции на плановый период. Эксплуатация – это сложные и важные задачи. Разработка информационно-измерительных систем коррозионного мониторинга газопроводов на основе реальной оперативной информации позволяет приблизиться к определению и установлению закономерностей в протекании коррозионных процессов.

Разработанная информационно-измерительная система коррозионного мониторинга газопроводов с возможностью отображения всей необходимой информации на одном экране персонального компьютера и возможностью перекрестного анализа позволяет:

1. Систематизировать всю диагностическую и эксплуатационную информацию;
2. Анализировать эксплуатационные данные работы оборудования для защиты от коррозии трубопровода в ретроспективе;
3. Идентифицировать предполагаемые причины дефектов изоляции и коррозионных дефектов тела трубы;
4. Создать рейтинг участков газопроводов Ассог динь до определенных показателей;

5. Осуществлять принятие решений эксплуатационному персоналу по приоритету и срочности проведения ремонтных работ на конкретных участках газопроводов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Голдобина, Л. А. Анализ причин коррозионных повреждений подземных трубопроводов и новые решения по повышению коррозионной стойкости стали / Л. А. Голдобина, Л. А. Голдобина, П. С. Орлов // Записки Горного института. – 2016. – Т. 219. – Р. 459–464.
2. Итоги года по газотранспортной системе [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.interfax.ru/business/644278>.
3. Шилин, А. Н. Анализ надежности газопроводов с учетом влияния погодных условий / А. Н. Шилин, В. В. Халяпин // Устройства и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2020. – № 10. – С. 11–16.
4. Шилин, А. Н. Информационно-измерительная система контроля коррозии магистральных газопроводов / А. Н. Шилин, В. В. Халяпин // Устройства и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2020. – № 11. – С. 25–31.
5. Гаспарян, М. С. Учебник по курсу «Информационные системы» / Московский международный институт эконометрики, информатики, финансов и права. – М.: МЭСИ, 2002, С. 33.
6. Халяпин, В. В. Влияние зон разгрузки на состояние изоляционного покрытия магистрального газопровода / В. В. Халяпин // Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. – 2019. – С. 60.
7. Халяпин, В. В. Определение основных территориальных факторов, влияющих на возникновение и процесс коррозионных процессов на газопроводах большого диаметра Волгоград, Ростовская область / В. В. Халяпин // Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. – 2018. – С. 37–38.

УДК:621.311

М. А. Богале

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭФИОПИИ

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: mulem2as1977@gmail.com

В статье отражены (обсуждаются) проблемы энергетического сектора Эфиопии. Эфиопия обладает огромным энергетическим потенциалом, включая нетрадиционные виды энергии – воды, ветра, солнца и геотермальных источников. Однако несмотря это, энергетическая система страны сильно зависит от традиционных ископаемых и растительных топлив, и только около 45 % населения имеет доступ к электричеству. В статье представлен обзор энергетического сектора Эфиопии и анализ проблем в системе генерации, передачи и распределения электроэнергии.

Ключевые слова: Энергетический сектор, Эфиопия, гидроэнергетика, доступ к электроэнергии, выработка электроэнергии, передача электроэнергии, распределение электроэнергии, возобновляемые источники энергии и проблемы энергетики.

М. А. Bogale

ANALYSIS OF THE PROBLEMS OF ENERGY SUPPLY IN ETHIOPIA

Volgograd State Technical University

The article reflects (discusses) the challenges of Energy Sector in Ethiopia. Ethiopia is a nation endowed with huge amount of water, wind, solar and geothermal energy potentials. However, regardless of its enormous potentials the energy system is highly dependent on traditional fossil fuels and biomass and only about 45 % of the nation's population has access to electricity. The aim of this article topic is to overview Ethiopian energy sector and clarify the challenge (problem) of Ethiopian energy sector in generation, transmission and distribution power system.

Keywords: energy sector, Ethiopia, hydro power, electricity access, power generation, power transmission, power distribution, renewable energy and challenge of energy.

Введение

Одной из основных проблем развития экономики Эфиопии является недостаточный уровень энергообеспечения. Необходимо отметить, что Эфиопия богата возобновляемыми источниками энергии, а именно гидроресурсами, ветровыми, геотермальными, солнечными и биоресурсами. Однако в настоящее время в стране используется лишь небольшая часть этого потенциала [1]. В настоящее время только около 45 % населения Эфиопии обеспечены электроэнергией. Сегодня 60 миллионов эфиопов по-прежнему не имеют прямого доступа к электричеству. Сильно различается уровень электрификации городских (97 %) и сельских (31 %) районов [2].

Установленная генерирующая мощность Эфиопии составляет более 4500 МВт, из которых 90 % приходится на гидроэнергетику. Правительство Эфиопии уделяет приоритетное внимание диверсификации энергобаланса за счет использования других экологических и возобновляемых источников энергии (геотермальной, солнечной и ветровой) для повышения уровня развития страны. Приоритетное внимание уделяется энергообеспечению сельской местности

Страна испытывает трудности с удовлетворением спроса на электроэнергию со стороны растущего населения. Спрос, как ожидается, будет расти примерно на 30 % в год. Кроме то-

го, энергетическая инфраструктура Эфиопии в настоящее время очень слабо развита и находится в сложном положении из-за отсутствия инвестиций. Таким образом, увеличение устойчивого производства электроэнергии, расширение сетей и подключений необходимы для повышения уровня жизни населения в целом и ускорения экономического развития страны [3].

В настоящее время Эфиопия строит несколько энергетических проектов, в том числе плотину Гранд Эфиопского Возрождения мощностью 6450 МВт, которая будет считаться крупнейшей плотинной в Африке после завершения строительства с общим объемом резервуара 74 000 млн м³.

Выработка энергии

В настоящее время национальная Эфиопская электроэнергетическая промышленность (Ethiopian Electric Power) управляет 18-ю электростанциями, вырабатывающими в общей сложности 4244 МВт электроэнергии по всей стране. Из 18 электростанций 14 являются гидроэлектростанциями, общая установленная мощность которых составляет 3814 МВт, а 3 – ветряными электростанциями, общая мощность которых составляет 324 МВт. Оставшиеся 104 МВт электроэнергии вырабатываются дизельным генератором и геотермальной установкой (7,3 МВт) [4].

Эфиопская электроэнергетика

Потенциал энергоресурсов Эфиопии [7]			
Ресурс	Единица	Эксплуатируемые резервы	Процент использования
Гидроэнергетика	МВт	45 000	<5 %
Солнечная энергия / день	кВтч/м ²	4...6	<1 %
Сила ветра	GW	100	<1 %
Скорость	м/с	>7	
Геотермальная	МВт	< 10 000	<1 %
Древесина	млн т	1120	50 %
Сельскохозяйственные отходы	млн т	15...20	30 %
Природный газ	млрд м ³	113	0 %
Уголь	млн т	300	0 %
Горючий сланец	млн т	253	0 %

Передача энергии

В настоящее время общая протяженность высоковольтных линий электропередачи в стране составляет более 17 000 км в диапазоне от 132 кВ до 500 кВ (500 кВ, 400 кВ, 230 кВ). Всего в эксплуатации находятся 163 подстанции [4].

Продажа, распределение и коммунальные услуги

Распределение электроэнергии и эксплуатация линий электропередачи напряжением ≤ 66 кВ в пределах национальной энергосистемы не являются частью деятельности Ethiopian

Electric Power. Работы в этом секторе осуществляются ее дочерней государственной компанией Ethiopian Electric Utility. Это государственное предприятие, отвечающее за распределение электроэнергии в стране [5].

В настоящее время Ethiopian Electric Utility работает в 11 регионах, 28 округов и имеет 560 центров обслуживания клиентов [6].

Вызовы и проблемы в энергетическом секторе

Гидроэнергетика делает энергетический сектор особенно уязвимым к засухе. Отсутствие инвестиций не позволяет должным образом развивать энергетическую инфраструктуру страны. В результате чего Эфиопия занимает 118-е место из 144 стран по качеству электрообеспечения [1].

На пути к национальной электрификации Эфиопии необходимо решить важную задачу по модернизации устаревшей системы электропередачи и распределения, которая страдает от частых отключений [2].

Правительство Эфиопии также сталкивается с такими серьезными проблемами при расширении энергосистемы, как необходимость восстановления устаревшей системы распределения с высокими потерями и обеспечение более эффективной эксплуатации и технического обслуживания расширенной системы.

Эфиопия очень уязвима к экстремальной изменчивости погоды, особенно к непостоянным дождям и засухе. Хотя гидроэнергетика обеспечивает дешевую базовую мощность, чрезмерная зависимость от водных ресурсов может влиять на стабильность работы гидроэнергетической системы. Эфиопия взяла на себя обязательство развивать ветряную и солнечную энергетику вместе с мощными гидроэлектростанциями как гарантию от нехватки электроэнергии, особенно в засушливый сезон. Инвестиции в геотермальную энергию и биотопливо также дополняют периодически возникающие дефициты ресурсов.

В то время как доступ к электроэнергии и спрос на нее в Эфиопии повышаются, рост потребления сдерживается малой доступностью и низкой надежностью энергоснабжающих систем. Многие домовладельцы подключаются к сети через косвенные подключения, а это означает, что с них взимается плата, превышающая официальный тариф. Это ограничивает доступность электроэнергии. Кроме того, малые города в Эфиопии хотя и подключены

к национальной сети, но плохое состояние сетевой инфраструктуры приводит к значительным потерям во время передачи или перебоям в подаче энергии [8].

Технические проблемы существующей энергосистемы приводят к частым перебоям в подаче электроэнергии, в результате электрообеспечение становится ненадежным. Основная проблема связана с повышенным спросом на электроэнергию, который приводит к перегрузке существующих передающих мощностей. Устаревшее оборудование линий передачи и подстанций способствует ненадежности системы. Возникают высокие потери энергии, которые оцениваются в 20 % от генерируемой мощности, и частыми перебоями в подаче электроэнергии [10].

Ниже перечислены основные причины проблем:

- перегрузка существующей линии;
- устаревшие существующие линии;
- увеличение пикового спроса.

Климат Эфиопии

Проблемы обеспечения стабильности и надежности работы энергетической системы страны тесно связаны с климатическими условиями Эфиопии. В Эфиопии два основных климатических сезона – сухой и дождливый. Однако разница в высоте, как правило, добавляет ряд особенностей, как в изменении температуры, так и в количестве осадков.

Эфиопия находится в тропической зоне, между экватором и тропиком Рака. В зависимости от высоты над уровнем моря она имеет три различных климатических зоны.

Кола (тропическая зона) находится ниже 1830 м над уровнем моря и имеет среднегодовую температуру около 27 °C с годовым количеством осадков около 510 мм. Впадина Данакил (пустыня Данакил) находится примерно на 125 м ниже уровня моря и является самым жарким регионом Эфиопии, где температура поднимается до 50 °C.

Woina dega (субтропическая зона) включает высокогорные районы 1830...2440 м над уровнем моря, имеет среднегодовую температуру около 22 °C с годовым количеством осадков от 510 до 1530 мм.

Дега (прохладная зона) находится на высоте более 2440 м над уровнем моря со средней годовой температурой около 16 °C с годовым количеством осадков от 1270 до 1280 мм.

Эфиопские сезоны

• *Киремт или мехер (лето)* – июнь, июль и август – летний сезон. За эти 3 месяца выпадают сильные дожди.

• *Бельг (осень)* – сентябрь, октябрь и ноябрь – весенний сезон, который иногда называют сезоном сбора урожая.

• *Бега (зима)* – декабрь, январь и февраль – сухой сезон с морозами по утрам, особенно в январе.

• *Цeday (весна)* – март, апрель и май – осенний сезон с периодическими дождями. Май – самый жаркий месяц в Эфиопии [9].

Список проблем и вызовов

• Недостаток мощности для эксплуатации и обслуживания электросети.

• Нехватка воды для гидроэлектростанций вызывает дефицит энергии.

• Энергетическая инфраструктура Эфиопии в настоящее время крайне неразвита, что приводит к частым отключениям электроэнергии.

• Отключение электроэнергии из-за непо стоянных дождей, сильного ветра и оползней.

• Счетчики энергии и трансформаторы часто повреждаются молниями.

• Подстанции перегружены из-за увеличения числа клиентов.

• Растрескивание изоляции и возгорание трансформатора из-за низкого качества проводников и других деталей и материалов.

• Не автоматизирован поиск неисправностей в системе генерации, передачи и распределения, работы производятся вручную, поэтому поиск неисправности занимает много времени.

• Проблема интеграции или синхронизации работы электрических сетей от разных источников (например от ГЭС и ветрогенераторов).

• Плохое состояние сетевой инфраструктуры приводит к потерям при передаче или сбоям и перебоям в подаче энергии.

Рекомендации

• Повышение квалификации технического персонала.

• Старые электростанции, подстанции и линии электропередачи требуют значительного технического обслуживания и капитального ремонта.

• Следует рассмотреть вопрос об увеличении инвестиций в источники энергии, не зависящие от ситуации с водой, чтобы предотвратить сдерживание роста потребления из-за отключений.

• Имеющаяся система передачи и распределения, страдающая от высоких потерь и частых отключений, должна быть восстановлена и модернизирована.

• В энергетическом балансе преобладает гидроэнергетика; необходимо диверсифицировать его для обеспечения долгосрочной энергетической безопасности. Развитие ветровой и солнечной энергетики наряду с мощными гидроэлектростанциями дает гарантию от перебоев в электроснабжении, особенно в сухой сезон.

• Модернизация и расширение всей существующей национальной энергосистемы.

• Улучшение эксплуатации и обслуживания существующей национальной сети.

• Осуществление эффективного планирования, эксплуатации и технического обслуживания сети по мере ее расширения и добавления новых подключений.

• Использование современных технологий для защиты системы.

• Использование в энергетике качественных и современных материалов и устройств.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Africa Energy Outlook – 2019. World Energy Outlook Special Report // International Energy Agency, 2019. 288 p.
2. Kruger W., Stuurman F., Alao O. Ethiopia Country Report. Report 5: Energy and Economic Growth Research Programme (W01 and W05) PO Number: PO00022908. 2019.
3. Energypedia – Ethiopia Energy Situation. 2020. URL: https://energypedia.info/wiki/Ethiopia_Energy_Situation.
4. Ethiopian Electric Power (EEP)/ URL: <http://www.eep.gov.et/>
5. Ethiopian Electric Power / Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Ethiopian_Electric_Power.
6. Ethiopia Electric Utility (EEU). URL: www.eeu.gov.et/export.gov Ethiopia-Energy 10/30/2019.
7. Ethiopia: The climate change and energy debate / Cities alliance, 2019. 12 p. URL: https://www.citiesalliance.org/sites/default/files/PB_Ethiopia_WEB.pdf.
8. Seasonal Weather Assessment for Ethiopia during / Government of United Kingdom, 2016.
9. Power System Planning (PSP) / EEP Co, 2011.

УДК 621

*С. В. Макартичян, С. С. Жабин, Н. С. Кузнецова***СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ
ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ ЖИДКОСТЕЙ В РЕЗЕРВУАРАХ****ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»**

e-mail: hymir@mail.ru

Произведен анализ результатов сравнения различных методов и средств измерения уровня. Из чего следует, что большинству требований технологических процессов удовлетворяет емкостный метод.

Ключевые слова: методы измерения уровня, датчики давления, радарные уровнемеры, емкостные уровнемеры, магнитострикционные уровнемеры, радиоизотопные уровнемеры.

*S. V. Makartichyan, S. S. Zhabin, N. S. Kuznetsova***COMPARATIVE ANALYSIS OF EXISTING METHODS FOR MEASURING
THE LEVEL OF LIQUIDS IN TANKS****Volgograd State Technical University**

The analysis of the results of comparison of various methods and means of measuring the level has been produced. From this it follows that most of the requirements of technological processes are satisfied by the capacitive method.

Keywords: level measurement methods, pressure sensors, radar level gauges, capacitive level gauges, magnetostrictive level gauges, radioisotope level gauges.

Измерения уровня жидкостей является ключевой операцией при автоматизации технологических процессов во многих отраслях промышленности, особенно химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей. Именно в этих отраслях промышленности измерение уровня напрямую связано с условиями безопасной работы оборудования, а также вопросами коммерческого учета светлых нефтепродуктов, на долю которых приходится около 70 % продуктов, получаемых из нефти.

Радарные уровнемеры

Радарный уровнемер монтируется на крыше резервуара или в камере, при этом зонд обычно погружается на полную глубину емкости. Микроволновый импульс малой мощности генерированный электроникой волноводного радара, распространяется со скоростью света, вниз по всей длине зонда. В точке контакта зонда радара и жидкости (границы раздела воздух/вода) значительная часть микроволновой энергии отражается и возвращается в обратном направлении по зонду в приемник. Уровнемер измеряет временную задержку между излучением и приемом излученного и отраженного сигналов, после чего встроенный микропроцессор рассчитывает расстояние до поверхности измеряемой среды. Так как часть энергии микроволнового импульса продолжает распространяться вдоль зонда, то при наличии в резервуа-

ре двух жидкостей (с низкой и более высокой диэлектрической проницаемостью), радар может зарегистрировать второй эхо-сигнал, отраженный от границы раздела двух жидкостей. Благодаря этой особенности волноводные радары успешно применяются для измерения уровня границы раздела жидкость – жидкость, таких, к примеру, как, нефть/нефтепродукты и вода, в том числе при наличии некоторого слоя пены.

Преимущества. Радарные уровнемеры способны обеспечивать одновременное измерение уровня и уровня границы раздела сред, обеспечивая надежные измерения в самых разнообразных технологических процессах. Волноводные радары обеспечивают прямое измерение расстояния до поверхности технологической среды, что обуславливает возможность их применения на различных жидкостях и некоторых видах сыпучих материалов. Важнейшим преимуществом таких радаров является отсутствие потребности какой-либо коррекции настроек при изменении плотности, диэлектрической постоянной или электропроводности жидкости. На точность измерений радара не влияют перепады рабочего давления, температуры и состояние парогазового пространства над жидкостью. Что особенно важно, волноводные радары не имеют подвижных частей, что сводит к минимуму потребность в техническом обслуживании.

Недостатки. Каждый тип зонда выбирается в зависимости от типа среды, от диапазона измерений и монтажных ограничений. В ходе работы зонды не должны находиться в непосредственном контакте с металлическими объектами, так как это вызовет помехи и ложные отражения. Если измеряемая среда имеет тенденцию к налипанию или образованию отложений, то следует использовать только одинарный зонд.

Ультразвуковые уровнемеры

Ультразвуковой уровнемер монтируется на крыше резервуара. В процессе работы уровнемер посылает ультразвуковые импульсы вниз по направлению к среде, уровень которой необходимо измерять. Ультразвуковой импульс распространяется в пространстве со скоростью звука. Отразившись от поверхности жидкости, импульс возвращается в приемник уровнемера. Электроника измеряет время задержки между моментом излучения и приема отраженного импульса. Далее, встроенный микропроцессор вычисляет расстояние до поверхности жидкости.

Преимущества. Благодаря отсутствию подвижных частей и контакта с измеряемой средой, ультразвуковые уровнемеры практически не нуждаются в обслуживании. Смачиваемые части обычно изготовлены из инертных фторуглеродных материалов устойчивых к коррозии, обусловленной конденсацией паров. Поскольку уровнемер является бесконтактным, результаты измерений не зависят от изменений плотности, диэлектрических свойств или вязкости среды; ультразвуковые уровнемеры хорошо подходят для измерения уровня различных водных растворов и химикатов. Изменения температуры процесса вызывают изменения скорости распространения ультразвукового импульса через парогазовое пространство над жидкостью, эти отклонения корректируются с использованием встроенного или выносного датчика температуры. Изменения давления процесса на результат измерений не влияют.

Недостатки. Низкая точность в условиях плотных паров. Ультразвуковой метод измерений нельзя использовать в процессах с вакуумметрическим давлением. Область применений ультразвуковых уровнемеров также ограничивается свойствами конструкционных материалов. Диапазон рабочих температур в большинстве случаев ограничивается температурой процесса до 70 °С и давлением до 0,3 МПа. Состояние поверхности жидкости имеет большое

значение. Некоторая турбулентность допустима, но пенообразование зачастую ослабляет отраженный эхо-сигнал. Внутренние конструкции резервуаров вызывают ложные отражения.

Датчики давления

Датчики давления имеют несложную конструкцию, отличаются простотой монтажа и эксплуатации, и работают в самых разных применениях и в широком диапазоне условий технологических процессов. Если измерение уровня осуществляется в открытом вентилируемом резервуаре, то может использоваться один датчик избыточного гидростатического давления или датчик перепада давления. Простейшим способом измерения уровня в резервуаре является установка датчика давления на самом нижнем уровне жидкости: тогда уровень жидкости над точкой измерения может быть получен соответственно величине гидростатического давления, преобразуемой в высоту. Если резервуар находится под давлением, то показаний одного датчика избыточного давления недостаточно, так как изменение суммарного давления в резервуаре может повлиять на процесс измерения уровня. Для решения этой задачи в закрытых резервуарах должен применяться датчик перепада давления, чтобы скомпенсировать давление в резервуаре.

Преимущества. Датчики давления являются экономичным, простым в эксплуатации и хорошо изученным решением. В дополнение к этому, датчики давления могут использоваться практически с любыми резервуарами и жидкостями, включая суспензии, и могут работать в широком диапазоне давлений и температур.

Недостатки. На точность измерения уровня датчиками давления может влиять изменение плотности жидкости, поэтому при работе с густыми, едкими или иными агрессивными жидкостями необходимо соблюдать особые меры предосторожности. Кроме того, некоторые среды имеют тенденцию к отвердеванию по мере возрастания концентрации. Датчики давления плохо работают с материалами, находящимися в затвердевшем состоянии.

Емкостные уровнемеры

При установке электрода для измерения уровня в резервуаре образуется конденсатор. Металлический стержень электрода выступает в качестве одной из обкладок/пластин конденсатора, а стенка резервуара (или электрод сравнения в неметаллических резервуарах) дейст-

вует как другая пластина. При повышении уровня воздух или газ, окружающий электрод, вытесняется материалом, имеющим другое значение диэлектрической проницаемости. Изменение емкости конденсатора происходит из-за изменения диэлектрических свойств объема среды между пластинами. Это изменение регистрируется приборами для измерения емкости в радиочастотном диапазоне и преобразуется в команду для исполнительного реле или в пропорциональный выходной сигнал.

Преимущества. Емкостной уровнемер может использоваться в широком диапазоне технологических параметров, в частности, в условиях переменной плотности, повышенных температур, высоких давлений, при наличии вязких продуктов, пенистых материалов и паст. Он может применяться для непрерывного или точечного измерения уровня жидкостей и твердых сыпучих материалов, и пригоден для измерения уровня границы раздела сред. Кроме того, емкостные уровнемеры отличаются экономичностью и прочностью.

Недостатки. Изменение диэлектрических свойств материала, а также осаждение продукта на зонде, приводят к ошибкам измерений емкостного уровнемера. Для компенсации влияния отложений продукта на емкостных зондах применяются дополнительные принадлежности. В неметаллических резервуарах или в баках, не имеющих вертикальных стенок, требуется применение дополнительного электрода сравнения. Калибровка емкостного уровнемера может вызывать затруднения, особенно в случае невозможности «калибровки на стенде», а изменение характеристик парогазового пространства может повлиять на выходной сигнал. Кроме того, работа емкостных уровнемеров сильно затруднена в условиях сильного пенообразования.

Буйковые уровнемеры

Буйковый уровнемер устанавливается на крыше резервуара или в выносной камере, подсоединяемой к резервуару через вентили. Конструктивно состоит из буйка, подвеса буйка, соединенного через торсионный вал или пружинного подвеса с электронным преобразователем уровнемера. По мере того как уровень жидкости в резервуаре повышается, боек погружается в нее все глубже и глубже. На боек воздействует выталкивающая сила, пропорциональная весу жидкости, вытесненной буйком (закон Архимеда). Эта сила и ее изменения воспринимаются электронным преобразовате-

лем уровнемера. Снижение силы тяжести, создаваемой весом буйка, подвешенного в жидкости пропорционально уровню жидкости, и на основании изменений силы тяжести, микропроцессор, расположенный в блоке электроники уровнемера, рассчитывает уровень жидкости.

Преимущества. При условии, что техническое обслуживание и контроль калибровки выполняются регулярно, они безотказно работают в течение многих лет. Эти приборы получили широкое распространение благодаря способности работать при экстремальных значениях давления и температуры процесса, а также возможности определения уровня границы раздела двух жидкостей даже при наличии эмульсионных слоев между ними, что позволяет осуществлять измерение уровня в тяжелых условиях эксплуатации.

Недостатки. Погрешность измерений уровня зависит от правильности калибровки прибора в условиях эксплуатации. При нарушении калибровки показания уровня не будут соответствовать действительности. Большинство буйковых уровнемеров требуют регулярного технического обслуживания и повторной калибровки, и могут быть повреждены в условиях частых перепадов уровня. Изменения плотности измеряемой среды также сильно влияют на точность измерений. В зимнее время буйки имеют свойство замерзать в камере и нередко случаи их заклинивания из-за перекоса. Применение буйковых уровнемеров с диапазоном измерений более 5 м считается нецелесообразным, в основном из-за сложности монтажа.

Радиоизотопные уровнемеры

Радиоизотопные уровнемеры состоят из экранированного радиоизотопного источника, прикрепляемого с одной стороны резервуара или трубы, и приемника, размещаемого на противоположной стороне. Гамма-лучи излучаются источником и направляются через стенку резервуара, через находящуюся в нем среду, в сторону противоположной стенки резервуара, где находится приемник. В радиоизотопных уровнемерах определяется величина поглощения гамма-излучения, проходящего от источника к детектору через толщу измеряемого продукта. Доза облучения, регистрируемого приемником, обратно пропорциональна количеству продукта в резервуаре.

Преимущества. Самым большим преимуществом радиоизотопного метода измерений является то, что он абсолютно не требует кон-

такта с процессом. Кроме того, радиоизотопные уровнемеры являются бесконтактными и не подвергаются влиянию высоких температур, высоких давлений, едких, абразивных и вязких материалов, не чувствительны к перемешиванию, засорению или заиливанию. Они могут применяться для непрерывного измерения уровня или сигнализации уровня жидкостей и твердых сыпучих сред, а также для определения уровня границы раздела сред.

Недостатки. Значительные колебания плотности могут вызывать ошибки измерений. Отложения материала на стенках резервуара также могут влиять на результаты измерений. Для использования радиоизотопного метода требуется разрешение на использование и обязательный контроль отсутствия утечек, а также соблюдение жестких требований по охране труда и технике безопасности при обращении с источниками излучения и утилизации отходов. К тому же радиоизотопные уровнемеры имеют довольно высокую стоимость.

Магнитострикционные уровнемеры

Магнитострикционные устройства определяют момент пересечения двух магнитных полей, одно из которых создается магнитом поплавка, а другое – волноводом. Электроника генерирует токовый импульс малой мощности, распространяющийся по волноводу, и, когда магнитное поле импульса взаимодействует с полем, создаваемым магнитом поплавка, возникает «скручивание» чувствительного элемента. При этом создается ультразвуковая волна, время распространения которой измеряется электроникой уровнемера.

Преимущества. Магнитострикционные уровнемеры отличаются низкой погрешностью измерений (± 1 мм). Одним уровнемером можно измерять уровень, а также температуру процесса в одной или нескольких точках.

Недостатки. Поплавков магнитострикционного уровнемера должен находиться в непосредственном контакте с технологической средой. На нем возможно образование отложений, способных привести к потере подвижности; поплавки могут подвергаться коррозии и подходят для измерения уровня только жидких сред.

Вибрационные сигнализаторы уровня

Вибрационный сигнализатор состоит из двухкомпонентного камертона, который вибрирует на собственной частоте, благодаря пьезоэлементу, и чувствительного элемента – ви-

ки. В парогазовой атмосфере элементы вилки вибрируют на собственной резонансной частоте, которая постоянно контролируется электроникой. В момент, когда вилка погружается в технологическую среду, частота вибрации изменяется. Изменение частоты детектируется электроникой сигнализатора, которая в свою очередь изменяет выходное состояние сигнализатора для управления сигнализацией, насосом, клапаном или другими устройствами. Рабочая частота сигнализатора выбирается таким образом, чтобы избежать резонанса с частотами вибраций от механизмов, работающих вблизи, во избежание ложных срабатываний. Конструкция сигнализатора позволяет использовать его при высоких давлениях и температурах. Также применяются различные варианты покрытий смачиваемых частей или специальные материалы для работы в агрессивных средах.

Преимущества. На работу вибрационных сигнализаторов уровня практически не оказывают воздействия потоки жидкости, турбулентность, пузырьки, пена, вибрации, твердые включения, налипания, отложения, а также изменение свойств жидкости. После установки на объекте дополнительной калибровки не требуется. Сигнализаторы имеют минимальные требования к монтажу, отсутствие подвижных частей и зазоров практически полностью исключает потребность в техническом обслуживании.

Недостатки. Вибрационные сигнализаторы уровня непригодны для работы в очень вязких средах. В некоторых случаях отложения между зубцами вилки нарушают надежность их работы и приводят к ложным срабатываниям.

Поплавковые сигнализаторы уровня

Поплавковый сигнализатор уровня обычно монтируется на боковой стенке резервуара или в выносной камере и срабатывает, когда поплавок всплывает под действием жидкости, достигающей заданного уровня сигнализации. В конструкцию поплавковых сигнализаторов входят постоянные магниты, взаимодействующие друг с другом, один из которых находится на поплавке, а другой в корпусе сигнализатора. Переключение происходит в момент пересечения двух магнитных полей. Конструкция не содержит уплотнений, так как магниты взаимодействуют через стенку корпуса сигнализатора. Поплавков определенного веса поддерживается пружиной. Когда поплавок погружается в жидкость, действующая на пружину сила тяжести уменьшается, рабочий постоянный магнит под-

нимается, взаимодействуя с другим постоянным магнитом, расположенным в корпусе сигнализатора.

Преимущества. Благодаря простой конструкции с небольшим количеством элементов, поплавковые сигнализаторы очень надежны и просты в обслуживании. Они хорошо подходят для процессов с высокими давлениями и температурами, а разнообразие материалов смачиваемых деталей позволяет использовать такие сигнализаторы практически с любыми жидкостями.

Недостатки. Для обеспечения их бесперебойной работы рекомендуется осуществлять

регулярный контроль и техническое обслуживание. Подвижные части таких сигнализаторов подвержены загрязнению липкими или вязкими жидкостями.

В таблице приведен сравнительный анализ и оценка методов измерения и сигнализации уровня по основным критериям использования в различных технологических условиях: 1 – метод не подходит для данных условий; 2 – метод может работать в данных условиях, но надежность измерений может быть снижена или может потребоваться специальный монтаж; 3 – условие слабо влияет или не оказывает воздействия на эффективность данного метода.

Сравнительный анализ и оценка методов измерения и сигнализации уровня

Параметр	Методы измерений								
	Датчики давления	Емкостные	Ультразвуковые	Радарные	Радиоизотопные	Буйковые	Магнитострикционные	Поплавковые	Вибрационные
Аэрация	2	3	2	3	2	3	2	3	3
Перемешивание	3	2	1	2	3	3	2	2	3
Изменение температуры	2	3	2	3	3	2	3	3	3
Коррозия	2	3	3	2	3	2	2	2	2
Изменение плотности	2	3	3	3	2	2	2	2	3
Изменение диэлектрических свойств	3	1	3	3	3	3	3	3	3
Наличие пыли	3	3	1	3	3	1	3	1	1
Наличие пены	3	2	1	2	3	3	3	3	2
Высокие температуры процесса	3	3	1	3	3	3	1	3	3
Высокое давление в резервуаре	3	3	1	3	3	3	1	3	3
Внутренние конструкции в резервуаре	3	2	1	2	2	3	3	2	3
Низкие температуры процесса	3	3	3	3	2	2	3	3	3
Вакуумметрическое давление в резервуаре	2	3	1	3	3	3	3	3	3
Помехи (ЭМП, двигатели, компрессоры)	3	3	2	2	3	3	3	3	3
Отложения, налипания продукта	1	1	2	2	2	1	1	2	2
Суспензии	2	3	3	2	2	1	2	2	2
Сыпучие материалы	1	2	2	3	3	1	1	1	1
Пары	3	2	2	3	2	3	3	3	3
Вязкие среды	2	2	3	2	2	1	1	2	2
Стоимость	2	3	1	1	1	3	2	3	2
Точность	2	3	3	3	2	1	2	1	2
Быстродействие	2	3	3	3	2	2	3	2	2
Возможность автоматизации	2	3	2	2	1	2	2	2	2
Итого	54	59	46	58	55	51	51	54	56

Заключение

Исходя из анализа результатов сравнения различных методов и средств измерения уровня следует, что большинству требований технологических процессов удовлетворяет емкостный метод. Отличительной особенностью емкостных уровнемеров является исключительная конструктивная простота первичных измерительных преобразователей, отсутствие в их составе подвижных частей, удобство монтажа, возможность использования в широком интервале температур и давлений, высокая чувствительность, малые габариты и масса, относительно высокая точность и быстрое действие.

Однако применение емкостных преобразователей уровня в системах управления и контроля ограничивается рядом недостатков, таких как влияние диэлектрической проницаемости контролируемой жидкости на результат измерений и отсутствие возможности использования одного и того же устройства для различных типов жидкостей с различными диэлектрическими проницаемостями без предварительной калибровки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Левшина, Е. С.* Электрические измерения физических величин. (Измерительные преобразователи) / Е. С. Левшина, П. В. Новицкий. – Ленинград: Энергоатомиздат, 1983. – 320 с.
2. *Мастепаненко, М. А.* Информационно-измерительная система непрерывного контроля уровня топлива в емкостях : дис. ... канд. техн. наук: 05.11.16 : защищена 20.02.2015 / М. А. Мастепаненко. – Ставрополь, 2014. – 163 с.
3. П. м. 155522 РФ, МПК G01N27/22. Цифровой поточный измеритель влажности тонких листовых материалов / А.Н. Шилин, С.В. Макартичян, М.В. Кузьмичев; ВолгГТУ. – 2015.
4. *Шарапов, В. М.* Емкостные датчики / В. М. Шарапов, И. Г. Минаев, К. В. Базило, Л. Г. Куницкая, Ж. В. Сутула. – Черкассы: Брама – Украина, 2010. – 152 с.
5. *Джежора, А. А.* Емкостные преобразователи и методы их расчета / А. А. Джежора. – Минск: РУП «Изд-во «Белорусская наука», 2008. – 305 с.
6. *Медведев, А. Г.* Разработка и исследование поверхностных емкостных датчиков для измерения уровня топлива : диссертация на соискание уч. степени канд. тех. наук: 05.11.01 / Медведев Александр Геннадьевич. – Ульяновск, 2008. – 235 с.
7. Пат. 2407993 Российская Федерация, МПК 8 G01F23/24. Емкостной способ измерения уровня жидкостей и устройство для его осуществления / Минаев И. Г., Мастепаненко М. А. ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Ставропольский государственный аграрный университет. – № 2009141472/28 ; заявл. 09.11.2009 ; опубл. 27. 12.2010, Бюл. № 36. – 2 с.
8. *Демирчян, К. С.* Теоретические основы электротехники / К. С. Демирчян, Л. Р. Нейман, Н. В. Коровкин, В. Л. Чечурин. – Т. 2. – СПб.: Питер, 2006. – 576 с.

УДК 621.43.044

А. И. Нефедьев, В. Г. Гусев

УСТРОЙСТВО ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ИСКРОВОГО РАЗРЯДА В ДВС

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: nefediev@rambler.ru

Для повышения надежности системы зажигания газового или бензинового двигателя необходимо обеспечить контроль сгорания воздушно-топливной смеси в цилиндрах ДВС. Предложена система контроля, позволяющая диагностировать аварийные режимы работы системы зажигания, рассмотрены принципы ее построения. Показана схема устройства контроля параметров искрового разряда в ДВС и приведены временные диаграммы работы.

Ключевые слова: система зажигания, ДВС, свеча, изолятор, воздушно-топливная смесь, катушка зажигания, искровой разряд.

A. I. Nefed'ev, V. G. Gusev

DEVICE FOR PARAMETER CONTROL OF SPARK DISCHARGE IN A COMBUSTION ENGINE

Volgograd State Technical University

To improve the reliability of the ignition system of a gas or gasoline engine, it is necessary to control the combustion of the air-fuel mixture in the internal combustion engine cylinders. A control system is proposed that allows diagnosing emergency modes of operation of the ignition system, the principles of its construction are considered. A diagram of a device for monitoring the parameters of a spark discharge in an internal combustion engine is shown and time diagrams of operation are given.

Keywords: ignition system, internal combustion engine, spark plug, insulator, air-fuel mixture, ignition coil, spark discharge.

Общеизвестно, что экологичность двигателя внутреннего сгорания (ДВС) любого транспортного средства в основном определяется топливной расходной характеристикой. Причем, чем меньше топлива потребляет транспортное средство, тем меньше будет нанесен экологический ущерб атмосфере отработавшими газами. Одним из направлений повышения экологичности ДВС является повышение степени сжатия для увеличения отдаваемой эффективной мощности двигателя. При этом давление в цилиндрах двигателя увеличивается, что ведет к значительному увеличению напряжения разряда свечи зажигания. Верхний предел давления в цилиндре всегда ограничен моментом возникновения детонации. Степень сжатия влияет на большое количество факторов: мощность, приемистость, детонационная стойкость, расход топлива и состав отработавших газов. При таких условиях для воспламенения воздушно-топливной смеси требуется высокое напряжение и большая энергия искрового разряда.

Неисправность системы зажигания может возникнуть при выходе из строя свечи зажигания, из-за пробоя изолятора, пробоя высоковольтного транзистора в коммутаторе, или при невозможности пробоя искрового промежутка при высоком давлении в цилиндре из-за увеличенного зазора в свече зажигания. При этом возникают пропуски воспламенения воздушно-топливной смеси [1–3], она не сгорает и попадает в выпускную систему. Не сгоревшее топливо

смывает масляную пленку со стенок цилиндра, что ведет к повышенному износу цилиндра и поршня. Воздушно-топливная смесь проходит через каталитический нейтрализатор, сгорает в нем только частично и выбрасывается в окружающую среду [4–7], загрязняя ее. При этом температура каталитического нейтрализатора повышается до 1400 °С, что может привести к его оплавлению или разрушению и загрязнению окружающей среды. Состояние катализатора контролируется электронными блоками управления (ЭБУ) автомобиля [8], которые по сигналам датчиков кислорода могут оценить состояние каталитического нейтрализатора.

Для повышения надежности системы зажигания автомобиля было разработано устройство для контроля параметров искрового разряда, которое обнаруживает отклонения в напряжении разряда и пропуски разряда в свечах зажигания. Наличие или отсутствие искрового разряда определяется путем измерения напряжения разряда свечи зажигания в первичной цепи катушки зажигания. Но при этом возникают проблемы, связанные с тем, что разрядное напряжение зажигания в разных условиях становится выше или ниже номинального значения, или имеется пропуск разряда свечи зажигания. При пропуске зажигания блок управления должен отключить форсунку, подающую топливо в соответствующий цилиндр, и информировать водителя.

Схема устройства для контроля параметров искрового разряда в ДВС приведена на рис. 1.

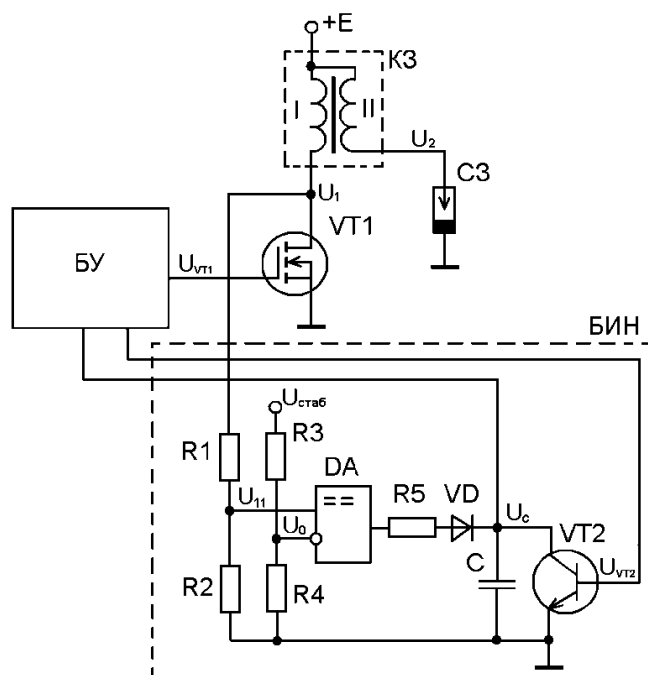


Рис. 1. Устройство для контроля параметров искрового разряда

Устройство для контроля параметров искрового разряда в ДВС содержит блок управления БЛ, высоковольтный ключ $VT1$, катушку зажигания КЗ с первичной обмоткой I и вторичной обмоткой II, свечу зажигания СЗ, и блок измерения напряжения БИН. В качестве блока управления может быть использован электронный блок управления двигателем (ЭБУ).

Высоковольтный ключ $VT1$ переключается по сигналу блока управления, коммутируя ток в первичной обмотке I катушки зажигания КЗ.

Блок измерения напряжения БИН предназначен для определения напряжения первичной обмотки катушки зажигания, и содержит компаратор DA , резисторы делителей напряжения $R1 - R4$, резистор $R5$, диод VD , конденсатор C , и транзисторный ключ $VT2$. Компаратор DA сравнивает напряжение U_1 первичной обмотки 4 (напряжение U_{11} с выхода делителя напряжения, образованного резисторами $R1$ и $R2$) и опорное напряжение U_0 с выхода делителя напряжения, образованного резисторами $R3$ и $R4$.

Когда напряжение U_{11} делителя напряжения, подключенного к первичной обмотке катушки зажигания, выше опорного напряжения U_0 , на выходе компаратора DA устанавливается высокий уровень напряжения. При этом конденсатор C заряжается от источника питания через резистор $R5$ и диод VD , который служит для предотвращения разрядки конденсатора C . Если напряжение U_{11} меньше опорного напряжения U_0 , на выходе компаратора DA устанавливается нулевой уровень напряжения. При этом напряжение зарядки U_C конденсатора C увеличивается пропорционально длительности времени, в течение которого напряжение U_{11} выше опорного напряжения U_0 . Время зарядки конденсатора C контролируется блоком управления БУ, который также разряжает конденсатор через транзисторный ключ $VT2$ перед включением высоковольтного ключа $VT1$ для подготовки к следующему такту измерения.

На рис. 2 представлены временные диаграммы работы устройства при нормальном режиме работы системы зажигания.

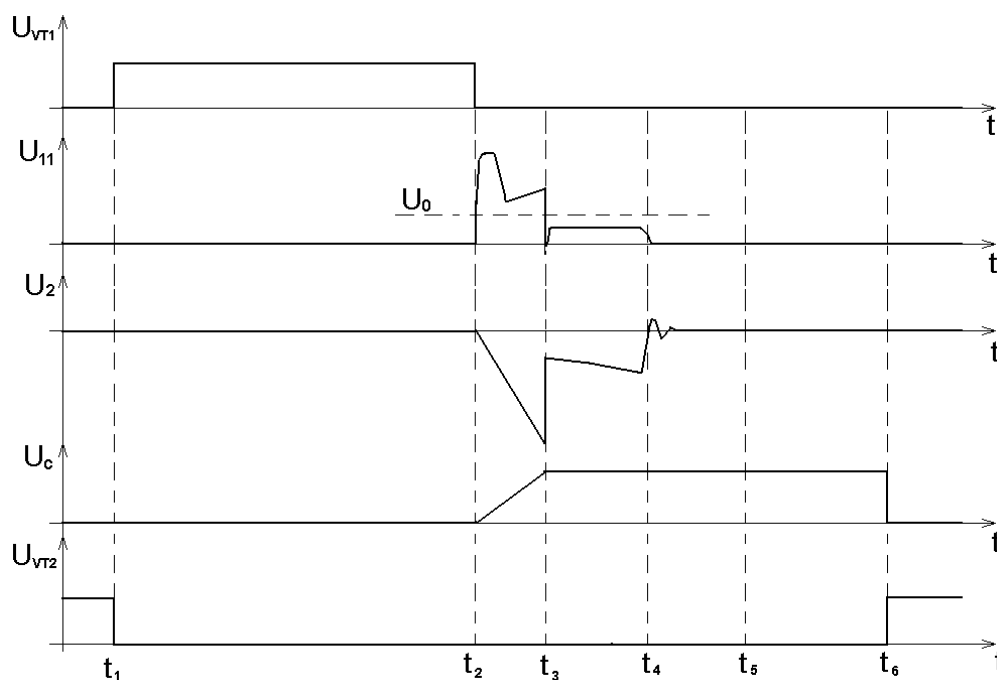


Рис. 2. Временные диаграммы работы устройства при нормальном режиме работы системы зажигания

Блок управления БУ в момент времени t_1 выключает транзисторный ключ $VT2$, и в этот момент времени напряжение U_C на конденсаторе C равно нулю. В момент времени t_1 блок управления включает высоковольтный ключ $VT1$, и ток начинает протекать через первичную обмотку катушки зажигания КЗ.

В момент t_2 БУ выключает высоковольтный ключ $VT1$, при этом ток, протекающий через первичную обмотку катушки зажигания, прерывается, вызывая ЭДС самоиндукции в первичной обмотке катушки зажигания. Вследствие этого напряжение U_2 вторичной обмотки катушки зажигания начинает постепенно увеличиваться.

Напряжение первичной обмотки U_1 быстро нарастает в момент времени t_2 , а затем скорость нарастания снижается. Высокое пиковое напряжение первичной обмотки возникает благодаря наличию индуктивности рассеяния первичной обмотки катушки зажигания. Изменение напряжения в первичной и вторичной обмотках определяется соотношением $|\Delta U_1| = |\Delta U_2|/n$, где n – коэффициент трансформации КЗ.

Блок измерения напряжения БИН сравнивает напряжение на первичной обмотке U_1 , уменьшенное при помощи делителя напряжения на резисторах $R1$ и $R2$ до уровня U_{11} , с опорным напряжением U_0 . Когда напряжение U_{11} превышает опорное напряжение U_0 , на выходе компаратора DA устанавливается напряжение, равное напряжению питания, и конденсатор C начинает заряжаться через резистор $R5$ и диод VD .

В момент t_3 , когда напряжение U_2 вторичной обмотки КЗ превышает напряжение пробоя свечи зажигания, возникает искровой разряд. Напряжение как вторичной обмотки U_2 , так и напряжение первичной обмотки U_1 существенно уменьшаются, при этом напряжение U_{11} в период времени t_3 – t_4 становится меньше, чем опорное напряжение U_0 . При этом на выходе компаратора DA напряжение становится равным нулю, и зарядка конденсатора C прекращается.

Значение опорного напряжения U_0 выбирается таким, чтобы оно было ниже, чем напряжение U_{11} в период времени t_2 – t_3 , и выше, чем U_{11} в период времени t_3 – t_4 . В момент t_4 искровой разряд в свече зажигания заканчивается, и напряжения первичной и вторичной обмотках КЗ равны нулю.

В момент t_5 по истечении заданного периода времени с момента времени t_2 БУ считывает напряжение U_C конденсатора C . В момент времени t_6 БУ включает транзисторный ключ $VT2$, который разряжает конденсатор C для подготовки к следующему циклу работы.

Когда напряжение пробоя на свече зажигания увеличивается из-за увеличения давления в камере сгорания или из-за увеличения зазора между электродами свечи зажигания, то это приводит к увеличению напряжения U_2 вторичной обмотки катушки зажигания, и соответственно, к увеличению напряжения U_1 первичной обмотки. При этом увеличивается длительность периода времени t_2 – t_3 , в течение которого происходит зарядка конденсатора C , при этом он заряжается до большего уровня напряжения, что детектируется БУ.

На рис. 3 приведены временные диаграммы работы устройства при неисправной свечесистеме зажигания.

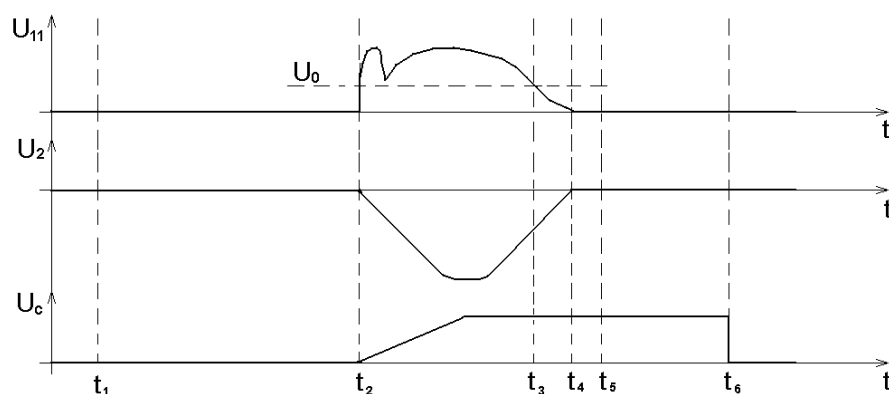


Рис. 3. Временные диаграммы работы устройства при неисправной свечесистеме зажигания

Диаграммы напряжений, приведенные на рис. 3, отличается диаграмм, приведенных на рис. 2, в основном в период времени t_3 – t_4 . Когда пробой диэлектрика происходит не в искровом зазоре свечи зажигания, что случается при пробое изолятора свечи зажигания или загрязнении ее межэлектродного промежутка, происходит быстрое снижение напряжения в первичной и вторичных обмотках КЗ.

В этом случае длительность времени t_2 – t_3 , в течение которого напряжение U_{11} , приложен-

ное к входу компаратора, выше напряжения U_0 источника опорного напряжения, становится существенно больше. В результате напряжение конденсатора C достигает уровня напряжения питания, и далее остается неизменным.

Предложенное устройство позволяет определить состояние свечи зажигания и обнаружить пропуски зажигания путем измерения напряжения на конденсаторе C и длительности времени его зарядки. При возникновении аномального режима работы системы зажигания,

или при неисправности свечи зажигания блок управления отключает подачу воздушно-топливной смеси в неисправный цилиндр двигателя и предупреждает водителя об отказе системы зажигания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Nefed'ev, A.I.* Development of Microprocessor-Based Car Engine Control System / A.I. Nefed'ev, G.I. Sharonov // *Procedia Engineering*. Vol. 150 : 2nd International Conference on Industrial Engineering (ICIE-2016) / ed. by A.A. Radionov. – [Elsevier publishing], 2016. – P. 1341-1344.
2. *Нефедьев, А. И.* Формирователь импульсов для электронной системы зажигания автомобиля / А. И. Нефедьев // *Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт*. – 2019. – № 2 (27). – С. 54–57.
3. *Шаронов, Г. И.* Конденсаторно-тиристорный модуль зажигания для ДВС со встроенными средствами исследования токовых параметров первичной цепи / Г. И. Шаронов, А. И. Нефедьев // *Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств: Эксплуатация и развитие автомобильного транспорта* : матер. X междунар. заочн. науч.-техн. конф. (г. Пенза, 15 мая 2015 г.) / под общ.ред. Э. Р. Домке; ФГБОУ ВПО «Пензенский гос. ун-т архитектуры и строительства», Автомобильно-дорожный ин-т. – Пенза, 2015. – С. 388–396.
4. *Шаронов, Г. И.* Микропроцессорная система управления силовым агрегатом автомобиля / Г. И. Шаронов, А. И. Нефедьев // *Электроника и электрооборудование транспорта*. – 2016. – № 3. – 2–4.
5. *Нефедьев, А. И.* Многоканальные конденсаторные модули зажигания для микропроцессорных систем управления газовым двигателем внутреннего сгорания / А. И. Нефедьев, Г. И. Шаронов, С. В. Тимохин // *Транспортные системы Сибири: матер. Пвсерос. науч.-техн. конф.*, 25–26 нояб., Красноярск / КГТУ. – Красноярск, 2004. – С. 166–168.
6. *Лянденбургский, В. В.* Бортовая система диагностирования микропроцессорной системы управления зажигания / В. В. Лянденбургский, М. В. Шилин // *Успехи современной науки*. – 2017. – Т. 4. – № 4. – С. 28–31.
7. *Францев, С. М.* Микропроцессорная система исследования распределения значений пробивных напряжений системы зажигания ДВС / С. М. Францев, А. Ю. Кавторев // *Инженерный вестник Дона*. – 2018. – № 2 (49). – С. 55.
8. *Францев, С. М.* Исследование длительности и энергии искрового разряда транзисторной системы зажигания на нагрузочном режиме работы двигателя / С. М. Францев, А. Ю. Кавторев // *Инженерный вестник Дона*. – 2015. – № 1. – Ч. 2. – Режим доступа: URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1p2y2015/2842](http://ivdon.ru/magazine/archive/n1p2y2015/2842).

УДК 004.9

А. Н. Шилин, Н. А. Чередников, С. С. Дементьев

АНАЛИЗ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»

e-mail: eltech@vstu.ru

Для повышения надежности системы зажигания газового или бензинового двигателя необходимо обеспечить контроль сгорания воздушно-топливной смеси в цилиндрах ДВС. Предложена система контроля, позволяющая диагностировать аварийные режимы работы системы зажигания, рассмотрены принципы ее построения. Показана схема устройства контроля параметров искрового разряда в ДВС и приведены временные диаграммы работы.

Ключевые слова: сетевые технологии, облачные вычисления, IoT, Big Data.

A. N. Shilin, N. A. Cherednikov, S. S. Demytyev

ANALYSIS OF THE AREA OF CLOUD TECHNOLOGY APPLICATION

Volgograd State Technical University

The purpose of the article is to analyze the field of application of cloud technologies. The article provides a definition of cloud technologies and describes the types of cloud systems. The tasks that solve cloud technologies and problems that are encountered in this area are described. The application of cloud systems in the IoT and the transfer of data from IoT devices to the cloud and to the end user is briefly considered.

Keywords: Network technologies, cloud computing, IoT, Big Data

На ресурсе Microsoft Azure облачные вычисления определяются как предоставление компьютерных сервисов, включая хранилища, сетевую инфраструктуру, программное обеспечение, аналитику и интеллект – через Интернет для того, чтобы предложить более быстрые инновации, гибкие ресурсы и эффект масштабирования. Такой подход позволяет платить толь-

ко за те сервисы, которые вы используете, помогая снизить операционные расходы и запустить свою инфраструктуру более эффективно и масштабироваться по мере того, как ваш бизнес нуждается в изменениях [1].

Сегодня облачные технологии плотно проникли в нашу жизнь: смартфоны сохраняют фотографии и видеозаписи в облачных храни-

лицах, пользователи используют облака для использования дополнительного дискового пространства, чтобы хранить в них личные файлы, документы, компании используют облака для хранения корпоративных данных, для накопления информации для дальнейшей аналитики; облаками ежедневно пользуется множество людей, чтобы просматривать мультимедийные файлы, делиться доступом к своим файлам, слушать музыку, смотреть видео, вести трансляции и т. д.

Основная идея облачных вычислений

Основная идея облачных вычислений состоит в том, чтобы предоставить конечным потребителям спектр услуг по хранению и накоплению информации, по предоставлению вычислительных мощностей в объеме, необходимом для решения задач конечного потребителя, например, для расчета математических уравнений, для которых требуются мощные видеокарты и процессоры, которые обладают такой высокой стоимостью, что их приобретение для редкого использования становится бессмысленным, когда есть возможность использовать облачные вычисления. Многим компаниям гораздо выгоднее пользоваться услугами провайдеров, предоставляющими доступ к облачным сервисам, потому что появляется возможность делегировать часть IT-задач: провайдер предоставляет техническую поддержку, техническое обслуживание серверов, виртуальные машины, для которых выделяются ровно такие объемы вычислительных мощностей, которые нужны клиенту; готовую сетевую инфраструктуру. Так как провайдер заинтересован в том, чтобы привлекать и удерживать клиентов, он всегда будет максимально быстро обновлять программное обеспечение, обслуживать серверное оборудование и обновлять систему, повышая ее надежность и безопасность. Таким образом, у компании, которая переносит свои процессы в облако, отпадает необходимость содержать штат IT-специалистов, которые будут отвечать за настройку и поддержку сетевой облачной инфраструктуры, которую было бы нужно развернуть в компании, отпадает необходимость закупать и регулярно обновлять оборудование, отпадают затраты на создание необходимых условий для размещения серверного оборудования: противопожарные меры, системы охлаждения, выделение помещения; также отпадает необходимость регулярно обновлять систему, устанавливая

патчи безопасности и исправления ошибок в программном обеспечении.

Использование облачных вычислений

Облачные технологии решают большое количество задач, среди которых создание облачных приложений, хранение, резервное копирование и восстановление данных, анализ данных, стриминг аудио и видео, предоставление программного обеспечения как сервиса (SaaS).

Хранение и резервное копирование данных позволяет защитить значимые для пользователя данные, утеря или нарушение целостности которых недопустима. Возможность их восстановления позволяет даже в случае их повреждения откатиться до последней резервной копии данных.

Стриминг аудио и видео позволяет строить коммуникации с пользователями сети интернет и доставлять мультимедийный контент. Например, интернет-радио, стриминг семинаров, конференций, лекций.

SaaS (Software As A Service) позволяет пользователям получать программное обеспечение как услугу. Провайдеры «облака» обеспечивают обслуживание программного обеспечения, его обновление, размещение программного обеспечения на аппаратном комплексе, его обслуживание и т. д. В конечном счете потребитель данного ПО пользуется им через сеть Интернет, как правило, по подписке, с помощью браузера на своем смартфоне, планшете или персональном компьютере [1].

Преимущества облачных сервисов

Облачные вычисления значительно отличаются от привычной практики использования персональных компьютеров для решения повседневных задач и заметно расширяют круг возможностей пользователя, предоставляя ряд преимуществ их использования.

Например, использование облачных технологий позволяет избежать больших затрат на закупку необходимого оборудования, которое является очень дорогим, стоек, их размещение, создание и поддержание необходимого температурного режима в помещении, на найм и содержание штата специалистов, которые должны обслуживать серверы. За вполне приемлемую цену компании, которые решают перенести свои процессы в облако, получают квалифицированную поддержку, готовую инфраструктуру и т. д., которые уже налажены и готовы к использованию. Поэтому при обра-

щении к облачным вычислениям снижаются не только финансовые затраты, но и затраты времени. Это позволяет бизнесу сфокусироваться на своих приоритетных задачах, делегируя облачному провайдеру решение задач по обеспечению программно-аппаратной облачной инфраструктуры.

Облачные сервисы позволяют масштабировать ресурсы под решаемые задачи. Например, благодаря технологии виртуальных машин. Виртуальные машины – это такие программные единицы, для которых выделяется необходимое количество вычислительных ресурсов для того, чтобы решить какие-либо задачи пользователя. По мере уменьшения или увеличения требований к этим ресурсам, облачные технологии позволяют «убирать» или «добавлять» необходимый объем ресурсов, не меняя при этом аппаратную часть облачного сервиса. Так, на одной физической вычислительной машине может размещаться несколько виртуальных машин, которые будут использовать ее ресурсы.

Многие провайдеры «облака» предоставляют широкий спектр политик безопасности, инструменты для их гибкой настройки, технологии и т. д., что позволяет повысить защищенность конфиденциальных данных, тонко настроить доступ пользователей к этим данным и защитить свою инфраструктуру от возможных угроз [1].

Типы облачных сервисов

Различают несколько типов облачных сервисов: IaaS, PaaS, serverless и SaaS. Можно сказать, что каждый из этих типов является подмножеством другого типа, который над ним надстроен [1].

IaaS – Infrastructure as a Service – тип облачных услуг, которые предоставляют доступ к фундаментальным вычислительным блокам, которые пользователь может арендовать: физические серверы, виртуальные, хранилище и сетевая инфраструктура [2]. Такой тип услуг подойдет тем компаниям, у которых есть достаточно широкая экспертиза в области управления данным перечнем оборудования и специалисты с релевантными высокими техническими навыками. IaaS подходит тем компаниям, которые хотят построить свои приложения с нуля и получить над инфраструктурой как можно больший контроль.

Далее над IaaS находится уровень PaaS – Platform as a Service. Этот уровень отличается от предыдущего тем, что помимо хранилища,

сетевой инфраструктуры и серверов, представляет набор инструментов по управлению этими блоками, инструменты для управления базами данных, инструменты для разработки и операционные системы [2].

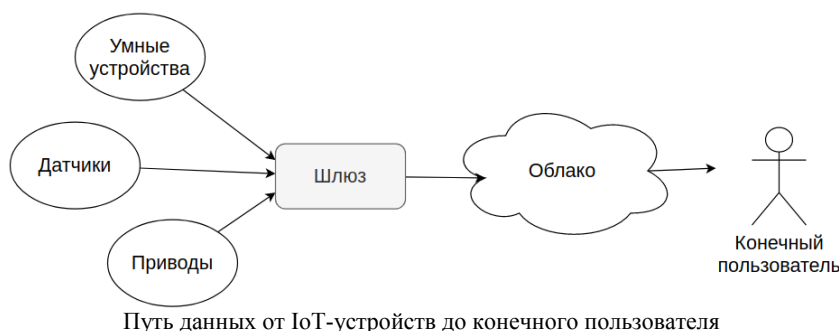
SaaS – Software as a Service – программное обеспечение как услуга. Конечный пользователь может посредством сети Интернет получать доступ к программному обеспечению и сразу начинать его использовать, при этом не заботясь об аппаратном обеспечении, о настройке ПО, которое он использует, о ресурсах, которые требуются для функционирования данного программного обеспечения.

IoT и облачные вычисления

IoT – Internet Of Things – Интернет вещей – это множество физических объектов (устройств), которые подключены к сети Интернет и могут обмениваться данными посредством этой сети. IoT используется во многих сферах: в производстве, здравоохранении, розничной торговле, энергетике и многих других [3].

Так как многие устройства IoT постоянно генерируют огромное количество данных, поэтому часто устройства IoT используют облачные системы для хранения большого количества данных [3].

На рисунке представлена схема передачи данных от IoT-устройств до конечного пользователя. Как правило, умные устройства передают данные на какой-либо шлюз, который по Ethernet отправляет данные в облако. Например, умные счетчики могут передавать данные на одном физическом уровне через радиоканал, но через разные протоколы: в случае WiFi через 802.11, а в случае передачи данных через сеть сотовой связи – через протокол GSM. В случае передачи данных через WiFi в качестве шлюза может выступать роутер, который уже по проводному каналу будет передавать данные по протоколу Ethernet, и в конечном счете данные попадут в облако, где происходит накопление, обработка и фильтрация данных. Также данные могут отправляться на IoT платформу, которая осуществляет перечисленные выше действия над данными и, помимо этого, также обеспечивает подключение IoT устройств к облаку, настройку обмена данными между ними, интеграцию протоколов связи и т. д. [4] Самыми распространенными протоколами, которые используются в IoT платформах, являются MQTT, CoAP, HTTP/HTTPS, AMQP, XMPP, DDS [5].



Заключение

В данной статье было дано определение облачным системам, рассмотрены их виды, преимущества использования облачных сервисов, а также использование облачных систем в связке с IoT. Также был приведен пример передачи данных между IoT-устройствами и облаком на примере умных счетчиков, были приведены основные протоколы, которые используются облачными IoT платформами. В дальнейшем планируется более детальное изучение способов передачи данных с IoT-устройств и исследование их надежности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кранц, М. Интернет вещей. Новая технологическая революция : пер. с англ. / М. Кранц. – М.: Бомбора, 2018. – 336 с.
2. What is cloud computing? Everything you need to know about the cloud explained. – 2018. – Режим доступа: <https://www.zdnet.com/article/what-is-cloud-computing-everything-you-need-to-know-about-the-cloud/>
3. Что такое IoT и что о нем следует знать. – 2021. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/otus/blog/549550/>
4. Big Data-облака интернета вещей: что такое IoT-платформы и зачем они. 2019. – Режим доступа: <https://www.bigdataschool.ru/blog/iot-platform-big-data-cloud.html>
5. IoT платформа. – 2021. – Режим доступа: <https://iot.ru/wiki/iot-platforma>

УДК: 621.383

Б. В. Мак

ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЙ ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ИЗЛУЧЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ КОНТРОЛИРУЕМОГО ОБЪЕКТА

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»

e-mail: eltech@vstu.ru

Основной погрешностью опτικο-электронных приборов для измерения температуры нагретых изделий является методическая составляющая, которая обусловлена непостоянством коэффициента излучения поверхности материала изделия. Коэффициент излучения объекта зависит от материала, состояния поверхности материала и температуры. В процессе измерения сложно учесть эту зависимость, так как нет аналитических выражений этих зависимостей. Для повышения точности измерения температуры объекта разработан опτικο-электронный прибор для измерения коэффициента излучения и температуры измеряемого объекта. В предлагаемом приборе принцип действия блока измерения коэффициента излучения и введения поправки при измерении температуры основан на методе образцовых мер.

Ключевые слова: излучение нагретых тел, коэффициент излучения, пирометрия, опτικο-электронные устройства, погрешности опτικο-электронных устройств.

В. V. Mac

OPTICAL-ELECTRONIC INSTRUMENT FOR MEASURING THE RADIATION COEFFICIENT AND TEMPERATURE OF THE CONTROLLED OBJECT

Volgograd State Technical University

The main error of optoelectronic devices for measuring the temperature of heated products is a methodical component, which is due to the inconstancy of the radiation coefficient of the surface of the product material. The radiation coefficient is dependent on material, material surface condition and temperature. It is difficult to take into account this dependence in the measurement process, since there are no analytical expressions for these dependencies. To improve the accuracy of measuring the temperature of an object, an optoelectronic device has been developed for measuring the radiation coefficient and temperature of the measured object. In the proposed instrument the principle of operation of the unit for measuring the radiation coefficient and introducing a correction when measuring temperature is based on the method of exemplary measures.

Keywords: radiation of heated bodies, radiation coefficient, pyrometry, optoelectronic devices, errors of optoelectronic devices.

Введение

Бесконтактное измерение температуры широко используется в различных высокотемпературных процессах и в системах диагностики машин и механизмов.

Принцип действия пирометров основан на измерении потока излучения от нагретого объекта, который зависит от температуры объекта, а затем с помощью уравнений по измеренному потоку определяется температура объекта. Однако поток излучения зависит не только от температуры, но и от коэффициента излучения поверхности материала изделия. Коэффициент излучения объекта зависит от материала, состояния поверхности материала и температуры. В процессе измерения сложно учесть эту зависимость, так как нет аналитических выражений этих зависимостей. Отсутствие точной информации о значении коэффициента излучения поверхности изделия является источником методической погрешности. Необходимо отметить, что методическая составляющая по значению может превышать инструментальную составляющую. Поэтому для повышения достоверности полученных результатов необходимо учитывать влияние этой составляющей на результат контроля. Для анализа этой составляющей предварительно приведем известные соотношения, поясняющие процесс формирования методической погрешности.

Теоретические основы пирометрии

Все физические тела, температура которых превышает абсолютный нуль, являются источниками излучения. Тепловые излучения всех реальных тел подчиняются закону излучения Кирхгофа, согласно которому отношение спектральной плотности излучения тела при определенных значениях длины волны и температуры к спектральному коэффициенту поглощения тела (при тех же значениях λ и T) есть величина постоянная и равная спектральной плотности излучения абсолютно черного тела $r_0(\lambda, T)$ [1]:

$$\frac{r(\lambda, T)}{a(\lambda, T)} = \frac{r(\lambda, T)}{a(\lambda, T)} = \frac{r_0(\lambda, T)}{a_0(\lambda, T)} = r_0(\lambda, T), \quad (1)$$

где $r(\lambda, T)$, $r(\lambda, T)$ – спектральные плотности излучаемости произвольных температурных излучателей, а $a(\lambda, T)$, $a(\lambda, T)$ – их спектральные коэффициенты поглощения.

Электромагнитный спектр излучений абсолютно черного тела определяется по формуле Планка[1]:

$$\frac{dR(\lambda, T)}{d\lambda} = \frac{2\pi hc^2 \lambda^{-5}}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}, \quad (2)$$

где $\frac{dR(\lambda, T)}{d\lambda}$ – спектральная поверхностная плотность потока излучения, т. е. мощность излучения, испускаемого единицей поверхности черного тела в единичном интервале длин волн, Вт/м³; $h = 6,6256 \cdot 10^{-34}$ Дж·с, или Вт·с² – постоянная Планка; $k = 1,38054 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана; $c = 2,998 \cdot 10^8$ м/с – скорость света; T – абсолютная температура черного тела в кельвинах.

Спектральная плотность потока излучения черного тела зависит от длины волны и температуры. Функция спектрального распределения величины $\frac{dR(\lambda, T)}{d\lambda}$ при заданном значении температуры T имеет максимум. Смещение максимума в функции температуры описывается законом смещения Вина [1]:

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T}, \quad (3)$$

где $b = 2,9 \cdot 10^{-3}$ м·К – постоянная Вина; T – абсолютная температура черного тела в кельвинах.

Закон Стефана-Больцмана, получаемый интегрированием закона Планка по длине волны от нуля до бесконечности, определяет интегральную плотность потока излучения черного тела при температуре T [1]:

$$R = \sigma \cdot T^4, \quad (4)$$

где R – плотность излучения, Вт/м²; T – температура абсолютно черного тела, К; $\sigma = (5,6697 \pm 0,0029) \cdot 10^{-12}$ Вт/(м²·К⁴). В инженерных расчетах принимают $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴) = $5,67 \cdot 10^{-12}$ Вт/(см²·К⁴).

Для реальных тел закон Стефана-Больцмана не применим, так как распределение плотности излучения по спектру у реальных тел и у абсолютно черного тела различны. Однако у большинства твердых тел с шероховатыми поверхностями, особенно у диэлектриков, полупроводников и окислов металлов, распределение энергии по спектру имеет такой же характер, как и у абсолютно черного тела. Такие тела называют серыми. У этих тел отношение их энергетических яркостей к энергетической яркости абсолютно черного тела при той же температуре, называемое коэффициентом излучения, не зависит от длины волны.

Введение понятия «серого тела» расширяет возможности практического использования закона Стефана-Больцмана, который для серого

излучателя имеет следующий вид:

$$R = \varepsilon_T \cdot \sigma \cdot T^4. \quad (5)$$

Коэффициент излучения ε_T является безразмерным и характеризует долю суммарного по спектру излучения данного материала от излучения абсолютно черного тела при той же температуре. Он зависит от материала, температуры, состояния излучающей поверхности и степени ее окисления.

Спектральный коэффициент излучения $\varepsilon(\lambda)$ некоторой поверхности определяется как отношение спектральной плотности потока излучения $dR(\lambda, T)/d\lambda$ этой поверхности к спектральной плотности потока излучения черного тела $R_{\text{ч.т.}}(\lambda, T)/d\lambda$ при той же температуре [2]:

$$\varepsilon(\lambda) = \frac{dR(\lambda, T)/d\lambda}{dR_{\text{ч.т.}}(\lambda, T)/d\lambda}. \quad (6)$$

Величина $\varepsilon(\lambda)$ зависит от длины волны, температуры объекта, а также от угла наблюдения поверхности. Если угол между направлением излучения и нормалью к поверхности равен нулю, то излучательная способность называется нормальной. В общем случае спектральные коэффициенты излучения твердых тел относительно медленнее изменяются в функции от длины волны в отличие от коэффициентов излучения газообразных и жидких веществ, которые характеризуются резкими изменениями по спектру. Для материалов используются три вида оценки коэффициента излучения: спектральный $\varepsilon(\lambda)$, полный ε_T и интегральный ε в полосе длин волн $\lambda_1 \dots \lambda_2$.

Интегральный коэффициент излучения обычно определяется для широко распространенных спектральных диапазонов работы терморadiометрической аппаратуры 3–5 и 8–12 мкм и равен [2]:

$$\varepsilon = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varepsilon(\lambda) \cdot R(\lambda, T) / d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R(\lambda, T) / d\lambda}. \quad (7)$$

Чистые металлы без окисных пленок обычно имеют малый коэффициент излучения в инфракрасной области, который обычно увеличивается с ростом температуры металла. Известны выражения для аппроксимирования функций спектрального и полного коэффициентов излучения в функции температуры для различных металлов с полированной поверхностью в направлении нормали к поверхности металла [2]:

$$\varepsilon(\lambda) = 0,365 \sqrt{\frac{\beta}{\lambda}} - 0,0667 \frac{\beta}{\lambda} + 0,006 \sqrt{\frac{\beta^3}{\lambda^3}}; \quad (8)$$

$$\varepsilon_T = 0,5737 \sqrt{\beta T} - 0,1769 \cdot \beta T; \quad (9)$$

$$\beta = \rho[1 + \alpha(T - 293)] \cdot 10^4, \quad (10)$$

где ρ – удельные сопротивления металлов при 20°C, Ом·см; α – коэффициент теплового изменения удельного сопротивления.

Эти выражения справедливы только при определенных ограничениях. Например, для вольфрама необходимо выполнение условия $\lambda > 2$ мкм, для золота и серебра $\lambda > 1,5$ мкм, а для никеля и железа $\lambda < 5$ мкм. Состояние поверхности и окисление металла могут значительно изменить коэффициент излучения.

Влияние коэффициента излучения поверхности на точность измерения температуры нагретых тел

Величина коэффициента излучения может изменяться в зависимости от различных параметров. Коэффициент излучения поверхности может изменяться в зависимости от некоторых параметров. К этим параметрам относятся: длина волны, температура, структура поверхности, материал, угол визирования, геометрия.

Одна и та же поверхность, как правило, обладает различной излучательной способностью на длинных и коротких волнах. Поэтому термограммы объекта, полученные с помощью тепловизоров с различными спектральными диапазонами, могут значительно отличаться.

В области более коротких длин волн достаточно достоверного теоретического описания поведения $\varepsilon(\lambda, T)$ пока не получено. Экспериментально измеренные зависимости $\varepsilon(\lambda)$, показывают на возрастание ε при уменьшении длины волны (рис. 1) [5].

Из анализа рис. 1 следует, что для уменьшения относительной погрешности определения истинной температуры лучше использовать спектральный диапазон, находящейся на стыке и ближней инфракрасной области спектра. В этом диапазоне коэффициент излучения металлов достаточно большой, что снижает требования к точности его измерения по сравнению с диапазоном 8–14 мкм.

В [7] приведены температурные зависимости коэффициента теплового излучения некоторых веществ (рис. 2). Хорошо видно, что при высоких температурах происходит окисление поверхности материалов атмосферным кислородом, что приводит при нагреве к быстрому росту ε .

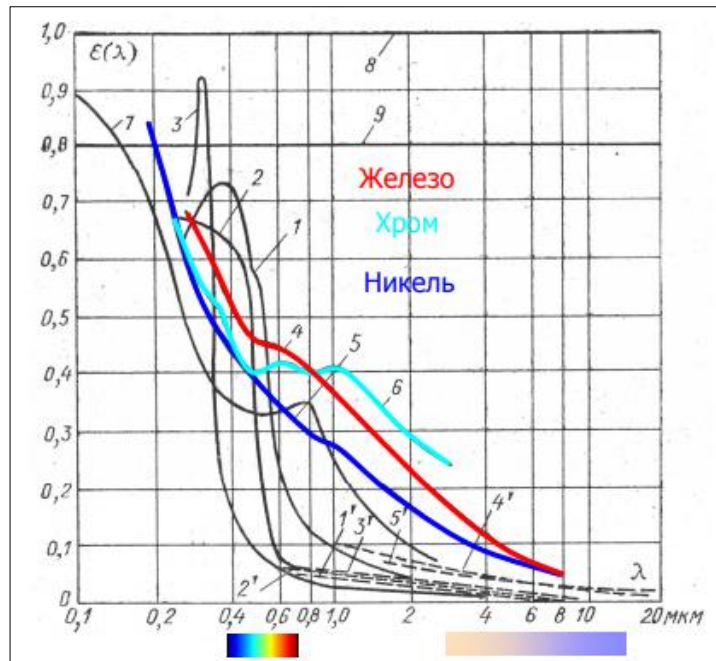


Рис. 1. Кривые зависимости спектрального коэффициента излучения $\epsilon(\lambda)$, показывающие на возрастание ϵ при уменьшении длины волны:
 1, 1' – медь; 2, 2' – золото; 3, 3' – серебро; 4, 4' – железо; 5, 5' – никель;
 6, 6' – хром; 7 – алюминий; 8 – черное тело; 9 – серое тело

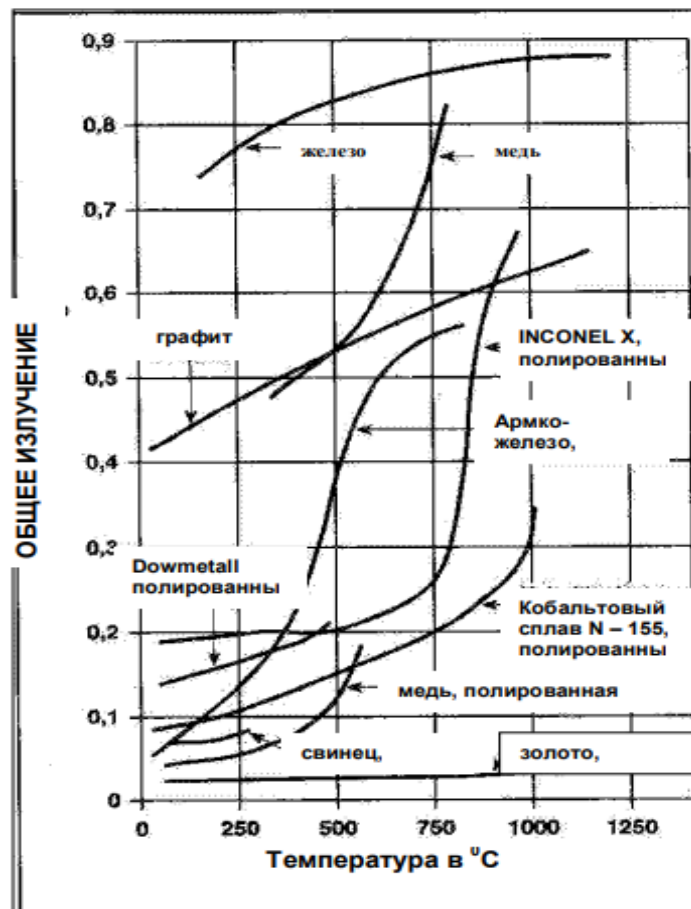


Рис. 2. Изменение коэффициента излучения различных материалов в зависимости от температуры

Способы определения коэффициента излучения

Коэффициент излучения объекта может быть определен следующими способами [2]:

1. Сравнением результатов измерения температуры объекта прямым контактным методом (термопарой) и косвенным бесконтактным методом (тепловизором) и вычислением коэффициента излучения материала.

2. При контроле относительно низких температур (до +260 °С), часть поверхности объекта покрывается поливинилхлоридной изоляционной лентой с установленным коэффициентом 0,95. Затем измеряется температура двух участков поверхности с наклейкой и без нее, осуществляется сравнение результатов измерения и вычисление коэффициента излучения материала.

3. Если возможно, на поверхность объекта наносится черная краска с коэффициентом излуче-

ния краски не менее 0,98. Затем измеряется температура двух участков поверхности с покраской и без нее, сравниваются результаты измерений и вычисляется коэффициент излучения материала.

Достаточно полный обзор по данной проблеме представлен в монографиях [3, 4]. Анализ литературных данных показал, что среди имеющихся методов исследования интегрального коэффициента излучения можно выделить основные методы, получившие наибольшее распространение в практике лабораторных исследований, – радиационный, калориметрический и нестационарный методы.

В таблице приведены значения коэффициентов излучения материалов, которые могут быть использованы в энергетических объектах. Значения коэффициентов излучения в таблице являются приблизительными, что и является причиной погрешности измерения [1].

Типовые значения коэффициентов излучения некоторых материалов

Материал	Коэффициент излучения			
	1μм	2,2μм	5,1μм	8..14μм
Железо неокисленное	0,35	0,1 ... 0,3	0,05 ... 0,25	0,05 ... 0,2
Бетон	0,65	0,9	0,9	0,95
Пластмасса (непрозрачная, более 20мм)	–	–	0,95	0,95
Дерево	–	–	0,9...0,95	0,9...0,95
Медь отполированная	0,05	0,03	0,03	0,03
Сталь тонколистовая гладкая	0,35	0,2	0,1	0,1

Оптико-электронное устройство для измерения коэффициента излучения и температуры регистрируемого объекта

Для решения этой проблемы, а именно влияния неопределенности коэффициента излучения на точность измерения разработан прибор с предварительным измерением коэффициента излучения и введением поправки при измерении температуры [8]. В предлагаемом приборе принцип действия блока измерения коэффициента излучения и введения поправки при измерении температуры основан на методе образцовых мер [6].

На рис. 3 изображена схема оптико-электронного прибора для измерения коэффициента излучения и температуры регистрируемого объекта.

Прибор работает следующим образом: на первом этапе с помощью программного обеспечения на пирометре устанавливается предварительный коэффициент излучения $\epsilon_{пред}$, выставляется угол визирования и производится

измерение температуры $T_{изм}$ в точке регистрируемого объекта, располагающегося на одной оптической оси с пирометром. Полученные данные регистрируются в ЭВМ. Далее с помощью регулятора температуры задается условная температура $T_{усл}$, и при помощи нагревательного элемента нагревается образцовый объект. При помощи зеркала, снабженного поворотным механизмом, который коммутирует потоки излучения от образцового объекта и регистрируемого объекта, проводится корректировка оптической оси от пирометра к образцовому объекту. Далее, применяя компенсационный метод измерений, регулирование температуры нагревательного элемента осуществляется таким образом, чтобы сигналы регистрации температур на пирометре, на данном этапе выполняющего функцию ноль-органа, с регистрируемого объекта и образцового были равны. На втором этапе регистратор температуры с термопарой измеряет температуру $T_{эт}$ образцового объекта, и полученные данные регистрируются

в ЭВМ. В результате анализа данных в ЭВМ путем отношения полученных измеренной температуры $T_{изм}$ к температуре образцового объекта $T_{эт}$, вычисляется истинный коэффициент излучения $\varepsilon_{ист}$. На заключительном этапе с помощью

программного обеспечения пирометра устанавливается вычисленный истинный коэффициент излучения $\varepsilon_{ист}$, выставляется угол визирования и производится измерение истинной температуры $T_{ист}$ в точке регистрируемого объекта.

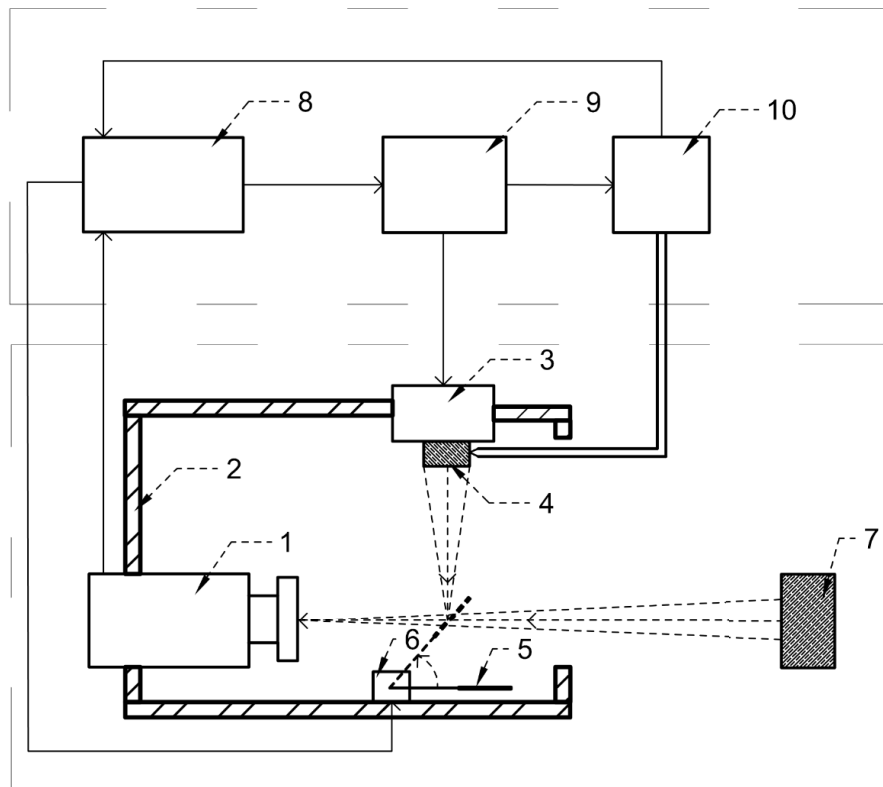


Рис. 3. Опто-электронный прибор для измерения коэффициента излучения и температуры регистрируемого объекта: 1 – пирометр; 2 – основание; 3 – нагревательный элемент; 4 – образцовый объект; 5 – зеркало; 6 – поворотный механизм; 7 – регистрируемый объект; 8 – ЭВМ; 9 – регулятор температуры; 10 – регистратор температуры с термопарой

Коэффициент излучения исследуемого материала определяют по измеренной температуре и скорости изменения температур образцового и исследуемого объектов по формуле (11):

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 \left(\frac{\partial T}{\partial \tau} \right)_1 / \left(\frac{\partial T}{\partial \tau} \right)_2, \quad (11)$$

где ε_1 , ε_2 – коэффициенты излучения эталонного и исследуемого образцов; $\left(\frac{\partial T}{\partial \tau} \right)_1$, $\left(\frac{\partial T}{\partial \tau} \right)_2$ – скорость изменения температуры исследуемого и эталонного образцов в момент времени, соответствующий одинаковой температуре T при их нагреве излучением черного тела [4].

Выводы

Таким образом, опто-электронный прибор для измерения коэффициента излучения и температуры регистрируемого объекта позволяет повысить точность измерения температуры объекта. Кроме того, отпадает необходимость поиска информации о коэффициенте излучения или экспериментального исследования

коэффициента излучения. Недостатком прибора является подбор образцового материала, идентичного материалу исследуемого образца.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Криксунов, Л. З. Справочник по основам инфракрасной техники / Л. З. Криксунов. – М.: Сов.радио, 1978. – 400 с.
2. Госсорг, Ж. Инфракрасная термография. Основы, техника, применение: Пер. с франц. / Ж. Госсорг. – М.: Мир, 1988. – 416 с, ил.
3. Лыков, А. В. Тепломассообмен: справочник / А. В. Лыков. – М.: Энергия, 1978. – 480 с.
4. Блох, А. Г. Теплообмен излучением: справочник / А. Г. Блох, Ю. А. Журавлев, Л. Н. Рыжков. – М.: Энергоатимиздат, 1991. – 432 с.
5. Бураковский, Т. Ю. Инфракрасные излучатели: Пер. с польского / Т. Ю. Бураковский, Е. Гизинский, А. Сая. – Л.: Энергия, 1978.
6. Земельман, М. А. Автоматическая коррекция погрешностей измерительных устройств / М. А. Земельман. – М.: Изд-во стандартов, 1972. – 200 с.
7. http://www.ste.ru/siemens/pdf/rus/ardo_info.pdf
8. П. м. 165793 Российская Федерация, МПК G01J5/52. Опто-электронное устройство для определения коэффициента излучения и температуры регистрируемого объекта / А. Н. Шилин, А. Б. Мадаров; ВолгГТУ. – 2016.

УДК 621.22-546

Р. Г. Атаманюк, Д. А. Роцин
МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОПТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ИЗМЕРЕНИЯ РАССТОЯНИЙ

Волгоградский государственный технический университет
e-mail: atamanyuk17@gmail.com

В статье рассмотрены оптические схемы измерения расстояний и метрологический анализ, а именно исследование методических погрешностей определения расстояний в зависимости от нестабильности параметров схем измерений и инструментальных погрешностей средств. Приведенный анализ позволяет обоснованно выбирать для заданной технической задачи схему измерений, позволяющую осуществлять измерение с минимально возможной погрешностью.

Ключевые слова: оптические методы и средства измерения расстояний, лазерные дальномеры, геометрические методы измерений, инструментальные и методические погрешности измерений.

R. G. Atamanyuk, D. A. Roshchin
METROLOGICAL ANALYSIS OF OPTICAL METHODS FOR MEASURING DISTANCES
Volgograd State Technical University

The article discusses optical schemes for measuring distances and metrological analysis, namely, the study of methodological errors in determining distances depending on the instability of the parameters of the measurement schemes and instrumental errors of the means. The above analysis makes it possible to reasonably choose a measurement scheme for a given technical problem, which makes it possible to carry out measurements with the minimum possible error.

Keywords: optical methods and means of measuring distances, laser rangefinders, geometric methods of measurements, instrumental and methodical measurement errors.

Введение

В различных отраслях промышленности, в строительстве, геодезии, военном деле существуют задачи и проблемы измерения больших расстояний. Очевидно, что для решения этих проблем и задач целесообразно использовать бесконтактные оптические методы, которые обладают высокой точностью и оперативностью измерений. Оптические методы измерений подразделяются на направления: волновые (лазерные) и геометрические, которые являются косвенными методами и осуществляют определение расстояний на основе решения уравнений оптических схем измерения по известным параметрам схем и измеренным угловым или линейным величинам.

В настоящее время лазерные дальномеры широко используются в различных областях и позволяют оперативно и с высокой точностью измерять достаточно большие расстояния. Кроме того, они имеют низкую стоимость и поэтому доступны для внедрения в информационно-измерительные системы. Однако лазерные дальномеры обладают рядом недостатков, а именно: для их применения необходимо, чтобы цель обладала определенным коэффициентом отражения на длине волны лазера. Также в некоторых военных целях требуются скрытные измерения, а активный дальномер способен

демаскировать себя. Поэтому геометрические методы измерения расстояний не потеряли своей актуальности.

Для обоснованного выбора метода и средства измерения расстояния для конкретной задачи необходим метрологический анализ различных вариантов схем измерения. Поэтому для поведения анализа необходимо решить следующие задачи:

1. Провести обзор существующих схем геометрических дальномеров;
2. Осуществить расчет абсолютных и относительных погрешностей этих схем;
3. Подобрать оптимальные диапазоны эксплуатации исследуемых схем дальномеров.

Параллактический треугольник. В основе геометрических дальномеров лежит решение равнобедренного (или прямоугольного) треугольника, имеющего одну короткую сторону.

Расстояние L определяется решением параллактического треугольника по формуле:

$$L = \frac{1}{2} b \cdot \operatorname{ctg} \frac{\varepsilon}{2}. \quad (1)$$

Острый угол ε такого треугольника называется параллактическим, а противолежащая сторона – базой.

Геометрические дальномеры делятся на дальномеры с постоянным базисом и на дальномеры с постоянным углом.

Дальномер с постоянным параллактическим углом

На основе последнего принципа выполнены нитяные дальномеры. При работе с такими дальномерами измеряют переменную величину D с помощью дальномерной рейки, устанавливаемой в конечной точке измеряемой линии.

Основываясь на данном методе, можно создать дальномер, использующий в качестве приемника излучения фотоматрицу, а в качестве мишени можно использовать шар, это позволяет проводить измерения с любого направления под которым он виден.

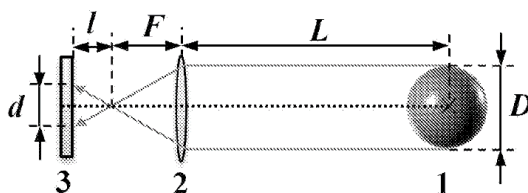


Рис. 1. Схема дальномера с постоянным углом с использованием фотоматрицы

Если известен размер шара, тогда расстояние от переднего фокуса объектива до шара:

$$L(t) = F \cdot \left(\frac{D}{d(t) \cdot n} + 1 \right), \quad (2)$$

где F – фокусное расстояние объектива, D – диаметр мишени, d – размер пикселя матрицы, n – количество пикселей, которые занимает диаметр мишени.

Рассмотрим инструментальную погрешность метода, зависящую от размера пикселя.

Тогда абсолютная погрешность измерения относительно n :

$$\Delta L = \frac{D \cdot F \cdot \Delta n}{d \cdot n^2}. \quad (3)$$

Относительная погрешность:

$$\varepsilon = \frac{D \cdot \Delta n}{d \cdot n^2 + D \cdot n} \cdot 100 \%. \quad (4)$$

Если система определяет размер изображения с точностью до одного пикселя, то при размере пикселя $5 \cdot 10^{-6}$ м, фокусном расстоянии объектива и размере мишени 0,2 м можно получить следующую зависимость:

$$\varepsilon(n) = \frac{40000}{(n^2 + 40000 \cdot n)} \cdot 100 \%. \quad (5)$$

График данной функции имеет следующий вид:

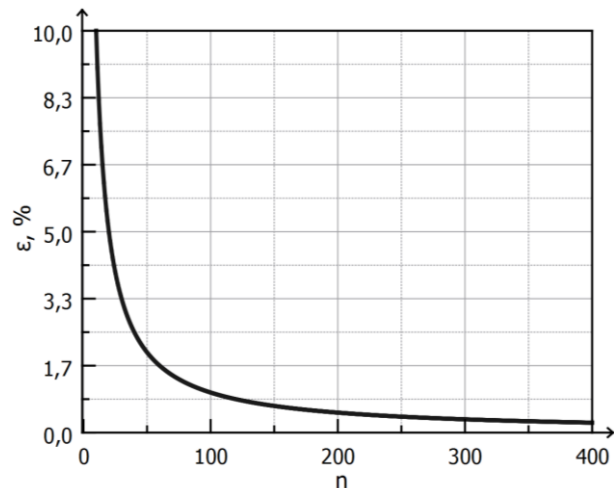


Рис. 2. График зависимости относительной погрешности от размера изображения в пикселях

Как видно из графика, относительная погрешность становится менее 1 % при диаметре изображения в 100 пикселей, что соответствует расстоянию до мишени в 80 метров.

Для определения расстояния до мишени требуется знать точное значение фокусного расстояния объектива. Использование объектива с переменным фокусным расстоянием позволяет подбирать регулировать размер изображения мишени для обеспечения большей точности. Однако реализация устройства с таким объективом значительно усложняется. Вместе с этим объективы с фиксированным фокусным расстоянием обладают более хорошими параметрами при более низкой цене. Поэтому использование фикс-объектива более целесообразно.

В связи с тем что расстояние до цели может быть достаточно большим, производить фокусировку вручную может не обеспечить достаточную точность. Поэтому удобно произвести фокусировку на гиперфокальном расстоянии. Это обеспечит максимальную глубину резко изображаемого пространства (ГРИП) и освободит оператора от постоянного процесса фокусировки при небольших изменениях расстояния до мишени.

Гиперфокальное расстояние в этом случае:

$$H = \frac{f^2}{K \cdot z} + f. \quad (6)$$

Так как $f \ll f^2/(k \cdot z)$, тогда:

$$H = \frac{f^2}{k \cdot z} \quad (7)$$

Передняя граница резкости:

$$R_1 = R \cdot \frac{H - f}{H + R - 2 \cdot f} \quad (8)$$

Задняя граница резкости:

$$R_2 = R \cdot \frac{H - f}{H - R}, \quad (9)$$

где H – гиперфокальное расстояние, f – фокусное расстояние объектива, k – знаменатель относительного отверстия, z – диаметр допустимого кружка рассеяния.

Итого, ГРИП можно найти по следующей формуле:

$$dR = R_2 - R_1. \quad (10)$$

Если принять за минимальный диаметр кружка рассеяния размер пикселя матрицы фотоаппарата, то это обеспечит максимальную точность измерений, сохраняя большую ГРИП.

Параллактический метод

Сущность метода основана на измерении угла α при базе b .

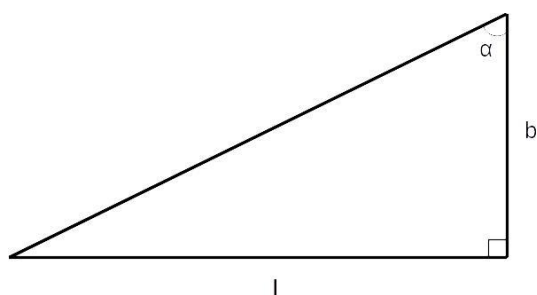


Рис. 3. Параллактический треугольник

Расстояние до объекта определяется следующей формулой:

$$L = b \cdot \tan(\alpha), \quad (11)$$

где b – база, α – угол при базе.

Абсолютную погрешность расстояния можно найти по следующей формуле:

$$dL = \sqrt{\frac{b^2}{\cos^2(\alpha)} \cdot \Delta\alpha^2 + \tan^2(\alpha) \cdot \Delta b^2}. \quad (12)$$

Если база определена с большой точностью, то погрешность можно записать в виде:

$$dL = \frac{b}{\cos^2(\alpha)} \cdot \Delta\alpha. \quad (13)$$

Поделив эту величину на L , получим относительную погрешность:

$$\varepsilon = \frac{2\Delta\alpha}{\sin^2(\alpha)}. \quad (14)$$

Удобно получить зависимость относительной погрешности от параметра K , который

равен отношению расстояния до объекта к базе (L/b). Это позволит оценить оптимальный диапазон определяемых расстояний.

$$K = 2\Delta\alpha \sqrt{\frac{1 + K^4}{4K^2}} + 0,5. \quad (15)$$

Исходя из графика зависимости относительной погрешности от параметра K , видно, что минимальная погрешность появляется при равенстве базы и измеряемого расстояния.

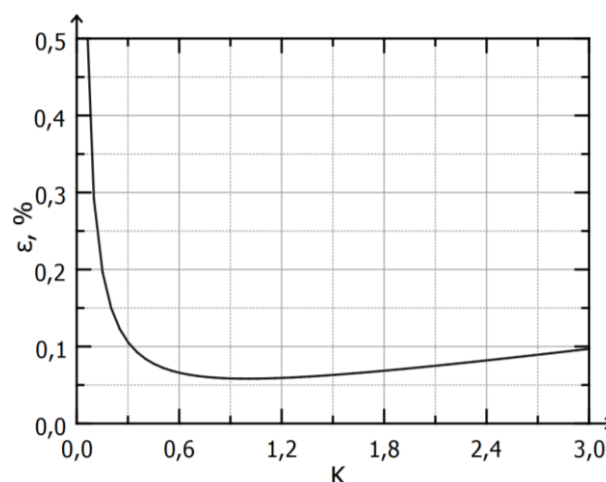


Рис. 4. График зависимости относительной погрешности от величины отношения расстояния к базе

На практике, параметр K чаще всего 50 и более. Построим семейство графиков при разной угловой погрешности ($1''$, $2''$, $6''$).

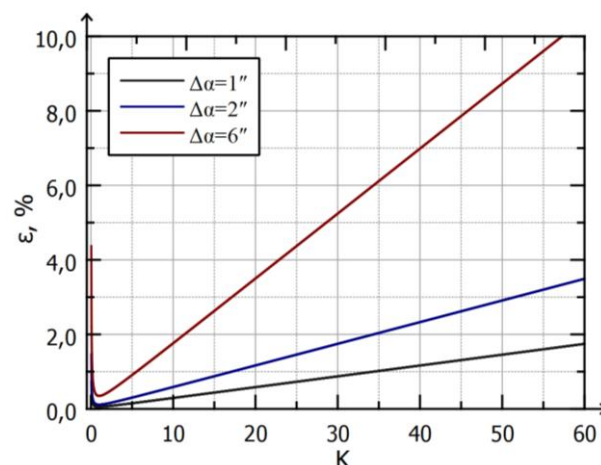


Рис. 5. Графики зависимости относительной погрешности от параметра K при разных угловых погрешностях

Как видно из графиков, уже при погрешности в 6 угловых секунд, при K равном 50, погрешность измерения приближается к 10 %. И только при погрешности измерения угла в $1''$, итоговая погрешность меньше 1,5 %.

Можно сделать вывод, что для измерения расстояний этим способом, требуется очень высокая степень точности измерения углов.

Выводы

Из проведенного анализа следует, что для обеспечения точности измерений ($\varepsilon = 1,5 \%$) расстояний параллактическим методом необходимо использовать угломеры с погрешностью ($\Delta\alpha = 1''$). Однако на практике это трудно осуществить. Поэтому метод на основе схемы с постоянным углом предпочтительнее и при использовании фотоматрицы он обеспечивает

инструментальную погрешность менее 1 % при расстоянии до цели в 80 м.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Михаленко, Е. Б. Инженерная геодезия: учебное пособие по геодезической практике / Е. Б. Михаленко, Н. Н. Загрядская, Н. Д. Беляев и др. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012.
2. Дьяков, Б. Н. Геодезия / Б. Н. Дьяков. – М.: Лань. – 2018. – 415 с.
3. Поклад, Г. Г. Геодезия: учебное пособие для вузов / Г. Г. Поклад, С. П. Гриднев. – 2 -е изд. – М.: Академический проект, 2008. – 592 с.

Ответственные за выпуск редакторы РИО
В. В. Свитачева, Л. П. Кузнецова

Компьютерная верстка:
Е. В. Макарова

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

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

Адрес редакции и издателя: 400005, г. Волгоград, просп. В. И. Ленина, 28.
Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ)
Гл. редактор, тел.: +7 (8442) 23-00-76
E-mail: rector@vstu.ru

Темплан 2021 г. (научные издания). Поз. № 18ж. Дата выхода в свет 29.06.2021 г. Формат 60 × 84 1/8.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 6,98. Уч.-изд. л. 5,92.
Тираж 100 экз. Свободная цена. Заказ №

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

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

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

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 журнала, 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 компакт-дисках (CD) в полном соответствии с распечатанным оригиналом. Диск должен быть вложен в отдельный конверт, на этикетке указываются фамилии авторов статьи.

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

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

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

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

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

Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

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

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

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