

ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ:

промышленность и транспорт

№ 4 (29)
2019



16+

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ





Издается
с января 2004 г.

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

ISSN 2500-0586

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

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

Редакционная коллегия:

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

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

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

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

№ 4 (29)
Декабрь
2019

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

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

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

Официальный сайт Учредителя: www.vstu.ru

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Волгоградского государственного технического университета

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

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

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

Статьи печатаются бесплатно



Published since
January 2004 г.

ISSN 2500-0586

Editor-in-chief

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

Editorial Board:

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

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

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

VSTU Publisher tel.:

+7 (8442) 24-84-05,
fax: +7 (8442) 24-84-05,
e-mail: zavrio@vstu.ru

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

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

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

**№ 4 (29)
December
2019**

FOUNDER:

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

Periodicity: four times per year

Editorial office address:

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

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

Official website: www.vstu.ru

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

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

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

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

The articles are published for free.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Алимов В. А. 30
Аль-Сумайдаи Ф. Р. 33, 37
Атрашенко О. С. 23
Балашов В. А. 6
Бохан С. А. 6
Васильев П. С. 13
Голованчиков А. Б. 6
Горюнов В. А. 27
Горюнов И. В. 27
Захаров Е. А. 30

Копейкина Т. В. 19
Матасова Ю. Ю. 13
Меренцов Н. А. 6
Персидский А. В. 6
Рябов И. М. 33, 37
Сафаров Э. Г. 30
Тарасевский Ф. Г. 27
Федянов Е. А. 27, 30
Чебаткова Е. М. 13

AUTHOR INDEX

Alimov E. A. 30
Al-Sumaidai F. R. 33, 38
Atrashenko O. S. 23
Balashov V. A. 6
Bokhan S. A. 6
Chebatkova E. M. 14
Fedyanov E. A. 27, 30
Golovanchikov A. B. 6
Goryunov I. V. 27
Goryunov V. A. 27

Kopeykina T. V. 19
Matasova Y. Y. 14
Merentsov N. A. 6
Persidskiy A. V. 6
Ryabov I. M. 33, 38
Safarov E. G. 30
Tarasevskii F. G. 27
Vasilyev P. S. 14
Zakharov E. A. 30

СОДЕРЖАНИЕ

Часть 1. ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

<i>Бохан С. А., Меренцов Н. А., Персидский А. В., Балашов В. А., Голованчиков А. Б.</i> Экспериментальное исследование проточного фильтрования.....	6
<i>Васильев П. С., Матасова Ю. Ю., Чебаткова Е. М.</i> Энергоэффективность измельчения сыпучих материалов в планетарных шаровых мельницах.....	13
<i>Копейкина Т. В.</i> Мониторинг образования гололеда на проводах ЛЭП.....	19
<i>Атращенко О. С.</i> Тенденции строительства высотных зданий с возобновляемыми источниками энергии.....	23
<i>Тарасевский Ф. Г., Горюнов И. В., Горюнов В. А., Федянов Е. А.</i> Мониторинг промышленных сточных вод.....	27

Часть 2. ТРАНСПОРТ

<i>Алимов В. А., Захаров Е. А., Сафаров Э. Г., Федянов Е. А.</i> Влияние условий подачи сжиженного углеводородного газа на показатели автомобильных двигателей.....	30
<i>Рябов И. М., Аль-Сумайдаи Ф. Р.</i> Оценка ресурсосбережения при использовании ДВС автомобиля в качестве тормоза-замедлителя при служебных торможениях.....	33
<i>Рябов И. М., Аль-Сумайдаи Ф. Р.</i> Особенности механических потерь в ДВС и их влияние на процесс торможения автомобиля двигателем.....	37

CONTENTS

Part 1. INDUSTRY

<i>Bokhan S. A., Merentsov N. A., Persidskiy A. V., Balashov V. A., Golovanchikov A. B.</i> EXPERIMENTAL STUDY OF THE FLOW FILTRATION.....	6
<i>Vasilyev P. S., Matasova Y. Y., Chebatkova E. M.</i> ENERGY EFFICIENCY OF CRUSHING GRANULAR MATERIALS IN PLANETARY BALL MILLS.....	14
<i>Kopeykina T. V.</i> MONITORING OF ICE FORMATION ON POWER LINES WIRES.....	19
<i>Atrashenko O. S.</i> TRENDS OF CONSTRUCTION OF HIGH-RISE BUILDINGS WITH RENEWABLES.....	23
<i>Tarasevskii F. G., Goryunov I. V., Goryunov V. A., Fedyanov E. A.</i> INDUSTRIAL WASTEWATER MONITORING.....	27

Part 2. TRANSPORT

<i>Alimov E. A., Zakharov E. A., Safarov E. G., Fedyanov E. A.</i> INFLUENCE OF THE CONDITIONS FOR THE SUPPLY OF LIQUEFIED PETROLEUM GAS ON THE INDICATORS OF CAR ENGINES.....	30
<i>Ryabov I. M., Al-Sumaidai F. R.</i> EVALUATION OF ENERGY SAVING IN THE USE OF THE CAR ENGINE AS A RETARDER IN SERVICE BRAKING.....	33
<i>Ryabov I. M., Al-Sumaidai F. R.</i> FEATURES OF MECHANICAL LOSSES IN DVS AND THEIR INFLUENCE ON PROCESS OF BRAKING OF THE CAR THE ENGINE.....	38

ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

УДК 66.067.36

*С. А. Бохан², Н. А. Меренцов¹, А. В. Персидский³,
В. А. Балашов¹, А. Б. Голованчиков¹*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОТОЧНОГО ФИЛЬТРОВАНИЯ

¹Волгоградский государственный технический университет

²ЛУКОЙЛ-Инжиниринг ВолгоградНИПИморнефть

³АО Федеральный научно-производственный центр «Титан-Баррикады»

E-mail: steeple@mail.ru

Приведены данные экспериментального исследования гидродинамики проточного фильтрования, на основе имитационной модели проточного фильтра и показано влияние отдельных факторов на гидродинамику при помощи модельного канала. Рассмотрено влияние пористости на гидродинамику модельного канала. Доказана целесообразность получения экспериментальных данных с целью вывода формул для взаимного пересчета параметров перфорированной поверхности модели и фильтрующей поверхности проточного фильтра. Проведен корреляционный анализ полученных экспериментальных данных.

Ключевые слова: проточный фильтр, канал, расход жидкости, степень проточности, проницаемость, экспериментальные исследования, сточные воды, системы оборотного водоснабжения.

*S. A. Bokhan², N. A. Merentsov¹, A. V. Persidskiy³,
V. A. Balashov¹, A. B. Golovanchikov¹*

EXPERIMENTAL STUDY OF THE FLOW FILTRATION

¹Volgograd State Technical University

²Branch of LUKOIL-Engineering VolgogradNIPImorneft

³JSC Federal Scientific and Production Centre «Titan - Barricady»

The data of experimental studies of the hydrodynamics of a flow filter are presented, based on a simulation model of a flow filter, and the influence of individual factors on the hydrodynamics using a model channel is shown. The effect of porosity on the hydrodynamics of a model channel is considered. Parameters of the perforated surface of the model and the filtering surface of the flow filter. A correlation analysis of the experimental data was performed.

Keywords: flow filter, channel, fluid flow, degree of flow, permeability, experimental studies, sewage, circulating water supply systems.

Фильтрование является одним из наиболее распространенных процессов, применяемых при обработке различающихся по своим свойствам продуктов.

Процесс фильтрования промышленных суспензий является сложным физико-химическим и гидродинамическим процессом, на ход которого оказывают существенное влияние как физико-химический состав жидкости, концентрация и свойства, содержащихся в ней взвесей, так и свойства фильтрующей перегородки, ее пористость, размер пор и другие факторы.

Характерной особенностью развития техники фильтрования суспензий является стремление к осуществлению процесса в непрерывном режиме.

Чаще всего для снятия нагрузки с основных аппаратов, таких как центрифуга, фильтры, отстойники и так далее, используются проточные фильтры (рис. 1), выполненные либо в виде протяженного канала с коаксиальной фильтрующей вставкой [3], либо в виде канала, стенки которого являются фильтровальной перегородкой [4]. Данные фильтры могут быть как раздающими, так и собирающими жидкость.

Двигаясь под давлением по каналу, суспензия теряет часть жидкой фазы в виде фильтрата, при этом она сгущается, а затем непрерывно выводится из фильтра. Непосредственно у перегородки сохраняется тонкий слой осадка, обеспечивающий отсутствие в фильтрате частиц твердой фазы.

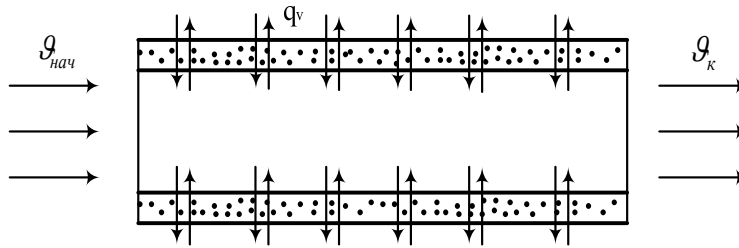


Рис. 1. Упрощенная схема проточного фильтра

Проточные фильтры характеризуются постоянным внешним давлением, а давление вдоль центрального канала может существенно изменяться, вследствие чего возникает значительная неравномерность распределения радиальной скорости фильтрации по всему пространству.

Несмотря на перспективы широкого использования проточного фильтрования в различных технологических процессах в настоящее время не имеется инженерной методики его расчета. Немногочисленные публикации по теме проточного фильтрования [5] являются частными случаями лабораторных или полупромышленных исследований, а приведенных в них сведений недостаточно для разработки инженерных методов расчета и формулирования общих требований к конструкциям, поэтому приведение разносторонних теоретических и экспериментальных исследований в области проточного фильтрования суспензий является актуальной задачей.

При анализе и теоретических исследованиях гидродинамических условий работы проточных фильтров базовой информацией являются закономерности изменения скорости течения и давления вдоль потока в канале фильтра. Характер этих зависимостей определяется совместным действием множества факторов, таких как геометрические размеры канала, свойства фильтрующей перегородки, расход и режимы течения жидкости, условия сопряжения проточного и фильтрационного потоков, свойства жидкости и суспензии. Экспериментальное исследование влияния отдельных факторов на результаты работы проточного фильтра может быть выявлено только при проведении многократных экспериментов. Большая трудоемкость и длительные сроки выполнения многофакторных экспериментов являются одной из причин, сдерживающих экспериментальные исследования в области проточного фильтрования. Другим обстоятельством, осложняющим проведение всесторонних масштабных эксперимен-

тальных исследований, является трудоемкость изготовления объектов исследования, которые представляют собой цилиндрические каналы, выполняемые из разнообразных по структуре, а иногда и дефицитных материалов, используемых в технике в качестве фильтрующих перегородок.

Очевидно, что наличие методики экспериментальных исследований проточных фильтров, позволяющей существенно сократить трудозатраты, расходные материалы и длительность проведения экспериментальных исследований, могло бы сократить как сроки предпроектных исследований, необходимых при разработке новых высокоэффективных проточных фильтров, так и плановых научных исследований в области проточного фильтрования, содействуя тем самым ускорению внедрения в промышленное производство проточных фильтров различного назначения.

Одним из возможных направлений разработки такой методики экспериментального исследования гидродинамических условий работы может стать методика, основанная на имитационном моделировании проточного фильтрования, когда объектом экспериментального исследования является цилиндрический канал с однорядной перфорацией в виде отверстий, равномерно распределенных вдоль его образующей [2].

Можно утверждать, что закономерность изменения средней скорости течения жидкости вдоль канала, при ее частичном отборе вдоль потока через стенку канала, не должна зависеть от способа отбора жидкости и будет определяться только закономерностью изменения ее местной интенсивности. Сопоставляя расчетные зависимости для определения отбора жидкости для модели и для проточного фильтра, можно получить формулы пересчета, на основании данных, полученных в опытах на модели, рассчитав значение проницаемости фильтрующей перегородки и распределение внутриканального давления вдоль потока, при которых

распределение средней скорости течения жидкости вдоль канала в проточном фильтре и на модели будет одинаковым, а следовательно, и другие гидравлические характеристики проточного фильтра.

В качестве объекта исследования использовался цилиндрический канал 3 с общей длиной $l = 1015$ мм (рис. 2), изготовленный из трубы, с внутренним диаметром $d = 15$ мм, с однорядной перфорацией 5, количеством отверстий $n = 52$ и диаметром $d_o = 2$ мм, равномерно распределенной вдоль канала. Отношение длины

канала к его внутреннему диаметру $l/D_e = 50,7$. Не отфильтрованная жидкость подается в сосуд через патрубок 1 для дальнейшего измерения. Регулирование напора производится с помощью крана 2. Для сбора отфильтрованной жидкости и измерения расхода рядом с каналом располагаются сосуды 6, находящиеся в металлическом сосуде 7 для сбора пролившейся жидкости. Исследуемый канал закреплен на стойках (на рисунке не показаны) для устойчивости. Для измерения давления в отверстиях использовались пьезометры (на рисунке не показаны).

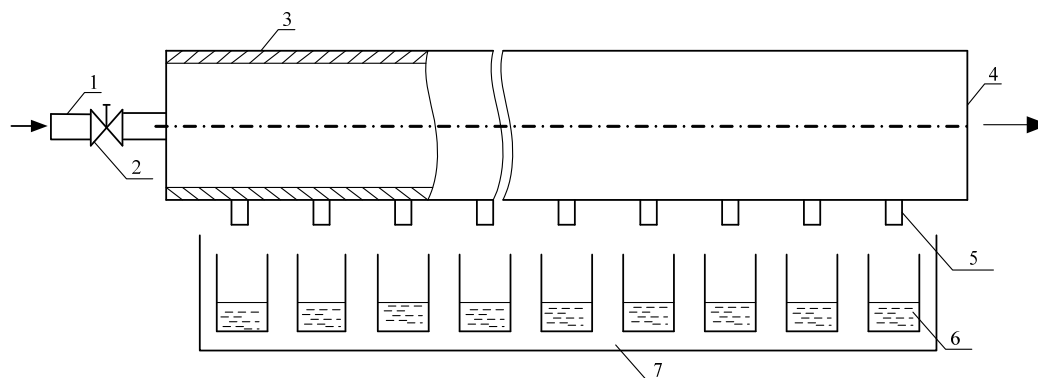


Рис. 2. Схема модельного канала:

1 – патрубок подачи жидкости; 2 – кран регулирования напора; 3 – труба; 4 – выход жидкости; 5 – перфорированные отверстия; 6 – сосуды для сбора отфильтрованной жидкости; 7 – сосуд для сбора пролившейся жидкости

Данная установка позволяет ознакомиться с тем, как геометрические параметры модели проточного канала влияют на коэффициент проточности ϕ [2].

Подробная методика экспериментального исследования приведена в работе [2]. Также

в работе [2] рассмотрены основные расчетные зависимости экспериментального исследования. На рис. 3 показана схема расположения контрольных точек для модельного канала, являющегося объектом исследования [2].

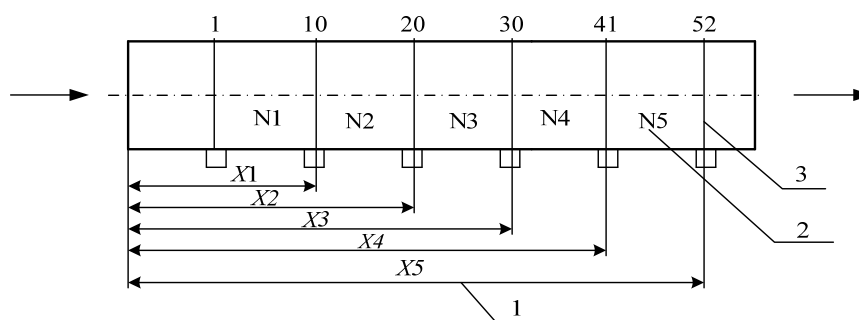


Рис. 3. Схема отбора жидкости из канала:

1 – расстояние от начала подачи жидкости до контрольной точки; 2 – номер сечений; 3 – количество перфорированных отверстий

Анализ результатов исследования гидродинамики модельного канала при разных начальных расходах жидкости приведен в работе [2]. Проводилась серия опытов по оценке работоспособности модельного канала, при разных

начальных расходах подаваемой в канал жидкости. В модельном канале было задействовано на отбор воды из канала 15 отверстий, равномерно распределенных вдоль канала. Пористость канала при этом составляла $\xi_f = 0,001$.

Количество контрольных точек для построения графических зависимостей изменения скорости течения воды вдоль канала равнялось 5. Расположение координат сечений, для которых определялись скорости течения жидкости и участков отверстий, для которых определялись расходы вытекающей из каналов жидкости, назначалось в соответствии со схемой

отбора жидкости из канала, изображенной на рис. 3 [2].

Для исследования влияния пористости на гидродинамику модельного канала был проведен опыт, в котором изменялось число рабочих отверстий. Опытные данные заносились в журнал экспериментальных исследований и приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты экспериментального исследования

№	Расход жидкости на участке $q^*, \text{см}^3/\text{с}$					Количество работающих отверстий	$l, \text{мм}$	$q_n, \text{см}^3/\text{с}$	$q_k, \text{см}^3/\text{с}$	Доп. сведения
	1	2	3	4	5					
1	2,3	2,2	1,93	1,7	1,4	15	1015	49,2	33,8	$T = 12^\circ\text{C}$
2	2,4	2,3	2,2	2,1	1,88	26		94,5	53,8	
3	1,06	0,94	0,85	0,73	0,62	52		78,2	43,7	

После проведения эксперимента производят расчет необходимых параметров потока по

формулам, представленным в работе [2] и заносят в табл. 2:

Таблица 2

Рассчитанные значения параметров потока

№ оп.	Кол. Раб. Отв.	$q_n, q_k, \text{см}^3/\text{с}$	$U_{cp}, \text{м/с}$	Обозначение параметров	Координаты контрольных точек					Доп. сведения
					№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	
1	15	49,2 33,8	0,161	$q_i, \text{см}^3/\text{с}$	35	33	29	26	21	$\xi_f = 0,288$ $Re_n = 1820$ $\phi = 0,69$ $T = 12^\circ\text{C}$
				$U_i, \text{м/с}$	0,197	0,186	0,164	0,147	0,119	
				$\overline{U_i}$	0,711	0,671	0,589	0,528	0,428	
				β_i	1,224	1,155	1,019	0,913	0,739	
2	26	94,5 53,8	0,32	$q_i, \text{см}^3/\text{с}$	63	60	57	54	49	$\xi_f = 0,5$ $Re_n = 660$ $\phi = 0,57$ $T = 12^\circ\text{C}$
				$U_i, \text{м/с}$	0,356	0,339	0,322	0,305	0,277	
				$\overline{U_i}$	0,7	0,635	0,6	0,57	0,518	
				β_i	1,113	1,059	1,006	0,953	0,866	
3	52	78,2 43,7	0,247	$q_i, \text{см}^3/\text{с}$	55	49	44	38	32	$\xi_f = 1$ $Re_n = 3670$ $\phi = 0,559$ $T = 12^\circ\text{C}$
				$U_i, \text{м/с}$	0,311	0,277	0,249	0,215	0,181	
				$\overline{U_i}$	0,703	0,626	0,56	0,486	0,409	
				β_i	1,259	1,12	1,008	0,87	0,73	

На рис. 4 изображены графические зависимости распределения скорости проточного течения жидкости в модельном канале с различной проницаемостью, полученные для трех разных расходов.

На рис. 5 изображены полученные на модельном канале графические зависимости, показывающие влияние коэффициента проточно-

сти на распределение безразмерной средней скорости в канале независимо от начального расхода жидкости.

На рис. 6 представлена графическая зависимость соотношения местной и средней скорости вдоль потока при его работе в области изменения коэффициента проточности в пределах $\phi = 0,5 \div 0,7$.

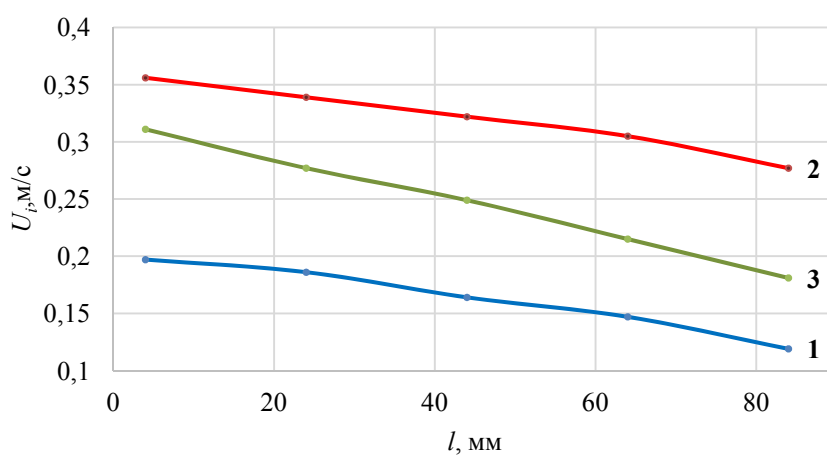


Рис. 4. Распределение средней скорости течения жидкости в канале при разных значениях начального расхода жидкости по длине канала:
1 – опыт № 1; 2 – опыт № 2; 3 – опыт № 3

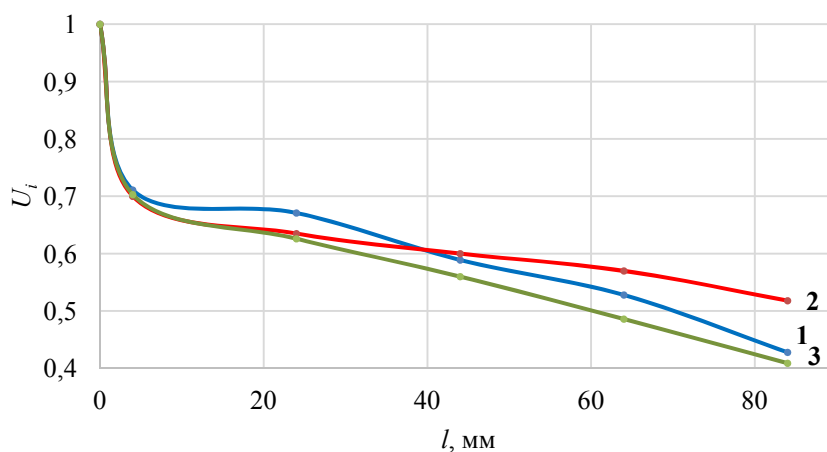


Рис. 5. Распределение безразмерной средней скорости течения жидкости в канале:
1 – опыт № 1; 2 – опыт № 2; 3 – опыт № 3

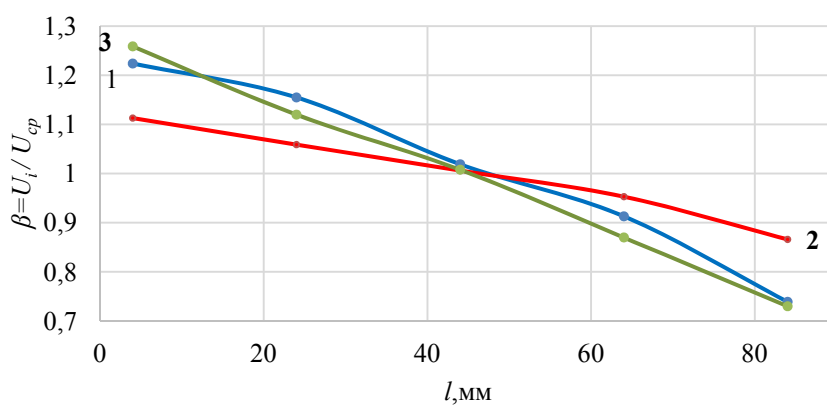


Рис. 6. Графическая зависимость соотношения местной и средней скорости вдоль потока:
1 – опыт № 1; 2 – опыт № 2; 3 – опыт № 3

Проанализируем влияние длины модельного канала на гидродинамику фильтрационного течения. Объектом исследования служили мо-

дельный канал и его участки, длина и распределение которых указаны на рис. 4.

Таблица 3

Рассчитанные значения параметров потока

№ оп.	l_i , мм	L/D	U_n , м/с	U_k , м/с	U_{cp} , м/с	Обозначение параметров	Координаты сечений					Доп. Сведения
							№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	
1	340	22,7	0,142	0,085	0,093	x_i , мм	95	165	225	280	340	$\varphi = 0,663$ $D = 15$ мм
						$\bar{x}_i$	0,279	0,485	0,662	0,824	1	
						U_i	0,113	0,113	0,096	0,079	0,068	
						$\bar{U}_i$	0,796	0,796	0,676	0,556	0,479	
						β_i	1,26	1,26	1,03	0,85	0,73	
2	680	45,3	0,184	0,069	0,104	x_i , мм	95	240	380	520	660	$\varphi = 0,69$ $D = 15$ мм
						$\bar{x}_i$	0,14	0,353	0,559	0,765	0,97	
						U_i	0,136	0,119	0,107	0,085	0,073	
						$\bar{U}_i$	0,739	0,647	0,582	0,462	0,397	
						β_i	1,308	1,144	1,029	0,817	0,7	
3	1015	67,7	0,219	0,09	0,142	x_i , мм	95	300	500	700	900	$\varphi = 0,67$ $D = 15$ мм
						$\bar{x}_i$	0,094	0,296	0,493	0,69	0,887	
						U_i	0,169	0,158	0,147	0,13	0,107	
						$\bar{U}_i$	0,772	0,722	0,671	0,594	0,49	
						β_i	1,19	1,113	1,04	0,915	0,754	

На рис. 7 изображены полученные на модельном канале графические зависимости, показывающие влияние коэффициента проточно-

сти на распределение безразмерной средней скорости в канале независимо от начального расхода жидкости.

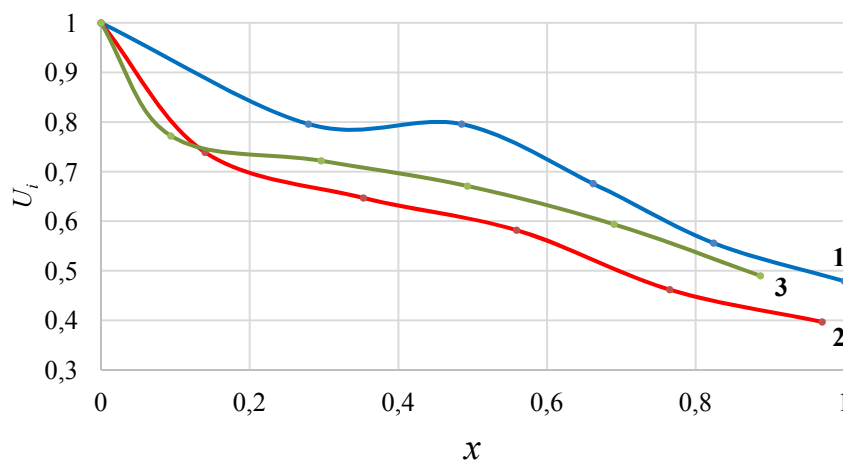


Рис. 7. Распределение безразмерной средней скорости течения жидкости в канале:
1 – опыт № 1; 2 – опыт № 2; 3 – опыт № 3

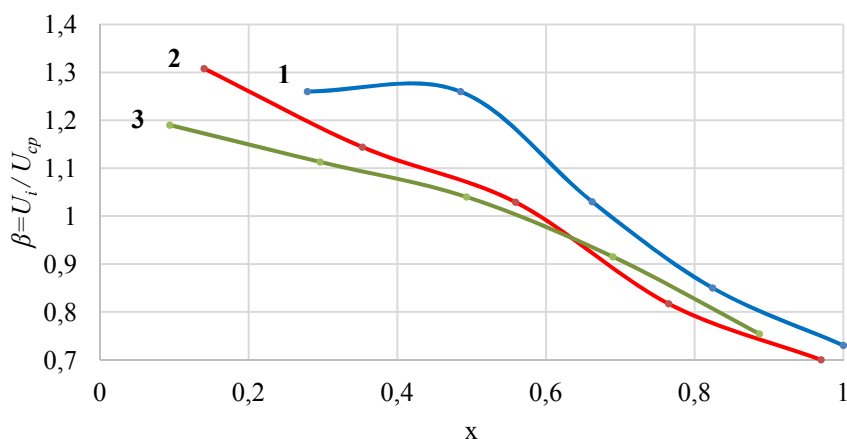


Рис. 8. Графическая зависимость соотношения местной и средней скорости
вдоль потока:
1 – опыт № 1; 2 – опыт № 2; 3 – опыт № 3

На рис. 8 представлена графическая зависимость соотношения местной и средней скорости для модельного канала при его работе в области изменения коэффициента проточности в пределах $\varphi = 0,6 \div 0,7$.

Рассмотренные графические зависимости изменения средней скорости проточного течения в зависимости от начального расхода и коэффициента проточности, полученные в опытах на модельном канале, по своей форме и характеру взаимного расположения при изменении началь-

ной производительности и коэффициента проточности, оказываются аналогичны полученным для фильтровального отбора жидкости из проточных каналов и приведенным в работах [3, 4]. Это означает, что зависимости в обоих случаях могут описываться одинаковыми по форме математическими зависимостями, отличающимися только набором входящих в них констант, что и позволяет использовать для исследования гидродинамики проточных фильтров предлагаемую методику имитационного моделирования [2].

Таблица 4

Результаты корреляционного анализа экспериментальных данных

Критерии анализа		Результаты обработки экспериментальной зависимости скорости истечения жидкости из отверстий y от длины модели фильтра x
Уравнение		$v = \frac{A}{1 + Bl}, \frac{1}{v} = \frac{1}{A} + \frac{B}{A}l, y = bl + a$
Коэффициенты		$a = 5,15; b = 0,24$
Критерий Кохрена	Расчетный	0,61
	Табличный	0,68
Вывод		Так как $0,2785 < 0,544$, то воспроизводимость удовлетворяет условию
Критерий Фишера	Расчетный	0,0377
	Табличный	3,71
Вывод		Так как $0,0377 < 3,71$, то модель адекватна
Критерий Стьюдента	Расчетный	2,23
	Табличный	2,06
Вывод		Так как $2,23 > 2,06$, то коэффициенты значимы
Коэффициент корреляции		$\Gamma = 0,991$
Вывод		Так как $0,991 > 0,95$, то зависимость $y = f(x)$ прямая и высокая

Таким образом, авторами предложено моделировать течение жидкости в проточном фильтре с помощью имитационной модели в виде проточного цилиндрического канала

с однорядной перфорацией отверстиями вдоль образующей цилиндрической поверхности [2].

Показана возможность исследовать влияние геометрических размеров канала модели, ин-

тенсивности отбора жидкости и степени точности на закономерность распределения средней скорости течения жидкости и гидравлическую неравномерность потока, аналогичные по форме тем, которые наблюдаются при экспериментальном исследовании течения жидкости с отбором вдоль потока в каналах со сплошной проницаемой цилиндрической поверхностью с помощью предложенной имитационной модели проточного фильтрования.

Целесообразно продолжить экспериментальные исследования с целью получения формул для взаимного пересчета параметров перфорированной поверхности модели и фильтрующей поверхности проточного фильтра [14], учитывающие различные значения диаметров каналов модели и фильтра и различные значения коэффициентов линейных потерь при течении в них жидкости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Меренцов, Н. А. Автономные системы оборотного водоснабжения для малотоннажных химических производств / Н. А. Меренцов, А. Б. Голованчиков, В. А. Балашов // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 1 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – (Серия «Реология, процессы и аппараты химической технологии»; вып. 4). – С. 102–104.
2. Меренцов, Н. А. Имитационное моделирование проточного фильтрования / Н. А. Меренцов, С. А. Бохан, В. Н. Лебедев, В. А. Балашов, А. Б. Голованчиков // Вестник ВолгГАСУ. Серия: Строительство и архитектура. – 2018. – № 51 (70). – С. 140–149.
3. Бент, И. О. Перспективы получения цветных и редких металлов из технологических отходов / И. О. Бент, Л. С. Галецкий. – К.: Знание, 1994. – 30 с.
4. Бесчастнов, М. В. Взрывобезопасность и противопожарная защита химико-технологических процессов / М. В. Бесчастнов. – М.: Химия, 1983.
5. Быстров, П. И. Гидродинамика коллекторных теплообменных аппаратов / П. И. Быстров, В. С. Михайлов. – М.: Энергоиздат, 1982. – 224 с.
6. Вайнштейн, И. А. Очистка сточных вод гальванического производства от цинка / И. А. Вайнштейн, А. И. Бабина, Г. А. Куденко, И. М. Шабельник // Водоснабжение и санитарная техника. – 1994. – № 7. – С. 35–37.
7. Виноградов, С. С. Экологически безопасное гальваническое производство / С. С. Виноградов. – М.: Глобус, 1998. – 302 с.
8. Жужиков, В. А. Фильтрование. Теория и практика разделения суспензий / В. А. Жужиков. – Москва / Химия. – 1971. – 440 с.
9. Кузнецов, Н. А. Математическая модель гидродинамики отдельного каталитического реактора / Н. А. Кузнецов, В. А. Балашов, Д. А. Федянина // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 1 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2012. – С. 75–78.
10. Golovanchikov, A.B. The filtration equation for packing material / A. B. Golovanchikov, V. A. Balashov, N. A. Merentsov // Chemical and Petroleum Engineering. – 2017. – Vol. 53, No. 1-2. – С. 10-13.
11. Милова, Д. А. Определение расхода жидкости при фильтрационном течении жидкости в плоском канале / Д. А. Милова, В. А. Балашов, А. Б. Голованчиков // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 1 (74) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – (Серия «Реология, процессы и аппараты химической технологии»; вып. 4). – С. 9–12.
12. Мурзенков, Д. С. Исследование проточного фильтрационного течения / Д. С. Мурзенков, В. А. Балашов // Инновационные наукоемкие технологии: теория, эксперимент и практические результаты: докл. Междунар. практич. конф.; под общ. ред. чл.-корр. РАН В. П. Мешалкина. – М.: Тула: Изд-во ТулГУ, 2010. – 103 с.
13. Приказчикова, Е. А. Течение в плоском канале с проницаемыми стенками / Е. А. Приказчикова, В. А. Балашов, В. В. Шишлянников // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 1(49) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2009. – (Серия «Реология, процессы и аппараты химической технологии»; вып. 2). – С. 16–17.
14. Меренцов, Н.А. Моделирование и расчет фильтра потока / Н. А. Меренцов, В. А. Балашов, С. А. Бохан, Е. Э. Нефедьева, Д. А. Тезиков, В. В. Грошев // IOP Conference Series: Земля и наука об окружающей среде. Том 224: Экология и безопасность в техносфере: текущие проблемы и решения (EST 2018) [IOP Publishing], 2019. – 11 с.

УДК 66.022.52:621.926.5

П. С. Васильев, Ю. Ю. Матасова, Е. М. Чебаткова

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ В ПЛАНЕТАРНЫХ ШАРОВЫХ МЕЛЬНИЦАХ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: nestorvv@mail.ru

Приводится описание принципа действия двух самых распространенных современных измельчителей сыпучих материалов. На основании анализа результатов сравнительного расчета показано, что планетарные шаровые мельницы являются более энергоэффективным технологическим оборудованием по сравнению с барабанными шаровыми мельницами.

Ключевые слова: измельчение, барабанная шаровая мельница, планетарная шаровая мельница, эффективность, энергосиловой расчет.

P. S. Vasilyev, Y. Y. Matasova, E.M. Chebatkova

ENERGY EFFICIENCY OF CRUSHING GRANULAR MATERIALS IN PLANETARY BALL MILLS

Volgograd State Technical University

There is defining of the operation's principle of the two most common modern mills of granular materials. Based on the analysis of the results of the comparative calculation was shown that planetary ball mills are more energy efficient process equipment compared to drum ball mills.

Keywords: milling, drum ball mill, planetary ball mill, efficiency, energy-power calculation.

Процесс измельчения сыпучих материалов в химической и смежной с ней отраслях промышленности имеет большое практическое значение, так как способствует увеличению поверхности фазового контакта, что значительно интенсифицирует гидромеханические и массообменные процессы, а также процессы, связанные с химическими превращениями. Использование тонкоизмельченных материалов позволяет придать готовой продукции исключительные эксплуатационные свойства, например, увеличить прочность, повысить износостойкость, уменьшить хрупкость, предотвратить трещинообразование из-за высоких перепадов температур [1, 2].

Измельчение сыпучих материалов всегда требует больших энергозатрат и идет при значительном абразивном износе рабочих элементов технологических машин. В среднем при измельчении частиц до размеров свыше 100 мкм энергозатраты составляют примерно 20÷30 кВт·ч/т, а потери металла за счет абразивного износа – всего около 1 кг/т. В случае измельчения частиц до размеров менее 100 мкм расход энергии увеличивается вплоть до 150 кВт·ч/т и более [3].

Поэтому исследование энергоэффективности измельчения сыпучих материалов в технологическом оборудовании различного типа является актуальным и представляет собой цель настоящей работы.

Наиболее распространенным оборудованием, широко используемым для грубого, среднего, тонкого и сверхтонкого измельчения сыпучих материалов, являются вращающиеся барабанные мельницы, относящиеся к машинам раздавливающе-истирающе-ударного действия [4].

Режим движения мелющих тел (чаще всего шаров) в барабане, от которого зависит эффективность измельчения, определяется его угловой скоростью. При небольшой угловой скорости загрузка (мелющие тела и измельчаемый сыпучий материал) циркулирует в нижней части барабана, поднимаясь по концентрическим круговым траекториям на некоторую высоту и затем скатываясь параллельными слоями вниз.

Такой режим движения шаров называют каскадным. Измельчение материала при этом происходит за счет раздавливания и истирания при перекачивании шаров. Критическая угловая скорость вращения барабана, при которой загрузка не будет отрываться от его стенки даже в верхней точке из-за превышения центробежной силы инерции силы тяжести, составляет:

$$\omega_{кр} = \sqrt{\frac{g}{R_6}} = \frac{3,13}{\sqrt{R_6}}, \quad (1)$$

где R_6 – внутренний радиус барабана, м.

Большей эффективностью измельчения характеризуется водопадный режим движения шаров, реализуемый при частоте вращения барабана меньшей критической. В этом случае шары вначале поднимаются в некоторую точку, а затем отрываются от стенки и свободно падают по параболическим траекториям (рис. 1). Измельчение материала при этом происходит в основном под воздействием удара, а также частично раздавливания и истирания. Оптимальная угловая скорость вращения барабана для водопадного режима, соответствующая максимальной высоте падения шаров, определяется выражением [1, 3]:

$$\omega_{опт} = \frac{2,38}{\sqrt{R_6}}, \quad (2)$$

что составляет примерно 76 % от критической угловой скорости.

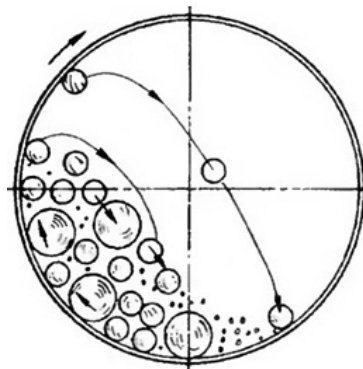


Рис. 1. Схема водопадного режима движения мелющих шаров в барабане

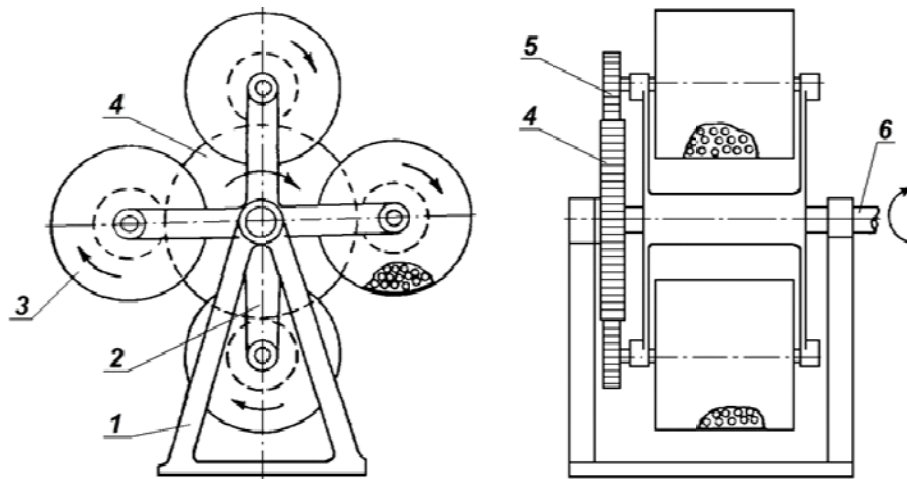


Рис. 2. Принципиальная схема горизонтальной планетарной шаровой мельницы:
1 – станина; 2 – водило; 3 – барабан; 4 – неподвижное зубчатое колесо; 5 – приводная шестерня; 6 – ведущий вал

На рис. 2 приведена принципиальная схема горизонтальной планетарной шаровой мельницы, представляющая собой несколько барабанов отдельных шаровых мельниц, смонтированных на одном водиле. Движение барабанов вокруг общей оси создает центробежное поле взамен гравитационного, но с ускорением в $10\div300$ раз более интенсивным, а их вращение вокруг собственных осей позволяет мелющим шарам совершать сложное движение в виде циклов, похожих на циклы движения шаров в обычной барабанной мельнице [1, 5].

В связи с тем что интенсивность измельчения сыпучего материала определяется (при прочих равных условиях) ускорением центробежного поля, то для планетарных мельниц нет необходимости крутить барабаны такого же

размера, как у реальных шаровых мельниц. Например, взамен традиционной промышленной мельницы общей массой около 410 т с диаметром барабана 4,5 м и длиной 5 м, внутри которого находится приблизительно 120 т шаров диаметром от 70 до 120 мм, потребуется четырехбарабанная планетарная мельница общей массой 29 т с диаметром барабанов 0,9 м и длиной 0,5 м [5].

Сложное движение мелющих шаров в планетарной шаровой мельнице можно охарактеризовать несколькими режимами их движения, которые определяются двумя параметрами: отношением радиуса водила $R_в$ к внутреннему радиусу барабанов $R_б$ и отношением угловой скорости вращения барабанов $\omega_б$ к угловой скорости вращения водила $\omega_в$ (рис. 3) [3].

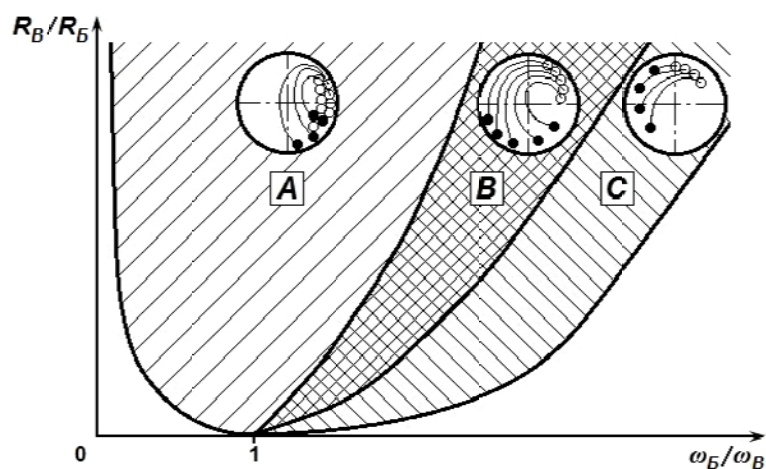


Рис. 3. Режимы движения мелющих шаров в планетарной шаровой мельнице:
А – «ударный» режим; В – «ударно-сдвиговой» режим; С – «сдвиговой» режим

При помоле одних и тех же сыпучих материалов в различных режимах можно получать существенно различающиеся результаты. Например, «ударный» режим в основном используется для измельчения одного перерабатываемого материала, «сдвиговой» режим – для смешения друг с другом нескольких уже измельченных материалов, а «ударно-сдвиговой» режим – для проведения механической активации, сопровождающейся изменением физико-химических свойств перерабатываемых материалов [6].

Для оценки энергоэффективности измельчения сыпучих материалов в технологическом оборудовании различного типа проведем сравнительный энергосиловой расчет барабанной и планетарной шаровых мельниц.

1. Основные расчетные зависимости барабанной шаровой мельницы (БШМ) непрерывного действия [1, 7]:

1.1. Частота вращения барабана, соответствующая наиболее эффективному измельчению, об/с:

$$n_0 = \frac{0,37}{\sqrt{R_0}}. \quad (3)$$

1.2. Работа подъема загрузки на оптимальную высоту $h = 1,13 \cdot R_0$, соответствующую наиболее эффективному измельчению, Дж:

$$A_1 = m_z \cdot h \cdot g = 1,13 \cdot m_z \cdot R_0 \cdot g, \quad (4)$$

где m_z – масса загрузки, кг.

1.3. Кинетическая энергия, сообщаемая загрузке, Дж:

$$A_2 = \frac{m_z \cdot \omega^2}{2} = \frac{m_z \cdot (\omega \cdot R_0)^2}{2} = 2 \cdot \pi^2 \cdot m_z \cdot n_0^2 \cdot R_0^2, \quad (5)$$

где $R_0 = 0,785 \cdot R_0$ – радиус центра масс поднимающихся шаров, м (при оптимальном коэффициенте заполнения барабана $\varphi = 0,4$).

1.4. Полезная мощность, затрачиваемая на измельчение, кВт:

$$N_{изм} = \frac{(A_1 + A_2) \cdot n_0 \cdot z}{1000}, \quad (6)$$

где $z = 2,23 \cdot \varphi^{0,24}$ – число циклов подъема и падения загрузки за один оборот барабана.

1.5. Мощность, затрачиваемая на преодоление трения в цапфах мельницы, кВт:

$$N_{тр} = 0,15 \cdot N_{изм}. \quad (7)$$

1.6. Мощность привода мельницы, кВт:

$$N_{прив} = \frac{N_{изм} + N_{тр}}{\eta_{прив}}, \quad (8)$$

где $\eta_{прив}$ – коэффициент полезного действия привода.

1.7. Теоретическое время измельчения материала до заданной крупности, с:

$$\tau_{изм} = \frac{3,6 \cdot m_m \cdot e}{N_{изм}}, \quad (9)$$

где m_m – масса измельчаемого материала, кг; e – удельный расход энергии на измельчение, кВт·ч/т.

1.8. Производительность мельницы, т/ч:

$$Q = \frac{N_{изм}}{e}. \quad (10)$$

2. Основные расчетные зависимости планетарной шаровой мельницы (ПШМ) непрерывного действия [8, 9]:

2.1. Частота вращения барабанов при оптимальных условиях работы планетарного механизма, об/с:

$$n_0 = \left(2,54 + 0,2 \cdot \frac{R_0}{R_0} \right) \cdot n_0, \quad (11)$$

где n_0 – частота вращения водила, об/с.

2.2. Момент сил сопротивления относительно оси барабана, создаваемый переносными силами инерции, Н·м:

$$M_c = \frac{2}{3} \cdot 1000 \cdot \chi \cdot \gamma \cdot R_0^3 \cdot L_0 \cdot \sin^3 \left(\frac{\delta}{2} \right) \cdot \sin \theta, \quad (12)$$

где χ – характеристическое число; γ – удельный вес загрузки в одном барабане, Н/м³; L_0 – длина барабанов, м; δ – центральный угол загрузки, рад.; θ – угол поворота загрузки, рад.

2.3. Мощность, затрачиваемая на преодоление момента M_c при вращении водила, Вт:

$$N_m = \frac{1}{102} \cdot P \cdot M_c \cdot n_0, \quad (13)$$

где P – число барабанов.

2.4. Работа, затрачиваемая на перемещение загрузки по круговым траекториям внутри барабанов, Дж:

$$A = 2000 \cdot \pi \cdot \chi \cdot \gamma \cdot R_0^3 \cdot L_0 \cdot \psi^3 \times \times \sqrt{\frac{R_0}{R_0}} \cdot \left[(1 - \xi^4) - \frac{2}{3} \cdot \psi^4 \cdot (1 - \xi^6) \right], \quad (14)$$

где ψ – относительная частота вращения барабанов; $\xi = f \left(\psi; \varphi; \frac{R_0}{R_0} \right)$ – безразмерный параметр.

2.5. Мощность, затрачиваемая на перемещение загрузки по круговым траекториям внутри барабанов, Вт:

$$N_a = \frac{1}{102} \cdot P \cdot A \cdot (n_0 - n_0). \quad (15)$$

2.6. Мощность привода мельницы, Вт:

$$N_{\text{прив}} = \frac{N_{\text{изм}}}{\eta_{\text{прив}}} = \frac{N_{\text{м}} + N_{\text{а}}}{\eta_{\text{прив}}}. \quad (16)$$

2.7. Теоретическое время измельчения материала до заданной крупности, с:

$$\tau_{\text{изм}} = \frac{m_{\text{м}} \cdot a_{\text{изм}}}{N_{\text{а}}}, \quad (17)$$

где $a_{\text{изм}}$ – теоретическая удельная работа измельчения, Дж/кг.

2.8. Производительность мельницы, кг/с:

$$Q = \frac{N_{\text{а}}}{a_{\text{изм}}}. \quad (18)$$

3. Энергия, затрачиваемая на измельчение сыпучего материала в БШМ и ПШМ, определялась как:

$$E_{\text{изм}} = N_{\text{прив}} \cdot \tau_{\text{изм}}. \quad (19)$$

В табл. 1 приведены основные исходные данные, а в табл. 2 – укрупненные результаты сравнительного энергосилового расчета по измельчению кварцевого песка в БШМ и ПШМ.

Таблица 1

Основные исходные данные сравнительного энергосилового расчета мельниц

Наименование параметра	Размерность	Обозначение	Величина
1. Производительность мельниц по кварцевому песку	т/ч	Q	10
2. Начальная крупность частиц кварцевого песка	мм	$d_{\text{н}}$	2
3. Конечная крупность частиц кварцевого песка	мм	$d_{\text{к}}$	0,01
4. Удельный расход на измельчение кварцевого песка до размера $d_{\text{к}}$ в барабанной шаровой мельнице [1]	кВт·ч/т	e	90
5. Теоретическая удельная работа измельчения кварцевого песка до размера $d_{\text{к}}$ [10]	Дж/кг	$a_{\text{изм}}$	10^5
6. Коэффициент заполнения барабанов мельниц	–	φ	0,4
7. Кпд привода барабанной шаровой мельницы	–	$\eta_{\text{прив}}$	0,85
8. Кпд привода планетарной шаровой мельницы	–	$\eta_{\text{прив}}$	0,79
9. Частота вращения водила планетарной шаровой мельницы	об/с	$n_{\text{в}}$	4,5
10. Отношение радиуса водила к радиусу барабана планетарной шаровой мельницы	–	$R_{\text{в}}/R_{\text{б}}$	2
11. Число барабанов планетарной шаровой мельницы	–	P	4

Таблица 2

Укрупненные результаты сравнительного энергосилового расчета мельниц

Наименование параметра	Размерность	Обозначение	Результаты расчета	
			БШМ	ПШМ
1. Диаметр барабанов	м	$D_{\text{б}}$	3,537	0,454
2. Длина барабанов	м	$L_{\text{б}}$	7,073	0,454
3. Частота вращения барабанов	об/с	$n_{\text{б}}$	0,28	13,23
4. Полезная мощность	кВт	$N_{\text{изм}}$	900,0	378,7
5. Мощность привода	кВт	$N_{\text{прив}}$	1217,7	467,5
6. Теоретическое время измельчения сыпучего материала	с	$\tau_{\text{изм}}$	3042	56
7. Энергия, затрачиваемая на измельчение сыпучего материала	МДж	$E_{\text{изм}}$	3704,7	26,7

Из табл. 2 видно, что ПШМ, во-первых, обладает в разы большей энергоэффективностью по сравнению с БШМ, а во-вторых, имеет зна-

чительно меньшие габариты помольных барабанов.

На рис. 4 представлены графики зависимо-

сти мощности привода барабанной и планетарной шаровых мельниц от производительности.

Анализ приведенных на рис. 4 графических

зависимостей показывает, что затраты мощности на измельчение сыпучего материала в БШМ в среднем в 2,6 раза выше, чем в ПШМ.

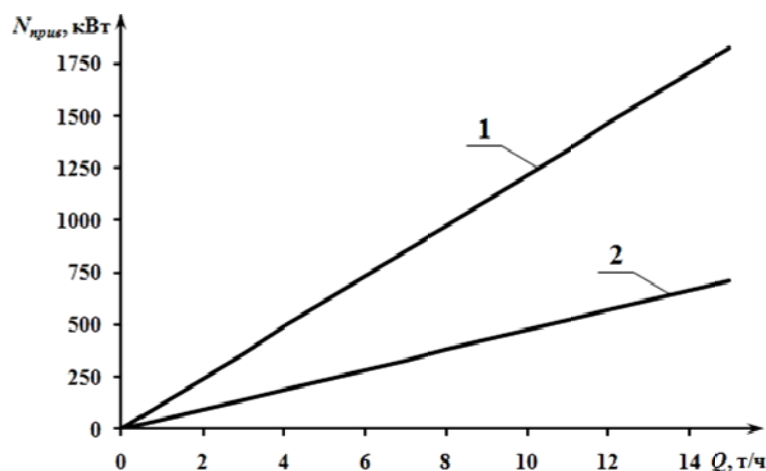


Рис. 4. Зависимость мощности привода БШМ (1) и ПШМ (2) от производительности

Величина относительного перерасхода энергии, затрачиваемой на измельчение сыпучего материала в БШМ по сравнению с ПШМ, определялась по формуле:

$$E_{\text{отн}} = \frac{E_{\text{изм}}^{\text{БШМ}}}{E_{\text{изм}}^{\text{ПШМ}}} \quad (20)$$

На рис. 5 представлен график зависимости

относительного перерасхода энергии $E_{\text{отн}}$ от производительности.

Анализ приведенной на рис. 5 графической зависимости показывает, что затраты энергии на измельчение сыпучего материала в БШМ в несколько десятков раз превышают аналогичные затраты в ПШМ.

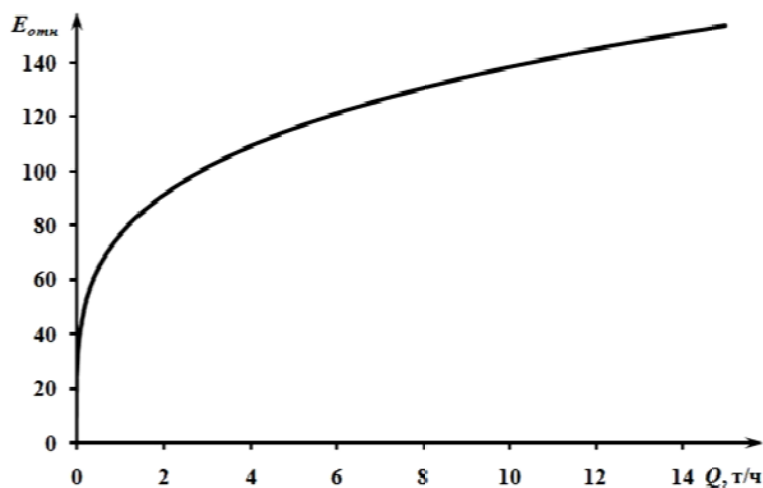


Рис. 5. Зависимость $E_{\text{отн}} = f(Q)$

Таким образом, сравнительная оценка энергоэффективности по затратам мощности и энергии двух типов мельниц показывает, что энергоэффективность планетарной шаровой мельницы в среднем на порядок выше по сравнению с барабанными шаровыми мельницами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сиденко, П. М. Измельчение в химической промышленности / П. М. Сиденко. – 2-е изд., перераб. – М.: Химия, 1977. – 368 с.
2. Конструирование и расчет машин химических производств: учебник для студ. вузов / под ред. Э. Э. Кольмана-Иванова. – М.: Машиностроение, 1985. – 408 с.

3. Голованчиков, А. Б. Лабораторный практикум по машинам и аппаратам химических производств: учеб.-метод. пособие / А. Б. Голованчиков, В. В. Савин, П. С. Васильев; ВолгГТУ. – Волгоград, 2016. – 111 с.

4. Машины и аппараты химических производств: учебник / А. С. Тимонин [и др.] ; под ред. А. С. Тимонина. – Калуга: Ноосфера, 2014. – 854 с.

5. Кочнев, В. Г. Планетарным мельницам более 120 лет. Что мы знаем о них? / В. Г. Кочнев // Золото и технологии. – 2013. – № 2. – С. 34–41.

6. Механоактивация цементных сырьевых смесей и клинкера в планетарной мельнице «Активатор-2SL» / Д. С. Цыплаков [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т. 16, № 22. – С. 60–61.

7. Козулин, Н. А. Примеры и задачи по курсу оборудова-

ния заводов химической промышленности: учеб. пособие / Н. А. Козулин, В. Н. Соколов, А. Я. Шапиро. – М.–Л.: Машиностроение, 1966. – 492 с.

8. Ковтуненко, В. В. Исследование работы планетарных мельниц с целью рационального выбора их параметров при тонком измельчении карбонатных пород: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06 / Ковтуненко В. В. – М., 1984. – 212 с.

9. Васильев, П. С. Программа для расчета основных технологических параметров планетарной шаровой мельницы периодического действия с одним приводом / П. С. Васильев, Ю. Ю. Матасова // № 2017616734 от 13.06.2017 г.

10. Молчанов, В. И. Активация минералов при измельчении / В. И. Молчанов, О. Г. Селезнева, Е. Н. Жирнов. – М.: Недра, 1988. – 208 с.

УДК 623.44

Т. В. Копейкина

МОНИТОРИНГ ОБРАЗОВАНИЯ ГОЛОЛЕДА НА ПРОВОДАХ ЛЭП

**Камышинский технологический институт (филиал)
Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: kopeikina.tania@yandex.ru

В данной статье отмечается, что на данный момент борьба с гололедом на ЛЭП является одной из приоритетных в электроэнергетике. Рассмотрены методы и принципы обнаружения гололеда на проводах воздушных ЛЭП. Особое внимание уделено методу локационного зондирования, как наиболее перспективному из них. Отражены основные достоинства и недостатки каждого из представленных методов. Указаны основные системы контроля и обнаружения гололеда на ЛЭП существующие в мире сегодня. Сделан вывод о необходимости дальнейших исследований в области локационного метода обнаружения гололеда.

Ключевые слова: ЛЭП, провода, способы, гололед, метод, датчик, параметры, система, измерения, прибор.

Т. V. Kopeykina

MONITORING OF ICE FORMATION ON POWER LINES WIRES

**Kamyshin technological Institute (branch)
Volgograd State Technical University**

In this article it is noted that at the moment the fight against ice on the power line is one of the priorities in the power industry. Methods and principles of ice detection on the wires of overhead power lines are considered. Special attention is paid to the method of location sensing, as the most promising of them. The main advantages and disadvantages of each of the presented methods are reflected. The main systems of control and detection of ice on power lines existing in the world today are specified. The conclusion is made about the necessity of further research in the field of location method of ice detection.

Keywords: Power lines, wires, methods, ice, method, sensor, parameters, system, measurements, device.

Проблема гололедообразования на ЛЭП является одной из приоритетных в электроэнергетике, так как при этом возникают массовые провисания и обрывы проводов, разрушения арматуры, поломки опор воздушных линий электропередачи. Гололедные аварии на ЛЭП имеют массовый характер и приносят огромный материальный ущерб из-за недоотпуска электроэнергии потребителям и необходимости проведения ремонтно-восстановительных работ.

В настоящее время существуют два направления обнаружения гололеда:

1) прогнозирование вероятности возможного гололедообразования на основе метеорологических данных воздушной среды, окружающей провода, с учетом технических параметров ЛЭП;

2) непосредственный контроль процесса гололедообразования на проводах с помощью датчиков и устройств обнаружения гололеда, что позволяет достаточно точно определять момент начала его необходимой плавки. Прогнозирование гололедообразования на основе метеорологических данных воздушной среды применяются во многих странах, где обледенение линий

электропередачи является актуальной проблемой, чтобы смягчить или избежать его влияния на работоспособность этих линий.

Информация о текущей погодной ситуации вдоль линии электропередачи позволяет уменьшить количество отключений энергии. Датчики и системы слежения за погодными условиями должны располагаться вдоль ЛЭП. Энергетическим компаниям требуются достоверные метеорологические данные для эффективного управления работой электросетей. Для контроля могут использоваться как полные метеорологические станции, работающие в автономном режиме, так и просто набор дистанционных датчиков, смонтированных на опорах.

В проектной документации на ЛЭП указаны допустимые параметры стрелы провеса для каждого пролета трассы. Стрела провеса может определяться как с помощью тензодатчиков, расположенных на опорах в точках подвеса проводов, так и косвенно, по данным датчиков акселерометров измерительных модулей, смонтированных непосредственно на проводе. При этом также учитываются температуры окружающего воздуха и провода и величина тока через провод. Наличие этих данных позволяет определять опасные режимы эксплуатации проводов в пролетах и при необходимости изменять ресурс допустимой токовой нагрузки.

В настоящее время во всем мире находят широкое применение различные системы мониторинга воздушных ЛЭП, обеспечивающие системного оператора подробными сведениями о текущем состоянии воздушных и кабельных сетей электроснабжения. Система мониторинга состоит из сети измерительных блоков, связанных через канал связи с оборудованием на диспетчерском пункте. Измерительные блоки распределены вдоль трассы ЛЭП и монтируются на опорах либо непосредственно на высоковольтных проводах.

Обледенение представляет огромную угрозу для ЛЭП. Гололедно-изморозевые отложения на проводах и тросах ВЛ происходят при температуре воздуха около минус 5 °С и скорости ветра 5 ÷ 10 м/с. Гололед обуславливает дополнительные механические нагрузки на все элементы ВЛ. При значительных гололедных отложениях возможны обрывы проводов, тросов, разрушения арматуры, изоляторов и даже опор ВЛ. Гололед является одной из причин «пляски» проводов, способной привести к их схлестыванию. Наличие гололеда можно опре-

делить при оценке совокупности данных, полученных от метеодатчиков, тензодатчиков подвеса и акселерометров.

На сегодняшний день имеется огромное количество патентов, предлагающих методы и датчики для обнаружения гололеда. Датчики при появлении гололеда на ЛЭП реагируют на изменения: физических параметров среды, окружающей провода; электрических характеристик проводов; веса или натяжения проводов; условий распространения высокочастотных и импульсных сигналов по проводам воздушных линий. Практическое применение для обнаружения гололеда нашли метод взвешивания проводов и метод локационного зондирования линий электропередачи.

Известно, что нарастание гололеда до аварийных пределов может произойти за считанные часы. Подготовка к действию устройства для плавки гололеда требует времени от одного часа и более (зависит от схемы плавки, потребителя, протяженности ЛЭП и т. д.). Поэтому для эффективной борьбы с гололедом важны два фактора: раннее обнаружение начала гололедообразования и достоверная и надежная информация о динамике гололедообразования.

Наиболее объективным методом измерения величины гололедной нагрузки на проводах воздушной линии является метод измерения веса одного или нескольких пролетов провода воздушной линии. Величина натяжения провода при этом определяется нагрузками от гололеда и ветра, а также температурой окружающей среды. Оценка степени напряженного состояния провода и сравнение ее с предельно допустимым значением осуществляется с помощью весового (тензометрического) датчика. Показания датчика передаются на диспетчерский пункт с использованием канала связи. К сожалению, вес провода с гололедными отложениями измеряется на отдельных пролетах воздушной линии, в то время как гололед может образоваться и на других неконтролируемых пролетах линии, где он не будет обнаружен. Поэтому для повышения достоверности измерений необходимо увеличивать количество датчиков и устройств, передающих их показания на пункт управления, что является сложной технической задачей.

Другой недостаток весовых датчиков заключается в том, что они не являются универсальными. Они не могут использоваться без настройки для любого типа ЛЭП, имеющих раз-

личные параметры в зависимости от мощности самой линии (длина пролета между опорами, диаметр и количество проводов в фазе, количество и габариты изоляторов). Но несмотря на недостатки, этот метод из-за отсутствия других промышленно разработанных методов используется в ряде энергорайонов.

Метод локационного зондирования заключается в подаче импульсного сигнала в линию и определении суммарного времени, затраченного на его распространение вдоль провода в прямом и обратном направлениях после отражения от конца линии либо от высокочастотного (ВЧ) заградителя.

При локационном способе обнаружения гололеда информацию о появлении гололеда несут импульсы, отраженные от любой неоднородности волнового сопротивления линии (реперной точки), имеющейся на ней. Неоднородностями являются концы линий или ответвлений от них, ВЧ заградители, места присоединения ответвлений к линии электропередачи, места соединения воздушных линий с кабельными вставками и т. д. Недостатком классического локационного метода является невозможность отличить наличие небольшого по толщине гололедного образования на большой длине воздушной линии от опасной концентрации льда в отдельных ее пролетах. В этом случае применяется метод разбиения воздушной линии на отдельные локационные участки, для них определяется удельная толщина стенки гололедного отложения, по наибольшей величине которого принимается решение о необходимости плавки гололеда. Можно считать, что локационный метод обнаружения гололеда является объективнее и информативнее метода взвешивания проводов. Определение места гололедного отложения, ведущего к аварии ЛЭП, осуществляется с использованием специальных мер. Аппаратура локационного зондирования обычно устанавливается около стойки высокочастотной связи, так как подключается к его выходной клемме параллельно с высокочастотным кабелем. Локационный метод позволяет надежно следить в реальном времени за динамикой обледенения проводов и четко определять начало необходимой плавки гололедных отложений для предотвращения обрыва проводов электролиний и обусловленный этим недоотпуск электроэнергии потребителям. Метод позволяет следить за эффективностью плавки

гололеда и дает возможность определять момент его своевременного прекращения при исчезновении опасности разрушения линии и обрыва проводов. Оптимизация времени плавки гололеда способствует энергосбережению и позволяет сэкономить значительные финансовые средства, так как плавка гололеда требует дорогостоящих энергетических затрат. Локационный метод обнаружения гололеда имеет следующие преимущества перед методом взвешивания проводов:

1) вся аппаратура располагается около начала или конца линии электропередачи в производственных помещениях подстанции и не требует вмешательства в конструкцию ЛЭП, так как зондирующий импульсный сигнал одновременно выполняет функции датчика и носителя информации о гололедном отложении на проводе;

2) обеспечивается контроль всей линии, а не только одного пролета;

3) используется меньший, более простой и дешевый состав аппаратуры;

4) отсутствует угроза вандализма, так как локационное устройство располагается в помещении подстанции;

5) ввод в действие аппаратуры локационного зондирования занимает несколько минут, если ЛЭП имеет высокочастотную обработку;

6) имеется возможность периодического контроля с помощью коммутатора одним локационным устройством всех линий, отходящих с подстанции.

В настоящее время в нашей стране и за рубежом используется ряд коммерческих систем мониторинга воздушных электросетей, ориентированных на решение определенных задач. Рассмотрим разновидности систем мониторинга ЛЭП применяемых на данный момент.

Как известно, на сегодняшний день в ОАО «МЭС Юга», а также в ряде других энергосистем России – «Ростовэнерго», «Ставропольэнерго», «Кубаньэнерго», «Волгоградэнерго», «Башкирэнерго», «Сахалинэнерго» находит широкое применение эксплуатация автоматизированной информационной системы контроля гололедообразования на воздушных линиях (АИСКГ). В данной системе используются весовые датчики. Система разработана и внедрена творческим коллективом сотрудников ЮРГТУ (НПИ) и СКБПиСА (г. Невинномысск) [3].

Одной из первых коммерческих систем мониторинга стала система САТ-1, разработанная

в 1991 г. американской компанией The Valley Group, Inc. В настоящее время во всем мире используется свыше 300 систем мониторинга SAT-1. Система обеспечивает мониторинг в реальном времени погодных условий и натяжения проводов в точках крепления к опорам. Основной модуль системы монтируется на опоре ЛЭП и весит порядка 50 кг. Датчики измерения натяжения проводов представляют собой тензодатчики в корпусе из нержавеющей стали с крепежными отверстиями и устанавливаются между изолятором и опорой. Основой тензодатчиков является измерительный преобразователь. Основной модуль SAT-1 состоит из влагостойкого алюминиевого корпуса с блоком электроники, встроенного модема, антенн для передачи данных и крепежных элементов. Модуль предназначен для эксплуатации в диапазоне температур окружающей среды $-40 \div +60$ °С. Для обеспечения непрерывной работы модуля используется 12-В аккумуляторная батарея, зарядное устройство и панель солнечной батареи.

Несмотря на простоту измерений, система за счет использования патентованных алгоритмов анализа обеспечивает выявление и расчет многих полезных параметров ВЛ, например стрелы провеса, токовой пропускной способности линии и даже наличия гололеда на проводах.

Также получила широкое распространение и другая концепция реализации измерительного модуля для систем мониторинга OTLM (Over head Transmission Line Monitoring), т. е. мониторинг пропускной способности ВЛ. В отличие от системы мониторинга SAT-1 измерительный модуль OTLM конструктивно монтируется на высоковольтный провод. Измерение тока в проводе и питание модуля осуществляется бесконтактно. Питание прибора производится от энергии, получаемой от провода через токовый трансформатор. Система OTLM обеспечивает в реальном времени измерение температуры и тока проводов.

Устройство измеряет ток в проводе и температуру провода в фиксированных точках. Прибор имеет крепление для монтажа непосредственно на провод. Источник питания – встроенный токовый трансформатор. Получаемая энергия используется для питания всего устройства. Никаких внешних источников питания не требуется. Также в приборе используется GPS-приемник. Измеренные значения тока и температуры привязаны, таким образом, к конкретным координатам положения блока на

ЛЭП и меткам точного времени. Данные измерений периодически передаются в диспетчерский пункт, оборудованный системой SCADA, через стандартный IEC-протокол. Данные доступны через веб-браузер.

На сегодняшний день метод локационного обнаружения гололеда нигде в мире не реализован в полной мере. Сотрудниками КГЭУ и ОАО «НПО «Радио-электроника» имени В. И. Шимко» по заказу ОАО «ФСК ЕЭС» разработан, изготовлен и испытан опытный образец системы мониторинга гололеда на 16 каналов.

Системы мониторинга воздушных электросетей ЛЭП обеспечивают дополнительные функции, позволяя повысить эффективность передачи электроэнергии и уменьшить потери. Мониторинг не только обеспечивает повышение надежности транспорта электроэнергии, но и способствует уменьшению расходов на обслуживание линий электропередачи за счет более оперативных и точных данных при локализации аварийных сегментов, а также прогнозирования проблемных ситуаций на трассе. Использование перспективных систем мониторинга воздушных электросетей в последнее время стало особенно актуальным в России, поскольку, во-первых, существенно возросла стоимость ущерба при крупных авариях, а во-вторых – в связи с уменьшением надежности энергосистем вследствие сильного износа как используемого оборудования, так и проводных линий. Метод взвешивания проводов позволяет контролировать гололедные образования в пролетах той опоры, у которой установлен датчик. Этот участок линии должен быть характерным для всей линии электропередачи. Если гололед образуется на других участках линии, где нет датчиков, то не будет обнаружен. Чтобы контролировать линию по всей длине необходимо установить датчики гололеда у каждой опоры. Такая задача, к сожалению, технически невыполнима. Локационный метод дает возможность контролировать всю линию электропередачи и в реальном времени наблюдать процесс нарастания гололедных отложений и их сброс при плавке гололедной муфты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Костиков, И. Система мониторинга SAT-1 — повышение пропускной способности и надежности в ЛЭП / И. Костиков // Энергетика. – 2011. – № 3 (38).
2. Самарин, А. В. Современные технологии мониторинга воздушных электросетей ЛЭП / А. В. Самарин, Д. Б. Рыгалин, А. А. Шкляев // Естественные и технические науки. – 2012. – № 1, 2.

3. Левченко, И. И. Система прогнозирования и контроля гололедообразования / И. И. Левченко, Е. И. Сацук // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2011. – № 1. – С. 14–18.

4. Борьба с гололедом – Эксплуатация воздушных линий электропередачи // Энергетика: оборудование, до-

кументация. URL: http://forca.ru/instrukcii-po-ekspluatacii/vl/ekspluataciya-vozdushnyh-linii-elektroperedachi_4.html (дата обращения 10.10.2011).

5. Минуллин, Р. Г. Локационная диагностика воздушных линий электропередачи / Р. Г. Минуллин, И. Ш. Фардиев. – Казань: Изд-во КГЭУ, 2008. – 202 с.

УДК 620.97

О. С. Атрашенко

ТЕНДЕНЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ С ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ

**Камышинский технологический институт (филиал)
Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: olgapasmenko@yandex.ru

В статье рассматриваются проекты высотных зданий с использованием возобновляемых источников энергии. Описаны тенденции внедрения альтернативных источников энергии при проектировании объектов в мире и России: здания, позволяющие увеличить скорость ветра путем включения в объемно-планировочное решение вертикальных, горизонтальных отверстий; строительства нескольких корпусов комплекса для создания «ловушки» для ветра; здания с наклонными поверхностями, двойными фасадами имеющими упорядоченную геометрическую «текстуру» за счет применения фотоэлектрических панелей. Приведено процентное соотношение применения ВИЭ в моно- и полиэнергетических высотных зданиях.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, высотные здания, фотоэлектрические панели, ветрогенераторы, энергоэффективные здания.

O. S. Atrashenko

TRENDS OF CONSTRUCTION OF HIGH-RISE BUILDINGS WITH RENEWABLES

**Kamyshin institute of technology (branch)
Volgograd State Technical University**

In article projects of high-rise buildings with use of renewables are considered. Trends of introduction of alternative energy sources at design of objects in the world and Russia are described: the buildings allowing to increase wind speed, way inclusion in the space-planning solution of vertical, horizontal openings; constructions of several cases of a complex for creation of "trap" for wind; buildings, with the inclined surfaces, double facades having ordered geometrical "texture" due to use of photo-electric panels. Percentage of application of RES in mono - and polypower high-rise buildings is specified.

Keywords: renewables, high-rise buildings, photo-electric panels, wind generators, energy efficient buildings.

Введение

Жизнь современной цивилизации невозможна без энергии, в основном тепловой и электрической. На сегодняшний день в мегаполисах проживает всего 6,7 % от общего населения планеты. При этом крупные города потребляют 9,3 % всей потребляемой электроэнергии. Сейчас 80 % энергии для России дают ископаемые источники, углеводородное и ядерное сырье.

В 2017 г. на электростанциях единой энергосистемы России было реконструировано и модернизировано 3468,57 МВт мощности. Ввод новой мощности (с учетом генераторов промышленных предприятий) составил 3607,54 МВт, в то время как было демонтировано или отключено от сети 1435,35 МВт неэффективного, изношенного и морально устаревшего оборудо-

вания. К 2025 г. в России исчерпают ресурс электростанции совокупной установленной мощностью 50 ГВт и их нужно будет либо закрывать, либо модернизировать.

Выход для России из грядущих кризисов – как можно быстрее и интенсивней развивать нетрадиционную альтернативную энергетику, основываясь только на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ).

Состояние проектирования и строительства высотных зданий с возобновляемыми источниками энергии

В мире развивается тенденция внедрения в объекты высотных зданий ВИЭ.

Первые проекты гелиоактивных зданий появились в 30–40-х гг. XX в.

В 2002 г. был возведен жилой дом «Здание двадцати террас» («Twenty River Terrace»), расположенный в Нью-Йорке на берегу реки Гудзон. Общая высота здания – 76 метров, оно включает в себя 27 этажей (рис. 1). В доме более 280 квартир, рассчитанных на проживание 774 человек.

В объекте применены фотоэлектрические панели, способные покрыть 5 % от общего рас-

хода электрической энергии. Фотоэлектрические панели размещены на фасаде основного 46-метрового блока и на крыше здания. Они расположены на одной из пяти групп простенков и заполняются собой все пространство со 2 до 14 этажа. При этом, геопанелями облицована часть стен здания, оконные проемы выполняют только стандартную функцию.



Рис. 1. Общий вид «Здания двадцати террас» и применяемых в нем технологий

В Китае в 2010 г. был построен самый большой «нулевой дом» в мире (рис. 2), получивший название «Pearl River Tower» («Жемчужная река»). Башня высотой 310 м была спроектирована американскими инженерами с использованием самых современных экологических разработок. Pearl River Tower в Гуан-

чжоу полностью само себя обеспечивает энергией благодаря встроенным внутрь здания ветровым турбинам фотоэлектрическим панелям. Специальные жалюзи, автоматически меняющие угол для оптимального освещения.

В современных проектах и зданиях наблюдается тенденция изменения объемно-про-

странственных решений высотных зданий при использовании возобновляемых источников энергии. В России сегодня нет высотных зданий с возобновляемыми источниками энергии. Однако существуют примеры многоэтажных энергоэффективных зданий.



Рис. 2. «Pearl River Tower» («Жемчужная река»)

В настоящее время общественно-деловой комплекс «Лахта-центр» с резиденцией «Газпрома» в Санкт-Петербурге является самым «зеленым» из всех построенных или строящихся зданий в России. С помощью экологических

технологий экономия на энергетических ресурсах составляет около 40 %. В конструкции центра реализованы такие инновации, как панорамное остекление, автоматическое регулирование света, датчики присутствия, а также контроллеры на всех инженерных системах.

Barkli Park в Москве – это инновационный жилой экомплекс, который в ближайшее время получит экологический сертификат LEED. Он оснащен такими передовыми системами как система BMS; собственная водоочистительная система; при остеклении здания энергосберегающее флоат-стекло, отражающее инфракрасное излучение и позволяющее сократить тепловые потери помещения на 15–20 %.

Актуальность вопроса использования экологически безопасной энергии, выработанной из возобновляемых источников, уже давно даже не обсуждается. Однако имеется проблема выбора самого источника, вопрос, что эффективнее использовать: энергию солнечной радиации, ветра, грунта, воды и т. п.?

В настоящее время построено большое количество различных установок, позволяющих использовать и преобразовывать энергию ветра (рис. 3).



Рис. 3. Типы ветрогенераторов и проекты высотных зданий с их применением



Важный параметр – расположение оси вращения относительно поверхности земли. Он отражается на объемно-планировочном решении высотного здания при использовании в его

структуре ветрогенераторов. Большее число ветровых потоков – горизонтально направленные. Поэтому вертикальная развитость здания подходит для применения ветрогенераторов

с горизонтальной осью вращения. Чаще всего это несколько ветрогенераторов, установленных в верхней части объекта, где скорость ветра максимальна. Существуют объекты с точечным размещением установок, со сквозными отверстиями, с консольным размещением инженерного оборудования, работающего на энергии ветра. Меньше разнообразия при использовании ветрогенераторов с вертикальной осью вращения. Они монтируются либо на завершении (на крыше) высотного здания, либо на кровле стилобатной части, либо внутри основного объема сооружения. В последнем случае это энергогенератор, который находится в сквозном отверстии в объекте или же установлен между двумя его корпусами.

Самый распространенный вариант перевод солнечной энергии в электрическую с помощью нагрева кремниевого состава, напыленного на пластину. Он применим как в высотном, так и в малоэтажном строительстве. Второй вариант – перевод солнечной энергии в тепловую посредством нагрева теплоносителя в трубках. Решение чаще применяется в мало- и среднеэтажных зданиях для отопления и горячего водоснабжения. Недавно появилось новое поколение гелиопанелей – «Интегрируемые строительные фотоэлектрические модули» (рис. 4).

Их основная особенность – возможность монтажа на любую поверхность здания: кровля, наклонная плоскость, вертикальная стена или остекление. Особый интерес представляют прозрачные панели, которые способны пропускать дневной свет и при этом преобразовывать солнечную энергию.



Рис. 4. Виды интегрируемых строительных фотоэлектрических модулей

Современные гелиоустановки обладают коэффициентом полезного действия равным 20–25 %, существуют опытные образцы с показателем в 35–40 %.

Опираясь на разделение зданий по количеству и набору применяемых ВИЭ, можно составить классификацию типов на моноэнергетические и полиэнергетические объекты. В первых применен один из пяти источников, во второй группе – несколько, в разных сочетаниях. В настоящее время в мире примерно равное соотношение полиэнергетических и моноэнергетических зданий (рис. 5).

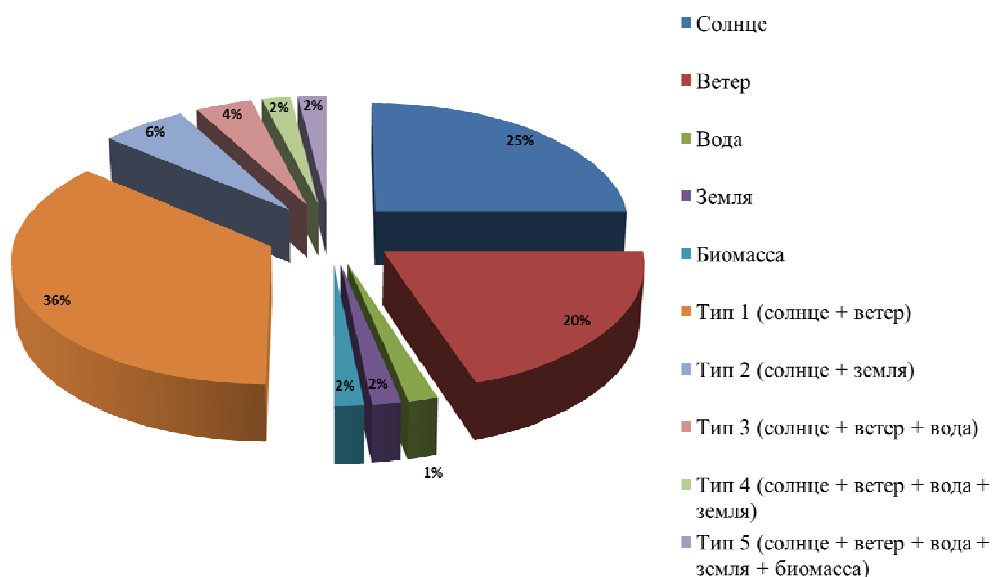


Рис. 5. Соотношение применения ВИЭ в моно- и полиэнергетических высотных зданиях

Заключение

Высотное здание – объект по затратам энергии сопоставим с небольшим населенным пунктом. Поэтому включение ВИЭ в структуру высотных зданий стало закономерным этапом их развития. Это позволяет создавать здания с более выразительным архитектурным обликом, а также сократить количество вредных выбросов, получаемых при применении традиционных источников энергии и минимизировать ущерб, наносимый природной среде.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ауров, В. В. Архитектура высотных зданий: учебное пособие по проектированию / В. В. Ауров, М. Д. Баушева, Д. А. Карелин, Е. В. Ульянова. – М.: МАРХИ, 2016. – 72 с.
2. Семикин, П. П. Принципы формирования архитектуры высотных зданий с возобновляемыми источниками энергии: дис. ... канд. арх. наук :05.23.21 / Семикин Павел Петрович. – М., 2014. – С. 32.
3. Магай, А. А. Архитектурно-композиционные особенности высотных зданий / А. А. Магай // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2015. – № 4. – С. 25–30.

УДК 54.058

Ф. Г. Тарасевский¹, И. В. Горюнов¹, В. А. Горюнов², Е. А. Федянов²

МОНИТОРИНГ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

¹ООО «Группа компаний «Элита», Санкт-Петербург

²Волгоградский государственный технический университет

E-mail: i.goryunov@elitacompany.ru

Рассмотрено устройство системы непрерывного контроля содержания нефтепродуктов в сточных водах ТЭЦ с прямоточными системами охлаждения. Указаны преимущества использованных в системе датчиков регистрации полициклических ароматических углеводородов в воде и масляных пленок на ее поверхности. Отмечено, что система может быть использована не только на ТЭЦ, но и на других предприятиях, на которых необходимо проводить непрерывный мониторинг степени загрязнения сточных вод.

Ключевые слова: система мониторинга, контроль загрязнений, загрязнения нефтепродуктами.

F. G. Tarasevskii¹, I. V. Goryunov¹, V. A. Goryunov², E. A. Fedyanov²

INDUSTRIAL WASTEWATER MONITORING

¹Group of Companies Elita LLC

²Volgograd State Technical University

A system of continuous monitoring of the content of petroleum products in the wastewater of a thermal power plant with direct-flow cooling systems is considered. The advantages of the sensors used to detect polycyclic aromatic hydrocarbons in water and oil films on its surface are indicated. It is noted that the system can be used not only at thermal power plants, but also at other enterprises where continuous monitoring of the degree of pollution of wastewater is necessary.

Keywords: monitoring system, pollution control, oil pollution.

В настоящее время обеспечение экологической безопасности является одной из важнейших задач при организации работы любого предприятия. На существующих предприятиях минимизация негативного влияния производственных процессов на окружающую среду обеспечивается в том числе непрерывным контролем соответствия уровня выбросов вредных продуктов, шума и т. п., предусмотренным нормами.

На современных ТЭЦ с прямоточной системой охлаждения [1–3] необходимо контролировать степень загрязнения воды, сбрасываемой в водоемы из конденсаторов турбин и сис-

тем охлаждения электрооборудования. В частности, вода не должна содержать следов минерального масла, которое служит промежуточным теплоносителем в системах охлаждения электрооборудования. Масло может попадать в воду в теплообменных аппаратах, число которых в зависимости от мощности ТЭЦ может достигать до нескольких десятков.

Для предотвращения сброса охлаждающей воды, содержащей нефтепродукты, разработана система экомониторинга «Биогард». Система «Биогард-Ф-НП» служит для определения массовых концентраций нефтепродуктов в сточных

водах, определения превышения содержания нефтепродуктов в сточных водах на всех режимах ТЭЦ, стабильной записи (хранения) и передачи данных контроля содержания в воде нефтепродуктов в сливных колодцах и на выпусках в водоемы. Анализ стоков на содержание нефтепродуктов ведется в непрерывном режиме.

Система «Биогард-Ф-НП» оборудована датчиками TriOs и регистратором нефтяных пленок «КРАБ».

Принцип действия датчиков TriOs основан на флуоресценции в ультрафиолетовом диапазоне. Этот метод во много раз чувствительнее обычных методов, базирующихся на измерении рассеивания и абсорбции инфракрасного излучения. Благодаря этому возможно обнаружение в воде даже следов присутствия полициклических ароматических углеводородов (ПАУ). Погружной флуориметр TriOs позволяет пользователю проводить измерения концентрации ПАУ в режиме реального времени. Специально

разработанная конструкция полностью исключает влияние внешних источников излучения (подавление постороннего света).

Сигналы, полученные от датчиков TriOs, передаются на промежуточный контроллер, установленный в непосредственной близости от места установки датчиков. В контроллере происходит сохранение полученных данных, затем информация передается на центральный пульт. При превышении концентрации ПАУ в стоках срабатывает один из сигнализаторов.

Оптический индикатор «КРАБ» предназначен [4] для регистрации нефтяных пленок на водной поверхности. В основе используемого метода обнаружения нефтяных загрязнений лежит оптическое зондирование водной поверхности. Регистрация нефтяных пленок производится благодаря тому, что в видимой области спектра коэффициент отражения нефти приблизительно в два раза больше коэффициента отражения воды.

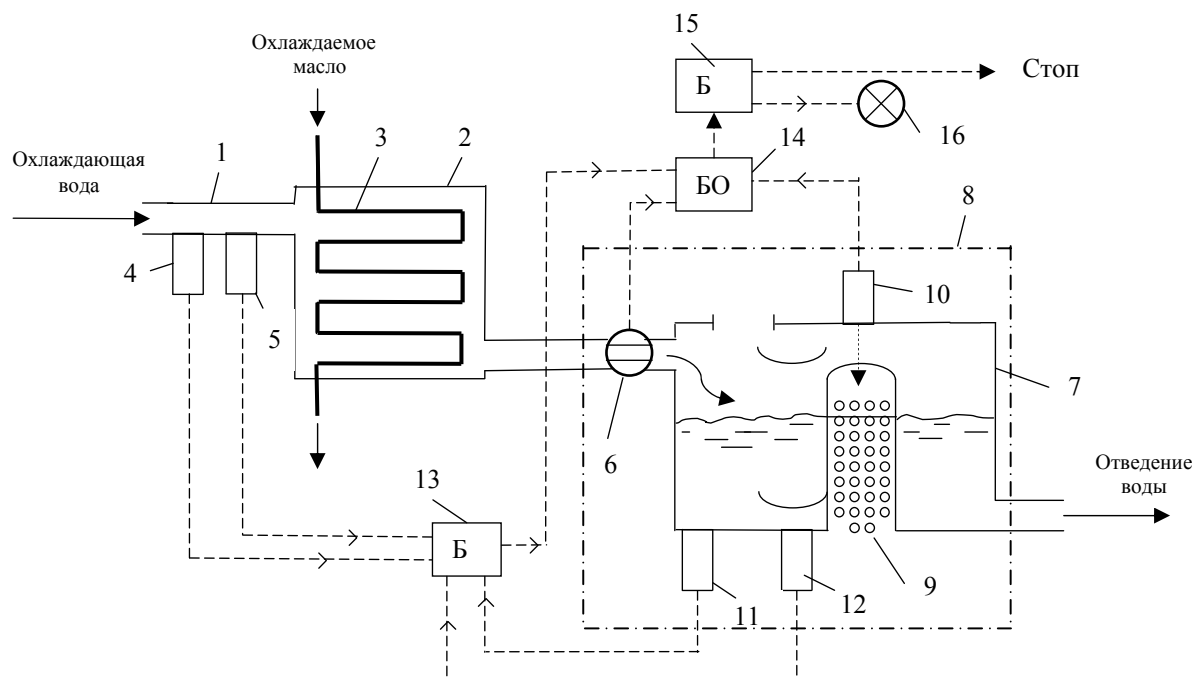


Схема системы контроля содержания нефтепродуктов в сточных водах

На рисунке показана схема системы контроля нефтепродуктов в промышленных сточных водах на примере стоков из теплообменников для охлаждения масла на ТЭЦ.

Подающий трубопровод (водовод) 1 связан с узлом охлаждения 2, в котором расположен контур охлаждения 3. На подающем трубопроводе 1 установлены датчик температур 4 и датчик контроля концентрации масел 5 – погруж-

ной флуориметр TriOs. Выход узла охлаждения 2 через расходомер 6 связан с емкостью 7 узла контроля 8. В емкости 7 установлен успокоитель потока 9, над которым закреплен регистратор нефтяных пленок 10 – оптический индикатор нефтяных загрязнений водной поверхности «Краб». В емкости 7 также установлены датчик температур 11 и датчик контроля концентрации масел 12. Выходы датчиков 4, 5, 11, 12 соеди-

нены с блоком сравнения 13. Выходы регистратора нефтяных пленок 10, расходомера 6 и блока сравнения 13 соединены с входами блока обработки данных 14, а выход этого блока соединен с входом блока формирования команд 15. Выход блока формирования команд 15 соединен с устройством сигнализации 16. На одном из выходов блока формирования команд может формироваться команда на отключение каких-либо устройств или отключение работы всего оборудования.

Установка успокоителя потока позволяет получать более точную информацию от регистратора нефтяных пленок. Установка датчиков температуры и контроля концентрации масел на входе подачи воды и сравнение в блоке сравнения их показаний с показаниями датчиков, установленных в узле контроля, повышают достоверность измерений. Установка расходомера позволяет учитывать расход контролируемой воды, что увеличивает точность определения концентрации масел в воде, корректируя этот показатель в блоке обработки данных.

Система контроля нефтепродуктов в промышленных сточных водах работает следующим образом. Охлаждающая вода подается по подающему трубопроводу 1 к узлу охлаждения 2, в котором расположен контур охлаждения 3. Датчик температур 4 и датчик контроля концентрации масел 5, установленные на подающем трубопроводе 1, измеряют параметры воды, поступающей на охлаждение. Показания датчиков передаются в блок сравнения 13. Отработанная вода через расходомер 6 поступает в емкость 7 узла контроля 8. Часть жидкости поступает в успокоитель потока 9, где колебания на поверхности воды сглаживаются (образуется «зеркало» водной поверхности). Регистратор нефтяных пленок 10 производит оптическое зондирование водной поверхности, результаты которого передаются в блок обработки данных 14.

Датчик температур 11 и датчик контроля концентрации масел 12, установленные в емкости 7, измеряют параметры отработанной воды. Показания датчиков передаются в блок сравнения 13, где происходит их сравнение с показаниями датчиков 4 и 5, причем для сравнения берутся более ранние показания датчиков 4 и 5.

Время рассогласования определяется в блоке обработки данных 14 по показаниям расходомера 6 и примерно равно времени прохождения воды от подающего трубопровода 1 до емкости 7.

Данные от блока сравнения 13 передаются в блок обработки данных 14. Туда же поступает информация о расходе воды (от расходомера 6) и о наличии или отсутствии нефтяной пленки (от регистратора 10). От блока обработки данных 14 информация передается в блок формирования команд 15, где в зависимости от полученной информации может сформироваться команда на включение устройства сигнализации 16 (световой или звуковой сигнал) или/и на отключение каких-либо устройств или всего оборудования. Так, например, если произошла небольшая утечка масла в охлаждающую воду (микрповреждение в маслопроводе), блок формирования команд выдаст команду на включение сигнализации, а если произошла значительная утечка (трещина в маслопроводе или его обрыв), то будут выданы команды на включение сигнализации и одновременное отключение оборудования.

Система контроля определяет увеличение количества загрязнений нефтепродуктами в сточных водах по сравнению с подводимой водой, то есть загрязнений, внесенных непосредственно в ходе технологических процессов.

Система контроля нефтепродуктов в промышленных сточных водах может быть применена на всех промышленных предприятиях, где в ходе технологических процессов есть вероятность попадания нефтепродуктов в воду, используемую в этих процессах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чиж, В. А. Водоподготовка и водно-химические режимы ТЭС и АЭС / В. А. Чиж, Н. Б. Карницкий, А. В. Нерезько. – Минск : Вышэйшая школа, 2010. – 350 с.
2. Рыжкин, В. Я. Тепловые электрические станции / В. Я. Рыжкин. – М.: Энергоиздат, 1987. – 400 с.
3. Тепловые и атомные электрические станции: Справочник; под общ. ред. В. А. Григорьева, В. М. Зорина. – М.: Энергоиздат, 1989. – 608 с.
4. Оптический индикатор нефтяных загрязнений водной поверхности «Краб» / Руководство по эксплуатации. – Санкт-Петербург, 2018. – 7 с.

ТРАНСПОРТ

УДК 621.433.2

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

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПОДАЧИ СЖИЖЕННОГО УГЛЕВОДОРОДНОГО ГАЗА НА ПОКАЗАТЕЛИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ*

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: tig@vstu.ru

Проанализированы возможные причины снижения мощности двигателей с принудительным зажиганием при их переводе на питание сжиженным углеводородным газом. Показано, что одной из основных причин снижения мощности является уменьшение плотности топливовоздушной смеси и массового наполнения цилиндров. Приведены результаты испытаний автомобилей с газобаллонной аппаратурой различных поколений. Рассмотрены условия, при которых двигатели, работающие на сжиженных углеводородных газах, будут превосходить бензиновые по мощности и топливной экономичности.

Ключевые слова: сжиженный углеводородный газ, пропан-бутан, газобаллонные автомобили.

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

INFLUENCE OF THE CONDITIONS FOR THE SUPPLY OF LIQUEFIED PETROLEUM GAS ON THE INDICATORS OF CAR ENGINES

Volgograd State Technical University

The possible causes of a decrease in the power of spark ignition engines when they are converted to filled by liquefied petroleum gas are analyzed. It is shown that one of the main reasons for the decrease in power is a decrease in the density of the air-fuel mixture and the mass filling of the cylinders. The results of testing of cars with gas equipment of various generations are presented. The conditions under which engines operating on liquefied petroleum gases will exceed gasoline engines in power and fuel efficiency are considered.

Keywords: liquefied petroleum gas, propane-butane, gas-filled cars

Доля автомобильных двигателей, которые работают на газовых топливах, неуклонно растет. В России самым распространенным газовым топливом для двигателей легковых автомобилей пока остаются пропан-бутановые смеси, преимущество которых является возможность их хранения на борту автомобиля в сжиженном виде при температурах окружающей среды. При этом давление, обеспечивающее капельно-жидкое состояние таких газовых топлив, относительно невелико и не превышает 16 бар.

В англоязычной литературе для обозначения рассматриваемого вида газового топлива принята аббревиатура LPG, что означает сжиженный нефтяной газ, а в России этот вид топлива называют сжиженным углеводородным газом (СУГ). Последний термин будет

использован нами в дальнейшем изложении.

Исходя из начального опыта переоборудования на питание сжиженным углеводородным газом автомобильных карбюраторных двигателей с установкой на них первых образцов газовой аппаратуры с редуктором-испарителем, сформировалось устойчивое мнение о том, что перевод бензиновых двигателей на питание таким газовым топливом приводит к заметному снижению мощности двигателя. На рис. 1 приведены результаты проведенных авторами в ВолгГТУ испытаний автомобиля ГАЗ 24, оборудованного газовой аппаратурой первого поколения. Испытания проведены на динамическом стенде Dynapack 6033 4WD, который позволяет измерять мощность, снимаемую с ведущих колес автомобиля.

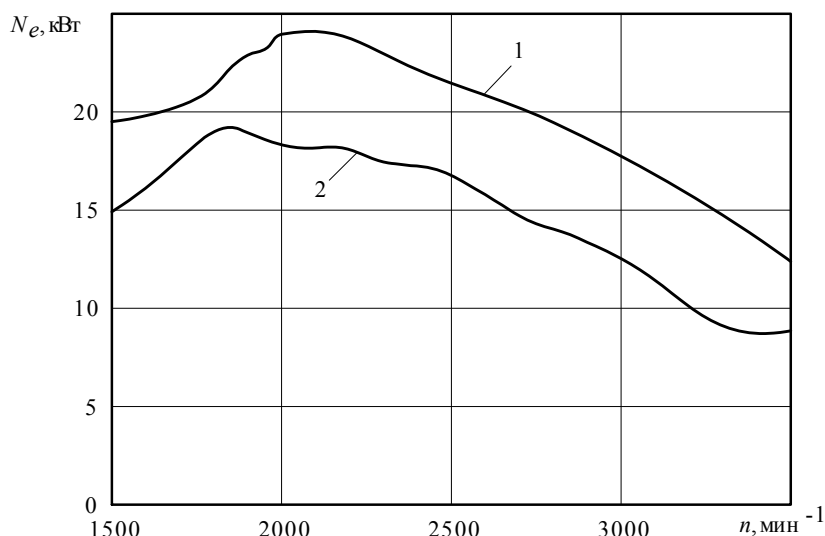


Рис. 1. Внешняя скоростная характеристика двигателя автомобиля ГАЗ-24 «Волга»: 1 – работа на бензине; 2 – работа на СУГ

Из сопоставления внешних скоростных характеристик автомобиля, полученных на бензине (кривая 1) и СУГ (кривая 2), следует, что на газовом топливе мощность снижается более чем на 20 %.

В качестве одной из причин снижения мощности при переводе двигателей с бензина на углеводородный газ называют [1] уменьшение теплоты сгорания смесей углеводородного газа с воздухом по сравнению с бензовоздушными смесями. Однако расчеты, проведенные с использованием известных значений теплот сгорания [2, 3] пропана (46,4 МДж/кг), бутана (45,7 МДж/кг) и бензинов (44 ... 48 МДж/кг), указывают на то, что при фиксированном значении коэффициента избытка воздуха теплота сгорания смесей с воздухом пропан-бутана практически такая же, как у бензовоздушных смесей.

Исходя из сказанного, причины падения мощности двигателей при переводе их на питание углеводородным газом следует искать не в различии теплот сгорания, а в неодинаковом наполнении цилиндров топливоздушной смесью. Последнее связано с тем, что одни и те же условия во впускном трубопроводе по-разному сказываются на процессе смесеобразования при работе на бензине и углеводородном газе.

В карбюраторных двигателях, предназначенных для работы на бензине, впускной коллектор, как правило, подогревается с тем, чтобы интенсифицировать испарение бензина. Для двигателей, работающих на углеводородном газе, подогрев нежелателен, так как приводит к существенному снижению плотности топливоздушной смеси. Вследствие меньшей, чем

у бензина, молярной массы углеводородного газа и большей величины теоретически необходимого для сжигания этого газа количества воздуха масса топливоздушной смеси в цилиндре при прочих равных условиях примерно на 2,5 % меньше, чем при питании двигателя бензином.

Температура смеси углеводородного газа с воздухом, поступающей в цилиндр из обогреваемого впускного трубопровода, оказывается выше, чем у бензовоздушной смеси. Главная причина повышения температуры в том, что та часть подведенной теплоты, которая при работе на бензине расходуется на его переход в паровую фазу, в случае работы на газе идет на подогрев газозаполненной смеси. Как показывают расчеты авторов, повышение температуры смеси углеводородного газа с воздухом за счет подвода указанной теплоты составляет около 20 градусов. В результате плотность газозаполненной смеси, поступающей в цилиндр, еще на 7,5 % оказывается меньше, чем у бензовоздушной смеси.

Указанное выше снижение мощности двигателя автомобиля ГАЗ-24 при его переводе на питание сжиженным углеводородным газом более чем вдвое превышает 10 % и не может быть объяснено только уменьшением коэффициента наполнения. В этом двигателе дополнительная потеря мощности происходит вследствие сохранения регулировок углов опережения зажигания, оптимальных для бензина, и некоторого изменения при переходе с одного вида топлива на другой значения коэффициента избытка воздуха.

На рис. 2 приведены результаты испытаний

на том же стенде Dinorack автомобиля Hyundai Sonata, двигатель которого оснащен газобаллонным оборудованием 4-го поколения. Отличительной особенностью этого оборудования является распределенная по ветвям впускного коллектора подача газа через газовые форсунки. Управление газовыми форсунками и вели-

чиной угла опережения зажигания осуществляется специальным электронным блоком управления [4, 5]. Как следует из приведенных графиков, различие в мощности практически полностью соответствует тем пределам, которые обусловлены уменьшением плотности топливовоздушной смеси в цилиндре двигателя.

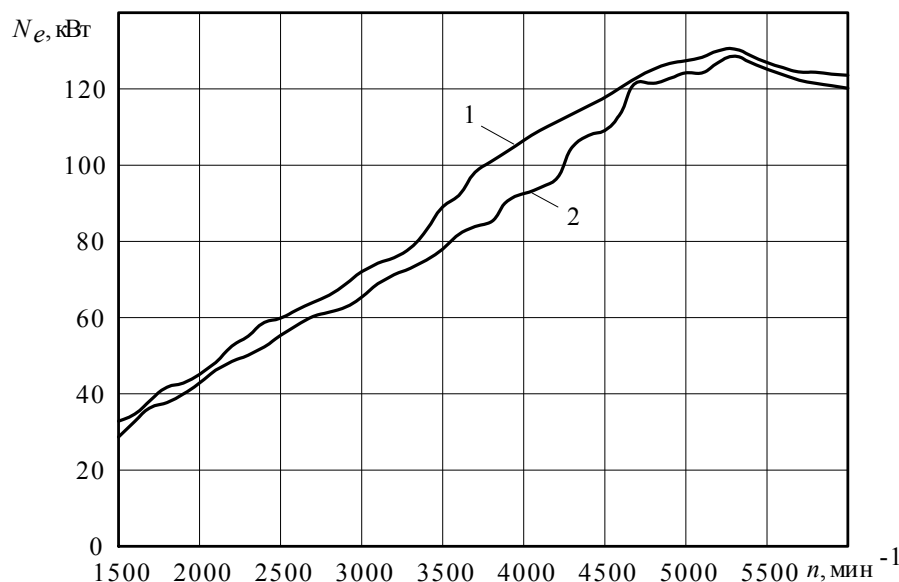


Рис. 2. Внешняя скоростная характеристика двигателя автомобиля Hyundai Sonata:
1 – работа на бензине; 2 – работа на СУГ

В настоящее время все большее число двигателей с принудительным зажиганием оборудуются системами впрыскивания топлива непосредственно в цилиндры. При переводе таких двигателей на питание сжиженным углеводородным газом наиболее эффективным способом его подачи будет впрыскивание газа в жидком виде через те же форсунки, через которые подается бензин. Первые образцы подобной битопливной аппаратуры уже устанавливаются на некоторые модели автомобилей.

При использовании такой аппаратуры условия образования бензовоздушных смесей и смесей с воздухом углеводородных газов оказываются практически одинаковыми: параметры воздуха в цилиндре целиком определяются настройками процесса газообмена, как при впрыскивании бензина, так и при впрыскивании сжиженного углеводородного газа температура заряда в результате перехода топлив из капельно-жидкого состояния в парообразное понижается примерно на одну и ту же величину.

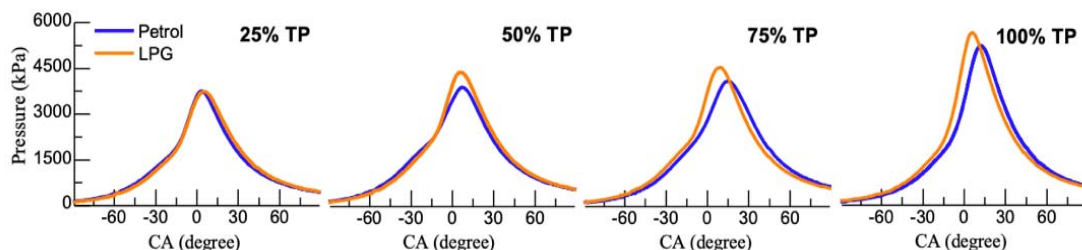


Рис. 3. Индикаторные диаграммы работы двигателя S4PH на бензине и сжиженном углеводородном газе при различном открытии дроссельной заслонки [7]

Как показывает опыт [6, 7], в двигателях с впрыскиванием жидкого углеводородного то-

плива в цилиндры мощность может быть несколько выше, чем на бензине, а удельный рас-

ход топлива, соответственно, меньше. В подтверждение сказанного на рис. 3 приведены заимствованные из работы группы исследователей из университета г. Джахор-Бару (Малайзия) [7] наложенные друг на друга индикаторные диаграммы четырехцилиндрового двигателя S4PH рабочим объемом 1,6 дм³, снятые при его работе на бензине и на сжиженном углеводородном газе. Бензин и сжиженный углеводородный газ впрыскивались непосредственно в цилиндр. Видно, что индикаторная работа циклов при работе двигателя на углеводородном газе больше. Причины, вследствие которых двигатели на углеводородном газе имеют преимущества, заключаются в более высоких скоростях горения пропан-бутановых смесей по сравнению с бензовоздушными.

Таким образом, можно заключить, что при использовании систем топливоподачи с впрыскиванием сжиженного углеводородного газа непосредственно в цилиндры двигателя и соответствующих специальных систем управления рабочим процессом этот вид топлива имеет

преимущества перед бензином и при своей более низкой стоимости обеспечивает лучшие, по сравнению с работой на бензине, показатели по мощности и топливной экономичности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ерохов, В. И.* Газобаллонные автомобили (конструкция, расчет, диагностика) : учебник / В. И. Ерохов. – Москва : Горячая линия-Телеком, 2012. – 598 с.
2. Газовые топлива и их компоненты. Свойства, получение, применение, экология: справочник / В. Н. Бакунин, Е. М. Брещенко, Н. Ф. Дубовкин, О. Н. Фаворский. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 614 с.
3. Автомобильные двигатели ; под ред. М. С. Ховаха. – М.: Машиностроение, 1977. – 591 с.
4. *Панов, Ю. В.* Установка и эксплуатация газобаллонного оборудования автомобилей / Ю. В. Панов. – М.: Издательский центр Академия, 2007.
5. *Захаров, Е. А.* Газобаллонное оборудование автомобилей: учеб. пособ. / Е. А. Захаров, Ю. И. Моисеев. – ВолгоГТУ, Волгоград, 2015. – 88 с.
6. Impact of the Direct Injection of Liquid Propane on the Efficiency of a Light-Duty, Spark-Ignited Engine / Walls, M., Joo, M., Ross, M. – Biofuels– 8(1), с. 113-123
7. *Mustaffa, N.* Experimental analysis of liquid LPG injection on the combustion, performance and emissions in a spark ignition engine / N. Mustaffa, M. Fawzi, S. A. Osman, M. M. Tukiman. – Proc. IOP Conference Series, 2018. – pp. 1–12.

УДК 629.113

И. М. Рябов, Ф. Р. Аль-Сумайдаи

ОЦЕНКА РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДВС АВТОМОБИЛЯ В КАЧЕСТВЕ ТОРМОЗА-ЗАМЕДЛИТЕЛЯ ПРИ СЛУЖЕБНЫХ ТОРМОЖЕНИЯХ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: rjabov1603@mail.ru

В статье рассмотрены особенности применения двигателя внутреннего сгорания в качестве тормоза-замедлителя автомобиля. Доказано, что торможение двигателем не приводит к негативным последствиям для него самого и для трансмиссии. Приведена технология, описаны недостатки и преимущества торможения автомобиля двигателем. Приведены данные о среднем ресурсе тормозных накладок различных транспортных средств. Выполнена оценка экономии ресурсов за счет уменьшения расхода топлива и экологического ущерба. Проведена оценка экономии ресурсов за счет снижения затрат на замену тормозных колодок. Определена общая экономия ресурсов за счет использования двигателя в качестве тормоза-замедлителя.

Ключевые слова: автомобиль, двигатель, тормоз-замедлитель, служебное торможение ресурсосбережение.

I. M. Ryabov, F. R. Al-Sumaidai

EVALUATION OF ENERGY SAVING IN THE USE OF THE CAR ENGINE AS A RETARDER IN SERVICE BRAKING

Volgograd State Technical University

The article discusses the features of the application of the internal combustion engine as a brake-retarder of the car. It is proved that engine braking does not lead to negative consequences for itself and for the transmission. The technology is given, the disadvantages and advantages of braking the car by the engine are described. The data on the average resource of brake linings of various vehicles are given. The estimation of resource saving due to reduction of fuel consumption and environmental damage was carried out. An assessment of resource savings by reducing the cost of replacing brake pads. The General economy of resources due to use of the engine as a brake-moderator is defined.

Keywords: car, engine, deceleration brake, service braking, energy saving.

В связи с повышением мощности двигателей и скорости движения автомобилей увеличиваются нагрузки на их тормозную систему, вызывающие более быстрый износ тормозных колодок до предельного состояния и росту затрат на замену тормозных колодок дисков и барабанов, а также на их ремонт. В связи с этим приобретает актуальность поиск и обоснование путей снижения нагрузок на тормозную систему. Известными путями является применение на автомобиле гибридного привода, в котором помощь тормозной системе оказывает электрический генератор, а также рекуператоров [9–11]. Однако такой привод значительно повышает стоимость автомобиля, поэтому применяется пока ограниченно, а рекуператоры находятся в стадии разработки.

Перспективным путем снижения нагрузок на тормозную систему автомобиля, которым уже пользуются многие водители, является использование в качестве тормоза-замедлителя его двигателя.

Эффективность торможения автомобиля на дизельном двигателе будет выше по сравнению с бензиновым мотором, так как коэффициент сжатия у него в 1,5 раза выше, поэтому больше механические потери.

Торможение двигателем в настоящее время опытные автомобилисты применяют в следующих условиях: на затяжных спусках; на скользких мокрых дорожных покрытиях; на серпантинах горных дорог; при поломке тормозов. Известны приемы, как тормозить двигателем машину с механической коробкой передач, которые базируются на следующей технологии:

- 1) отпустить педаль подачи газа; выжать сцепление;
- 2) включить пониженную передачу (чаще всего III);
- 3) когда скорость немного понизится, включить II передачу, потом перейти на I.

В каждом конкретном случае водитель должен подбирать режимы первого и последующего переключений к низшей передаче с учетом начальной скорости движения. Опытные автомобилисты применяют этот метод и для служебных торможений, при этом они просто отпускают педаль подачи газа, и машина начинает снижать скорость из-за механических потерь в двигателе. При этом меньше изнашиваются покрышки колес, не истираются колодки тормозные и диски. При служебных торможениях двигателем на современных ав-

томобилях с инжекторными двигателями и механическими коробками передач водители отмечают существенную экономию, за счет прекращения расхода топлива при отпущенной педали подачи газа.

Еще одним преимуществом торможения двигателем является то, что при таком способе торможения тормозные усилия одинаково распределяются между правыми и левыми колесами дифференциалом, и они более равномерно увеличиваются, чем при нажатии на педаль тормоза, поэтому на мокрой дороге или на гололеде вероятность заноса автомобиля минимальна, и он сохраняет управляемость.

Главный недостаток торможения двигателем – отсутствие горящих огней «стоп-сигнал», расположенных сзади автомобиля, так как они не включаются без нажатия на тормоз. Водители, едущие сзади, не всегда заметят замедление машины, тормозящей впереди, что увеличивает вероятность возникновения попутного столкновения. Однако этот недостаток легко преодолевается установкой датчика, срабатывающего, когда замедление автомобиля превысит заданную величину.

Некоторые автомобилисты считают, что торможение двигателем увеличивает износ мотора и сцепления коробки передач, но это не верно, поскольку повышенный износ силового агрегата в большинстве случаев происходит по причине отсутствия необходимого давления масла. Во время торможения двигателем во все трущиеся пары подается достаточно масла, под нужным давлением за счет работы масляного насоса.

При этом режим работы коробки передач ничем не отличается от обычного движения, кроме того, что зубья шестеренок передают усилия другими сторонами. Если правильно переключать передачи на механической коробке, то никаких негативных последствий для трансмиссии не будет. Для улучшения плавности замедления, рекомендуется педалью газа повышать обороты ДВС примерно в два раза перед переключением на пониженную передачу.

Таким образом, торможение двигателем не приводит к негативным последствиям для самого мотора и трансмиссии, поэтому при оценке ресурсосбережения при использовании мотора в качестве тормоза-замедлителя при служебных торможениях эти агрегаты мы рассматривать не будем.

Служебное торможение – это комфортное снижение скорости автомобиля до нужного зна-

чения или для полной остановки с замедлением пределах $0,8 \dots 1,7 \text{ м/с}^2$. Доля служебных торможений составляет $95 \dots 97 \%$ от всех случаев торможения [1], поэтому основной износ тормозных колодок и дисков в условиях городского движения происходит при служебных торможениях.

Торможение двигателем – это процесс, при котором автомобиль замедляется мотором за счет его внутренних механических потерь, а также и потерь энергии в дополнительных агрегатах.

Оценку ресурсосбережения при использо-

вании двигателя автомобиля в качестве тормоза-замедлителя при служебных торможениях будем проводить на основе анализа изменения скорости v легкового автомобиля от времени t его движения по городскому маршруту (рис. 1) [2]. Из рис. 1 видно, что все случаи торможения автомобиля (линии, идущие с течением времени сверху в низ) являются служебными, поскольку имеют примерно одинаковый угол наклона к вертикали, определяющий замедление автомобиля в пределах $0,8 \dots 1,7 \text{ м/с}^2$.

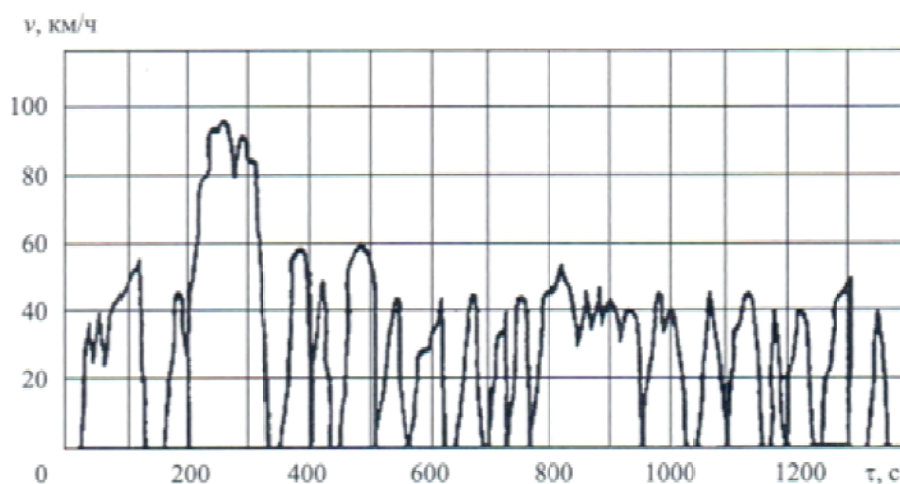


Рис. 1. Изменение скорости v легкового автомобиля от времени t его движения по городскому маршруту, протяженностью 12 км [2]

Анализ рис. 1 показывает, что торможение автомобиля для снижения скорости не до нуля происходит значительно реже, чем торможение до полной остановки транспортного средства. Ускорение автомобиля при разгоне и замедление при торможениях, примерно одинаковые. Процесс движения автомобилей по участку городской дороги состоит из большого числа следующих повторяющихся элементов:

- разгоны (23 % от полного времени движения автомобиля);
- движение с относительно постоянной скоростью (36 % с учетом торможений для снижения скорости, которые составляют 7,0 %);
- торможение до остановки (23 %);
- простои с работающим двигателем до следующего до движения (18 %).

Используя данные, полученные в результате анализа изменения скорости легкового автомобиля от времени его движения по городскому маршруту, проведем оценку экономии ресурсов за счет экономии топлива, поскольку, пока идет торможение двигателем, топливо

в него не подается. Авторы определили, что суммарное время служебных торможений составляет порядка 30 % от общего времени наблюдения за движением автомобиля, равного 1600 с. Если бы торможение автомобиля осуществлялась его тормозной системой, то двигатель работал бы на холостом ходу и расходовал топливо. Расход топлива на холостом ходу у прогретого двигателя легкового автомобиля составляет $0,6 \text{--} 0,7 \text{ л/ч}$, холодный двигатель расходует около 1 литра в час. Тогда при продолжительности смены 8 часов на холостую работу двигателя во время служебных торможений будет израсходовано порядка 1,5 л топлива или 547 литров в год, что при цене на топливо 45 руб. составляет 24637,5 руб. Учтем также экономию ресурсов за счет уменьшения экологического ущерба. Исследованиями установлено, что величина экологического ущерба от выхлопных газов и реальные расходы, которые несут перевозчики, составляют примерно 40 % от расходов на топливо. Тогда полная годовая экономия ресурсов за счет отключения

подачи топлива в двигатель при служебных торможениях составит порядка 34 500 руб.

Далее проведем оценку экономии ресурсов за счет снижения затрат на замену тормозных колодок.

Момент замены тормозных колодок индивидуален для каждого автомобиля. На частоту замены тормозных колодок влияет вес автомобиля, его обычная загрузка, материал, из которого они изготовлены (первоначальное качество тормозных колодок). Также многое зависит от стиля вождения: если водитель любит динамичную

езду, ему приходится часто тормозить, от этого достаточно быстро изнашиваются детали тормозной системы. Еще в большей степени износ деталей зависит от условий эксплуатации. Тормозные колодки выходят из строя быстрее в сырую погоду, а также при езде по пыльным и грязным дорогам. Как правило, первыми изнашиваются передние тормозные колодки.

На рис. 2 приведен график зависимости толщины фрикционного слоя колодок от пробега автомобиля рассчитанный с использованием уравнения регрессии.

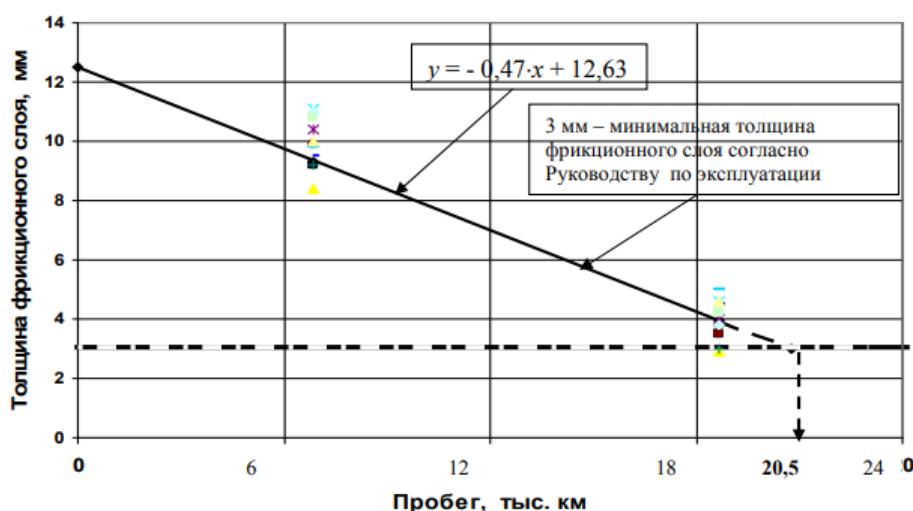


Рис. 2. Зависимость толщины фрикционного слоя тормозных колодок (деталь 2110-350-1090-01А) от пробега автомобиля (сплошная линия) и предельно допустимый износ тормозных колодок автомобилей ВАЗ-2110 и ВАЗ-21102 (пунктирная линия) [3]

Проведенные исследования [3] показали, что при приближении износа тормозных колодок к предельно допустимому происходит снижение эффективности торможения, увеличивается тормозной путь и увод автомобиля в процессе торможения, что увеличивает риск ДТП.

Средний ресурс тормозных накладок различных транспортных средств и его доверительные границы приведены в таблице [4–8].

Средний ресурс тормозных накладок различных транспортных средств

Тип транспортного средства	$R_{ср\pm}$, тыс. км	Доверительные границы $R_{ср\pm}$, тыс. км	
		нижняя	верхняя
ГАЗ-3221	13,8	13,1	14,5
ВАЗ-2110, 2115	24,5	13,7	35,3
КамАЗ-5320	76,0	54,0	98,0
Икарус-280	54,5	34,8	74,2
Mercedes Benz 0 302 S	33,8	19,6	48,0
МАЗ-64229	64,2	36,5	91,9

Из таблицы видно, что большегрузные автомобили имеют больший пробег до предель-

ного износа тормозных колодок. Однако они имеют и большую трудоемкость их замены. Например, для автомобиля КАМАЗ трудоемкость замены колодок 1 колеса составляет 1,22 ч. С учетом того, что колес у этого автомобиля много, трудоемкость получается значительной, соизмеримой с трудоемкостью замены двигателя.

Стоимость замены передних тормозных колодок легкового автомобиля, например Renault Logan, составляет 720 руб., а задних тормозных колодок – 1800 руб. Сами колодки стоят примерно столько же, сколько их замена. Итого получается, что одна замена тормозных колодок на легковом автомобиле обойдется в 5400 руб. За год эксплуатации придется сделать 5–10 таких замен, в зависимости от ее интенсивности. Однако, если при торможении двигателем скорость автомобиля снижается в два раза, а дальнейшее торможение до остановки автомобиля производится его тормозной системой, то двигателем будет погашено 75 % энергии торможения, а тормозами – 25 %, т. е. тормозные ко-

лодки будут изнашиваться в четыре раза медленнее. Тогда затраты на замену тормозных колодок будут находиться в пределах 20250–40500 руб./год. Общая экономия ресурсов за счет использования двигателя в качестве тормоза-замедлителя может достигать 75000 руб., а за 10 лет эксплуатации экономия ресурсов может составить сумму, соизмеримую со стоимостью автомобиля среднего класса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кравец, В. Н.* Теория автомобиля: учебник / В. Н. Кравец; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Алексея. – 2-е изд., переработ. – Нижний Новгород, 2013. – 413 с.
2. *Мацкерле, Ю.* Современный экономичный автомобиль [Текст] / Ю. Мацкерле; пер. с чешск. В. Б. Иванова; под ред. А. Р. Бенедиктова. – М.: Машиностроение, 1987. – 320 с.
3. *Тюрин, С. В.* Ускоренная оценка долговечности тормозных накладок на основе выбора режимов подконтрольной эксплуатации транспортных средств: дис. ... канд. техн. наук / Тюрин С. В. – Волгоград, 2014. – 143 с.
4. Оценка долговечности безасбестовых тормозных накладок дет. 0345- 3501105-01Б и дет. 0345-3502105-01Б (шифр материала ВАТИ-7) автомобилей семейства «Mercedes» и определение «гамма-процентного ресурса» накладок в реальных условиях эксплуатации: отчет о НИР. – Волгоград, 2006. – 24 с.
5. Оценка долговечности безасбестовых тормозных накладок дет. 3302- 3502105 (шифр материала 17/31-3) автомобилей семейства «ГАЗель» и определение «гамма-процентного ресурса» накладок в реальных условиях эксплуатации: отчет о НИР. – Волгоград, 2007. – 21 с.
6. Оценка долговечности безасбестовых тормозных накладок дет. 5511- 3501105-01Б (шифр ВАТИ-7) автомобилей семейства «КамАЗ» и дет. 018.01 3341- 013-01Д автобусов «Икарус» и определение «гамма-процентного ресурса» колодок, приведенного к первой категории условий эксплуатации: отчет о НИР. – Волгоград, 2006. – 42 с.
7. Оценка долговечности безасбестовых тормозных накладок дет. 64226- 3501105-01Б (шифр материала ВАТИ-7) автомобилей семейства «МАЗ» и 129 определение «гамма-процентного ресурса» накладок в реальных условиях эксплуатации: отчет о НИР. – Волгоград, 2007. – 27 с.
8. Оценка долговечности тормозных колодок дет. 2101-350-1090-01А и дет. 2110-350-1090-01А (шифр ВАТИ-2А) автомобилей семейства «ВАЗ» и определение «гамма-процентного ресурса» колодок в реальных условиях эксплуатации: отчет о НИР. – Волгоград, 2006. – 37 с.
9. *Рябов, И. М.* Оценка доли кинетической энергии автобуса, накапливаемой в аккумуляторе системы рекуперации при торможении / И. М. Рябов, Ю. Г. Юсупов, С. А. Ширяев, Ш. М. Минатуллаев // Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. – Волгоград, 2017. – № 4 (21). – С. 34–36.
10. Рекуператор. Пат. на полезную модель 103516 РФ, МПК В 60 К 6/12, г. / Рябов И. М., Чернышов К. В., Ковалев А. М. // заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «ВолгГТУ»; опубл. 20.04.2011.
11. Оценка экономической эффективности модернизации городских автобусов и автомобилей-такси путем установки системы рекуперации энергии торможения / И. М. Рябов, З. К. Омарова, Ю. Г. Юсупов, С. В. Данилов // Грузовик. – 2019. – № 8. – С. 36–40.

УДК 629.113

И. М. Рябов, Ф. Р. Аль-Сумайдаи

ОСОБЕННОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В ДВС И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПРОЦЕСС ТОРМОЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ ДВИГАТЕЛЕМ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: rjabov1603@mail.ru

В статье рассмотрено торможение автомобиля двигателем внутреннего сгорания, отмечены его преимущества и недостатки. Приведены доли мощности механических потерь двигателя приходящиеся на разные составляющие потерь в дизельном и бензиновом двигателе. Приведены и проанализированы зависимости мощности механических потерь в двигателе от частоты вращения его вала по каждой составляющей. Показано, что особенностью механических потерь поршневых двигателей является значительное увеличение мощности механических потерь с ростом частоты вращения. Установлено, что замедление автомобиля по мере снижения его скорости уменьшается, но не так значительно, как мощность механических потерь при уменьшении частоты вращения. Приведена формула для определения тормозной силы двигателя и для расчета замедления автомобиля при торможении двигателем. Показано, что с уменьшением скорости движения автомобиля его замедление при торможении двигателем на каждой передаче снижается, причем, чем ниже передача, тем быстрее снижется замедление. Отмечено, что это негативно влияет на процесс торможения, поскольку снижает его эффективность и увеличивает тормозной путь.

Ключевые слова: автомобиль, двигатель внутреннего сгорания, механические потери, торможение двигателем, замедление.

I. M. Ryabov, F. R. Al-Sumaidai

FEATURES OF MECHANICAL LOSSES IN DVS AND THEIR INFLUENCE ON PROCESS OF BRAKING OF THE CAR THE ENGINE

Volgograd State Technical University

The article considers the braking of the car by the internal combustion engine, its advantages and disadvantages are noted. The power fractions of mechanical engine losses attributable to different components of losses in a diesel and gasoline engine are given. The dependences of the power of mechanical losses in the engine on the frequency of rotation of its shaft for each component are given and analyzed. It is shown that a feature of the mechanical losses of piston engines from the shaft speed is a significant increase in the power of mechanical losses with increasing speed. It was found that the deceleration of the car as its speed decreases decreases, but not as significantly as the power of mechanical losses with a decrease in the speed. A formula is given for determining the braking force of an engine and for calculating the deceleration of a vehicle during engine braking. It is shown that with a decrease in the vehicle's speed, its deceleration during engine braking in each gear decreases, and the lower the gear, the faster the slowdown. It is noted that this negatively affects the braking process, since it reduces its effectiveness and increases the braking distance.

Keywords: automobile, internal combustion engine, mechanical losses, engine braking, deceleration.

Торможение автомобиля двигателем внутреннего сгорания (ДВС) широко применялось несколько десятилетий назад, когда на автомобилях с механической коробкой передач еще не было эффективных тормозных систем. При торможении ДВС кинетическая энергия автомобиля преобразуется в основном в тепловую энергию за счет механических потерь в двигателе, хотя небольшая ее доля идет на изнашивание трущихся поверхностей. Теплота отводится системой охлаждения и передается атмосферному воздуху.

Торможение двигателем является очень простым в применении. Водителю достаточно снять ногу с педали подачи газа, и двигатель начинает работать, как тормоз-замедлитель, поскольку замедление маховика ДВС, если его отсоединить от трансмиссии, больше, чем замедление диска сцепления. Торможение двигателем может улучшать некоторые эксплуатационные свойства автомобиля, поэтому его используют и на современных автомобилях, как с механической коробкой передач, так и с некоторыми видами автоматических коробок передач в следующих ситуациях:

- 1) при торможении на скользкой дороге;
- 2) при затяжном и крутом спуске;
- 3) при потере устойчивости движения вследствие превышения критической скорости движения;
- 4) при служебных торможениях с высокой скорости;
- 5) при отсутствии возможности затормозить обычным способом, с помощью педали тормоза или ручного тормоза (при отказе тормозов).

Опытные водители считают, что на скользком дорожном покрытии торможение двигате-

лем позволяет избежать заноса и потери управляемости автомобилем, а торможение ДВС на затяжных и крутых спусках позволяет избежать перегрева дисков и тормозных колодок, который не только резко увеличивает их износ, но может привести и к выходу их строя.

Однако для служебных торможений, доля которых составляет 95...97 % от всех случаев торможения автомобиля [1], торможение двигателем используют редко из-за его низкой эффективности на высоких передачах вследствие особенностей механических потерь в ДВС. Поэтому анализ особенностей механических потерь в ДВС при использовании его в качестве тормоза-замедлителя автомобиля и их влияния на процесс торможения автомобиля двигателем представляет большой интерес.

Механические потери в ДВС – комплексный показатель величины сил трения в двигателе. Мощность механических потерь поршневого двигателя складываются из следующих составляющих:

$$N_m = N_t + N_{\text{нас}} + N_{\text{пр}}, \quad (1)$$

где N_t – мощность потерь на трение. Она составляет до 75 % от мощности всех механических потерь. Главным образом эти потери приходятся на поршень и поршневые кольца (до 42 %), подшипники коленчатого вала (до 16 %) и незначительно на механизм газораспределения (до 4 %); $N_{\text{нас}}$ – мощность насосных потерь. Она составляет до 15 % от всех механических потерь на то, чтобы всосать в цилиндр и вытолкнуть газы; $N_{\text{пр}}$ – потери мощности на привод вспомогательных механизмов. К ним относятся: жидкостный, масляный и топливный насосы, генератор, прерыватель-распределитель, вентилятор.

Мощность данных потерь составляют до 12 % от мощности всех механических потерь.

В таблице приведены результаты испытаний дизельного двигателя 4Ч 10,5/12 на номинальном режиме работы при частоте вращения 2000 мин⁻¹.

На рис. 1 приведены результаты сравнительных испытаний этого двигателя и бензинового ДВС ЗМЗ-402.10 в виде абсолютных и относительных значений механических потерь для различных составляющих [2].

**Мощность составляющих механических потерь
дизельного двигателя 4Ч 10,5/12**

Составляющая	Абсолютное значение механических потерь, кВт	Относительное значение механических потерь, %
Цилиндро-поршневая группа	6,5	39
Кривошипно-шатунный механизм	4,1	24
Насосные потери	2,4	14
Газораспределительный механизм	1,8	11
Насосы (масляный+ топливный)	1,5	9
Вентилятор+генератор	0,5	3
Общие	16,8	100

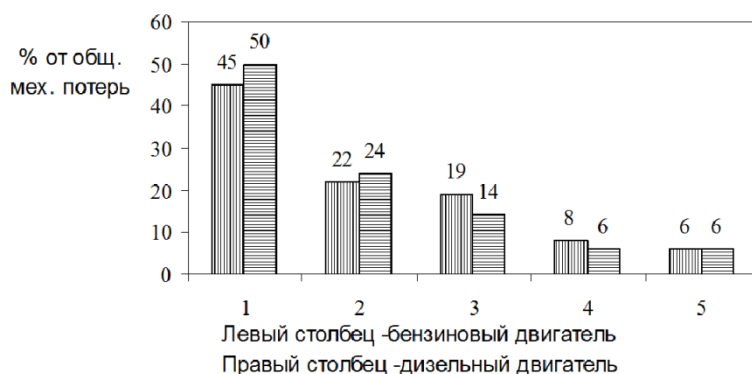


Рис. 1. Распределение составляющих механических потерь по основным узлам и агрегатам бензинового и дизельного ДВС:

1 – потери в цилиндропоршневой группе; 2 – потери в кривошипно-шатунном механизме; 3 – насосные потери энергии на газообмен; 4 – потери в газораспределительном механизме; 5 – потери в навесных агрегатах

Анализ данных таблицы и рис. 1 показывает, что:

1) основные потери происходят в цилиндропоршневой группе и в кривошипно-шатунном механизме, причем у дизеля они несколько выше;

2) распределение составляющих механических потерь по узлам и агрегатам бензинового и дизельного ДВС отличаются незначительно.

Большой интерес представляют также особенности зависимостей мощности механических потерь в основных механизмах и сопряжениях поршневых ДВС от частоты вращения его вала.

На рис. 2 приведены зависимости механических потерь и КПД дизеля 4Ч 10,5/12 от частоты вращения его вала, анализ которых показывает, что мощность механических потерь в основных механизмах и сопряжениях дизельного двигателя при снижении частоты вращения вала двигателя с номинальной (2000 мин⁻¹) до минимальной (1000 мин⁻¹) значительно уменьшается:

- 1) в цилиндропоршневой группе – в 2,1 раза;
- 2) на газообмен – в 4,8 раза;
- 3) в навесных агрегатах (вентиляторе и генераторе) – в 2,6 раза;
- 4) в насосах (топливном и масляном) – в 3,8 раза;

5) в кривошипно-шатунном механизме – в 1,3 раза;

6) в газораспределительном механизме – в 4,1 раза.

Из рис. 2 видно, что зависимости мощности механических потерь дизельного двигателя 4Ч

10,5/12 от частоты вращения для всех основных механизмов и сопряжений прогрессивно увеличиваются с ростом частоты вращения, кроме потерь в газораспределительном механизме, у которого характеристика механических потерь регрессивная.

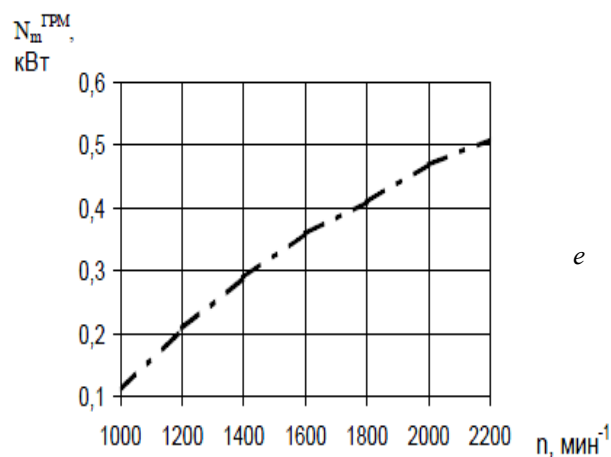
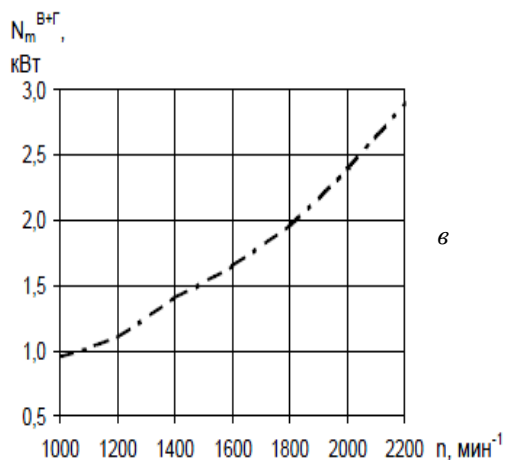
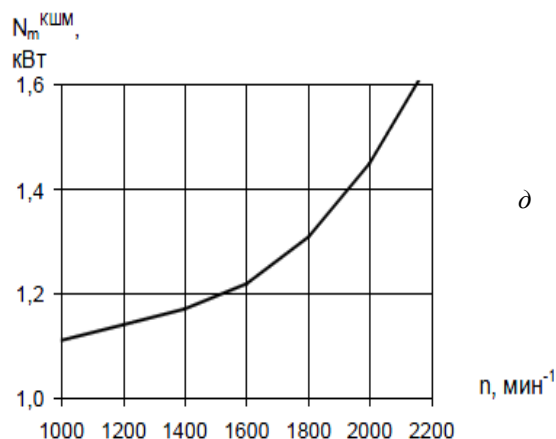
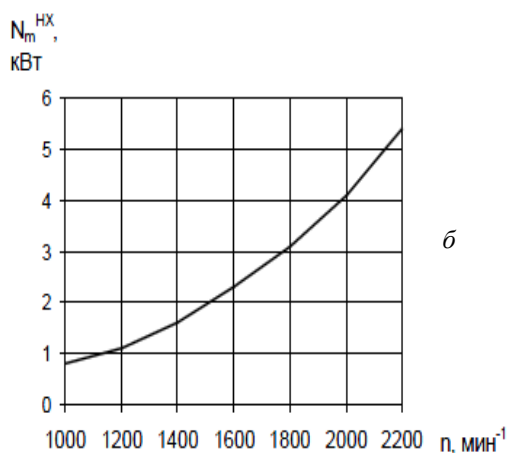
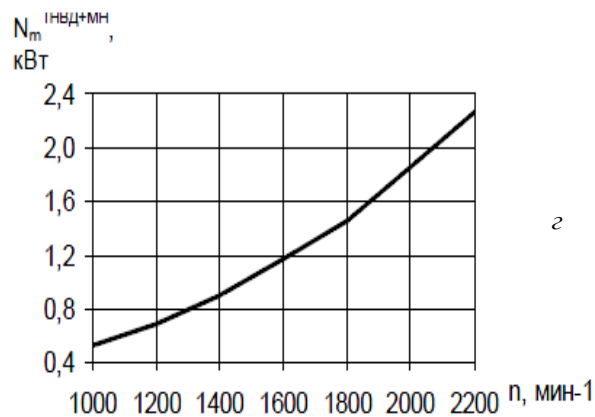
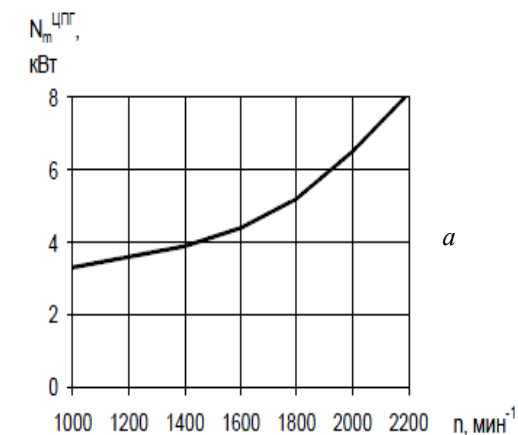


Рис. 2. Зависимости мощности механических потерь от частоты вращения вала в основных механизмах и сопряжениях дизельного двигателя 4Ч 10,5/12:

а – в цилиндропоршневой группе; б – на газообмен; в – в навесных агрегатах (вентиляторе и генераторе); з – в насосах (топливном и масляном); д – в кривошипно-шатунном механизме; е – в газораспределительном механизме

На рис. 3. приведены характеристики мощности механических потерь бензинового двигателя ЗМЗ-402.10 при использовании различного масла.

Следует отметить, что вид рассмотренных зависимостей (рис. 2, 3) определяется особенностями конструкции каждого двигателя и примененным методом его испытания, но тенденция роста мощности механических потерь с повышением частоты вращения вала будет проявляться в той или иной степени у всех поршневых ДВС.

Таким образом, особенностью механических потерь поршневых ДВС является значительное уменьшение их мощности при снижении частоты вращения вала, что при торможении автомобиля двигателем приведет к снижению тормозной силы двигателя и замедления

автомобиля по мере уменьшения скорости движения.

При торможении двигателем одновременно снижаются скорость автомобиля и частота вращения вала ДВС. Однако замедление автомобиля по мере снижения его скорости будет уменьшаться в меньшей степени, чем мощность механических потерь, поскольку оно определяется тормозным моментом двигателя, а он зависит как от мощности механических потерь, так и от частоты вращения, и определяется по формуле:

$$M_{\text{тдв}} = 9549 N_{\text{м}} / n, \quad (2)$$

где $M_{\text{тдв}}$ – тормозной момент двигателя (Нм); $N_{\text{м}}$ – мощность механических потерь в ДВС (кВт); n – частота вращения вала двигателя при торможении (мин^{-1}).

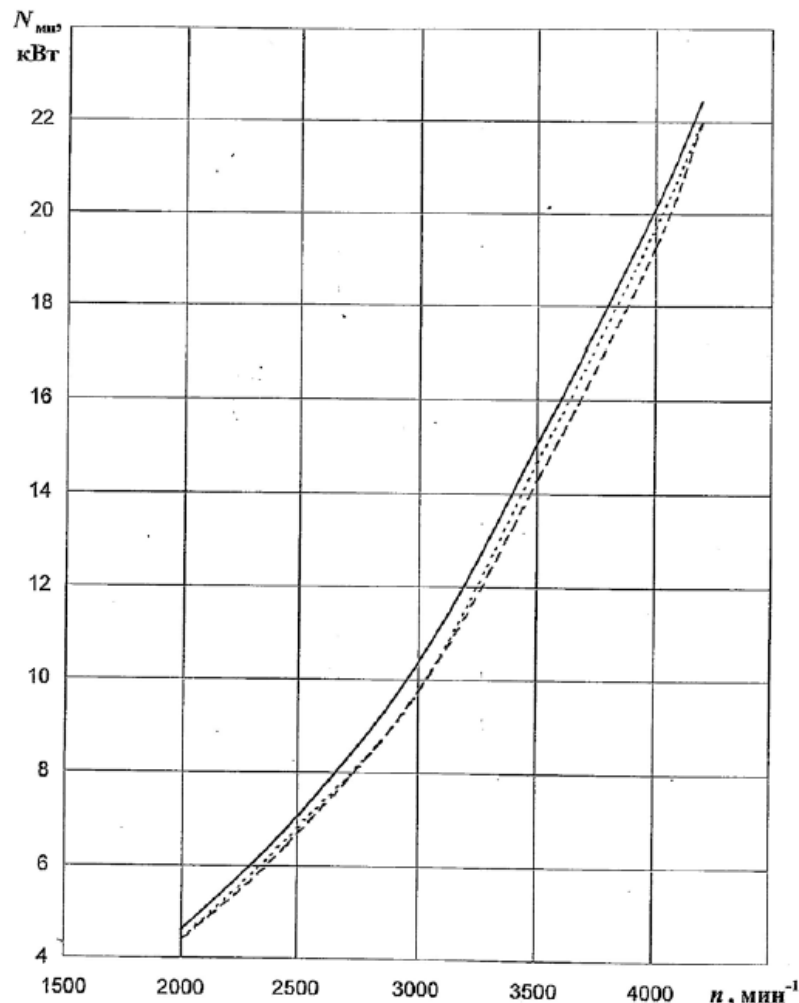


Рис. 3. Характеристика мощности механических потерь бензинового двигателя ЗМЗ-402.10: сплошная линия – масло без добавления кондиционер металла FENOM; пунктирная линия – масло с 3 % кондиционера металла FENOM; точечная линия – последствие

Поскольку в процессе торможения автомобиля двигателем уменьшается и числитель, и знаменатель формулы (2), то тормозной момент ДВС $M_{\text{тдв}}$ будет уменьшаться медленнее, чем мощность механических потерь N_m .

Замедление автомобиля при торможении двигателем на горизонтальном участке дороги можно определить по формуле:

$$a_{\tau} = F_{\text{тд}} / \delta m, \quad (3)$$

где $F_{\text{тд}}$ – тормозная сила ДВС; δ – коэффициент учета вращающихся масс; m – масса автомобиля.

Тормозная сила ДВС, определяется с учетом параметров автомобиля по формуле [1]:

$$F_{\text{тд}} = \frac{M_{\text{тд0}} u_{\text{тр}}}{r_D \eta_{\text{тр}}} + \frac{b_{\tau} u_{\text{тр}}^2 V}{r_D r_K \eta_{\text{тр}}}, \quad (4)$$

где $M_{\text{тд0}}$ – момент трения в двигателе при минимальной угловой скорости; $u_{\text{тр}}$ – передаточное число трансмиссии; r_D – динамический радиус колеса; V – скорость движения автомобиля; $\eta_{\text{тр}}$ – коэффициент полезного действия трансмиссии; r_K – радиус качения колеса; b_{τ} – коэффициент повышения механических потерь от угловой скорости двигателя.

На рис. 4 приведены расчетные зависимости замедлений автомобиля при торможении двигателем на I, II, III и IV передачах.

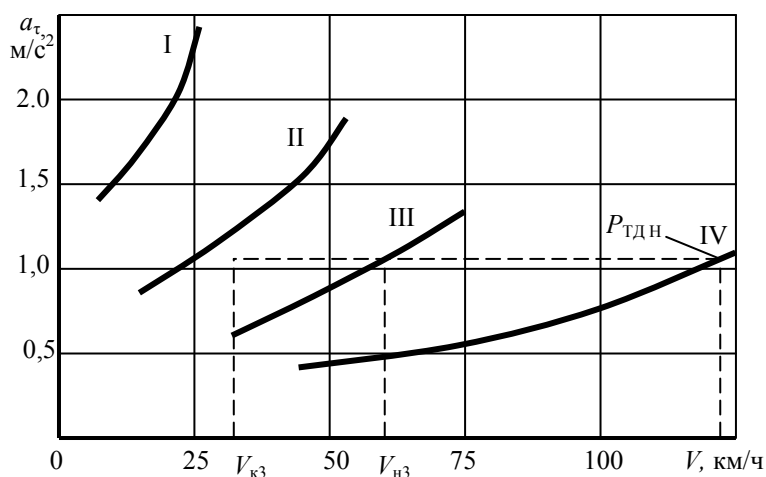


Рис. 4. Зависимости замедлений автомобиля при торможении двигателем на I, II, III и IV передачах от скорости

Из рис. 4 видно, что с уменьшением скорости движения автомобиля его замедление при торможении двигателем на каждой передаче снижается, причем, чем ниже передача, тем круче график, что означает, что замедление снижается быстрее. Например, если торможение двигателем осуществляется на 3-й передаче с начальной скорости $V_{\text{нз}} = 60$ км/ч, до конечной скорости $V_{\text{кз}} = 32$ км/ч, то замедление снизится с 1,1 до 0,7 м/с², т. е. на 57 %.

Выводы

1. Особенностью механических потерь поршневых ДВС является их малая мощность (15...20 % от индикаторной мощности) и значительное ее уменьшение при снижении частоты вращения вала, что негативно влияет на процесс торможения автомобиля двигателем, сни-

жает эффективность торможения и увеличивает тормозной путь.

2. Тормозная сила ДВС на высоких передачах (4-й и 5-й) позволяет создать замедление автомобиля порядка 0,5–0,7 м/с², что недостаточно для служебных торможений, осуществляемых с замедлением 1,5–2,5 м/с², поэтому данную силу необходимо увеличить в 2–3 раза и обеспечить ее постоянство при уменьшении скорости, например, за счет повышения мощности насосных потерь и формирования оптимальной характеристики этих потерь.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кравец, В. Н. Теория автомобиля: учебник / В. Н. Кравец; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Алексея. – 2-е изд., переработ. – Нижний Новгород, 2013. – 413 с.

2. *Путинцев, С. В.* Механические потери в поршневых двигателях: специальные главы конструирования, расчета и испытаний : учеб. пособие по дисциплине «Специальные главы конструирования и САПР». Величина скорости, до которой можно замедлить автомобиль ДВС зависит от номера передачи и минимально допустимой частоты вращения вала двигателя / С. В. Путинцев. – Москва, 2011.

3. *Литвинов, А. С.* Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств / А. С. Литвинов, Я. Е. Фаробин. – М.: Машиностроение, 1989. – 240 с.

4. *Карелина, М. Ю.* Исследование влияния наноструктурирования поверхностей трибосопряжений на эксплуатационные характеристики двигателей / М. Ю. Карелина, С. М. Гайдар, А. В. Пыдрин // Грузовик. – 2015. – № 2. – С. 29–37.

5. *Гайдар, С. М.* Повышение износостойкости узлов трения / С. М. Гайдар, М. Ю. Карелина, Е. А. Петровская, Э. А. Зиятдинов // Труды ГОСНИТИ. – 2016. – Т. 122. – С. 40–47.

6. Патент № 171808. Устройство для измерения силы трения в цилиндро-поршневой группе поршневых машин / Путинцев С. В. – Бюл. № 6. – 1992. – С. 169.

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

Компьютерная верстка:
Е. В. Макарова

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

Учредитель:

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

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

Темплан 2019 г. Поз. № 24ж. Дата выхода в свет 02.12.2019 г. Формат 60 x 84 1/8.
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать офсетная. Усл.-печ. л. 5,12. Уч.-изд. л. 4,99.
Тираж 100 экз. Свободная цена. Заказ №
Оригинал-макет и электронная версия подготовлены РИО ИУНЛ ВолгГТУ
400005, г. Волгоград, пр. В. И. Ленина, 28, корп. 7.
Отпечатано в типографии ИУНЛ ВолгГТУ
400005, г. Волгоград, пр. В. И. Ленина, 28, корп. 7.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

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

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

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