



Издается
с января 2004 г.

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

ISSN 2500-0586

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

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

Редакционная коллегия:

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

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

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

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

№ 4 (25)
Декабрь
2018

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

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

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

Официальный сайт Учредителя: www.vstu.ru

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Волгоградского государственного технического университета

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

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

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

Статьи печатаются бесплатно



Published since
January 2004 г.

ISSN 2500-0586

Editor-in-chief

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

Editorial Board:

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

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

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

VSTU Publisher tel.:

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

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

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

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

**№ 4 (25)
December
2018**

FOUNDER:

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

Periodicity: four times per year

Editorial office address:

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

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

Official website: www.vstu.ru

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

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

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

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

The articles are published for free.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Авакумов В. Е. 39
Алимов В. А. 6
Ахмедова О. О. 10
Гонтарь В. С. 17
Дикарев П. В. 10
Железнов Е. И. 13
Железнов Р. Е. 13
Захаров Е. А. 6, 17, 30
Карпов М. А. 21
Коноваленко А. А. 24

Кустов И. А. 27
Левин Ю. В. 30
Моисеев Я. Г. 17
Нефедов А. С. 34
Нефедьев А. И. 21, 24
Сафаров Э. Г. 6
Федянов Е. А. 6, 27, 30
Халяпин В. В. 37
Черныш Т. Д. 39
Шумский С. Н. 30

AUTHOR INDEX

Ahmedova O. O. 10
Alimov E. A. 6
Avvakumov V. E. 39
Chernysh T. D. 39
Dikarev P. V. 10
Fedyanov E. A. 6, 27, 31
Gontar V. S. 17
Halyapin V. V. 37
Karpov M. A. 21
Konovalenko A. A. 24

Kustov I. A. 27
Levin Y. V. 31
Moiseev Ia. G. 17
Nefed'ev A. I. 21, 24
Nefedov A. S. 34
Safarov E. G. 6
Shumskiy S. N. 31
Zakharov E. A. 6, 17, 31
Zheleznov E. I. 14
Zheleznov R. E. 14

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Алимов В. А., Захаров Е. А., Сафаров Э. Г., Федянов Е. А.</i> Моделирование процесса сгорания пропан-бутана с добавками синтез-газа в двигателях с искровым зажиганием.....	6
<i>Дикарев П. В., Ахмедова О. О.</i> Релейная защита: состояние, проблемы, перспективы развития.....	10
<i>Железнов Е. И., Железнов Р. Е.</i> Влияние неравномерности действия тормозных механизмов на устойчивость малотоннажного автопоезда при торможении.....	13
<i>Захаров Е. А., Гонтарь В. С., Моисеев Я. Г.</i> Разработка рекомендаций по подбору газобаллонного оборудования для сжиженного углеводородного газа и совершенствованию его технического обслуживания.....	17
<i>Карпов М. А., Нефедьев А. И.</i> Применение шумоподобных сигналов для создания подводных сетей сбора данных.....	21
<i>Нефедьев А. И., Коноваленко А. А.</i> Датчик наличия пламени для котельной установки.....	24
<i>Кустов И. А., Федянов Е. А.</i> Сравнение эффективности метода отключения цилиндров как способа повышения эксплуатационной топливной экономичности двигателей с искровым зажиганием и дизелей.....	27
<i>Федянов Е. А., Левин Ю. В., Захаров Е. А., Шумский С. Н.</i> Улучшение экологических характеристик роторно-поршневого двигателя за счет использования малых добавок водорода.....	30
<i>Нефедов А. С.</i> Анализ способов восстановления автомобильных винтовых цилиндрических пружин сжатия.....	34
<i>Халяпин В. В.</i> Определение основных территориальных факторов, оказывающих влияние на возникновение и протекание коррозионных процессов на магистральных газопроводах большого диаметра Волгоградской, Ростовской и Воронежской областей....	37
<i>Черныш Т. Д., Авакумов В. Е.</i> Разработка интеллектуальной системы освещения помещений.....	39

CONTENTS

<i>Alimov E. A., Zakharov E. A., Safarov E. G., Fedyanov E. A.</i> TO THE EVALUATION OF EFFICIENCY OF BI-FUEL SYSTEMS OF POWER SUPPLY OF AUTOMOBILE MOTORS.....	6
<i>Dikarev P. V., Ahmedova O. O.</i> RELAY PROTECTION: CONDITION, PROBLEMS, DEVELOPMENT PROSPECTS.....	10
<i>Zheleznov E. I., Zheleznov R. E.</i> THE INFLUENCE OF THE BRAKE MECHANISMS ACTION UNEVENNESS ON THE LOW-TONNAGE ROAD TRAIN'S STABILITY UNDER BRAKING.....	14
<i>Zakharov E. A., Gontar V. S., Moiseev Ia. G.</i> DEVELOPMENT OF RECOMMENDATIONS ON SELECTION OF LPG EQUIPMENT AND TO IMPROVE ITS TECHNICAL SERVICES.....	17
<i>Karpov M. A., Nefed'ev A. I.</i> APPLICATION OF NOISE-LIKE SIGNALS FOR CREATING UNDERWATER DATA COLLECTION NETWORKS.....	21
<i>Nefed'yev A. I., Konovalenko A. A.</i> FLAME SENSOR FOR BOILER INSTALLATION.....	24
<i>Kustov I. A., Fedyanov E. A.</i> COMPARISON OF EFFICIENCY OF THE CYLINDERS DISTRIBUTION METHOD FOR INCREASING THE OPERATIONAL FUEL ECONOMY OF SPARK IGNITING ENGINES AND DIESELS.....	27
<i>Fedyanov E. A., Levin Y. V., Zakharov E. A., Shumskiy S. N.</i> IMPROVEMENT OF ENVIRONMENTAL INDICATORS OF THE ROTOR-PISTON ENGINE DUE TO THE USE OF SMALL ADDITIVES OF HYDROGEN.....	31
<i>Nefedov A. S.</i> ANALYSIS OF THE METHODS FOR THE RESTORATION OF SCREW CYLINDRICAL COMPRESSION SPRINGS.....	34
<i>Halyapin V. V.</i> DETERMINATION OF MAJOR TERRITORIAL FACTORS THAT INFLUENCE THE EMERGENCE AND CORROSION PROCESSES ON THE PIPE LARGE DIAMETER VOLGOGRAD, ROSTOV AND VORONEZH REGION.....	37
<i>Chernysh T. D., Avvakumov V. E.</i> DEVELOPMENT OF INTELLIGENT SYSTEM OF LIGHTING OF ROOMS.....	39

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

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СГОРАНИЯ ПРОПАН-БУТАНА
С ДОБАВКАМИ СИНТЕЗ-ГАЗА В ДВИГАТЕЛЯХ С ИСКРОВОМ ЗАЖИГАНИЕМ**

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: tig@vstu.ru

Представлена двухзонная математическая модель индикаторного процесса двигателя с внешним смесеобразованием и принудительным зажиганием, работающего на пропан-бутане с добавками синтез-газа. Рассмотрен способ вычисления нормальной скорости распространения пламени в пропан-бутановоздушных смесях с добавками синтез-газа. Приведены примеры полученных расчетом индикаторных диаграмм при различных добавках синтез-газа.

Ключевые слова: сжиженный нефтяной газ, пропан-бутан, математическая модель, синтез-газ, индикаторный процесс, скорость распространения пламени.

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

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

Volgograd State Technical University

A two-zone mathematical model of the engine indicator process with external mixture formation and spark ignition operating on propane-butane with synthesis gas additives is presented. The method of calculating the normal rate of flame propagation in propane-butane-air mixtures with additives of synthesis gas is considered. Examples of calculated indicator diagrams for various synthesis gas additives are given.

Keywords: liquefied petroleum gas, propane-butane, mathematical model, synthesis gas, indicator process, flame propagation speed.

Устойчивой тенденцией последнего времени является рост числа транспортных средств, двигатели внутреннего сгорания которых работают на газообразном топливе. Замена бензина на газовое топливо позволяет снизить эксплуатационные затраты, улучшает экологические характеристики и, по многим данным, увеличивает срок службы двигателей. Одной из проблем, которая возникает при переходе на газовое топливо, является снижение мощности двигателей. Так, при использовании в качестве топлива пропанобутановых смесей снижение мощности составляет 10..15 %.

Одним из современных направлений улучшения топливной экономичности и снижения токсичности двигателей легкого топлива с принудительным искровым зажиганием является добавка свободного водорода или содержащей свободный водород газовой смеси к основному углеводородному топливу. Водород в силу сво-

их высоких химической активности и диффузионных свойств ускоряет процесс сгорания и повышает его полноту [1].

Для транспортных машин представляют интерес те варианты организации рабочего процесса с добавками свободного водорода к основному топливу, в которых свободный водород или содержащая его газовая смесь генерируется непосредственно на борту машины из основного топлива. Известно [2–4], что углеводородные топлива могут быть при определенных условиях конвертированы в синтез-газ, представляющий собой смесь свободного водорода и оксидов углерода. В частности, разработаны и испытаны каталитические конверторы, которые позволяют, используя теплоту отработавших газов двигателей, преобразовывать в синтез-газ углеводороды бензинов и метан. Применение таких конверторов дает возможность осуществлять термохимическим спосо-

бом частичную регенерацию теплоты в цикле двигателя, что дополнительно повышает КПД и снижает расход топлива [5].

Одним из широко используемых в настоящее время газовых топлив являются пропан и пропанобутановые композиции. Основное преимущество этого вида газового топлива перед природным газом заключается в том, что на борту транспортного средства оно находится в сжиженном виде при давлении, не превышающим 1600 кПа.

Так как в ближайшем будущем следует ожидать появления каталитических конверторов для пропана и бутана, представляет интерес оценка того эффекта, который даст добавка синтез-газа к пропанобутановой композиции. Такая оценка может быть сделана на основе математического моделирования индикаторного процесса [6].

Предлагается двухзонная математическая модель, в которой средняя по камере сгорания скорость распространения фронта пламени увязана с нормальной скоростью горения и параметрами турбулентности, а нормальная скорость, в свою очередь, определяется с учетом величины добавки синтез-газа. Принято, что каждая из зон, а именно: зона исходной топливовоздушной смеси и зона продуктов сгорания,

представляет собой однородную газовую систему. Давления в зонах в каждый момент времени одинаковы. Утечки рабочего тела из камеры сгорания пренебрежимо малы. Считается, что вся теплота, выделяемая в ходе горения, остается в зоне продуктов сгорания, а разогрев свежего заряда происходит только вследствие «поджатия» его движущимся фронтом пламени.

Основными уравнениями модели являются уравнения сохранения энергии для каждой из зон. Для первой зоны – зоны исходной топливовоздушной смеси

$$\frac{Q_{wu}}{\omega} = p \frac{dV_u}{d\varphi} + c_{vu} m_u \frac{dT_u}{d\varphi} + R_u T_u \frac{dm_b}{d\varphi}, \quad (1)$$

где p , V_u , T_u – соответственно давление, объем и температура; φ – угол поворота коленчатого вала; ω – угловая скорость вращения коленчатого вала; m_u – масса рабочего тела в зоне топливовоздушной смеси; Q_{wu} – тепловой поток от топливовоздушной смеси, находящейся в первой зоне, в стенки камеры сгорания; c_{vu} – изохорная теплоемкость топливовоздушной смеси; c_{pu} – изобарная теплоемкость топливовоздушной смеси.

Для зоны продуктов сгорания

$$q_u \frac{dm_b}{d\varphi} + \frac{Q_{wb}}{\omega} = p \frac{dV_b}{d\varphi} + c_{vb} m_b \frac{dT_b}{d\varphi} + c_{vb} T_b \frac{dm_b}{d\varphi} - c_{pu} T_u \frac{dm_b}{d\varphi}, \quad (2)$$

где p , V_b , T_b – соответственно давление, объем и температура; φ – угол поворота коленчатого вала; ω – угловая скорость вращения коленчатого вала; m_b – масса рабочего тела в зоне продуктов сгорания; q_u – удельная теплота сгорания топливовоздушной смеси (в расчете на 1 кг смеси); Q_{wb} – тепловой поток от продуктов сгорания в стенки камеры сгорания; c_{vb} – изохорная теплоемкость продуктов сгорания; c_{pu} – изобарная теплоемкость топливовоздушной смеси.

Уравнения сохранения энергии (1) и (2) рассматриваются совместно с уравнениями состояния, записанными для каждой из зон, уравнением сохранения массы и уравнением объемов. Кроме того, модель включает в себя формулы для вычисления скорости распространения пламени, потерь теплоты в стенки камеры сгорания, теплофизических характеристик топ-

ливовоздушной смеси и продуктов сгорания. Потери теплоты в стенки камеры сгорания вычисляются по формуле Вошни [7].

Для определения средней скорости распространения турбулентного пламени использована модель «погружения» [8]. Согласно ей массовая скорость выгорания топливовоздушной смеси пропорциональна скорости «погружения» турбулентных молей во фронт пламени:

$$\frac{dm_b}{d\varphi} = \frac{m_{ue} - m_b}{\omega \cdot \tau_f}, \quad (3)$$

где m_{ue} – масса свежего заряда, погружаемого во фронт пламени; m_b – масса продуктов сгорания; ω – угловая скорость вращения коленвала; φ – угол поворота коленвала.

Принято, что определяющий масштаб сгорающих в ламинарных фронтах пламени турбулентных молей соответствует тейлоровскому масштабу турбулентности λ_t . Характерное вре-

мая τ_f выгорания турбулентных молей масштаба λ_t находится как $\tau_f = \lambda_t / w_n$, где w_n – нормальная скорость распространения ламинарного пламени.

Для нахождения массы m_{ue} свежего заряда, погруженной во фронт пламени, предварительно вычисляется величина $\frac{dm_{ue}}{d\phi}$ скорости погружения:

$$\frac{dm_{ue}}{d\phi} = \frac{\rho_u \cdot A_f \cdot w_t}{\omega}, \quad (4)$$

где w_t – скорость турбулентного пламени; A_f – площадь фронта пламени.

Скорость распространения турбулентного пламени связана с нормальной скоростью распространения пламени соотношением:

$$\frac{w_t}{w_n} \approx 0,15 \cdot \text{Pr}^{0,5} \cdot \text{Re}_\lambda, \quad (5)$$

где Re_λ – число Рейнольдса, в котором за определяющий размер принят микромасштаб λ_t .

Пренебрегая для газов изменением числа Прандтля от температуры, имеем:

$$\frac{w_t}{w_n} \sim \text{Re}_\lambda. \quad (6)$$

Для камеры сгорания ДВС к концу такта сжатия $\text{Re}_\lambda \approx 150..300$. В частности, для условий холостого хода принимаем $\text{Re}_\lambda = 150$.

Зная в каждый момент времени массу сгоревшей топливовоздушной смеси, можно определить положение фронта пламени. При этом следует учитывать, что площадь поверхности фронта пламени меняется по углу поворота коленчатого вала в соответствии с геометрией камеры сгорания.

В модели учтено влияние давления и температуры на величину нормальной скорости распространения пламени [6]:

$$w_n = w_{n0}(\alpha) \cdot \left(\frac{P}{10^5}\right)^{-0,25} \cdot \left(\frac{T_u}{293}\right)^{1,8}, \quad (7)$$

где w_{n0} – нормальная скорость, определенная при стандартных условиях, w_n – нормальная скорость при данных давлении и температуре в зоне топливовоздушной смеси.

Значения нормальной скорости распространения пламени при стандартных условиях в смесях пропан-бутана с воздухом взяты согласно экспериментальным данным [9]. При этом зависимость w_{n0} от коэффициента избытка воздуха аппроксимирована полиномом четвертой степени. Влияние добавки синтез-газа на величину нормальной скорости учитывалось исходя из результатов экспериментов, которые были проведены авторами на установке с камерой сгорания постоянного объема. Как свидетельствуют эти эксперименты, зависимость нормальной скорости от величины добавки синтез-газа, состоящего из водорода и диоксида углерода, соответствует экспоненциальному закону при всех исследованных значениях коэффициента избытка воздуха. В частности, для автомобильного пропан-бутана при $\alpha = 1,0$ выражение названной функциональной зависимости имеет вид:

$$w_{n0} = 0,385 \cdot \exp(0,01 \cdot g_{sg}), \quad (8)$$

где g_{sg} – массовая доля синтез-газа в топливовоздушной смеси.

Для удобства построения вычислительного алгоритма уравнения сохранения энергии (1) и (2) были преобразованы с использованием уравнений состояния к виду:

$$\frac{k_b}{k_b - 1} p \frac{dV_b}{d\phi} + \frac{1}{k_b - 1} V_b \frac{dp}{d\phi} = q \frac{dm_b}{d\phi} - \frac{Q_{wb}}{\omega} + c_{pu} \cdot T_u \frac{dm_b}{d\phi}, \quad (9)$$

$$\frac{k_u}{k_u - 1} p \frac{dV_u}{d\phi} + \frac{1}{k_u - 1} V_u \frac{dp}{d\phi} = c_{pu} \cdot T_u \frac{dm_u}{d\phi} - \frac{Q_{wu}}{\omega}. \quad (10)$$

Полученная система уравнений решается относительно неизвестных функций p , V_u , V_b методом Рунге-Кутты.

Верификация модели проведена путем сопоставления расчетных и экспериментально полученных индикаторных диаграмм двигателя ВАЗ-1174. Для индицирования двигателя были

использованы датчики-свечи фирмы Kistler. Различие расчетных и экспериментально измеренных значений давления не превышали 5 %.

На рис. 1 представлены, в качестве примера, расчетные индикаторные диаграммы двигателя ВАЗ-1174 при различных по величине добавках синтез-газа в пропан-бутановоздушную смесь.

Режим работы, для которого выполнен расчет, близок к режиму холостого хода. Во всех слу-

чаях состав смеси с учетом добавки синтез-газа соответствовал стехиометрическому.

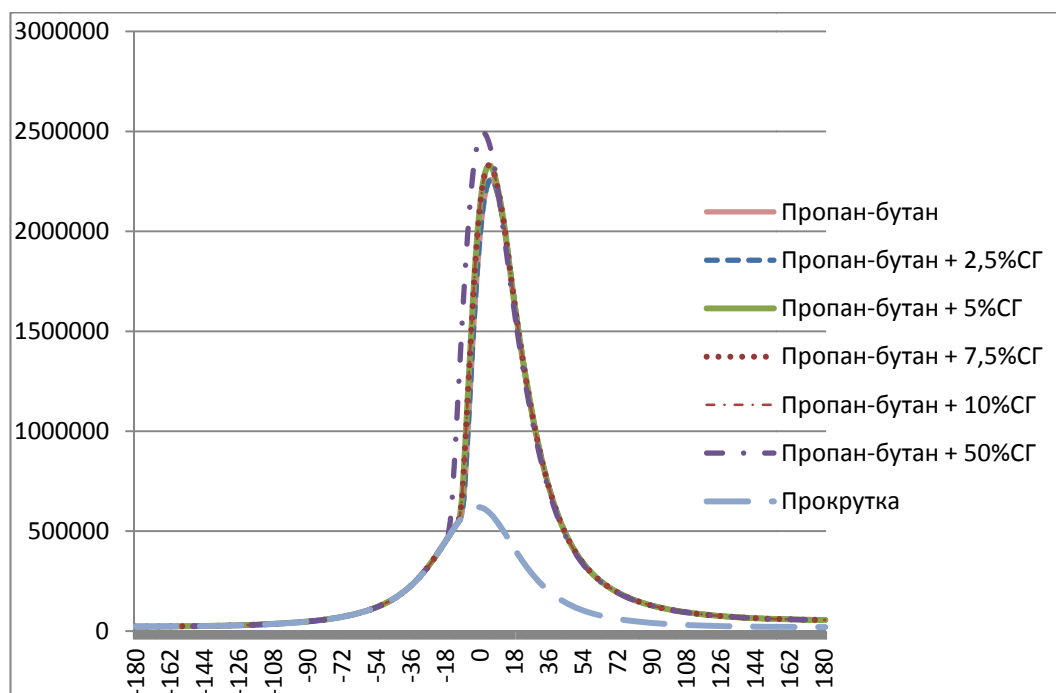


Рис. 1. Расчетные индикаторные диаграммы двигателя ВАЗ-11174 при различных по величине добавках синтез-газа к основной пропан-бутановоздушной смеси

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Исследования энергетических и экологических показателей работы автомобильного двигателя на бензоводородных топливных композициях / В. Ф. Каменев [и др.] // Альтернативная энергетика и экология. – 2005. – № 9 (29). – С. 16–23.
2. Термохимическое преобразование топлив в водородосодержащий газ за счет рекуперированного тепла двигателей внутреннего сгорания / В. А. Кириллов [и др.] // Теоретические основы химической технологии. – 2013. – Т. 47. – № 5. – С. 503–517.
3. Фомин, В. М. Термохимический модуль для получения водорода методом паровой конверсии метанола / В. М. Фомин, А. В. Макунин, М. С. Грановский // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2003. – № 12. – С. 19–22.
4. V. Sadykov, V. Sobyenin, N. Mezentseva, et al. Transformation of CH_4 and liquid fuels into syngas on monolithic catalysts (2010), Fuel, 89, pp. 1230–1240.
5. Разработка компактных устройств для получения синтез-газа из углеводородного топлива на борту автомо-

биля в целях повышения топливной экономичности и улучшения экологических характеристик автомобилей / О. Ф. Бризицкий [и др.] // Альтернативная энергетика и экология. – 2004. – № 11. – С. 17–23.

6. Carpenter, M. H., Ramos, J. I. Mathematical modelling of spark-ignition engines (1985) Applied Mathematical Modelling, 9 (1), pp. 40–52.

7. Кавтарадзе, Р. З. Локальный теплообмен в поршневых двигателях: учебник / Р. З. Кавтарадзе. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2016. – 515 с.

8. Blizard, N. C. Experimental and Theoretical Investigation of Turbulent Burning Model for Internal Combustion Engines / N. C. Blizard, Keck J. C. // SAE Technical Paper Series. – 1974. – № 740191. – 18 p.

9. Влияние добавок синтез-газа на скорость распространения пламени при горении пропан-бутановой смеси / Е. А. Федянов, Е. А. Захаров, Ю. В. Левин, В. Н. Кузьмин, Д. С. Гаврилов // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 12 (115) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – (Серия «Процессы преобразования энергии и энергетические установки»; вып. 5). – С. 17–19.

УДК 621.311

*П. В. Дикарев, О. О. Ахмедова***РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА: СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ****Волгоградский государственный технический университет**

e-mail: dikarev.pavel@mail.ru

Рассмотрены основные понятия, назначение и принципы работы релейных защит электроснабжения. Приведена информация о современном состоянии устройств релейной защиты и перспективах их развития, а также и проблемах, возникающих в процессе разработки и внедрения современных устройств. Из проведенного в статье анализа следует, что наиболее перспективны интеллектуальные реле на базе микропроцессоров, которые являются основными элементами интеллектуальных электрических сетей.

Ключевые слова: электроснабжение, электрические сети, контроль, автоматика, релейная защита, интеллектуальные электрические сети.

*P. V. Dikarev, O. O. Ahmedova***RELAY PROTECTION: CONDITION, PROBLEMS, DEVELOPMENT PROSPECTS****Volgograd State Technical University**

There has been considered the basic concepts, purpose and principles of operation of relay protection of power supply. Information are given on the modern state of relay protection devices and their development perspectives, as well as problems arising in the process of developing and introduction modern devices. From the analysis has been carried out in the article, it follows that intellectual relays are the most perspective if they are based on microprocessors, which are the main elements of electrical smart grids.

Keywords: power supply, electrical networks, control, automatic, relay protection, electrical smart grids.

Введение

В электрической части энергосистем могут возникать повреждения и ненормальные режимы работы электрооборудования электростанций и подстанций линий электропередачи и электроустановок потребителей электроэнергии [1]. При повреждениях токи могут многократно увеличиваться, а напряжение, генерируемое электростанциями и далее на подстанциях, уменьшаться до неприемлемой величины.

При этом возникает зона высоких температур и даже разрушения вблизи места повреждения. В зоне высоких температур оказываются провода линий электропередачи и оборудование, для которых увеличение температуры может быть опасным, а понижение напряжения, связанное с такими процессами, может привести к нарушению устойчивости параллельной работы электростанций и нарушить нормальную работу подключенных к ним потребителей.

Многие аварийные ситуации поначалу являются допустимыми перегрузками. Однако просуществовав определенное время, такие перегрузки оборачиваются опасными последствиями. При своевременном изменении режимов перегрузки, можно было бы избежать их. Поэтому в случае необходимости лучше обесточить перегруженное оборудование.

Выявление и отключение повреждений следует производить очень быстро – в большинстве случаев в течение сотых и десятых долей секунды, что может быть обеспечено только средствами автоматики. В связи с этим возникла необходимость в создании и применении автоматических устройств, защищающих энергосистемы и ее элементы от опасных последствий повреждений и ненормальных режимов. Первоначально в качестве подобной автоматики (защиты) применялись плавкие предохранители. Впоследствии были созданы защитные устройства, выполняемые при помощи электрических автоматов-реле. Такой способ защиты получил название релейной защиты [1].

Принцип действия релейных защит

Непрерывный мониторинг всех элементов энергетической системы с реакцией на появление повреждений и аварийные режимы есть главные функции релейной защиты. В электрических цепях энергосистемы устанавливаются специальные выключатели. Они выполняют отключение токов, которые появляются в результате повреждений и аварий. Защита должна определить участок с повреждением и воздействием на ближайший выключатель, который способен отключить участок от энергосистемы выполнить отключение. Пример показан на рис. 1.

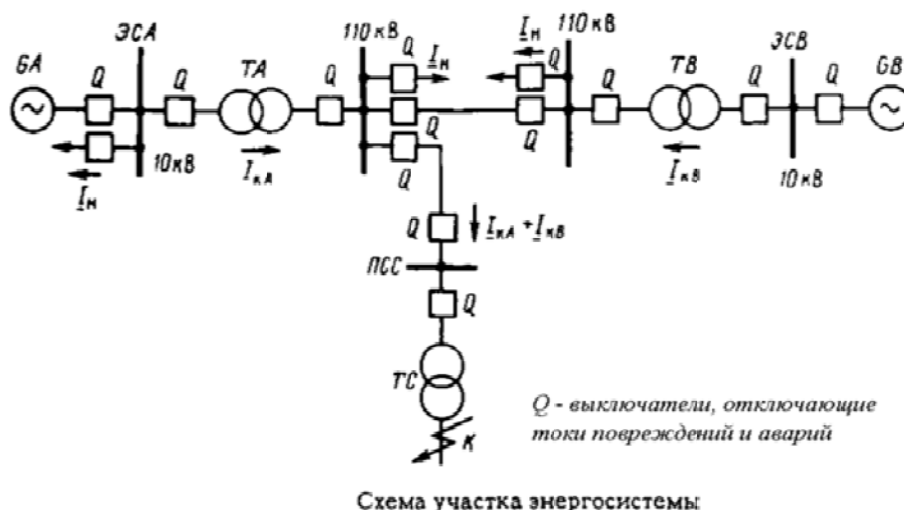


Рис. 1. Пример схемы релейной защиты

Однако отключения это не единственное назначение релейной защиты. Защитные устройства должны различать свойства нарушения и по возможности либо автоматически выполнять действия для того чтобы нормальный режим в энергосистеме был восстановлен, либо сигнализировать соответствующим службам, которые смогут принять необходимые меры по этому нарушению.

В современных электросетях используются и другие группы устройств автоматики:

- автоматическое повторное включение;
- автоматическое включение резервного питания;
- автоматическая частотная разгрузка.

Наиболее часто защитные системы устраняют различные виды короткого замыкания (КЗ), показанные на рис. 2.

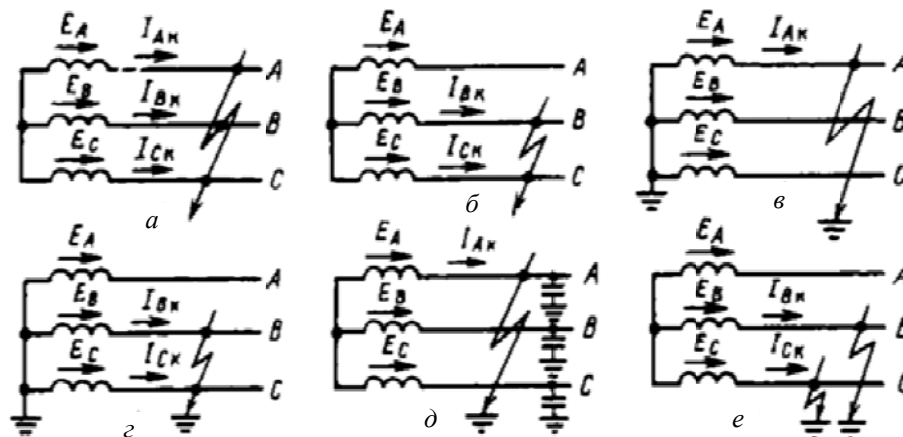


Рис. 2. Виды повреждений в электрических установках:

а, б, в, г, - трехфазное, двухфазное, однофазное и двухфазное КЗ на землю;
д, е - замыкания одной и двух фаз на землю в сети с изолированной нейтралью

Виды релейных защит и их состояние

Существует множество видов релейных защит:

1. Максимальная токовая защита (МТЗ). Срабатывает при условии, что ток достигает заданного производителями значения.

2. Направленная максимальная токовая защита. Помимо уставки, также осуществляется контроль направления мощности.

3. Газовая защита (ГЗ). Срабатывает при условии выделения газа.

4. Дифференциальная защита. Применяется для защиты трансформаторов, автотрансформаторов, генераторов, двигателей, и др. Срабатывает за счет сравнения токов обмоток.

5. Дистанционная защита (ДЗ). Срабатывает при обнаружении уменьшения сопротивления в цепи.

6. Дистанционная защита с высокочастотной блокировкой. Применяется для воздушных линий.

7. Дистанционная защита с блокировкой по оптическому каналу. Более надежный и дорогой вариант предыдущего вида защиты.

8. Логическая защита шин (ЛЗШ). Применение – выявляет КЗ на шинах и фидерах (питающие линии, отходящие от шин подстанции).

9. Дуговая защита. Применение – защита комплектных распределительных устройств и комплектных трансформаторных подстанций (КТП) от возгорания. Срабатывает при повышении освещенности, и/или при повышении давления.

10. Дифференциально-фазная (ДФЗ). Применение – контроль фаз на двух концах питающей линии. Срабатывает, если ток превышает уставку.

Проблемы и перспективы развития релейных защит

Наибольшее количество проблем в области функционирования систем релейной защиты связано с процессом определения уставок срабатывания реле. В случаях неверного срабатывания или несрабатывания релейная защита не выполняет своей основной задачи – обеспечение защиты электросети от возникновения и распространения аварии. Некорректная работа систем релейной защиты может привести к самым неблагоприятным последствиям, как наихудший вариант, лавинообразное развитие системной аварии и распад всей энергосистемы [2]. Повышение надежности и достоверности работы систем релейной защиты основная задача инженеров-релейщиков.

Самым ненадежным элементом систем электроснабжения являются линии электропередачи (ЛЭП) из-за их большой протяженности и влияния на них большого числа различных внешних воздействий. В городских сетях около 85 % отключений приходится на долю ЛЭП, а в сельских сетях – 90–95 %. Отказом ЛЭП на-

зывается всякое вынужденное отключение при ее повреждениях. Причинами аварий могут быть природные условия, а также человеческий фактор [2].

Основным видом повреждений линий являются короткие замыкания (КЗ). Наиболее часто встречаются однофазные замыкания на землю. На их долю приходится до 65 % общего числа замыканий [3]. Трехфазное КЗ – наиболее распространенный вид повреждения, вызывающий появление наибольших токов КЗ.

Как известно, у реле защиты имеется два вида отказов: так называемые «несрабатывания» и «излишние срабатывания». Для предотвращения «несрабатывания» РЗ используют дублирование реле защиты, а именно: для ответственных объектов применяют резервное реле, включенное в другой точке системы электроснабжения, которое позволяет компенсировать ущерб от несрабатывания первого реле защиты. При втором виде отказов [5] возникает другая ситуация, при которой неисправное реле защиты в результате излишнего срабатывания может выдать ложную команду на отключение выключателя и тем самым искусственно вызвать прекращение нормального функционирования системы электроснабжения. При этом происходит не только отключение тысяч потребителей, сопровождающееся большим ущербом, сопоставимым по своим последствиям с аварийным режимом в системе электроснабжения, но и возникает опасность крупной системной аварии, вызванной внезапными перетоками мощностей в сложной и разветвленной энергосистеме [4]. Как показано в [6], в 25–28 % случаев причиной возникновения крупнейших системных аварий, имевших место в мире, были отказы релейной защиты. А если добавить к этому, что в 50–70 % случаев перехода обычного аварийного режима в тяжелую системную аварию повинна также релейная защита [6], то получается, что именно она ответственна практически за все системные аварии.

Статистика работы устройств РЗА

	Случаи работы «правильно»		Случаи работы «неправильно»								Правильное срабатывание, %	
			всего	В том числе								
				«ложно»		«излишне»		«отказы»				
	2013 г.	2014 г.	2013 г.	2014 г.	2013 г.	2014 г.	2013 г.	2014 г.	2013 г.	2014 г.	2013 г.	2014 г.
Всего	36674	534545	1653	1399	947	427	387	474	319	498	99,5	99,7

От стандартных и хорошо известных систем релейной защиты рано или поздно мы полностью перейдем к интеллектуальной информационно-измерительной системе. Принцип интеллектуальности обеспечивает для систем нового типа выполнение следующих задач:

- распознавание различных режимов и аварий;
- классификация режимов и аварий;
- обработка сигналов в реальном времени;
- оптимизация параметров объекта по экспериментальным данным;
- диагностика состояния объекта;
- адаптация к изменившимся условиям;
- обнаружение неизвестных взаимосвязей между показателями;
- извлечение новых знаний;
- прогнозирование аварий.

Выполнение всех вышеперечисленных задач в рамках систем релейной защиты позволит существенно повысить надежность и эффективность электроснабжения.

Наиболее популярными тенденциями в развитии систем релейной защиты, по мнению главного инженера компании *OMICRON Electronics* Александра Апостола, являются использование многофункциональных устройств защиты на микропроцессорной элементной базе и применение нового стандарта МЭК 61850 на системы обмена данными внутри подстанций.

Устройства на микропроцессорной элементной базе могут применяться для защиты различных объектов и адаптироваться к изменениям, происходящим в системе. Кроме того,

такие устройства могут быть использованы для выполнения функции управления, измерения и регистрации аварийных событий, что значительно повышает эффективность систем защиты и автоматики.

Представляется, что на замену традиционным системам придут системы, состоящие из устройств, устанавливаемых вблизи первичного оборудования, которые будут являться интерфейсом в первичный процесс, обрабатывая аналоговую и дискретную информацию и передавая эти данные специальным промышленным компьютерам. На этих компьютерах, в свою очередь, будут реализовываться необходимые функции защиты, автоматики, управления, мониторинга и регистрации аварийных событий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Черноборов, Н. В. Релейная защита энергетических систем / Н. В. Черноборов, В. А. Семенов. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 799 с.
2. Анищенко В. А. Надежность систем электроснабжения: Учеб. пособие / В. А. Анищенко. – Мн.: УП «Технопринт», 2001. – 160 с.
3. Шнеерсон, Э. М. Цифровая релейная защита [Текст] / Э. М. Шнеерсон. – М.: Энергоатомиздат, 2007. – 549 с.
4. Ахмедова, О. О. Анализ ошибок срабатывания систем релейной защиты в энергетике/ Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. Научно-технический журнал. – 2016. – № 3(15). – С. 19–22.
5. Гуревич, В. И. Вопросы философии в релейной защите / В. И. Гуревич // Мир техники и технологии. – 2013. – № 1.
6. Саратова, Н. Е. Анализ подходов к исследованию процессов протекания системных аварий / Н. Е. Саратова // Системные исследования в энергетике. Материалы конф. молодых ученых. – Иркутск: ИСЭМ. – 2007.

УДК 629.113-592.2

Е. И. Железнов, Р. Е. Железнов

ВЛИЯНИЕ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ДЕЙСТВИЯ ТОРМОЗНЫХ МЕХАНИЗМОВ НА УСТОЙЧИВОСТЬ МАЛОТОННАЖНОГО АВТОПОЕЗДА ПРИ ТОРМОЖЕНИИ

Волгоградский государственный технический университет
e-mail: zheleznovei@mail.ru

В статье приведены некоторые результаты исследования устойчивости движения малотоннажного автопоезда при торможении. Показано, что устойчивость автопоезда определяется устойчивостью тягача и зависит, в основном, от неравномерности действия тормозных механизмов, люфта δ_p управляемых колес и массы (загрузки) прицепа. Причем сила и характер влияния факторов зависят от того блокируются колеса тягача при торможении или нет. Если колеса тягача не блокируются, то приоритет имеют люфт δ_p и НДТМ на управляемых колесах. Если блокируются управляемые колеса, то основное влияние оказывают НДТМ на колесах задней оси тягача и масса прицепа. В случае блокирования колес задней оси тягача появляется опасность заноса его и складывания звеньев автопоезда. Степень влияния НДТМ на оси прицепа зависит от соотношения знаков коэффициентов неравномерности. Худшим является вариант, когда знаки неравномерности на осях тягача и прицепа разные. Повышение массы прицепа приводит к увеличению усилия наката в сцепке и снижению устойчивости автопоезда. Влияние геометрических параметров прицепа на устойчивость автопоезда невелико.

Ключевые слова автопоезд, тягач, прицеп, торможение, устойчивость.

E. I. Zheleznov, R. E. Zheleznov

THE INFLUENCE OF THE BRAKE MECHANISMS ACTION UNEVENNESS ON THE LOW-TONNAGE ROAD TRAIN'S STABILITY UNDER BRAKING

Volgograd State Technical University

This article presents some results of research of the stability of a low-tonnage road train movement under braking. It is shown that the stability of the whole road train is determined by the stability of the tractor and, in the main, depends on the unevenness of the brake mechanisms action and on the play of steered wheels δ_p and the weight (load) of the trailer. At the same time the strength and nature of the influence of factors depend on whether the tractor's wheels are blocked during braking or not. If the wheels of the tractor are not blocked, then the priority is play δ_p and the action unevenness of the brake mechanisms on the steered wheels. If the steered wheels are blocked, then the main influence is rendered by the tractor's rear axle wheels and the trailer weight. In the case of the tractor's rear axle wheels blocking, there will be a danger of skidding and folding of the road train's links in the worst. The degree of influence of the unevenness of the brake mechanisms action on the axis of the trailer depends on the ratio of the coefficients of irregularity sign. The worst variant is when the signs of unevenness on the tractor and trailer axles are different. The increase in the weight of the trailer leads to an increase in the rolling force in the coupling and to a decrease in the stability of the road train. The influence of the geometric parameters of the trailer on the stability of the road train is small.

Keywords: road train, tractor, trailer, braking, stability.

С целью оценки тормозных свойств малотоннажных автопоездов разработана математическая модель [1], достоверность которой проверена по результатам дорожных испытаний специально созданных тормозных лабораторий. Устойчивость автопоезда рассматривается с позиций технической устойчивости на основе характеристик положения звеньев в пределах коридора безопасности. Для количественной оценки использован показатель η_{yi} , представляющий собой отношение необходимой для торможения ширины проезжей части к минимально допустимой по безопасности движения:

$$\eta_{yai} = 1 - \frac{2 |y_a + a_r (-b_r) \sin \gamma_a|}{|B_d - B_{ra}|},$$

$$\eta_{yip} = 1 - \frac{2 |y_n - d_r \sin \gamma_n|}{|B_d - B_{rp}|}, \quad (1)$$

где x_1 – силовое передаточное число ИТС, i_0 ; x_2 – коэффициент неравномерности действия тормозных механизмов (НДТМ) на колесах передней оси тягача, k_{n1} ; x_3 – люфт рулевого колеса, δ_p ; x_4 – НДТМ на оси прицепа, k_{n3} ; x_5 – НДТМ на колесах задней оси тягача, k_{n2} ; x_6 – масса прицепа, m_n .

Анализ коэффициентов регрессии показал, что по силе влияния на величину показателя η_{yap} факторы располагаются в следующем порядке: x_3 , x_2 , x_5 , x_6 , x_1 , x_4 . Причем действие двух первых факторов (x_3 и x_2) значительно пре-

где y_a , y_n – боковые отклонения центров масс звеньев автопоезда; a_r , b_r , d_r – расстояние от центров масс до крайних точек кузова тягача и прицепа; B_d – ширина коридора безопасности; B_{ra} , B_{rp} – габаритная ширина звеньев.

Показатель η_{yai} определяется по наибольшему габаритному отклонению тягача, а величина B_{ir} соответствует наибольшей габаритной ширине (B_{ra} , B_{rp}) звеньев. Величина показателя устойчивости η_{yap} автопоезда равна величине показателя η_{yi} для наименее устойчивого звена:

$$\eta_{yap} = \text{Min}(\eta_{yai}, \eta_{yip}). \quad (2)$$

Ниже в качестве примера приведена интерполяционная формула для определения показателя устойчивости автопоезда в составе легкового автомобиля и одноосного прицепа, оборудованного инерционной тормозной системой (ИТС) при торможении

$$\eta_{yap} = -0,92 + 0,12x_1 + 0,45x_2 - 0,80x_3 - 0,10x_4 + 0,20x_5 + 0,14x_6 -$$

$$-0,06x_1x_4 + 0,02x_1x_6 + 0,10x_2x_3 + 0,04x_2x_5 - 0,08x_1^2 + 0,16x_2^2 -$$

$$-0,07x_3^2 - 0,02x_4^2 - 0,03x_5^2 - 0,10x_6^2, \quad (3)$$

восходит влияние остальных. С увеличением неравномерности на колесах тягача $k_{n1,2}$, люфта рулевого колеса δ_p величина показателя устойчивости снижается, а с увеличением i_0 , k_{n3} и m_n – наоборот растет.

Рассмотрим подробнее механизм влияния неравномерности действия тормозных механизмов. Расчеты показали, что устойчивость малотоннажного автопоезда при торможении определяется в основном устойчивостью тягача и зависит от того, блокируются колеса тягача в процессе торможения или нет. Если колеса

тягача не блокируются, то приоритет имеют НДТМ на колесах управляемой оси и люфт рулевого колеса. Их увеличение приводит к появлению избыточной рулевой поворачиваемости, характеризуемой углом θ самоповорота управляемых колес, и шинной поворачиваемости, определяемой разностью углов увода ($\delta_2 - \delta_1$) осей тягача, и к росту курсовых отклонений звеньев автопоезда. Так, при увеличении НДТМ на колесах управляемой оси с 5 до 10 % примерно в два раза вырастают угол θ самоповорота и углы увода $\delta_{1,2}$ и в 1,8 раза – угол δ_3 увода оси прицепа, и примерно в два раза увеличиваются курсовые отклонения звеньев. Такое же по силе и характеру влияние оказывает увеличение люфта в рулевом управлении.

Влияние НДТМ на колесах задней оси тягача заметно слабее и связано только с усилением избыточной шинной поворачиваемости тягача, притом, что рулевая поворачиваемость, практически не изменяется. Поэтому увеличение курсовых отклонений звеньев с ростом неравномерности на задней оси тягача намного меньше. Это объясняет разницу в величине коэффициентов регрессии при соответствующих факторах в уравнении (3).

Характер влияния НДТМ на колесах прицепа $k_{н3}$ (x_4) зависит от величины и соотношения знаков коэффициентов неравномерности на осях автопоезда. Если неравномерность имеет место только на колесах прицепа, то ее увеличение приводит к небольшому росту курсовых отклонений звеньев и снижению устойчивости автопоезда (см. рисунок, а). Причем боковые отклонения и разворот звеньев происходят в направлении обратном действию поворачивающего момента M_3 . Если знаки коэффициентов неравномерности на осях автопоезда одинаковые (бортовая НДТМ), то увеличение неравномерности на оси прицепа оказывает стабилизирующее влияние на движение тягача, поскольку поворачивающие моменты $M_{1,2}$ и M_3 , имеют одинаковое направление и частично компенсируют действие друг друга, причем тем больше, чем больше величина коэффициента $k_{н3}$. В результате уменьшаются курсовые отклонения звеньев и повышается устойчивость автопоезда (см. рисунок, б). Если знаки коэффициентов неравномерности на осях тягача и прицепа разные (осевая неравномерность), то момент M_3 наоборот усиливает действие поворачивающих моментов $M_{1,2}$, что приводит к существенному, в 1,8 раза, увеличению кур-

совых отклонений (см. рисунок, в) и снижению показателя устойчивости ниже критического уровня ($\eta_{\text{уап}} = -0,8$).

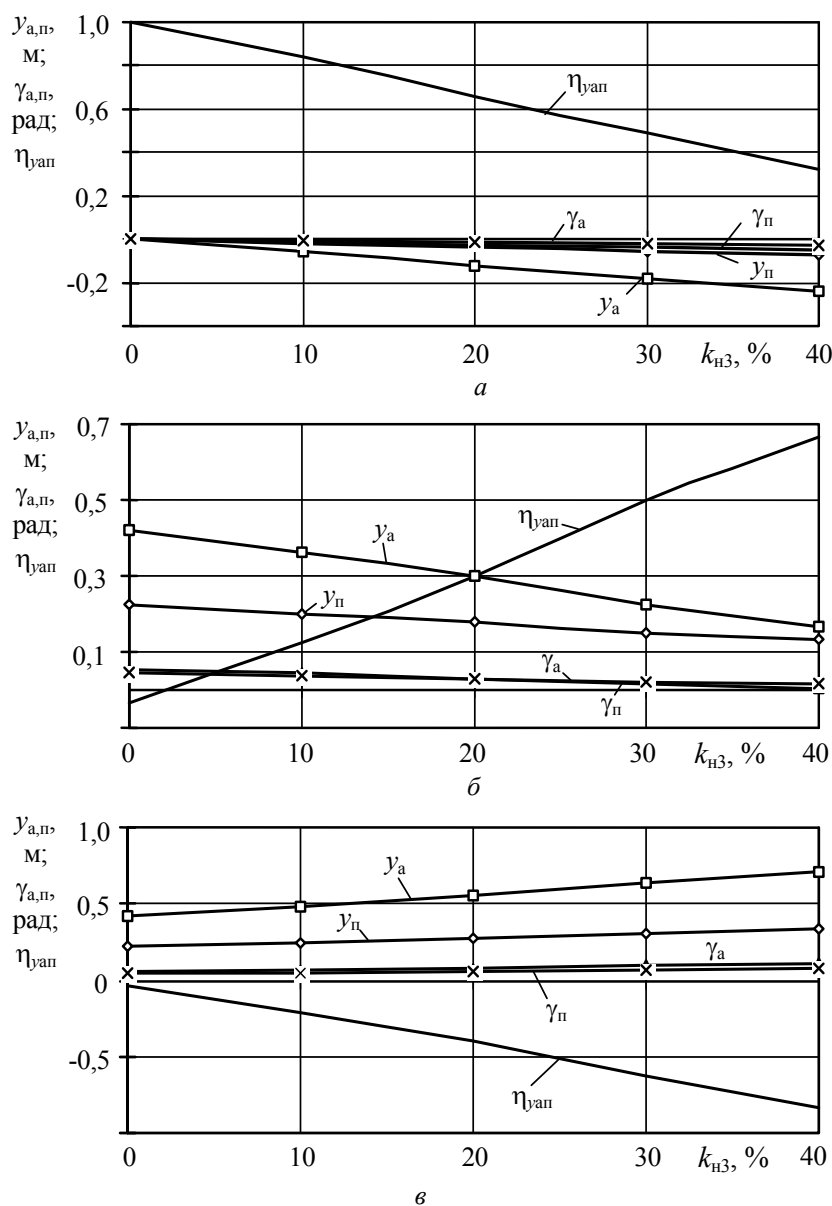
Отмеченный характер влияния коэффициентов $k_{н3}$ совпадает с результатами исследования устойчивости седельно-прицепных автопоездов с той лишь разницей, что на устойчивость движения расчетного автопоезда основное влияние оказывает неравномерность действия тормозных механизмов на колесах управляемой оси тягача, а не задней – как для СПА [2].

В случае блокирования управляемых колес тягача характер влияния НДТМ на устойчивость автопоезда изменяется. Расчеты показали, что при небольшой неравномерности ($k_{н1} < 10\%$) управляемые колеса тягача блокируются практически одновременно, снижая тем самым ее влияние на величину возмущающих моментов и траекторию автопоезда. При большой неравномерности ($k_{н1} > 10\%$) блокируется только колесо с более эффективным тормозным механизмом. Это приводит к появлению обратной фазы самоповорота управляемых колес. В результате начавшийся дрейф звеньев автопоезда в направлении первоначального действия возмущающих факторов проходит либо менее интенсивно, либо гасится. Первое имеет место при осевой неравномерности, когда момент M_3 препятствует стабилизации движения тягача. При бортовой неравномерности момент M_3 наоборот усиливает действие угла θ в обратной фазе самоповорота управляемых колес. Поэтому стабилизация тягача происходит более интенсивно, но появляется опасность увода звеньев в направлении обратном первоначальному. Увеличение люфта δ_p не вносит принципиальных отличий в механизм влияния $k_{н1}$ на устойчивость автопоезда, а лишь усиливает обратный дрейф звеньев. Появление обратной фазы самоповорота управляемых колес повышает курсовую устойчивость автопоезда. Так, при изменении НДТМ на передних колесах с 10 до 30 % и $\delta_p = 0$ было отмечено увеличение показателя $\eta_{\text{уап}}$ с 0,3 до 0,7, а при $\delta_p = 0,01$ рад и $k_{н1} = 30\%$ – до 0,9 и только при $k_{н1} < 0,6$ наблюдалось резкое снижение величины $\eta_{\text{уап}}$.

В случае блокирования управляемых колес существенно возрастает роль НДТМ на колесах задней оси тягача и оси прицепа, поскольку колеса этих осей не блокируются и поворачивающие моменты $M_{2,3}$ действуют на автопоезд на протяжении всего процесса торможения. Расчеты показали, что в случае блокирования

управляемых колес определяющее влияние на устойчивость автопоезда оказывает не угол самоповорота, а поворачивающие моменты $M_{2,3}$ и сила наката прицепа на тягач. Наличие НДТМ на колесах задней оси тягача приводит к появлению увода задней оси и развороту тягача в направлении действия поворачивающего момента M_2 , а последующий накат прицепа придает этому процессу прогрессирующий характер. Поэтому боковое смещение и поворот звеньев автопоезда происходят в направлении действия момента M_2 – к мгновенному центру поворота, а величины отклонений достигают критических по устойчивости значений. При

появлении НДТМ на колесах прицепа увод задней оси и разворот тягача происходят под влиянием боковой составляющей P_{ay} усилия в сцепке, которая появляется в результате действия момента M_3 . Хотя накат прицепа в дальнейшем усиливает разворот тягача, но отклонения звеньев автопоезда не так велики, как в первом случае, и происходят они в направлении противоположном действию момента M_3 . Кроме того, в обоих случаях возникают влияния прицепа, негативно влияющие на устойчивость автопоезда. Увеличение массы прицепа $m_{п}$ усиливает отрицательное влияние НДТМ и люфта рулевого колеса и снижает устойчивость автопоезда.



Влияние НДТМ на оси прицепа на курсовые отклонения и величину показателя устойчивости автопоезда при торможении:
 а – $k_{н1,2} = 1,0$; $k_{н3} = 0,9$; б – $k_{н1} = 0,95$; $k_{н2,3} = 0,9$; в – $k_{н1} = 0,95$; $k_{н2} = 0,9$; $k_{н3} = -0,9$

Учитывая, что тормозной привод современных легковых автомобилей имеет большой запас мощности, позволяющий блокировать колеса даже на дорогах с высоким коэффициентом сцепления, необходимо ужесточить требования к стабильности действия тормозных механизмов, обратив особое внимание не только на величину, но и на соотношение знаков коэффициентов неравномерности на осях автопоезда. С этой же целью целесообразно устанавливать на всех колесах дисковые тормозные механизмы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Железнов, Е. И. Повышение тормозных свойств малотоннажных автопоездов: монография / Е. И. Железнов; ВолгГТУ. – Волгоград, 2000. – 144 с.
2. Топалиди, В. В. Разработка методов повышения эффективности процесса торможения седельно-прицепного автопоезда: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / Топалиди В. В. – Харьков, 1982. – 168 с.
3. Антонов, Д. А. Теория устойчивости движения многоосных автомобилей / Д. А. Антонов. – М.: Машиностроение, 1978. – 216 с.
4. Железнов, Е. И. Исследование влияния параметров рулевого управления на устойчивость автомобиля при торможении: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 – Железнов Е. И. – Волгоград, 1980. – 173 с.

УДК 629.3.063.2

Е. А. Захаров, В. С. Гонтарь, Я. Г. Моисеев

**РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПОДБОРУ ГАЗОБАЛЛОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ
ДЛЯ СЖИЖЕННОГО УГЛЕВОДОРОДНОГО ГАЗА
И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ЕГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ**

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: zaharov_ea@vstu.ru

В статье представлены рекомендации по подбору газобаллонного оборудования для сжиженного углеводородного газа (СУГ), а также предложены мероприятия по совершенствованию его технического обслуживания.

Ключевые слова: газобаллонное оборудование, сжиженный углеводородный газ, техническое обслуживание, электромагнитный блок управления

E. A. Zakharov, V. S. Gontar, Ia. G. Moiseev

**DEVELOPMENT OF RECOMMENDATIONS ON SELECTION OF LPG EQUIPMENT
AND TO IMPROVE ITS TECHNICAL SERVICES**

Volgograd State Technical University

The article presents recommendations on the selection of LPG equipment, as well as measures to improve its technical services.

Keywords: LPG equipment, liquefied hydrocarbon gas, technical services, electromagnetic control unit.

В последние годы нефтедобывающие компании стали уделять значительно большее внимание вопросам переработки попутного нефтяного газа (ПНГ) – сырья для производства СУГ. Этому способствует принятое Правительством Российской Федерации Постановление № 7 от 8 января 2009 года «О мерах по стимулированию сокращения загрязнения атмосферного воздуха продуктами сжигания попутного нефтяного газа на факельных установках». Согласно данному Постановлению уровень утилизации попутного нефтяного газа требуется довести до 95 %. Произведенный из ПНГ сжиженный углеводородный газ при этом составляет серьезную ценовую конкуренцию бензину – его

розничная стоимость вдвое меньше стоимости высокооктанового бензина.

Моторные свойства сжиженного углеводородного газа хорошо известны: он обладает высокой детонационной стойкостью, более широкими пределами воспламенения, меньшей токсичностью отработавших газов.

Все вышесказанное не вызывает сомнения в перспективности применения СУГ в качестве топлива для автомобильных ДВС.

Известно, что применительно к бензиновым ДВС чаще всего реализуется концепция двухтопливного двигателя – существующий автомобиль с бензиновым ДВС дополнительно оснащается газобаллонным оборудованием (ГБО) для работы на СУГ.

Устанавливаемое на автомобиль ГБО должно быть подобрано и качественно настроено для каждой конкретной модели автомобильного двигателя с учетом особенностей эксплуатации. Только в этом случае могут быть обеспечены оптимальные мощностные, экономические и экологические характеристики двигателя, работающего на СУГ [1].

На основе анализа работы ряда сервисных центров, занимающихся установкой и обслуживанием ГБО в г. Волгограде, разработаны основные рекомендации для клиентов по подбору ГБО 4 поколения, наиболее широко используемого в настоящее время (более 90 % спроса потребителей). Так, при выборе газового редуктора следует придерживаться следующих рекомендаций:

- заявленная производительность редуктора должна обеспечивать большую на 15...20 % мощность в сравнении с мощностью конвертируемого к использованию СУГ двигателя, что обеспечит стабильную работу ДВС во всем диапазоне скоростных и нагрузочных режимов;

- фильтр жидкой фазы для облегчения технического обслуживания желательно выбирать выносной;

- редуктор должен быть разборным для обеспечения возможности замены прокладок и мембраны.

При выборе газовых форсунок необходимо ориентироваться на:

- требуемую максимальную мощность ДВС на цилиндр;

- время срабатывания (данный параметр напрямую зависит от бензиновых форсунок: на автомобилях с низкой степенью форсирования достаточно 2,5...3 мс, с высокой – подбираются форсунки с временем открытия от 1,8 до 2,5 мс);

- линейность работы (заключается в том, что при увеличении времени ее открывания, например, в два раза, топлива в двигатель также должно подаваться в два раза больше);

- вид монтажа (на цельной рампе или каждая форсунка в отдельности – зависит типа системы питания конвертируемого двигателя);

- ремонтпригодность (желательно, чтобы форсунки имели ремонтный комплект, а после ремонта не требовали калибровки).

Газовые форсунки должны быть установлены максимально близко к бензиновым форсункам, но место должно быть минимально теплонагруженным.

Для долговечной работы ГБО рекомендуется выбрать стальные топливные магистрали.

Подбор газового баллона производится исходя из следующих соображений: тороидальный баллон выбирается, если есть ниша для запасного колеса, цилиндрический – при установке в багажном отсеке или под кузовом на днище автомобиля. Особо отметим, что запорный клапан на баллоне должен быть легкодоступным.

При выборе фильтра для ГБО необходимо учесть, что в качестве фильтрующего элемента используются разные материалы, обеспечивающие различную степень очистки. Так, наиболее популярный материал – фильтровальная бумага – имеет низкую цену, но она склонна к старению, что приводит к ее разрушению со временем. Этого недостатка лишен полиэстер, обеспечивающий, кроме того, высокую фильтровальную эффективность.

При выборе ГБО наиболее ответственным является подбор газового электромагнитного блока управления (ЭБУ). Многие компании, устанавливающие ГБО, часто рекомендуют недорогие ЭБУ с целью снижения стоимости установки. При этом необходимо иметь в виду, что такие базовые блоки в любой линейке производителя рассчитаны на автомобили с минимальным количеством систем управления. Поэтому, если к работе на СУГ конвертируется ДВС, имеющий такие системы, как FSI (Fuel Stratified Injection), TFSI (Turbocharged Fuel Stratified Injection), VVTI (Variable Valve Timing Intelligent), VTEK (Variable Valve Timing and Lift Electronic Control), GDI (Gasoline Direct Injection), необходимо выбрать ЭБУ с 32-битным процессором.

Кроме того, является желательным наличие функции «Автоадаптация», с помощью которой подбираются параметры впрыска газа исходя из условий работы ДВС.

В целом при выборе ГБО немаловажно обращать внимание на гарантийные обязательства производителя: дата начала гарантии одних производителей начинается с даты производства, у других – с даты установки ГБО на автомобиль.

Система питания газообразным топливом, как и любая другая система, в процессе эксплуатации подвержена влиянию различных факторов, влияющих на ее характеристики. В этой связи вопросы качественного технического обслуживания (ТО) ГБО являются чрезвычайно важными. При этом особое внимание необходимо уделять замечаниям владельца

транспортного средства, так как только он может рассказать об изменениях в работе автомобиля.

В таблице приведен пример анкеты, которую предлагается заполнять владельцу транспортного средства перед передачей его на техническое обслуживание. Ответы на вопросы анкеты позволят мастеру спланировать необходимые операции по техническому обслуживанию ГБО.

Вопросы 1 и 2 анкеты являются справочными для мастера – по этим данным рекомендуется подготовить необходимое оборудование и методические указания, касающиеся ТО конкретного ГБО.

Ответы на вопросы 3, 4 важны для понимания необходимых операций в соответствии с регламентом технического обслуживания от производителя ГБО. При этом, если в ответе на вопрос 4, указанное значение пробега после

предыдущего обслуживания значительно отличается от рекомендованного производителем, важно обратить на это внимание владельца и рекомендовать ему произвести следующее ТО при достижении соответствующего пробега. Желательно наклеить информационную табличку в подкапотное пространство, где указать пробег, соответствующий следующему ТО.

Ответы на вопросы 5–8 свидетельствуют о состоянии системы питания СУГ. Если владелец замечал значительное ухудшение мощностных характеристик автомобиля, увеличение расхода топлива, то с большой вероятностью это может быть признаком неисправности газовых форсунок, засорения фильтров. В этом случае для исключения полного отказа системы необходимо произвести ее углубленную диагностику с выполнением соответствующих ремонтных работ.

Пример анкеты водителя

№ п/п	Вопрос	Ответ
1	Марка, модель автомобиля	
2	Марка, тип установленного ГБО	
3	Общий пробег автомобиля после установки ГБО, км	
4	Пробег автомобиля после прохождения последнего технического обслуживания ГБО	
5	Преимущественный режим эксплуатации ТС: городской/смешанный/загородный	
6	Заметна ли значительная разница между эксплуатацией транспортного средства при использовании бензина и СУГ: да/нет	
7	Наблюдалось ли ухудшение мощностных характеристик двигателя с момента последнего технического обслуживания ГБО: да/нет.	
8	Наблюдалось ли заметное увеличение расхода топлива с момента последнего технического обслуживания ГБО: да/нет.	
9	Были ли случаи отказа системы питания газовым топливом с момента последнего ТО: да/нет	
10	В случае наличия отказов опишите условия, при которых произошел отказ и условия, при которых удалось вернуть работоспособность системы	
11	Дополнительные замечания по работе ГБО	

Ответы на вопросы 9, 10 интересны с точки зрения причин появления неисправностей с момента последнего ТО: выход из строя отдельных элементов ГБО, неправильный подбор или настройка оборудования и т. п. Например, жалобы на проблемы автомобиля при резком разгоне, сопровождающиеся переключением системы на использование бензина, зачастую вызваны ошибкой при настройке редуктора. При резком открытии дроссельной заслонки происходит падение давления газа, что может привести к нехватке топлива, поступающего в цилиндры двигателя. В этом случае необхо-

димо отрегулировать давление на выходе из редуктора. Например, на одном из популярных редукторов TOMASETTO Alaska (см. рисунок) винт регулировки находится на передней части корпуса.

Также возможен случай несоответствия мощности редуктора мощности двигателя. Косвенный признак данного явления – неполный прогрев редуктора, так как количество проходящего через него газа не соответствует расчетному.

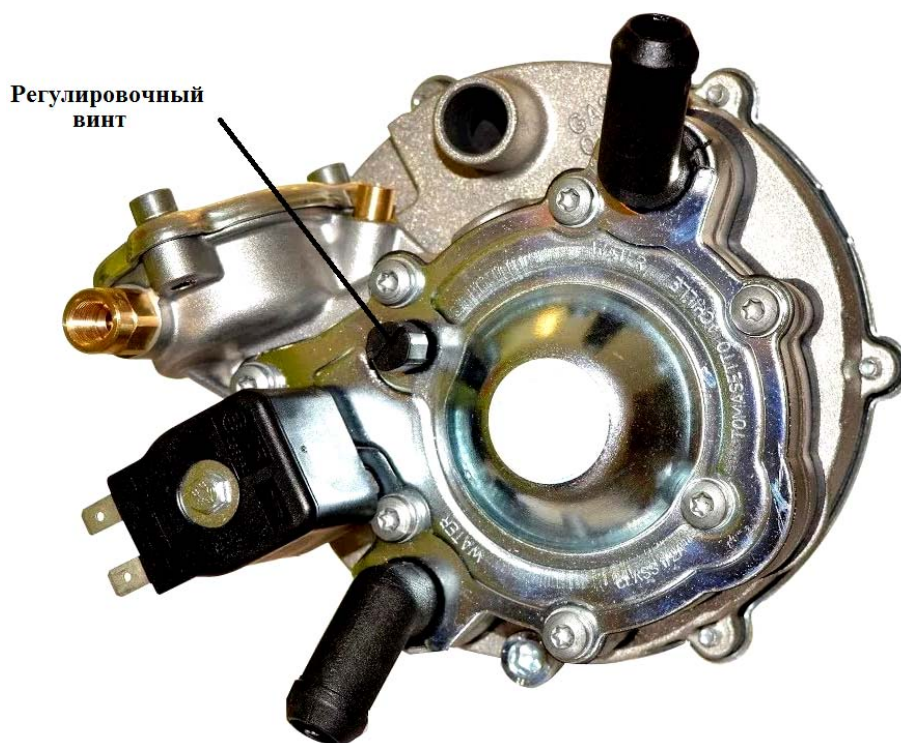
Как известно, газовый блок управления получает информацию о времени открытия бен-

зиновых форсунок, корректирует это значение по особому алгоритму и дает команду на открытие газовых форсунок на определенную величину [2]. Можно считать, что время открытия газовой форсунки равно соответствующему времени открытия бензиновой форсунки, умноженному на коэффициент пересчета. Изменяя коэффициенты пересчета, можно менять смесеобразование для улучшения результатов, полученных после автоматической калибровки системы. Данные коэффициенты хранятся в памяти блока в виде массива, называемого топливной картой (картой коэффициентов впрыска или, просто, картой впрыска).

Так как в процессе эксплуатации ГБО происходит изменение параметров работы системы питания бензином, карты впрыска требуют определенной корректировки. Рекомендуется ка-

ждое второе техническое обслуживание или при наличии замечаний владельца об ухудшении характеристик двигателя производить повторный сбор топливной карты.

Кроме того, исходными данными для корректировки топливной карты при ТО ГБО будет служить ответ на вопрос 5 из анкеты водителя. Для случая, когда машина используется в личных целях в городском цикле езды, рекомендуется коэффициенты впрыска уменьшать с целью улучшения экономических и экологических характеристик ДВС. При подготовке автомобиля к междугороднему пробегу рекомендуется выбрать средние коэффициенты, как наиболее оптимальные. При работе транспортного средства с большой нагрузкой (например, при осуществлении грузоперевозок) для улучшения мощностных характеристик разумно коэффициенты увеличить.



Редуктор TOMASETTO Alaska

Если программное обеспечение газового ЭБУ имеет возможность автоматически в процессе работы (например, каждые 50 моточасов) производить сбор топливных карт и расчет поправочных коэффициентов, целесообразно активировать эту функцию (функция «автосбор карт» и «автоподстройка множителя»). При активации данной возможности необходимо предупредить владельца, так как при сборе карт система будет автоматически переходить на

использование бензина в качестве топлива.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Снижение расхода сжиженного углеводородного газа ДВС с искровым зажиганием за счет настроек газобаллонного оборудования / Е. А. Захаров [и др.] // Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. – 2016. – № 5(17). – С. 44–47.
2. Захаров, Е. А. Газобаллонное оборудование автомобилей: учеб. пособ. / Е. А. Захаров, Ю. И. Моисеев. – ВолгГТУ, Волгоград, 2015. – 88 с.

УДК 534.232

*М. А. Карпов, А. И. Нефедьев***ПРИМЕНЕНИЕ ШУМОПОДОБНЫХ СИГНАЛОВ
ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПОДВОДНЫХ СЕТЕЙ СБОРА ДАННЫХ****Волгоградский государственный технический университет**

e-mail: nefediev@rambler.ru

Рассмотрены гидроакустические системы сбора данных, их достоинства и недостатки. Выявлены пути увеличения качества принимаемой информации станциями и системами гидроакустической связи. Определены условия построения сетей гидроакустической связи для достижения высокой скорости передачи информации и высокой автономности. Приведена структурная схема узла сети гидроакустической системы сбора данных. Разработан алгоритм программной реализации формирования шумоподобного сигнала.

Ключевые слова: гидроакустическая система, сеть, шумоподобный сигнал, информация, донная станция, гидроакустический датчик.

*М. А. Karpov, A. I. Nefed'ev***APPLICATION OF NOISE-LIKE SIGNALS FOR CREATING
UNDERWATER DATA COLLECTION NETWORKS****Volgograd State Technical University**

Hydroacoustic data acquisition systems, their advantages and disadvantages are considered. The ways of increasing the quality of received information by stations and hydroacoustic communication systems are identified. The conditions for the construction of networks of hydro-acoustic communication to achieve high speed information transmission and high autonomy are determined. A block diagram of the network node of the hydroacoustic data acquisition system is given. An algorithm for software implementation of the formation of a noise-like signal has been developed.

Keywords: hydroacoustic system, network, noise-like signal, information, bottom station, hydroacoustic sensor.

Гидроакустика как явление хорошо известно и широко используется в различных областях деятельности человека. Гидроакустика помогает решать гражданские и военные задачи, такие как поиск движущихся подводных объектов, осуществляется морская навигация, подводная связь, рыбопоисковая разведка, океанологические исследования, прогнозируются стихийные бедствия, извержения вулканов, цунами и многое другое.

В настоящее время работами в области гидроакустики занимаются многие промышленные и научно-исследовательские организации, такие как Link Quest и Benthos Inc. (США), Sonardyne и Aquatec (Великобритания), Evologics (Германия), Kongsberg Maritime (Норвегия), IXSEA (Бельгия), НИИ гидросвязи «Штиль», Институт проблем морских технологий ДВО РАН, Опытнo-конструкторское бюро океанологической техники РАН, Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН (Россия), и др.

Но несмотря на востребованность данного явления, его широкое использование было невозможно по причинам очень низкой скорости распространения звуковой волны, отсутствию вычислительной базы для реализации высоких скоростей обмена информацией и др. Ранее

в гидроакустике для организации подводной связи использовались системы с использованием дискретной частотной модуляции с некогерентным приемом данных, но такие системы имели принципиальное ограничение скорости передачи данных [1].

Потребность в высокой скорости передачи данных на большие расстояния привела к появлению систем узконаправленного действия с когерентными методами приема. В настоящее время широкое распространение микропроцессоров с высокой вычислительной мощностью сделало возможным использование когерентного приема в гидроакустической связи, что позволило как передавать информацию на дальние расстояния, так и организовывать сети для передачи информации под водой с обеспечением связи с внешними сетями [2].

При традиционном подходе при исследовании дна океана или толщи воды разворачиваются океанографические датчики, производится запись данных, и впоследствии оборудование с данными поднимается на поверхность. Недостатки такого подхода следующие:

— данные не могут быть переданы на поверхность, пока донная станция находится на дне;

– отсутствует связь между оборудованием, находящимся под водой, и пользователем, поэтому невозможно быстро переконфигурировать систему.

– при отказе оборудования донной станции в подводном положении все данные могут быть полностью потеряны, или сбор данных может остановиться.

При необходимости контроля областей океанской поверхности в реальном масштабе времени и в течение длинных промежутков времени идеальным является решение подключить донные станции с контролирующими центрами посредством беспроводной связи.

При использовании подводных сетей связи необходимо соблюдать следующие условия:

– передача информации между узлами должна осуществляться без потерь в условиях шума;

– оптимальное использование ресурсов сети;

– оптимальные затраты энергии;

– решение проблем маршрутизации, что позволяет определить оптимальный маршрут между узлами коммутации или абонентскими пунктами пользователей по заданным параметрам связи, например, количество транзитных узлов коммутации, время задержки в элементах сети при передаче информации между абонентами, а также надежность элементов сети.

Подводные акустические сети состоят из автономных донных и поверхностных станций, которые являются шлюзами, и обеспечивают радиосвязь с береговыми станциями. Ключевой особенностью таких сетей является низкая пропускная способность акустических каналов передачи, большое время ожидания, которое определяется низкой скоростью распространения звука, и высоким уровнем шума. Особенностью подводных акустических сетей является самоконфигурирование узлов, которые должны автоматически адаптироваться к параметрам окружающей среды.

Данные от гидролокационного устройства поступают на донные станции и датчики гидроакустической сети связи. Гидроакустическая сеть состоит из большого числа неподвижных датчиков, и передает информацию, состоящую из нескольких океанических параметров, например, солености воды, температуры воды и подводных потоков. На поверхности располагаются станции, которые являются шлюзами, и обеспечивают радиосвязь с береговыми станциями. Абонентами таких сетей могут быть ме-

теорологические станции, добывающая и промысловая промышленность, и другие. Информация также может быть передана в обратном направлении, например, подводный аппарат может через внешние системы осуществить обмен данными с подводной сетью [3].

Основные подводные акустические сети формируются путем установки системы гидроакустической связи на узлы, которые представляют собой автономные подводные станции. Расположенные на берегу пользователи имеют возможность получать данные в реальном масштабе времени от большого количества донных станций. После оценки полученных данных у них имеется возможность послать сообщения для управления любой из этих станций. Так как данные не хранятся на донной станции, то их потеря из-за отказа оборудования исключена.

На сегодняшний день основной проблемой любых донных станций является обеспечение их электропитанием. Процесс замены источника энергии является сложным и дорогостоящим процессом, поскольку включает в себя поиск донной станции, подъем ее на поверхность, и обратное погружение. Электроэнергия является самым ценным ресурсом, особенно в случае ее использования на подводных аппаратах [5, 6].

Реализации подводной сети требует разработки для узлов сети гидроакустической системы связи с малым потреблением энергии. Для этого предлагается передавать информацию шумоподобными фазоманипулированными сигналами в режиме коротких сообщений.

Применение шумоподобных сигналов позволит снизить отношение сигнал/помеха по напряжению на входе приемника и снизить энергетических затраты на стороне передатчика, без уменьшения дальности связи [7, 8]. Структурная схема узла сети представлена на рисунке.



Структурная схема узла

Каждый узел сети имеет свой уникальный адрес, задаваемый законом формирования шу-

моподобного сигнала. Перед развертыванием сети необходимо каждому узлу задать его адрес, и указать его соседей. Обработка шумоподобных сигналов для получения информации требует высокой производительности и, как следствие, большого потребления энергии. Однако большую часть времени донная станция находится в режиме сбора данных, а время приема и передачи данных является асинхронным. Поэтому целесообразно запускать высокопроизводительный вычислитель только в моменты приема сообщений. Для решения этой проблемы предлагается использовать пробуждающий сигнал, обнаружение и прием которого требует меньших вычислительных мощностей [4].

На энергопотребление устройства также оказывает влияние скорость передачи данных:

$$\nu = \frac{N_d}{T_{изл}} = \frac{nk \log_2(N_s)}{nkt_d + nt_c + n(k+1)t_{зи}},$$

где t_d – длительность информационного слова, $t_{зи}$ – длительность защитного интервала, t_c – длительность синхронизирующей последовательности, N_d – количество передаваемых данных в информационном сообщении, $T_{изл}$ – длительность излучения.

Для программной реализации формирования сигнала был использован следующий алгоритм: при получении данных от управляющей ЭВМ, микроконтроллер производит формирование кодовых последовательностей синхронизирующего и информационного сигнала, которые служат для получения шумоподобного сиг-

нала, далее производится формирование и фазовая манипуляция несущего сигнала в соответствии с кодовыми последовательностями. Каждому элементу последовательности может соответствовать от 2-х до 4-х периодов несущего сигнала, начальная фаза колебаний сигнала зависит от значения элемента кодовой последовательности. Частота несущего сигнала формируется по методу прямого цифрового синтеза частоты, основа генератора несущих колебаний – фазовый аккумулятор, управляемый заданной частотой и накапливающий приращение фазы с каждым тактом системной частоты синхронизации. Размер приращения фазы определяет эффективную выходную частоту системы.

Программная реализация приемника сигнала заключается в использовании корреляционных методов обработки сигнала и применении алгоритмов быстрого преобразования Уолша-Адамара [9].

Основными проблемами, требующими решения при разработке подводных сетей, являются ограниченная полоса пропускания и затухание гидроакустического сигнала, рассеяние и многолучевое распространение сигнала, дисперсия скорости распространения гидроакустического сигнала из-за неоднородности среды и высокая динамика изменения параметров распространения, высокая стоимость подводных сенсоров, ограниченный ресурс источников питания.

Влияние затухания сигнала можно оценить по эмпирической формуле Марша и Шулькина [10]:

$$\beta = r \cdot \left[\frac{2,03 \cdot 10^{-2} S \cdot f_{Tm} \cdot f^2}{f_{Tm}^2 + f^2} + \frac{2,93 \cdot 10^{-2} \cdot f^2}{f_{Tm}} \right] \cdot (1 - 6,54 \cdot 10^{-4} \cdot P),$$

где β – коэффициент затухания, r – расстояние, S – соленость, f_{Tm} – функция температуры, f – частота сигнала.

Для оценочных расчетов применяют формулу Шихи и Хелли [11]:

$$\beta = 0,036 f^{3/2}.$$

Одной из важных проблем применения подводных сетей является увеличение времени их автономной работы.

Решением данной проблемы является применение шумоподобных сигналов, которые позволяют снизить требуемое соотношение сигнала/шум на стороне приемника, что в свою очередь позволяет уменьшить мощность, затрачиваемую на передачу. Дальнейшее увеличение времени автономной работы может быть обес-

печено разработкой алгоритмов маршрутизации, которые позволят повысить эффективность работы сети.

Подводные сети сбора данных имеют хорошие перспективы развития, так как они могут применяться для обнаружения движущихся подводных объектов, управления движением судов, сбора данных, которые могут использовать военные центры, метеорологические станции, промысловая и добывающая промышленность и другие.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Клюкин, И. И. Звук и море / И. И. Клюкин. – Л.: Наука, 1984. – 247 с.
2. Новиков, С. Н. Методы маршрутизации на цифровых широкополосных сетях связи: Ч. 1. Уч. пособие /

С. Н. Новиков. – Новосибирск: 2000. – 84 с.

3. Proakis, J. G. Shallow Water Acoustic Networks / J.G. Proakis, J.A. Rice, E.M. Sozer, M. Stojanovic // IEEE Communications Magazine. – 2001, November.

4. Крук, Б. И. Телекоммуникационные сети и системы / Б. И. Крук, В. И. Попантопуло, В. П. Шувалов. – Новосибирск : Наука, 1998. – 536 с.

5. Коротченко, Р. А. Информационная система для сбора и обработки гидроакустических данных на морском шельфе : дис. ... канд. техн. наук / Коротченко Р. А. – Владивосток : Тихоокеанский океанологический институт, 2007. – 305 с.

6. Матвиенко, Ю. В. Гидроакустический комплекс навигации подводного робота : дис. ... д-ра техн. наук / Ю. В. Матвиенко. – Владивосток : ИПМТ, 2004. – 280 с.

7. Варакин, Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами / Л. Е. Варакин. – М. : Радио и связь, 1985. – 384 с.

8. Макаров, А. И. Передача информации в гидроакустическом канале / А. И. Макаров, В. Д. Дворников, В. К. Конопелько // БГУИР. – 2004. – № 2. – С. 103–118.

9. Ахмед, Н. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов / Н. Ахмед, К. Р. Рао. – М.: Связь, 1980. – 248 с.

10. Евтютов, А. П. Инженерные расчеты в гидроакустике / А. П. Евтютов, В. Б. Митько. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Судостроение, 1988. – 288 с.

11. Гидроакустическая техника исследования и освоения океана / Под. ред. А. В. Богородского, – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 266 с.

УДК 622.78.8:558

А. И. Нефедьев, А. А. Коноваленко

ДАТЧИК НАЛИЧИЯ ПЛАМЕНИ ДЛЯ КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: nefediev@rambler.ru

Статья посвящена актуальному вопросу обеспечения безопасности котельных установок благодаря устройству контроля наличия пламени. Приведены сведения о методах и устройствах для контроля пламени, описываются их преимущества и недостатки. Рассматривается проблема обеспечения безаварийной работы котлов. Предложена конструкция опто-ионизационного датчика контроля пламени, приведены его основные параметры. Показано, что получение повышенной надежности определения наличия пламени возможно путем сочетания в одном устройстве двух различных датчиков, работающих на двух принципиально независимых друг от друга принципах, и имеющих общее устройство обработки сигналов.

Ключевые слова: датчик пламени; котельная установка; структурная надежность.

A. I. Nefed'yev, A. A. Konovalenko

FLAME SENSOR FOR BOILER INSTALLATION

Volgograd State Technical University

The article is devoted to the topical issue of ensuring the safety of boiler plants through a device controlling the presence of a flame. Information on methods and devices for flame control is given, their advantages and disadvantages are described. The problem of ensuring trouble-free operation of boilers is considered. The design of the opto-ionization flame control sensor is proposed, its main parameters are given. It is shown that obtaining increased reliability of determining the presence of a flame is possible by combining in one device two different sensors operating on two fundamentally independent principles from each other, and having a common signal processing device.

Keywords: flame sensor; boiler installation; structural reliability.

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

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

ность работы котельных установок всецело зависит от правильного выбора датчиков контроля пламени [4].

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

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

Также часто используется ионизационный метод контроля, основанный на использовании электрических свойств пламени. Работа датчика ионизации основана на фиксировании электрических процессов, возникающих и протекающих в пламени. К таким процессам можно отнести способность пламени проводить ток, возбуждать в электродах, помещенных в пламя, собственную э.д.с., выпрямлять переменный ток, что во всех случаях обуславливается степенью ионизации пламени. Преимуществом ионизационного метода является безынерцион-

ность, так как при погасании контролируемого пламени ионизационные процессы сразу прекращаются, что приводит к практически мгновенному отключению подачи газа в горелки котла. Недостатком ионизационного метода контроля является нестабильная работа в условиях с интенсивно запыленной рабочей атмосферой, а также в условиях сильного вихревого движения газов. Ионизационный контроль надежно работает в условиях прямоструйного факела, не имеющего застойных вихревых зон.

Надежность работы датчика пламени и надежность всей системы защиты от погасания пламени зависят как от правильного выбора типа датчика, так и от места и способа его установки. Все типы датчиков пламени имеют определенные достоинства и недостатки, и неправильный выбор типа датчика или его неправильная установка может вызвать возникновение ложного сигнала. Для снижения вероятности ошибки обнаружения пламени при выборе датчиков для конкретного проекта необходимо принимать во внимание все их особенности [7].

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

Для решения этой задачи был разработан датчик контроля пламени горелки комбинированного типа, сочетающий в себе оптический и ионизационный принципы работы [8]. В оптической части разработанного датчика происходит выделение и усиление переменного сигнала, возникающего в процессе горения. Так как при горении топлива образуются пульсации яркости пламени горелки, то они являются индикатором процесса горения, и преобразуются в электрический сигнал при помощи фотодатчика, сигнал с которого усиливается, нормализуется по амплитуде, и поступает в устройство обработки сигнала. Второй датчик работает на ионизационном принципе, при этом ток между его электродами проходит только при наличии пламени. Таким образом, сигнал на выходе второго датчика появляется также только при наличии пламени. При отсутствии пламени ток между электродами датчика не протекает.

Конструкция разработанного опто-ионизационного датчика контроля пламени горелки котельной установки приведена на рис. 1. Датчик состоит из оптической системы ОС, пред-

ставляющей собой стержень из кварцевого стекла, помещенного в защитную оболочку, датчика ионизации ДИ, представляющей собой керамический стержень, внутри которого находятся два электрода из жаропрочной стали, и корпус, вну-

три которого находятся устройство обработки сигналов и на котором установлены разъем Р1 для подключения к устройству автоматики, и разъем питания Р2.

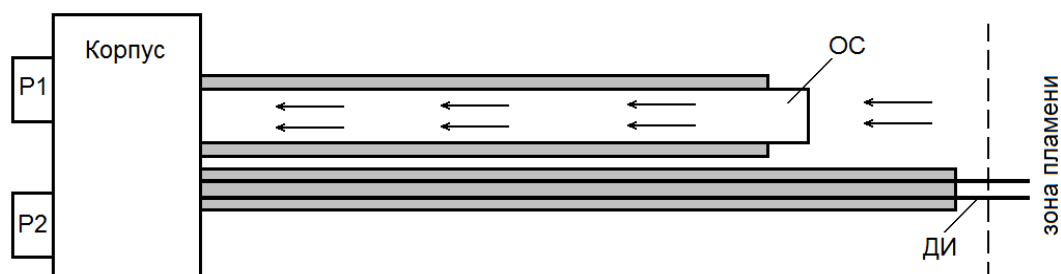


Рис. 1. Опто-ионизационный датчик контроля пламени

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

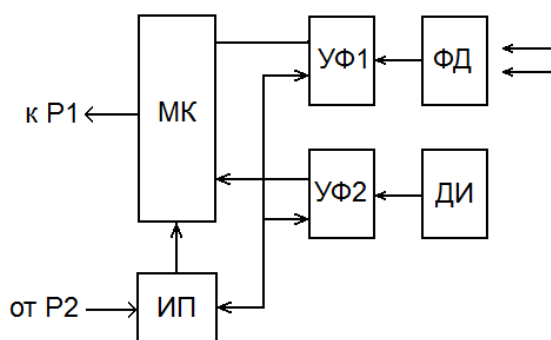


Рис. 2. Структурная схема устройства обработки сигналов

При наличии пульсаций пламени на выходе фотодатчика ФД возникают сигналы переменной амплитуды (высокочастотные пульсации яркости факела), которые усиливаются при помощи усилителя-формователя УФ1, приво-

дятся к логическим уровням и подаются на один из входов микроконтроллера МК.

Через электроды ионизационного датчика ДИ протекает ток также только при наличии пламени. Сигнал с датчика ионизации также усиливается, приводится к логическим уровням при помощи усилителя-формователя УФ2 и подается на второй вход микроконтроллера, который производит обработку сигналов с фотодатчика ФД и датчика ионизации ДИ, и формирует управляющий сигнал для блока автоматики котла, одновременно отражая наличие/отсутствие пламени на световом индикаторе.

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

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

Параметры опто-ионизационного датчика:

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

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

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

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

УДК 621.436.1

И. А. Кустов, Е. А. Федянов

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДА ОТКЛЮЧЕНИЯ ЦИЛИНДРОВ КАК СПОСОБА ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ТОПЛИВНОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ С ИСКРОВОМ ЗАЖИГАНИЕМ И ДИЗЕЛЕЙ

Волгоградский государственный технический университет
e-mail: tig@vstu.ru

Проведено сравнение эффективности метода отключения цилиндров как способа повышения эксплуатационной топливной экономичности двигателей с искровым зажиганием и дизелей. Сделан вывод о большей эффективности метода на двигателях с искровым зажиганием. Изложена методика расчетной оценки величины снижения удельного расхода топлива за счет отключения части цилиндров на режимах малых нагрузок. На примере двигателей с искровым зажиганием показано, что эффективность метода растет с увеличением числа цилиндров двигателя.

Ключевые слова: метод отключения цилиндров, удельный эффективный расход топлива.

I. A. Kustov, E. A. Fedyanov

COMPARISON OF EFFICIENCY OF THE CYLINDERS DISTRIBUTION METHOD FOR INCREASING THE OPERATIONAL FUEL ECONOMY OF SPARK IGNITING ENGINES AND DIESELS

Volgograd State Technical University

A comparison was made of the effectiveness of the method of deactivating cylinders as a way to increase the operational fuel efficiency of spark ignited engines and diesel engines. It is concluded that the method is more efficient on spark-ignition engines. The method of calculating the estimated value of reducing the specific fuel consumption by shutting off part of the cylinders at low loads is described. Using the example of spark ignition engines, it is shown that the efficiency of the method increases with an increase in the number of engine cylinders.

Keywords: cylinder shutdown method, specific fuel consumption.

Одним из способов уменьшения эксплуатационного расхода топлива автомобильными многоцилиндровыми двигателями внутреннего сгорания является отключение при их работе на неполных нагрузках части цилиндров. Исследования, например [1], проведенные на различных моделях двигателей, подтвердили эффективность этого метода, обнаружив вместе с тем ряд проблем, сдерживающих его широкое применение.

Увеличение удельного расхода топлива по мере снижения нагрузки характерно для всех типов двигателей внутреннего сгорания и является следствием увеличения доли индикаторной работы, которая идет на компенсацию механических потерь, включая потери на газообмен. В двигателях с искровым зажиганием вследствие дросселирования на впуске потери на газообмен нарастают по мере снижения нагрузки быстрее, чем в дизелях. По этой причине эффективность метода отключения части цилиндров в двигателях с искровым зажиганием должна быть выше.

Для сравнения эффективности в двигателях с искровым зажиганием и в дизелях метода отключения части цилиндров нами были сопоставлены расчетные значения относительной величины снижения удельного расхода топлива двух восьмицилиндровых двигателей: бензинового двигателя с искровым зажиганием БМВ Р65 рабочим объемом 5 дм³ и дизеля КАМАЗ 740.50-260 рабочим объемом 10,5 дм³.

Расчет выполнен по методике, использованной в работах РУДН (г. Москва) [2]. Эта ме-

тодика предполагает наличие многопараметровых характеристик двигателей и базируется на понятии удельной работы, то есть работы, совершаемой двигателем за один оборот в расчете на единицу рабочего объема:

$$L_{es} = L_e / (i_w \cdot V_h), \quad (1)$$

где L_{es} – удельная работа, L_e – полная работа, совершаемая двигателем за один оборот вала, i_w – число работающих цилиндров двигателя, V_h – рабочий объем одного цилиндра. Полная работа, совершаемая двигателем за один оборот вала, связана с величиной эффективного крутящего момента очевидным соотношением:

$$L_e = 2\pi \cdot M_e. \quad (2)$$

В случае, когда работают все цилиндры

$$L_{es} = L_e / (i \cdot V_h), \quad (3)$$

где i – общее число цилиндров двигателя.

Требуемая величина удельной работы при отключении части цилиндров вычисляется по формуле:

$$L_{es} = 2\pi \cdot M_e / (i_w \cdot V_h). \quad (4)$$

Зная при заданном числе работающих цилиндров требуемую величину удельной работы, можно по многопараметровой характеристике, построенной в координатах $L_{es} - n$, где n – частота вращения коленчатого вала, определить величину удельного эффективного расхода топлива. На рис. 1 в качестве примера представлена построенная в координатах $L_{es} - n$ многопараметровая характеристика дизеля КАМАЗ 740.50-260 [3].

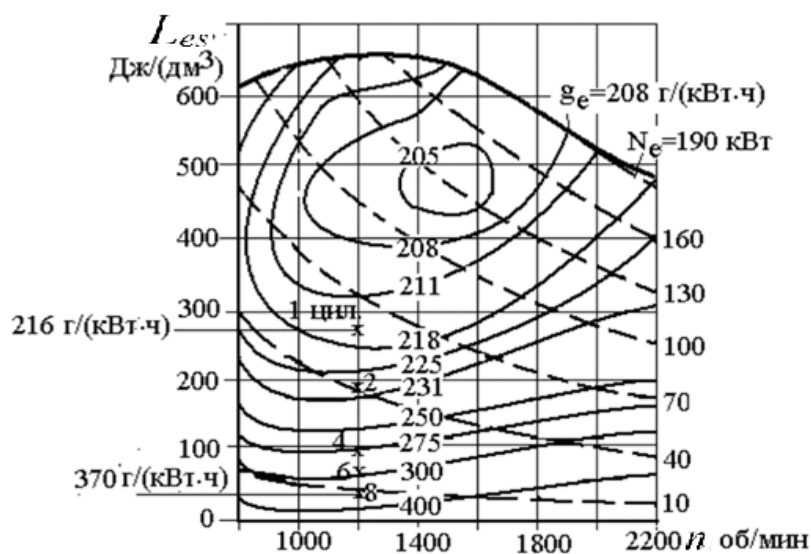


Рис 1. Универсальная многопараметровая характеристика полноразмерного дизеля КАМАЗ 740.50-260, построенная в координатах $L_{es} - n$

Следует отметить, что изложенная выше методика расчетов не учитывает затраты работы на преодоление механических сопротивлений в неработающих цилиндрах, то есть предполагает, что неработающие цилиндры отключаются полностью с остановкой поршней. Практически такой способ отключения цилиндров реализовать крайне затруднительно, и обычно цилиндры отключают, прекращая подачу топлива. В некоторых конструкциях предусмотрено открытие клапанов. Если цилиндры отключаются так, что движение поршней не прекращается и, следовательно, механические потери остаются, то изложенный метод расчета дает заметную погрешность в определении величины удельного расхода топлива. Для сравнения эффективности метода отключения цилиндров на разных типах двигателей эта погрешность не играет принципиальной роли, так как со-

держится во всех сравниваемых величинах.

На рис. 2 представлены расчетные зависимости величины относительного снижения удельного эффективного расхода топлива от относительной нагрузки при различном числе работающих цилиндров дизеля КАМАЗ 740.50-260 и бензинового двигателя BMW P65. Сопоставление приведенных зависимостей подтверждает предположение о том, что метод отключения цилиндров дает заметно больший эффект на двигателях с принудительным зажиганием, на которых с понижением нагрузки растет абсолютное значение потерь на газообмен. Так, например, во всем рассмотренном диапазоне относительных нагрузок отключение шести цилиндров из восьми в двигателе BMW дает примерно вдвое большее снижение удельного эффективного расхода топлива, чем в дизеле КАМАЗ.

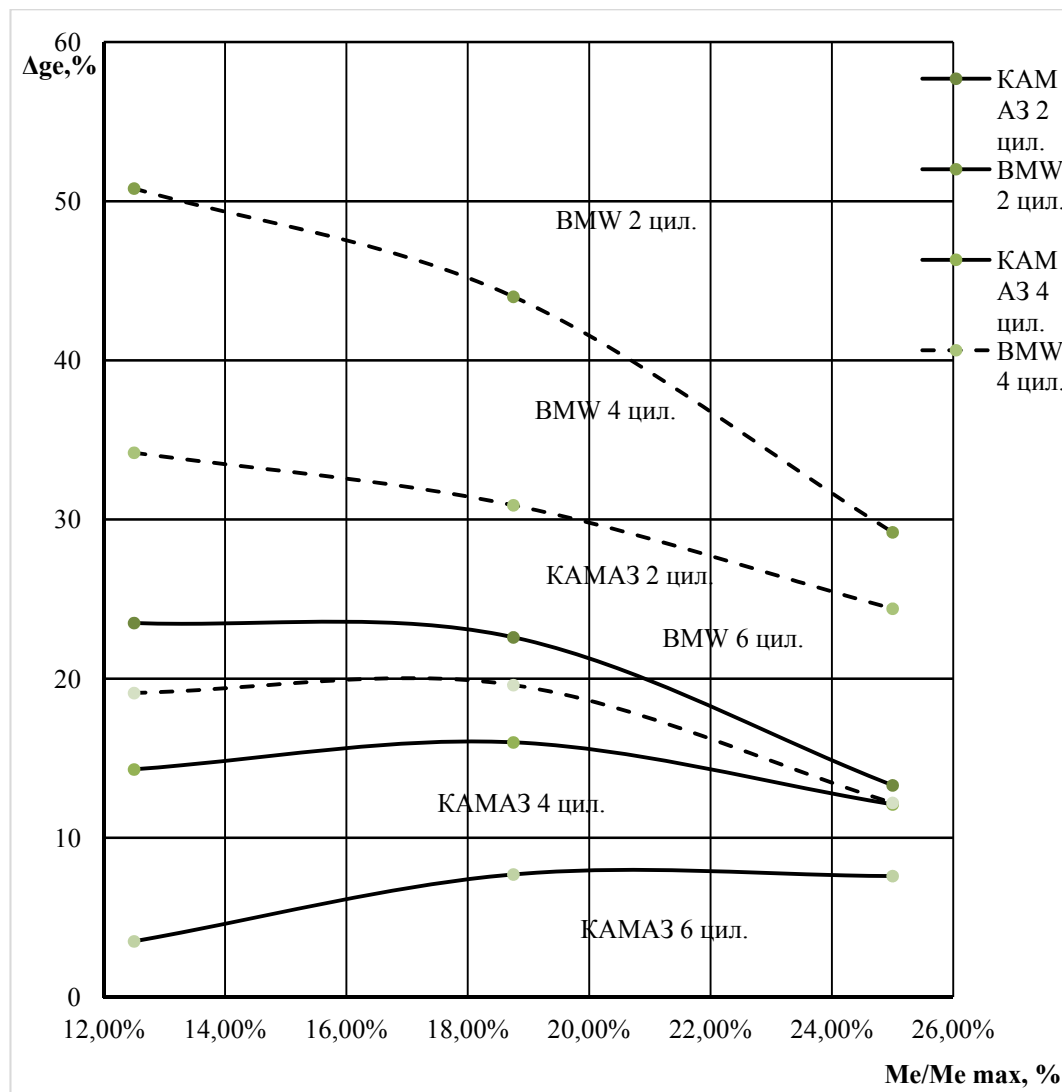


Рис. 2. Величины относительного снижения удельного эффективного расхода топлива от относительной нагрузки при различном числе работающих цилиндров дизеля КАМАЗ 740.50-260 и бензинового двигателя BMW P65

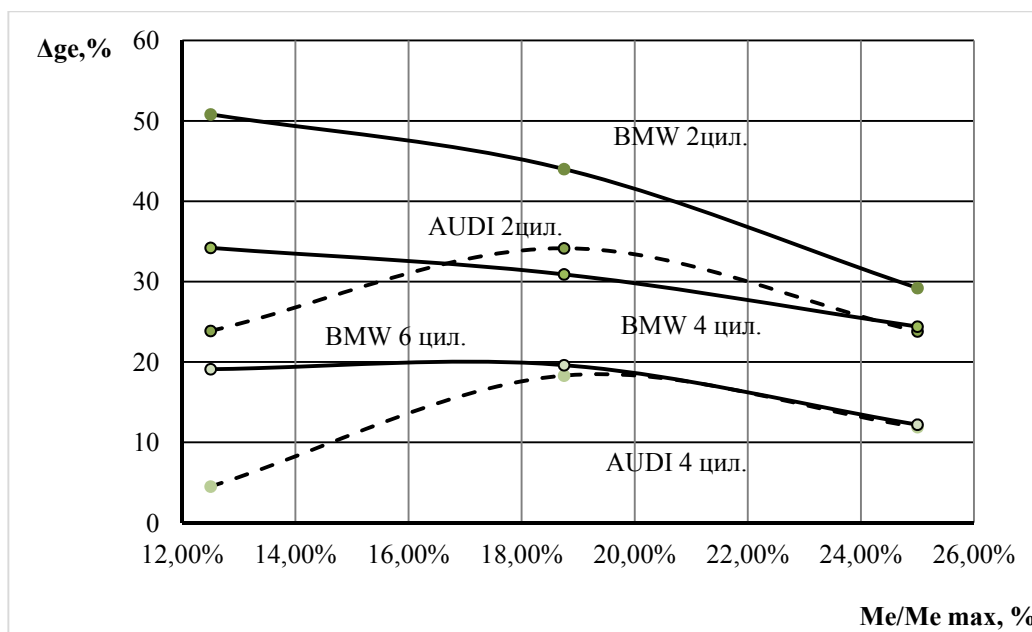


Рис. 3. Величины относительного снижения удельного эффективного расхода топлива от относительной нагрузки двух моделей бензиновых двигателей, отличающихся числом цилиндров

Следует подчеркнуть, что сравнение эффективности метода отключения цилиндров для дизелей и двигателей легкого топлива с принудительным зажиганием необходимо проводить на двигателях с одинаковым числом цилиндров. Только в этом случае относительный вклад каждого из работающих цилиндров в общую работу двигателя будет совпадать. На двигателях с разным числом цилиндров доля от общей работы двигателя, приходящаяся на один цилиндр, неодинакова. Для подтверждения изложенного на рис. 3 приведено сопоставление эффективности метода отключения цилиндров для двух двигателей с принудительным искровым зажиганием, первый из которых: BMW P65, имеет 8 цилиндров, а второй: Audi-100, –

6 цилиндров. Как видно из графика, при двух работающих цилиндрах в двигателе BMW P65 экономия топлива существенно выше, чем при таком же числе работающих цилиндров в двигателе Audi-100.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Севастенко, Э. А. Регулирование двигателя с искровым зажиганием изменением его рабочего объема : дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02 / Севастенко Э. А. – Москва, 2016. – 128 с.
2. Петруня, И. А. Повышение эксплуатационной топливной экономичности транспортных дизелей регулированием их рабочих объемов : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Петруня И. А. – Москва, 2014. – 18 с.
3. Корнев, Б. А. Возможности повышения экономичности режимов малых нагрузок автотракторного дизеля типа Д-260 изменением его рабочего объема : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Корнев Б. А. – Москва, 2013. – 7 с.

УДК 621.437

Е. А. Федянов, Ю. В. Левин, Е. А. Захаров, С. Н. Шумский
УЛУЧШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
РОТОРНО-ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ
ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАЛЫХ ДОБАВОК ВОДОРОДА
Волгоградский государственный технический университет
 e-mail: tig@vstu.ru

В данной статье представлены результаты экспериментальных исследований влияния добавок свободного водорода к основному углеводородному топливу на экологические характеристики роторно-поршневого двигателя ВАЗ-311. Экспериментальные исследования показывают, что использование малых добавок водорода по массе позволяет снизить концентрацию несгоревших углеводородов и оксидов углерода в отработавших газах двигателя Ванкеля на режимах частичных нагрузок.

Ключевые слова: двигатель Ванкеля, бензин, добавка водорода, углеводород, оксид углерода, частичная нагрузка.

E. A. Fedyanov, Y. V. Levin, E. A. Zakharov, S.N. Shumskiy

IMPROVEMENT OF ENVIRONMENTAL INDICATORS OF THE ROTOR-PISTON ENGINE DUE TO THE USE OF SMALL ADDITIVES OF HYDROGEN

Volgograd State Technical University

The results of experimental research of the effect of free hydrogen additives to the main hydrocarbon fuel on the environmental indicators of a rotor-piston engine VAZ-311 are presented. Experimental studies show that the use of small amounts of hydrogen by weight makes it possible to reduce the concentration of unburned hydrocarbons and carbon monoxides in the exhaust gases of the Wankel engine on partial load regimes.

Keywords: Wankel engine, gasoline, hydrogen additive, hydrocarbon, carbon monoxide, partial load.

Роторно-поршневой двигатель, выполненный по схеме Ванкеля, более приспособлен для использования добавок водорода к основному топливу, чем традиционные поршневые двигатели. Отсутствие в конструкции РПД выпускного клапана и расположение свечи зажигания в специальных предкамерах резко снижает вероятность преждевременного воспламенения и взрыва топливовоздушной смеси, содержащей водород [1–3].

Использование добавок водорода к основному топливу РПД Ванкеля позволяет увеличить скорость распространения пламени в камере сгорания и, в результате чего, устранить один из недостатков РПД, а именно, недогорание топливовоздушной смеси у задней по ходу вращения вершины ротора [4, 5]. Уменьшение неполного сгорания топливовоздушной смеси за счет использования добавок водорода способствует снижению концентрации несгоревших углеводородов и оксидов углерода в отработавших газах РПД Ванкеля [6, 7].

На кафедре «Теплотехника и гидравлика» Волгоградского государственного технического университета проводятся исследования по организации рабочего процесса РПД при использовании малых добавок водорода к основному топливу [6–10].

Экспериментальные исследования по влиянию добавок водорода на экологические характеристики были проведены на односекционном РПД ВАЗ-311 с приведенным рабочим объемом 649 см³ и степенью сжатия 9,3. Данный стенд оснащен всеми измерительными системами, необходимыми для снятия стандартных характеристик двигателя. Подача водорода осуществляется через дополнительную форсунку во впускной коллектор, находящийся за дроссельным узлом [7].

Испытания проводились на режимах частичных нагрузок при частоте вращения эксцентрикового вала 2000 мин⁻¹. При этом углы опережения зажигания на обеих свечах устанавливались оптимальными для режима работы РПД с бензовоздушной смесью и не изменялись при использовании добавки водорода. Угол опережения зажигания для лидирующей свечи зажигания «L» составлял 26° по углу поворота эксцентрикового вала (ПЭВ) до ВМТ, для дожигающей свечи «Т» – 30° ПЭВ до ВМТ.

Контроль содержания углеводородов C_xH_y и оксида углерода СО в отработавших газах РПД осуществлялся с помощью газоанализатора АСКОН-02. Забор проб газов производился на глубине 300 мм от среза выпускного патрубка штатного глушителя, которым был оснащен двигатель ВАЗ-311 на стенде.

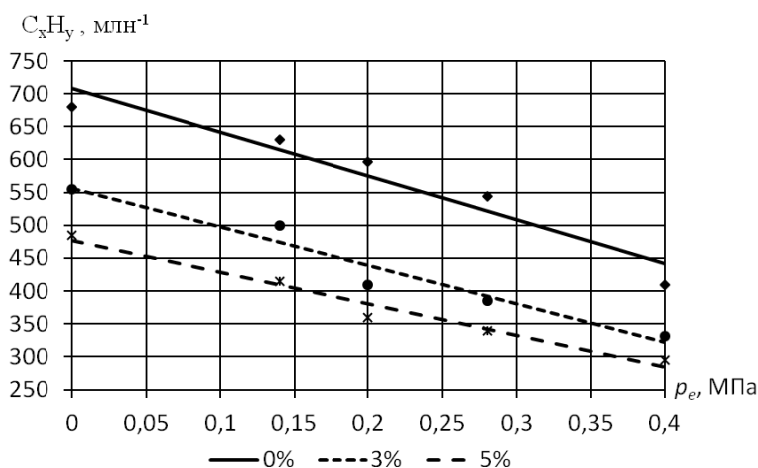


Рис. 1. Зависимость количества несгоревших углеводородов от эффективного давления ($n = 2000$ об/мин, $\alpha = 1$)

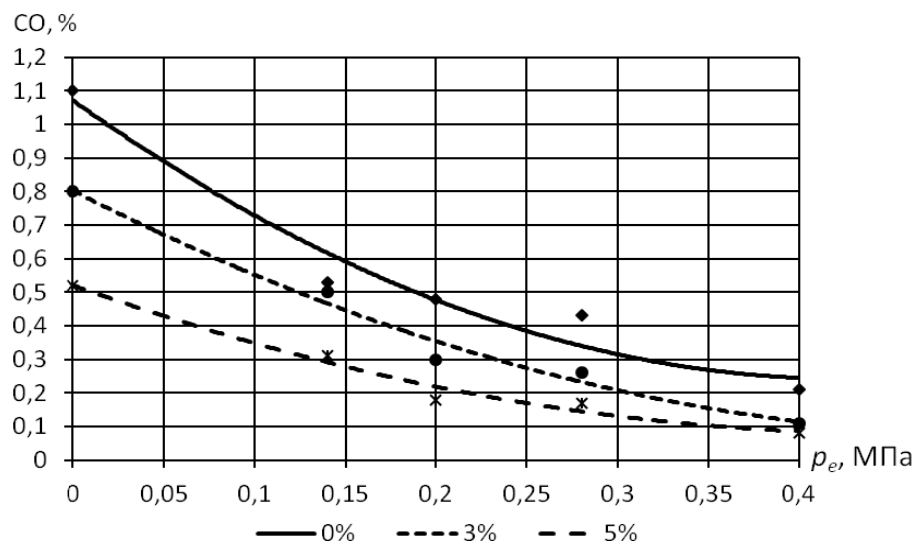


Рис. 2. Зависимость количества оксида углерода CO от нагрузочного режима работы РПД ($n = 2000$ об/мин, $\alpha = 1$)

На рис. 1 и 2 представлены построенные по результатам испытаний зависимости выбросов несгоревших углеводородов и оксида углерода от нагрузочного режима работы РПД. Верхние кривые на рисунках построены по результатам испытаний РПД, работавшего без добавок водорода. Две другие кривые на каждом из графиков получены по результатам испытаний РПД с добавкой 3 и 5 % водорода, соответственно. При всех нагрузках и всех добавках водорода топливовоздушная смесь была стехиометрической.

Как видно из рис. 1, за счет добавки 5 % водорода содержание несгоревших углеводородов в отработавших газах уменьшилось в исследованном диапазоне нагрузок в 1,45 .. 1,55 раза. Содержание оксида углерода в том же диапазоне нагрузок (см. рис. 2) снизилось практически вдвое.

Представляет интерес оценка возможностей дополнительного снижения содержания токсичных компонентов на нагрузочных режимах работы двигателя за счет обеднения топливовоздушной смеси. Такая оценка была проведена на основе результатов измерения содержания несгоревших углеводородов и оксида углерода в отработавших газах двигателя Ванкеля ВАЗ-311 при различных регулировках по величине коэффициента избытка воздуха. Обеднение в ходе этих опытов достигалось уменьшением подачи бензина, при этом соответствующим образом уменьшалась и подача водорода с тем, чтобы не изменялась доля добавляемого водорода. За исходную точку был взят осредненный режим городского испытательного цикла: $p_e = 0,2$ МПа при $n = 2000$ мин⁻¹.

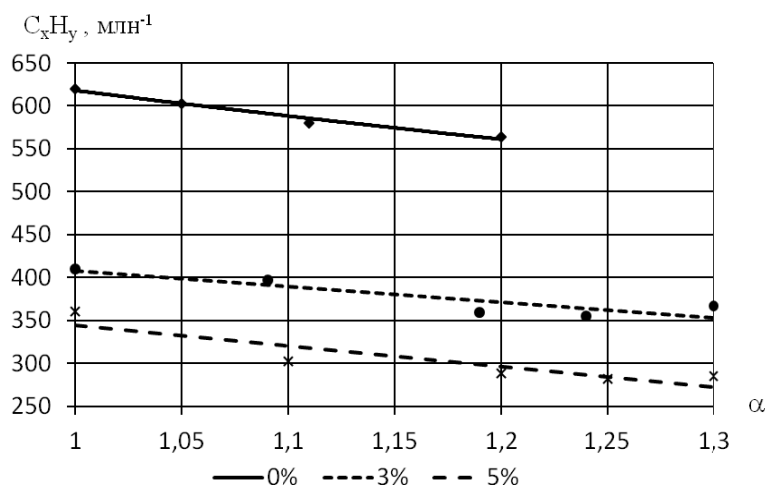


Рис. 3. Зависимость концентрации несгоревших углеводородов от коэффициента избытка воздуха ($n = 2000$ об/мин)

На рис. 3 и 4 представлены построенные на основе результатов рассматриваемых опытов зависимости содержания несгоревших углеводородов и оксида углерода от величины коэффициента избытка воздуха.

Как видно из рис. 3, содержание несгоревших углеводородов в отработавших газах РПД уменьшается по мере обеднения топливовоздушной смеси практически линейно как без добавок водорода, так и с добавками.

Абсолютное значение величины, на которую снижается содержание несгоревших углеводородов в отработавших газах РПД, от добавок водорода не зависит: при обеднении от стехиометрии до $\alpha = 1,2$ содержание C_xH_y во всех

трех случаях, представленных на графике, уменьшилось примерно на 50 млн^{-1} . Однако относительная величина снижения содержания C_xH_y в отработавших газах при добавках водорода больше, так как меньше содержание этого компонента в исходной точке. То обстоятельство, что наклон прямых на рис. 3 один и тот же и, следовательно, при всех значениях коэффициента избытка воздуха добавка водорода снижает содержание C_xH_y в одно и то же число раз, свидетельствует о том, что причины, в силу которых содержание C_xH_y в отработавших газах РПД уменьшается по мере обеднения топливовоздушной смеси, не связаны с добавками водорода.

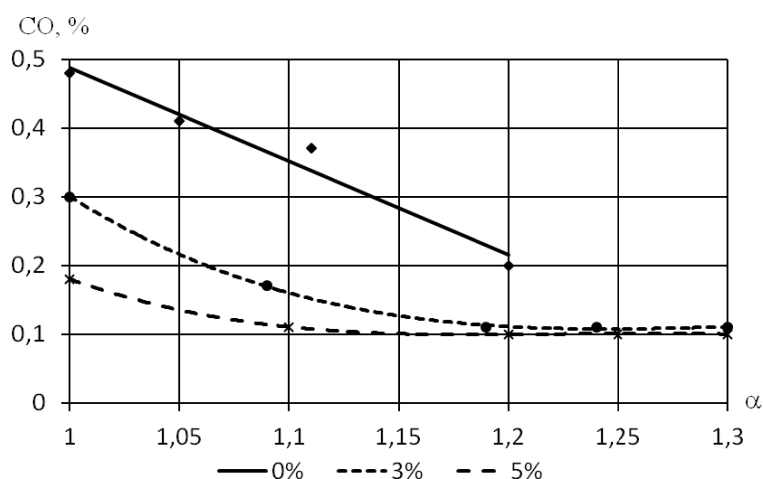


Рис. 4. Зависимость концентрации оксида углерода от коэффициента избытка воздуха при различных добавках водорода

Содержание оксида углерода в отработавших газах по мере обеднения топливовоздушной смеси, как видно из рис. 4, также уменьшается как с добавками водорода, так и без них. При работе без добавок водорода полученную зависимость содержания CO от α в исследованном диапазоне изменения последнего можно считать линейной. При работе с добавками водорода возможные пределы обеднения существенно шире. В этих пределах содержание CO снижается при обеднении от стехиометрии до $\alpha = 1,2$, а при обеднении большем, чем $\alpha = 1,2$, содержание оксида углерода в отработавших газах остается практически неизменным.

В целом, проведенные экспериментальные исследования подтверждают положительное влияние малых добавок водорода к основному топливу на экологические показатели РПД Ванкеля. Существенное сокращение концентрации несгоревших углеводородов и оксида углерода в отработавших газах на режимах час-

тичных нагрузок свидетельствуют о том, что добавки водорода способствуют снижению неполноты сгорания топливовоздушной смеси в РПД Ванкеля.

Улучшение экологических показателей РПД Ванкеля за счет использования малых добавок водорода к основному топливу может сделать этот тип двигателя более конкурентоспособным не только в качестве силовых установок маломощных судов [11] и легкомоторной авиации [12], но и в качестве силовых установок мобильных наземных машин.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Amrouche F. et al. An experimental analysis of hydrogen enrichment on combustion characteristics of a gasoline Wankel engine at full load and lean burn regime // International Journal of Hydrogen Energy. – 2018.
2. Su T. et al. Improving performance of a gasoline Wankel rotary by hydrogen enrichment at different conditions // Energy Conversion and Management. – 2018. – Т. 171. – С. 721–728.

3. Ozcanli M. et al. Recent studies on hydrogen usage in Wankel SI engine //International Journal of Hydrogen Energy. – 2018.
4. Effect of hydrogen addition on combustion and emissions performance of a gasoline rotary engine at part load and stoichiometric conditions / Ji C. et al. //Energy Conversion and Management. – 2016. – Т. 121. – С. 272-280.
5. Modelling of flame propagation in the gasoline fuelled Wankel rotary engine with hydrogen additives [Электронный ресурс] / Е. А. Федянов, Е. А. Захаров, К. В. Приходьков, Ю. В. Левин // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 177 : International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems 2016 (Tomsk, Russian Federation, 27–29 October, 2016). – [United Kingdom], 2017.
6. Влияние добавок свободного водорода на экологические показатели роторно-поршневого двигателя / Е. А. Федянов, Ю. В. Левин, С. Н. Шумский, Е. А. Захаров // Двигателестроение. – 2018. – № 2 (272) апрель–июнь. – С. 35–38.
7. Левин, Ю. В. Улучшение топливной экономичности и экологичности роторно-поршневого двигателя за счет добавок свободного водорода к основному топливу: дис. ... канд. техн. наук 05.04.02 / Левин Юрий Васильевич. – Волгоград, 2016. – 128 с.
8. Пат. 2546933 Российская Федерация, МПК F02B53/10 Способ работы роторно-поршневого двигателя внутреннего сгорания / Федянов Е. А., Захаров Е. А., Левин Ю. В. Е.М.Г.: пат. USA. РФ, 2015.
9. Межцикловая неидентичность рабочего процесса роторно-поршневого двигателя Ванкеля при добавках водорода к основной топливовоздушной смеси / К. В. Приходьков, Ю. В. Левин, Е. А. Федянов, С. Ю. Кан // Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. – 2017. – № 3 (20) (Октябрь). – С. 46–50.
10. Злотин, Г. Н. Особенности рабочего процесса и пути повышения энергетической эффективности роторно-поршневых двигателей Ванкеля: монография / Г. Н. Злотин, Е. А. Федянов // ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – 119 с.
11. Amrouche, F. An experimental investigation of hydrogen-enriched gasoline in a Wankel rotary engine / F. Amrouche, P. Erickson, J. Park, S. Varnhagen // International Journal of Hydrogen Energy. – 2014. – Т. 39 – p. 8525 – 8534.
12. Boretti, A. Modelling unmanned aerial vehicle jet ignition Wankel engines with CAE /CFD / A. Boretti // Advances in Aircraft and Spacecraft Science. – 2015. – №. 4. – P. 445 – 467.

УДК. 629.08

А. С. Нефедов

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ВИНТОВЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПРУЖИН СЖАТИЯ

Северо-Кавказский федеральный университет

e-mail: nefedov.andrei.1998@gmail.com

В статье приведен анализ известных способов восстановления автомобильных винтовых цилиндрических пружин сжатия. Сделан вывод о необходимости совершенствования существующих способов.

Ключевые слова: электромеханическая обработка, термомеханическая обработка, химико-термическая обработка, восстановление пружин.

A. S. Nefedov

ANALYSIS OF THE METHODS FOR THE RESTORATION OF SCREW CYLINDRICAL COMPRESSION SPRINGS

North Caucasus Federal University

The article provides an analysis of the known methods of restoring helical cylindrical compression springs. The conclusion is made about the need to improve existing methods.

Keywords: electromechanical treatment, thermomechanical treatment, chemical heat treatment, recovery of springs.

Расходы на восстановление и обслуживание большинства автомобилей в несколько раз превосходят первоначальную их стоимость, а если учесть, что послеремонтный период эксплуатации автомобиля значительно превышает период эксплуатации до первого ремонта, то тогда общая работоспособность автомобиля и затраты на ее обслуживание будут зависеть от качества ранее проведенных ремонтных работ. Срок службы деталей после ремонта в большинстве

случаев гораздо ниже новых деталей. Поэтому зачастую ремонтные предприятия стараются приобрести, как можно больше запасных частей или сократить до минимума работы по восстановлению деталей. В действительности же восстановление деталей экономически более эффективно, чем изготовление новых, так как восстанавливается только изношенная часть детали, а основная ее обработка и почти весь материал сохраняются. Задача заключается в том, чтобы

максимально повысить качество восстановления, используя наиболее эффективные и производительные технологические процессы.

В процессе эксплуатации пружина подвергается значительным силовым или циклическим нагрузкам, это приводит к протеканию релаксационных процессов. В результате пружина теряет упругие свойства, из-за чего снижаются технико-эксплуатационные показатели работы автомобиля. Применение специальных методов восстановления позволяет вернуть пружинам первоначально заданные силовые и геометрические характеристики, а также значительно увеличить их ресурс. В данной статье рассмотрены и проанализированы известные способы восстановления винтовых цилиндрических пружин сжатия.

Известен способ восстановления клапанных пружин ДВС, заключающийся в химико-термической обработке с применением чугунных опилок для защиты от обезуглероживания и в последующей термической обработке в специальном шаблоне рис. 1, имеющем пазы по шагу витков новой пружины [1]

Недостатком этого способа является отсутствие операций пластического упрочнения, необходимых для повышения выносливости пружины, а также длительность технологического процесса, зависящего от скорости выполнения

химико-термической обработки и количества необходимых шаблонов. Использование шаблонов может привести к появлению задиrow на поверхности пружины, которые являются концентраторами напряжений, что может привести к поломке пружины.

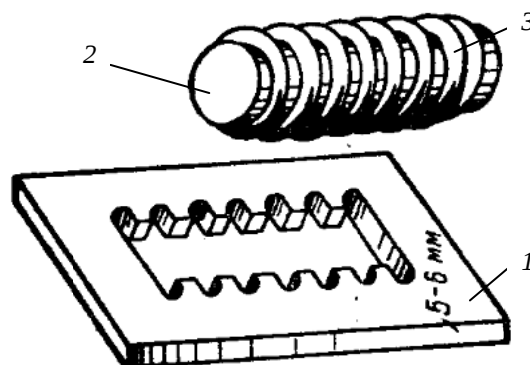


Рис. 1. Шаблон для установки оправки с пружиной:
1 – шаблон с пазами; 2 – оправка; 3 – пружина

Известен способ восстановления клапанных пружин ДВС, заключающийся в применении электромеханической обработки, основанной на совмещении операции растяжения, поверхностного горячего деформирования и закалки витков [2]. Для осуществления данного способа используется токарный станок со специальной оснасткой.

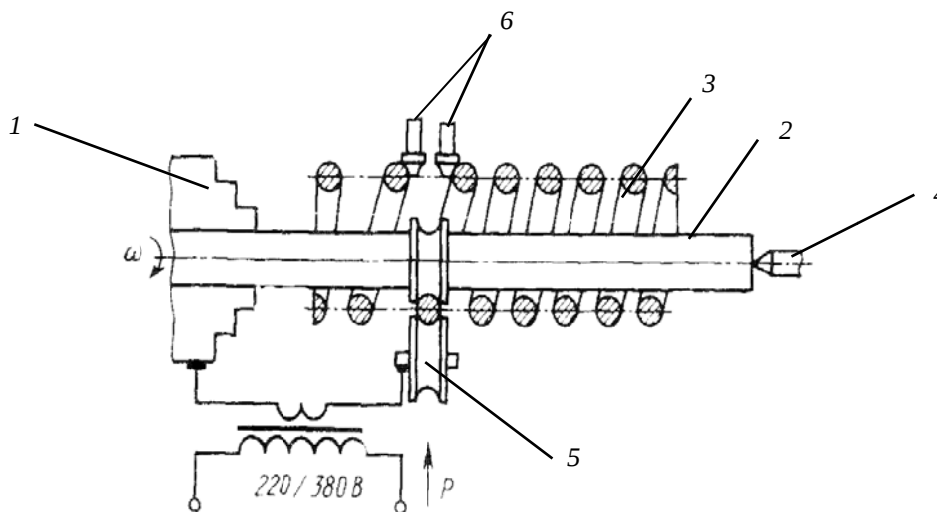


Рис. 2. Схема устройства для восстановления пружин электромеханической обработкой:
1 – патрон токарного станка; 2 – вал с роликом; 3 – пружина; 4 – задняя бабка;
5 – профильный обжимающий ролик; 6 – штоки

Схема восстановления упругих свойств пружин состоит в следующем [2]: в патрон токарного станка устанавливают вал с роликом. На вал устанавливают восстанавливаемую пружину.

Конец вала прижимается центром задней бабки. В процессе обработки витки пружины раздвигаются двумя штоками, монтируемыми на суппорте станка. Профильный обжимающий

ролик, установленный на суппорте станка, прижимается к виткам пружины с определенной силой. При вращении вала витки пружины подвергаются двухстороннему обжатию роликами, через которые пропускается электрический ток. Таким образом, пружина одновременно подвергается растяжению между штоками, обжатию и нагреву между роликами.

Применяя данный метод при восстановлении пружин из стали ШХ15, были выявлены следующие структурные превращения рис. 3 [2]: микроструктура поверхностного слоя пружин глубиной 0,1 мм – мелкодисперсный бесструктурный мартенсит с твердостью 1500 МПа; микроструктура сердцевины пружины – сорбит отпуска с твердостью 1300...800 МПа.

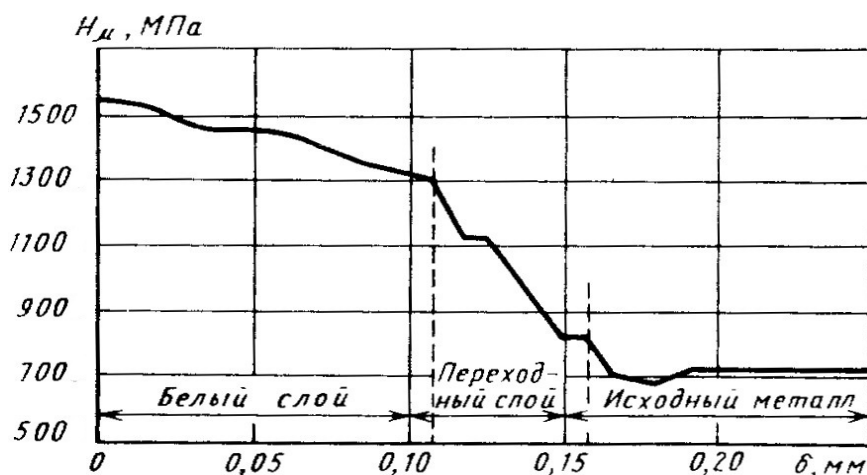


Рис. 3. График изменения твердости по глубине при высадке стали ШХ15 (режим обработки: $I = 500$ А; $P = 900$ Н; $v = 2,5$ мин⁻¹; $S = 1,5$ об/мин; число рабочих ходов 2)

Недостатками являются: контактирующие при работе пружины поверхности не подвергаются упрочнению, так как обжимающие ролики воздействуют только на внутреннюю и внешнюю поверхности витка пружины; отсутствует защита поверхности пружины от обезуглероживания при термической обработке, а также отсутствие операции отпуска необходимого для ликвидации концентраторов напряжений после закалки и поверхностного упрочнения.

Известен способ восстановления пружин подвески автомобиля, основанный на применении термомеханической обработки [3]. Пружину зажимают в тиски до соприкосновения витков, нагревают до температуры закалки, растягивают, разжимая тиски, после пружину растягивают на 20–30 % от стандартной длины и охлаждают в масле.

Недостатками являются отсутствие: защиты поверхностного слоя пружины от обезуглероживания при закалке; необходимой для повышения долговечности операции отпуска после закалки; пластического упрочнения. Кроме того, растяжение в тисках не позволяет соблюдать равномерный шаг витков и длину пружины. Данный способ можно применить только для восстановления пружин из закаливаемой проволоки.

Существует способ восстановления пружин клапанов ДВС, основанный на низкотемпературной термомеханической обработке, дробеметной обработке и контактом заневоливанием [4]. Применение данного способа позволяет восстанавливать силовые и геометрические характеристики винтовых цилиндрических пружин сжатия. Суть способа заключается в следующем [4]: восстанавливаемую пружину закрепляют в специальном приспособлении и растягивают с шагом, превышающим шаг новой пружины. Нагревают пружину до температуры 400...600 °С в защитной среде. Затем пружине дают остыть в растянутом состоянии. Для закаливаемой проволоки производят закалку, отпуск и дробеметную обработку, а для патентированной проволоки производят только отпуск при температуре 200...260 °С и дробеметную обработку. Затем выполняют прессовку пружины осевой нагрузкой в пределах 10÷300 F_з, в том числе с предварительным заневоливанием, и повторной нагрузкой, увеличенной пропорционально отношению требуемой осадки к осадке от приложения первой нагрузки.

Недостатками данного способа являются: сложность технологического процесса; необходимость применения дорогостоящего оборудования.

Таким образом, анализируя приведенные способы восстановления автомобильных винтовых цилиндрических пружин сжатия, можно прийти к выводу о необходимости совершенствования существующих способов с целью устранения имеющихся недостатков.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тойгамбаев, С. К. Закалка витков пружин сельскохозяйственных машин с применением электромеханическо-

го упрочнения / С. К. Тойгамбаев // Управление рисками в АПК. – 2015. – № 3–4. – С 21–31.

2. Энциклопедия по машиностроению-XXI «Ремонт клапанных пружин и клапанов» [Электронный ресурс]. – URL: <http://mash-xxl.info/page/199071190210094145121028049149232074053222076197/>.

3. Анварова, Р. Р. Восстановление упругости / Р. Р. Анварова, О. Н. Головченко // Молодежь и наука. – 2013. – № 4. – С. 6.

4. Пат. RU 2406587 C1, МПК B21F 35/00. Способ восстановления пружин / Тебенко Ю. М., Землянушнова Н. Ю., Землянушнов Н. А. № 2010108617; Заявл. 09.03.2010; Опубл. 20.12.2010. Бюл. № 35. – 4 с.

УДК 620.193

В. В. Халяпин

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ ФАКТОРОВ, ОКАЗЫВАЮЩИХ ВЛИЯНИЕ НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ И ПРОТЕКАНИЕ КОРРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДАХ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА ВОЛГОГРАДСКОЙ, РОСТОВСКОЙ И ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТЕЙ

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: HalyapinVV@yandex.ru

Рассмотрены основные почвенно-климатические факторы, оказывающие влияние на возникновение и протекание коррозионных процессов. Рассмотрены основные характеристики наиболее встречающихся грунтов Волгоградской области. Определен перечень наиболее важных почвенно-климатических факторов, оказывающих влияние на техническое состояние магистральных газопроводов.

Ключевые слова: коррозионные процессы; магистральный газопровод; почвенно-климатические факторы; характеристики грунтов; Волгоградская область.

V. V. Halyapin

DETERMINATION OF MAJOR TERRITORIAL FACTORS THAT INFLUENCE THE EMERGENCE AND CORROSION PROCESSES ON THE PIPE LARGE DIAMETER VOLGOGRAD, ROSTOV AND VORONEZH REGION

Volgograd State Technical University

The main soil-climatic factors affecting the occurrence and course of corrosion processes are considered. The main characteristics of the most common soils of the Volgograd region are considered. The list of the most important soil and climatic factors affecting the technical condition of gas pipelines has been determined.

Keywords: corrosion processes; main gas pipeline; soil and climatic factors; soil characteristics; Volgograd region.

При проведении анализа основных факторов, влияющих на надежность работы газопроводов, магистральный газопровод необходимо рассматривать как сложную систему, включающую три составляющих: «Природный газ–труба и изоляционное покрытие–внешняя среда».

Коррозия металла труб становится возможной в местах нарушения сплошности защитного покрытия, т. е. там, где становится возможным непосредственный контакт грунтового электролита с поверхностью металла труб [1].

Процессы, протекающие на границах «изоляционное покрытие–внешняя среда» и «труба–внешняя среда» (в местах нарушения сплошно-

сти изоляции), носят сложный комплексный характер. Взаимосвязь прохождения частных процессов и реакций, а также их комплексное влияние на изоляционное покрытие, возникновение и протекание коррозионных процессов только предстоит выяснить.

Например, влажность почвенного горизонта зависит от: метеорологических условий, уровня грунтовых вод, механического состава почвы, характера растительности и т. д. Режим грунтовых вод, находящихся под непосредственным влиянием атмосферных осадков, характеризуется сложным колебанием их уровня и главным образом зависит от сезона.

Различия формирования грунтовых вод связаны с зональностью климата, растительности, почвенным покровом и в целом с географическими зонами страны. В настоящее время прослеживается тенденция к повышению уровня основных водоносных горизонтов, увеличению запасов подземных вод и значительному увеличению годовых сумм осадков в течение последних 10–15 лет. Отмечается, что разрушение труб по причине коррозии происходило на заболоченных участках трассы.

В условиях засушливого теплого климата в сухих степях, пустынях и полупустынях инфильтрация периодически сменяется испарением. Низкий уровень дренируемости равнин

приводит к тому, что подземный сток в них не развивается и в расходной части грунтовых вод преобладает испарение. По этой причине происходит засоление грунтов.

В Волгоградской области постоянно увеличивается площадь земель, подверженных опустыниванию [2]. По данным Госкомзема, в области за последние 20 лет площадь засоленных земель увеличилась в 2.6 раза. Здесь произошло 20 аварий по причине общей коррозии.

Значительное внимание уделяется характеристике грунтов, в которых проложен газопровод. В таблице показана коррозионная агрессивность наиболее встречающихся грунтов Волгоградской области.

Коррозионная агрессивность грунтов

Тип грунта	Описание грунта	Цвет	Размер части, мм	Химический состав	Данные об агрессивности
Песок	Скопление минеральных зерен	Белый, желтый, коричневый	>0,06	Преимущественно кварц	Неагрессивен, ограниченно агрессивен. В обводненной среде анаэробен
Глина	Пластичная смесь. Легко впитывает воду	Зеленый. В зависимости от включений желтый, коричневый, зеленый	–	Al_2O_3 с SiO_2 и гидросиликаты Mg и Fe	Агрессивна. В присутствии сульфатов и сульфатовосстанавливающих бактерий образуется сероводород
Суглинок	Менее пластичен, чем глина. Глина с песком	От желтого до коричневого.	0,06–0,2	–	Анаэробен. В отсутствие сульфидов слабо агрессивен

Грунты представляют собой систему с развинутой и неоднородной поверхностью раздела, на которой происходят процессы сорбции и десорбции органических и минеральных компонентов. В зависимости от pH грунты делятся на кислые, нейтральные и щелочные. Важным свойством грунтов является механический состав. От него зависят физические и физико-химические свойства: влагоемкость, водопроницаемость, пористость, воздушные и тепловые режимы и др.

Перечень наиболее важных почвенно-климатических факторов, оказывающих влияние на техническое состояние магистральных газопроводов:

Тип грунта; удельное электрическое сопротивление грунта; величина pH грунта; концентрация сульфидосодержащих соединений; кон-

центрация карбонатсодержащих соединений; содержание кислорода; наличие подземных водотоков; наличие наземных водотоков (река, ручей, озеро, болото); уровень грунтовых вод; количество осадков; среднегодовая температура; толщина снежного покрова; глубина промерзания грунта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бананов, В. А. Картографическое отображение процессов опустынивания земель юга России / В. А. Бананов, В. В. Разумов, А. П. Притворов, В. Г. Лазарев, А. Я. Глушко // Геодезия и картография. – 2007. – № 10. – С. 36–41.
2. Анализ причин разрушения газопроводных труб большого диаметра в различных регионах России: монография / И. И. Велиюлин, С. А. Лубенский, Э. И. Велиюлин, А. Д. Решетников. – М.: МАКС Пресс, 2012. – 232 с.

УДК 004.89

*Т. Д. Черныш, В. Е. Аввакумов***РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ ПОМЕЩЕНИЙ****Волгоградский государственный технический университет**

e-mail: xcpvlad@yandex.ru

Создание системы эффективного освещения является одной из актуальных задач. Здесь затрагиваются вопросы рационального использования источника освещения, с точки зрения энергосбережения, экологически-санитарных норм, а также эргономичности управления. Рассмотрены принципы разработки, построения и реализации интеллектуальной системы управления освещением с расширенными функциональными возможностями. Использование интеллектуального подхода в управлении позволяет объединить несколько функций источников света с целью создания эффективной и экономичной системы освещения с дополнительными возможностями сигнализирования и оформительского использования, настраиваемой под все потребности и желания пользователя.

Ключевые слова: интеллектуальная система освещения, энергосбережение, источник света, способ управления.

*T. D. Chernysh, V. E. Avvakumov***DEVELOPMENT OF INTELLIGENT SYSTEM OF LIGHTING OF ROOMS****Volgograd State Technical University**

The creation of effective lighting system is one of the relevant tasks. It touches upon the issues of rational using of the light source, in terms of energy saving, environmental and health standards, and also ergonomic control. The principles of development, construction and implementation of intelligent lighting control system are considered with advanced functionality. Using an intellectual approach in management allows to combine multiple functions of the light sources in order to create efficient and economical lighting systems with additional notification system and design, customizable to all needs and desires of user.

Keywords: intelligent lighting system, energy saving, light source, control method.

Проблема эффективного использования энергетических ресурсов в современном мире остро актуальна. Согласно прогнозу ИНЭИ РАН (Ана-

литический Центр при Правительстве РФ [1]), динамика мирового и Российского потребления электроэнергии показывает неуклонный рост.

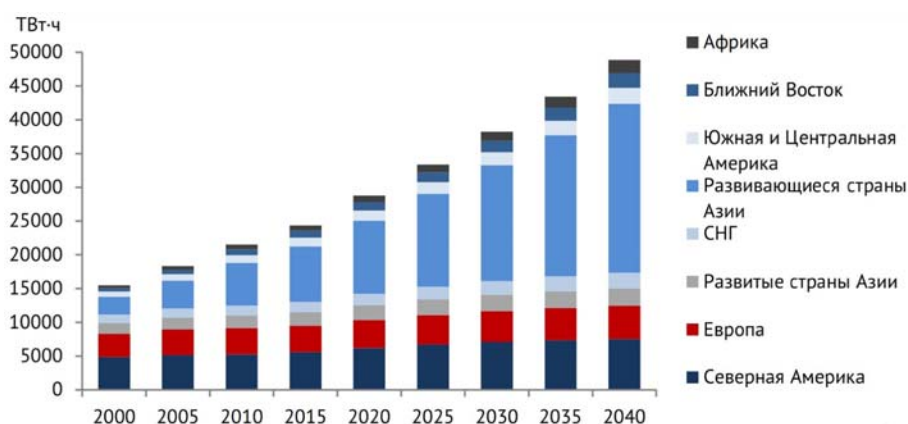


Рис. 1. Производство электроэнергии по регионам мира

Энергосбережение посвящено достижению следующих основных целей энергетической политики: повышению энергетической безопасности, снижению вредного экологического воздействия вследствие использования энергоресурсов, повышению конкурентоспособности

промышленности. При этом освещение занимает одну из ключевых ролей в человеческой жизни, бытовом и индустриальном использовании, и вносит существенный вклад в потреблении электроэнергии. Так, на освещение приходится 15 % от общего потребления электроэнер-

гии в России. В различных отраслях расход электроэнергии на освещение составляет от 5–10 % (для металлургических предприятий и машиностроения) до 15–30 % (для легкой промышленности и офисов). Эффективное управление освещением позволяет значительно снизить потребление энергоресурсов, принося экологическую и экономическую пользу.

Рассмотрим возможные способы управления источниками света. Самым простейшим из способов является ручная коммутация пользователем путем использования выключателей и рубильников. На данный момент этот способ является самым распространенным. С точки зрения энергосбережения наиболее эффективным будет управление каждым источником в отдельности. Если источников мало и средства коммутации находятся близко к пользователю, то такой способ можно считать приемлемым. При большом числе источников света, например, в помещениях с большой площадью, коммутация осуществляется сразу всеми источниками или большими группами источников. В случае, если нет необходимости использовать все помещение, использование такого способа управления приводит к неэффективному использованию электроэнергии. С точки зрения эргономики такой метод также обладает неудобствами, так как коммутирующие элементы обычно сгруппированы в одном месте или расположены на значительном расстоянии друг от друга. При ручной коммутации это требует дополнительных перемещений, что может повлиять на решение пользователя об управлении источниками света вследствие человеческого фактора. Помимо прочего, человек может просто забыть отключить освещение, что повлечет необоснованные энергетические и экономические затраты. Существующие полуавтоматические и автоматические системы управления освещением зачастую просто заменяют человека оператора, несколько повышая эффективность, но при этом сохраняя недостатки существующей системы из-за наследования их топологии. Для наиболее эффективного и экономичного управления системой освещения необходимо управлять каждым источником в отдельности, что в «ручном» режиме реализовать практически невозможно.

Еще одним фактором при организации освещения является выполнение требований санитарных-экологических норм по обеспечению требуемой освещенности. Так как прогнозирование

естественного освещения затруднено вследствие погодных и временных условий (положение солнца зависит от времени суток и времени года, облачность и другие факторы), то при ручном управлении и строгих санитарных нормах либо полностью отказываются от естественного освещения, либо его вклад не учитывают. Это также приводит к дополнительным затратам энергии или в случае экономии – нарушению санитарно-экологических норм. С этой точки зрения управление источником освещения с учетом естественного света может дать существенную экономию, без нарушения санитарных норм. При ручном управлении такое реализовать невозможно.

Рассмотрение источников света только для создания освещения неполноценно. В современном индустриально-технологическом мире источники света используются не только для создания освещения, но и для световой сигнализации (аварийные предупреждения, системы безопасности и др.). Такие сигнализирующие системы устанавливаются независимо от системы освещения, что увеличивает материальные затраты. Также источники света используются не только утилитарно, но и в целях художественного оформления, с целью получения эстетических эмоций. Объединив эти функции под управлением одной системы, можно не только повысить энергоэффективность, но и создать дополнительные возможности, улучшающие жизнь и безопасность человека. Так, интеллектуальную систему освещения можно дополнительно использовать для указания путей эвакуации в случае аварийных ситуаций, для обозначения помещений с нарушенной системой безопасности, указания маршрутов следования в торговых и развлекательных комплексах и др. Такие системы позволяют использовать большее количество маломощных распределенных источников света, что оберегает органы зрения пользователя от излишней нагрузки.

Исходя из рассмотренного выше, можно сделать вывод, что для эффективного и энергосберегающего управления источниками освещения необходим автоматизированный интеллектуальный подход. Такой подход позволит объединить несколько функций источников света с целью создания эффективной и экономичной системы освещения с дополнительными возможностями сигнализирования и оформительского использования, под управлением высокотехнологичной системы, позволяющей

объединить все коммуникации в одну и поставить ее под управление искусственного интеллекта, программируемого и настраиваемого под все потребности и пожелания пользователя. Это единая система управления в доме, офисе, квартире или здании, включающая в себя датчики, управляющие элементы и исполнительные устройства. Технология объединяет все ос-

ветительные приборы в единую сеть, что позволяет контролировать их взаимосвязь и гарантирует экономию энергопотребления. Управляющие элементы принимают сигналы с датчиков и контролируют работу исполнительных устройств, действуя согласно заданным алгоритмам. Функциональная блок-схема такой системы представлена на рис. 2.

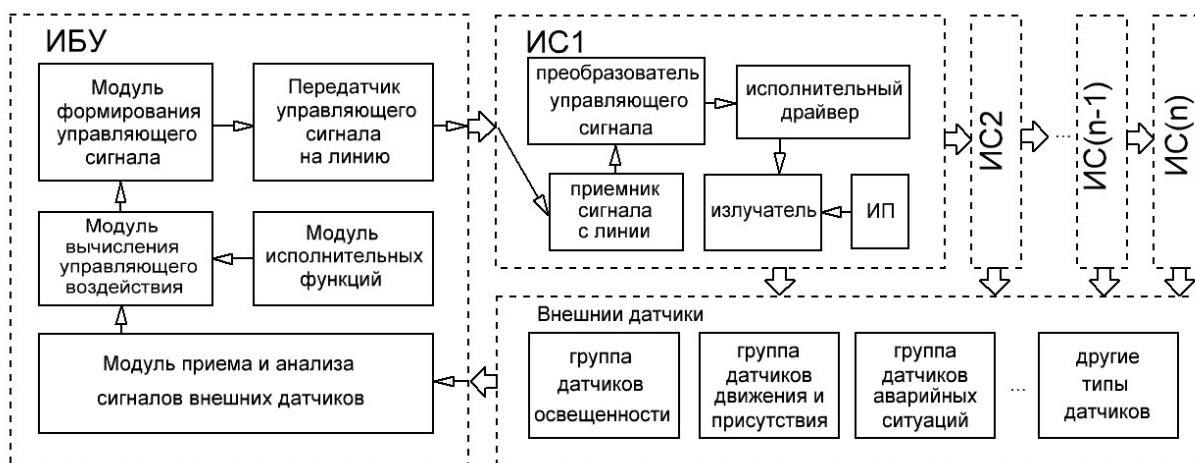


Рис. 2. Функциональная блок-схема системы управления, где ИБУ – интеллектуальный блок управления, ИС – источник света

Блок внешних датчиков разбит на функциональные группы и реагирует на внешние события. Такими событиями могут быть: изменение уровня освещенности; реакция на присутствие или движение объектов; аварийные ситуации (срабатывание пожарной сигнализации, сигнал эвакуации). Датчики могут быть любого требуемого типа. Основное условие – чтобы реакция на их срабатывание требовала изменения световой обстановки. Сигнал от внешних датчиков поступает в интеллектуальный блок управления ИБУ. Функционально ИБУ разделен на несколько модулей. Модуль исполнительных функций содержит общий список реализуемых управляющих функций и список задействованных функций для каждого конкретного источника. Их взаимная комбинация определяет результирующее воздействие на световой источник. Модуль приема и анализа сигналов от внешних датчиков производит прием данных с учетом их пространственного расположения и типа воспринимаемой величины. Он также осуществляет вычисление переменных для исполнительных функций исходя из состояния всех световых источников и всех сигналов датчиков. Такой подход необходим, так как световые поля источников частично пе-

рекрывают друг друга. Каждое действие управления можно представить функцией некоторой входной переменной. Используя эти переменные с учетом задействованных функций, модуль вычисления управляющего воздействия производит расчет для каждого источника. Совместное воздействие всех управляющих функций определяет результирующее управляющее действие. Такой подход позволяет унифицировать способы управления и получить систему с широкими возможностями и расширением функционала без изменения физической конфигурации системы. Далее, в модуле формирования управляющего сигнала, результат вычисления приводится к форме, подходящей для передачи и через передатчик управляющего сигнала отправляется на линию передачи к световым источникам. Рассматриваемые модули, за исключением передатчика на линию и модуля приема сигналов датчиков, являются программными и легко могут модифицироваться исходя из потребностей.

Источник света содержит приемник сигнала с линии. Поступивший сигнал преобразовывается в форму, удобную для исполнительного драйвера. В зависимости от исполнительного драйвера, сигнал может быть аналоговым, циф-

ровым или ШИМ. Излучатель, получает энергию от источника питания и управляется драйвером, регулируя яркость от минимума до максимума.

Обозначим основные задачи для такой системы освещения:

1) организовать дистанционное централизованное управление каждым отдельным источником освещения. Управление должно обеспечивать не только коммутацию источника света, но и обеспечивать регулировку его яркости в зависимости от внешних условий и поставленных задач. Такими задачами могут быть поддержание освещенности в конкретной области пространства на заданном уровне при изменении уровня естественной освещенности, управление по временным и пространственным координатам с целью сигнализации и информирования, а также создания оформительских эффектов;

2) система должна быть легко масштабируемая, т. е. легко позволять добавлять и убирать источники света и датчики управляющих сигналов без усложнения управления. Такому требованию соответствуют модульные системы;

3) система должна обеспечивать сохранение минимального функционала при отсутствии основного электропитания;

4) программное обеспечение, осуществляющее функции сбора данных и управление освещением должно обеспечивать простую и эффективную работу. Должны присутствовать как типовые предустановленные профили, так и возможность расширения функционала путем добавления исполняющих функций;

5) система должна соответствовать требованиям информационной безопасности, быть защищенной и не подверженной внешним действиям злоумышленников.

Для реализации поставленных требований, необходимо определиться с типом источника света и способом его управления. Исходя из сравнения характеристик наиболее предпочтительней будет использовать светодиодный источник. Они обладают лучшим КПД, легкостью управления источником (мощность, яркость и др.), сроком использования и безопасностью.

Следующей проблемой является организация управления источником освещения. Существуют решения беспроводные и проводные. Использование беспроводных систем для управления источниками света является нежелательным, так как в случае подавления радио-

сигнала из-за помех, в аварийной ситуации или в результате действий злоумышленников, работоспособность системы будет нарушена. Для реализации этой задачи решено использовать проводной способ управления по последовательной шине с помощью цифровых интерфейсов. Следует отметить, для внешних датчиков возможно использование беспроводных интерфейсов, так как их выход из строя менее критичен, а лучшая мобильность может повысить функционал системы.

Для управления яркостью светодиодных излучателей используют драйверы. Номенклатура светодиодных драйверов достаточно большая, поэтому основными критериями для выбора являются распространенность, соотношение цена-качество, возможность управления мощностью/яркостью по внешнему сигналу. С точки зрения авторов, предпочтение отдано драйверам с аналоговым управляющим сигналом, так как его можно более просто реализовать, используя ШИМ.

Рассмотрим некоторые предлагаемые технические решения и интерфейсы для управления электроосвещением. Достаточно популярным является интерфейс DMX-512 (Digital MultipleX), обеспечивающий управление 512-ю устройствами. Система на основе DMX-512 предполагает наличие одного передатчика и до 512 приемников. Физический интерфейс использует 5- или 3-контактный разъем типа XLR и 2 витых пары проводников (вторая пара является необязательной, и в случае 3-контактного разъема не используется). Электрические параметры сигналов в шине DMX-512 полностью соответствуют стандарту последовательных каналов RS-485. Данные передаются со скоростью 250 Кбит/с. Способ передачи – асинхронный. Фрейм содержит стартовый байт и 512 байтов данных. Каждый байт данных несет информацию об уровне света соответствующего канала (0 – выключено, 255 – максимум, т. е. 100 %), в порядке следования данных. Протокол не предусматривает каких-либо подтверждений приема и средств контроля ошибок. Современная версия DMX-512-A принята Институтом стандартов США под номером E1.11. Более продвинутым и современным интерфейсом для сетевых систем управления электрическим освещением является DALI (Digital Addressable Lighting Interface). Этот интерфейс считается расширением международного стандарта IEC60929 и очень популярен у европей-

ских производителей. Он пригоден для применения как в отдельных комнатах, так и для иерархических систем больших зданий. Система управления светом DALI основана на принципе master-slave: пользователь системы через контроллер, работающий в режиме master, отдает команды контроллерам, работающим в режиме slave и управляющим диммерами и балластами светильников. Каждый slave имеет свой индивидуальный 6-битный адрес, т. е. к одной линии связи DALI можно подсоединить до 64 управляемых объектов. Есть возможность разделения управляемых устройств на группы по 16 устройств в каждой. Связь осуществляется по двухпроводной линии дифференциально. Стандарт определяет специальную систему команд, задающую режимы работы диммера или балласта (уровень свечения, режим уменьшения или увеличения уровня света и т. п.), а также команды для проверки статуса управляемого контроллера и лампы. Последние требуют ответа [2].

Для управления по последовательной шине достаточно двух сигнальных проводов. Такой способ позволяет упростить решение задачи модульности и масштабирования в случае необходимости изменения схемы освещения и увеличения/уменьшения числа задействованных источников.

В качестве микросхем формирования сигналов, управляющих яркостью, решено использовать WS2811 компании Worldsemix [3] в нестандартном использовании. Изначально WS2811 является трехканальным драйвером для управления светодиодами стабилизированным током 18,5 мА. При этом обеспечивается 256 градаций яркости по каждому каналу, и частота сканирования составляет не менее чем 400 Гц. Яркость светодиода определяется скважностью ШИМ. Скважность задается с использованием последовательного цифрового кода. Данные при этом передаются всего лишь по 1 проводу. Цифровой сигнал управления проходит сквозь микросхему WS2811, так что несколько микросхем WS2811 могут быть объединены в длинную цепочку с сохранением возможности управлять каждым светодиодом в цепочке по отдельности. Любые две точки между приемником и передатчиком сигнала могут находиться друг от друга на расстоянии более 10 м без необходимости дополнительных усилителей. При скорости обновления 30 раз в секунду, модель каскадирования на низкой скорости позволяет соединить в цепочку не ме-

нее 512 точек, на высокой скорости можно соединить не менее 1024 точек. Каждая точка позволяет подключить три источника. Данные передаются на скоростях до 400 и 800 килобит/сек. Верхний порог тока 18,5 мА не позволяет подключить мощный световой источник. Поэтому в нашем случае WS2811 используется не для непосредственного управления светодиодами, а как ЦАП, сигнал с которого управляет через дополнительный драйвер мощным светодиодным источником.

Источник представляет из себя мощный светоизлучающий диод 10–30 Вт с источником питания и драйвером PT4115 от производителя PowTech [4], включенного по стандартной схеме.

В качестве модуля формирования и передатчика управляющего сигнала используется микроконтроллер ATmega328. Его использование обосновано наличием проверенных программных решений по управлению WS2811, что позволило сократить время на разработку ПО. Все основные вычисления осуществляет ИБУ, получая информацию с датчиков освещенности, движения. В тестовом варианте ИБУ реализован на базе персонального компьютера, но позже планируется замена на одноплатный компьютер под управлением ОС Linux. Связь микроконтроллера и ИБУ осуществляется посредством UART. Программное обеспечение интеллектуальной системы управления может реализовать следующие функции: формировать карту освещения, в соответствии с планом помещения и конкретной схемы расположения источников освещения; осуществлять управление каждым источником освещения (функция включения/выключения и управление яркостью); имеет типовые преднастроенные профили для рабочего времени, нерабочего времени и других возможных ситуаций; при возможности подключения внешних датчиков освещения, корректировать яркость источников: в зависимости от времени суток, погодных условий и других факторов; при наличии системы обнаружения человека, использовать данные для освещения только конкретных зон; система управления, для обеспечения безопасности, должна исключать возможность несанкционированного воздействия извне; в случае выхода из строя системы управления, все источники света должны переходить в автономный режим.

Область применения такой интеллектуальной системы освещения распространяется от малых помещений до больших предприятий,

и даже освещения населенных пунктов, и при практической реализации позволит значительно улучшить энергоэффективность системы освещения, повысить безопасность труда, а также световую экологию на рабочем месте и в помещениях общего пользования и расширить их функциональность.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Прогноз развития энергетики мира и России до 2040 г. / под рук. А. А. Макарова, Л. М. Григорьева. –

М. : ИНЭИ РАН / АЦРФ, 2014. – С. 1–8.

2. Чанов, Л. Интеллектуальные системы управления электрическим освещением / Л. Чанов, Е. Воронина, В. Ежов, Е. Самкова // Электронные компоненты, 2009. – № 3. – С. 18.

3. Микросхема WS2811 компании Worldsemi [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.worldsemi.com> (дата обращения: 11.11.2018).

4. Светодиодный драйвер PT4115 производителя PowTech [Электронный ресурс]. – Режим доступа : URL: <https://people.xiph.org/~xiphmont/thinkpad/PT4115E.pdf> (дата обращения: 11.11.2018).

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

Компьютерная верстка:
Е. В. Макарова

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

Учредитель:

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

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

Темплан 2018 г. Поз. № 25ж. Подписано в печать 27.12.2018 г. Формат 60 x 84 1/8.
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать офсетная. Усл.-печ. л. 5,11. Уч.-изд. л. 5,21.

Тираж 100 экз. Свободная цена. Заказ №
Оригинал-макет и электронная версия подготовлены РИО ИУНЛ ВолгГТУ
400005, г. Волгоград, пр. В. И. Ленина, 28, корп. 7.
Отпечатано в типографии ИУНЛ ВолгГТУ
400005, г. Волгоград, пр. В. И. Ленина, 28, корп. 7.