

ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ:

промышленность и транспорт

№ 4 (41)
2022



16+

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ





Издается
с января 2004 г.

ISSN 2500-0586

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

Редакционная коллегия:

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

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

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

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

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

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

№ 4 (41)
Декабрь
2022

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

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

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

Официальный сайт Учредителя: www.vstu.ru

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Волгоградского государственного технического университета

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

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

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

Статьи печатаются бесплатно



Published since
January 2004 г.

ISSN 2500-0586

Editor-in-chief

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

Editorial Board:

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

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

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

VSTU Publisher tel.:

+7 (8442) 24-84-08

+7 (8442) 24-84-05

e-mail: zavrio@vstu.ru

© Volgograd State Technical University,
«Energo- i resursosberezhenie: promyshlennost' i transport», 2022

Energo- i resursosberezhenie:

Promyshlennost' i transport

(Energy and Resource Saving:
Industry and Transport)
science-technical journal

Journal is registered in the Federal Service for supervision
of communications, information technology and mass media
(Roscomnadzor) registration certificate:
ПН .N° (ФС77-64543, registration date: 22 January 2016

№ 4 (41)
December
2022

FOUNDER:

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

Periodicity: four times per year

Editorial office address:

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

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

Official website: www.vstu.ru

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

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

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

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

The articles are published for free.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Авдеюк Д. Н. 16	Морсков М. В. 28, 36
Богале М. А. 23	Мотро М. Я. 6
Бусалаев Д. В. 28, 36	Потапов П. В. 28, 36
Голованчиков А. Б. 13	Прохоренко Н. А. 13
Клементьев Е. В. 28, 36	Процкив В. Р. 6
Козловцев В. А. 13	Складчиков С. А. 6
Коновалова Л. А. 23	Такташев Р. Н. 6
Ляшенко М. В. 28, 36	Шеховцов В. В. 28, 36
Меренцов Н. А. 13	

AUTHOR INDEX

Avdeyuk D. N. 16	Morskov M. V. 28, 36
Bogale M. A. 23	Motro M. Y. 6
Busalaev D. V. 28, 36	Potapov P. V. 28, 36
Golovanchikov A. B. 13	Prokhorenko N. A. 13
Klementiev E. V. 28, 36	Protskiv V. R. 6
Konovalova L. A. 23	Shekhovtsov V. V. 28, 36
Kozlovtshev V. A. 13	Skladchikov S. A. 6
Lyashenko M. V. 28, 36	Taktashev R. N. 6
Merentsov N. A. 13	

СОДЕРЖАНИЕ

Часть 1. ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

<i>Такташев Р. Н., Складчиков С. А., Мотро М. Я., Процкий В. Р.</i> Математическое моделирование течения газов в железобетонной дымовой трубе ТЭЦ.....	6
<i>Голованчиков А. Б., Козловцев В. А., Прохоренко Н. А., Меренцов Н. А.</i> Перспективы использования водорода, образующегося при пиролизе метана, для производства аммиака.....	13
<i>Авдеюк Д. Н.</i> Анализ интеллектуальных измерительных преобразователей информации.....	16
<i>Богале М. А., Коновалова Л. А.</i> Система контроля и мониторинга испарения и уровня воды.....	23

Часть 2. ТРАНСПОРТ

<i>Бусалаев Д. В., Ляшенко М. В., Шеховцов В. В., Потапов П. В., Морсков М. В., Клементьев Е. В.</i> Устройство крепления пружинной стойки подвески автомобиля с улучшенными вибро-шумоизолирующими свойствами.....	28
<i>Бусалаев Д. В., Ляшенко М. В., Шеховцов В. В., Потапов П. В., Морсков М. В., Клементьев Е. В.</i> Резинометаллические виброизоляторы в подвесках кабин отечественных колесных и гусеничных машин.....	36

CONTENTS

Part I. INDUSTRY

<i>Taktashev R. N., Skladtchikov S. A., Motro M. Y., Protskiv V. R.</i> Mathematical modelling of the flow gases in reinforced concrete chimney on the TPP.....	6
<i>Golovanchikov A. B., Kozlovtssev V. A., Prokhorenko N. A., Merentsov N. A.</i> Prospects for the use of hydrogen formed during the pyrolysis of methane for the production of ammonia.....	13
<i>Avdeyuk D. N.</i> Analysis of intelligent measuring information converters.....	16
<i>Bogale M. A., Konovalova L. A.</i> Evaporation and water level control and monitoring system.....	23

Part II. TRANSPORT

<i>Busalae D. V., Lyashenko M. V., Shekhotsov V. V., Potapov P. V., Morskov M. V., Klementiev E. V.</i> The upper mount for the car spring strut suspension with improved vibration and noise isolation characteristics.....	28
<i>Busalae D. V., Lyashenko M. V., Shekhotsov V. V., Potapov P. V., Morskov M. V., Klementiev E. V.</i> The vibration isolator with adaptive changing of elastic and damping parameters.....	36

ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

УДК 621.182.3

Р. Н. Такташев, С. А. Складчиков, М. Я. Мотро, В. Р. Процкий
**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ГАЗОВ
 В ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ДЫМОВОЙ ТРУБЕ ТЭЦ**

ОАО «ВТИ», г. Москва

e-mail:vti@vti.ru

В связи с необходимостью реконструкции на ТЭЦ железобетонной дымовой трубы, к которой подключены три котла (№ 1 – с одной стороны дымовой трубы, № 2 и № 3 – с противоположной стороны) проведено математическое моделирование течения дымовых газов при различных вариантах работы котлов. Рассмотрены варианты работы котлов в зимний и летний периоды на двух нагрузках при сжигании природного газа (основного топлива) и мазута (резервного топлива).

Для детального исследования течения газа по дымовой трубе предлагается трехмерная математическая модель газодинамики, описывающая данное течение. Математическая модель учитывает тензор вязких напряжений, силу тяжести, условия оттока и притока жидкости, а также температурные особенности среды. Построенная математическая модель позволяет получить теплофизические и аэродинамические параметры дымовых газов (скорость, направление потока, температура, разрежение и т. д.) в каждой точке внутри дымовой трубы и подключенных к ней газоходов на каждом из режимов работы котлов.

Анализ проведенных расчетов по расходам дымовых газов и их составу, включенных в исходные данные для математического моделирования, показал, что расхождения величин, полученных двумя методами (классическим и по приведенным характеристикам топлива), не превышают 2 %.

Результаты проведения тепловых расчетов позволяют сделать выводы о достаточности толщины стенки трубы и газоходов, а также о необходимости дополнительных утеплителей дымовой трубы. Результаты математического моделирования на основе значений скоростей и температур на выходе из трубы позволяют провести анализ и сделать выводы о необходимой высоте трубы, требуемой после проведения реконструкции.

Ключевые слова: железобетонная дымовая труба, котел, математическое моделирование, теплофизический и аэродинамический расчет.

R. N. Taktashev, S. A. Skladtchikov, M. Y. Motro, V. R. Protskiv

**MATHEMATICAL MODELLING OF THE FLOW GASES
 IN REINFORCED CONCRETE CHIMNEY ON THE TPP**

JSC «VTI», Moscow, Russia

Due to the need to reconstruct the TPP of a reinforced concrete chimney, to which three boilers are connected (No. 1 on one side of the chimney and № 2 and № 3 on the opposite side), mathematical modeling of the flow of flue gases was carried out for different types of boiler operation. The variants of boiler operation in the winter and summer periods at two loads during the combustion of natural gas (main fuel) and fuel oil (reserve fuel) were considered.

For a detailed study of the gas flow through the chimney, a three-dimensional mathematical model of gas dynamics describing this flow is proposed. The mathematical model takes into account the tensor of viscous stresses, gravity, conditions of outflow and inflow of liquid, as well as temperature characteristics of the medium. The constructed mathematical model allows obtaining thermophysical and aerodynamic parameters of flue gases (velocity, flow direction, temperature, rarefaction, etc.) at every point inside the chimney and gas ducts connected to it in each of the boiler operation modes.

An analysis of the calculations carried out on flue gas consumption and their composition included in the initial data for mathematical modeling showed that the discrepancies between the values obtained by the two methods (classical and according to the given fuel characteristics) do not exceed 2 %.

The results of thermal calculations allow us to draw conclusions about the sufficiency of the wall thickness of the pipe and flues, as well as the need for additional insulation of the chimney. The results of mathematical modeling based on the values of velocities and temperatures at the outlet of the pipe allow us to analyze and draw conclusions about the required height of the pipe required after reconstruction.

Keywords: reinforced concrete chimney, boiler, mathematical modelling, thermophysical and aerodynamic calculation.

Анализ исходных данных

Исходные данные для теплофизических и аэродинамических расчетов включали:

- технические характеристики котлов и вспомогательного оборудования (проектная и эксплуатационная документация, результаты обследования, проводившихся наладочными и монтажными организациями и т. д.);

- материалы конструкции ствола дымовой трубы, футеровки, газоходов котлов, подключенных к дымовой трубе;

- геометрические размеры участков газоходов и дымовой трубы с учетом их изменений после ремонта;

- результаты расчетов объемных расходов и состава уходящих дымовых газов, отводимых от котлов ст. № 1–3, полученных как с использованием обычного «классического» метода, так и с использованием метода приведенных характеристик топлива.

Метод приведенных характеристик топлива, разработанный профессором С. Я. Корницким около 75 лет назад, по сравнению с обычным, классическим методом обладает большими возможностями для обобщений, а также для упрощения и достижения высокой точности расчетов. Большое преимущество метода заключается не только в упрощении расчета, но и в резком сокращении количества потребных исходных данных по топливу. Принципиальная разница между этими методами заключается в том, что классический метод основан на знании элементарного (или химического) состава топлива и что все его расчетные величины отнесены к 1 кг (м^3) топлива, а метод приведенных характеристик топлива основан на обобщенных константах, отнесенных к теплоте сгорания топлива. В настоящее время разработаны методики

расчетов, в том числе объемов воздуха и продуктов сгорания. Так, для расчетов по ним достаточно знания сорта и приведенной влажности топлива (рабочей влажности и низшей теплоты сгорания), так как все обобщенные константы сравнительно мало отличаются друг от друга и отнесены к теплу топлива, а не к его массе.

Исходные данные для математического моделирования, включающие результаты расчетов расходов дымовых газов и их состава, представлены в табл. 1–4 на основе проектных данных котла № 2 (однотипные котлы № 2 и № 3 во время выполнения работы находились в состоянии монтажа), режимных карт котла № 1, данных анализов основного и резервного топлива.

Результаты расчета объемных расходов уходящих дымовых газов представлены в табл. 2 и 3.

Результаты расчета состава уходящих дымовых газов котлов № 1, 2, 3 представлены в табл. 4.

В составе уходящих дымовых газов учитывалось содержание в % об.: азота (C_{N_2}); углекислого газа (C_{CO_2}); водяных паров (C_{H_2O}), кислорода (C_{O_2}).

Остальные химические вещества, объемная доля которых не превышает 0,2 %, не учитывались из-за отсутствия их заметного влияния на теплофизические свойства уходящих дымовых газов.

Температура уходящих дымовых газов (190°C) и содержание в них кислорода (3,5 %) для котлов № 2 и № 3 принимались по рекомендации завода-изготовителя температура уходящих дымовых газов ($140, 150^\circ\text{C}$) и содержание в них кислорода (11,8, 14,3, 5,6 и 9,4 %) – по режимным картам котла № 1.

Таблица 1

Исходные данные для расчетов

Номер котлоагрегата	Характеристики при сжигании					
	Мазута			Природного газа		
	Теплота сгорания по паспорту, кДж/кг	Теплота сгорания фактическая, кДж/кг	Температура уходящих дымовых газов, $^\circ\text{C}$	Теплота сгорания по паспорту, кДж/ м^3	Теплота сгорания фактическая, кДж/ м^3	Температура уходящих дымовых газов, $^\circ\text{C}$
1	40 446,1	40 152,0	150	36 084,3	35 559,0	140
2, 3	38 800,0	40 152,0	190	36 100,0	35 559,0	190

Таблица 2

Расчетная характеристика котла № 1

Паропро- изводи- тельность, т/ч	Расход топлива, т/ч (м³/ч)	Содержание кислорода в уходящих дымовых газах, %	Коэффициент избытка воздуха в уходящих газах	Объемный расход дымовых газов, м³/ч		Действительный объемный расход дымовых газов, м³/ч	
				Методика расчета		Методика расчета	
				По приведенным характеристикам топлива	Классический метод	По приведенным характеристикам топлива	Классический метод
Сжигание мазута (теплота сгорания 40 152,0 кДж/кг)							
175	12,239	11,8	2,218	278 471,0	281 255,7	431 476,0	438 811,1
120	8,713	14,3	3,028	382 859,0	388 601,9	593 221,0	600 339,652
Сжигание природного газа (теплота сгорания 35 559,0 кДж/кг)							
230	17 411,5	5,6	1,327	200 640,0	202 847,04	303 532,0	309 602,6
120	9 224,3	9,4	1,729	266 582,0	270 314,1	403 291,0	409 743,7

Примечание. Нагрузка принята по режимной карте для котла № 1, теплота сгорания по данным анализов основного и резервного топлива, температура уходящих дымовых газов – 150 °С (сжигание мазута), 140 °С (сжигание природного газа).

Таблица 3

Расчетная характеристика котлов № 2 и 3 при номинальной нагрузке

Содержание кислорода в уходящих газах, %	Коэффициент избытка воздуха в уходящих газах	Объемный расход дымовых газов, м³/ч		Действительный объемный расход дымовых газов, м³/ч	
		Методика расчета		Методика расчета	
		По приведенным характеристикам топлива	Классический метод	По приведенным характеристикам топлива	Классический метод
Сжигание мазута (расход топлива 1,681 т/ч; теплота сгорания 40 152,0 кДж/кг)					
5,0	1,297	21 916,8	22 311,3	37 130,3	37 798,6
3,5	1,190	20 023,0	20 423,5	33 958,5	34 637,7
Сжигание природного газа (расход топлива 1 896,42 м³/ч; теплота сгорания 35 559,0 кДж/м³)					
5,0	1,281	21 026,3	21 362,7	35 659,9	36 159,1
3,5	1,180	19 217,9	19 563,8	32 592,9	33 049,2

Примечание. Рассчитанный объемный расход дымовых газов относится к одному котлу, соответственно, суммарный расход от двух котлов № 2 и № 3 будет составлять величину, вдвое большую рассчитанной. Указанная теплота сгорания принята по данным анализов основного и резервного топлива, поэтому расход топлива отличается от приведенного в паспорте котла. Температура уходящих дымовых газов принята 190 °С.

Таблица 4

Результаты расчета состава уходящих дымовых газов котлов № 1–3

Методика расчета	Паропроизводительность, т/ч	Объемная доля компонентов при сжигании мазута, %				Паропроизводительность, т/ч	Объемная доля компонентов при сжигании природного газа, %			
		O ₂	N ₂	O ₂	N ₂		O ₂	N ₂	O ₂	N ₂
По приведенным характеристикам топлива	Номинальная (котлы № 2, 3)	5,0	73,73	10,92	10,35	Номинальная (котлы № 2, 3)	5,0	71,26	7,61	16,13
		3,5	73,55	11,86	11,09		3,5	71,02	8,21	17,27
	175 (котел № 1)	11,8	74,88	6,51	6,80	230 (котел № 1)	5,6	71,37	7,37	15,66
	120 (котел № 1)	14,3	75,46	4,80	5,44	120 (котел № 1)	9,4	72,28	5,75	12,57
Классический метод	Номинальная (котлы № 2, 3)	5,0	73,95	10,89	10,16	Номинальная (котлы № 2, 3)	5,0	70,99	7,52	16,50
		3,5	73,77	11,83	10,89		3,5	70,72	8,11	17,67
	175 (котел № 1)	11,8	75,03	6,49	6,68	230 (котел № 1)	5,6	71,70	7,28	16,02
	120 (котел № 1)	14,3	75,57	4,78	5,34	120 (котел № 1)	9,4	72,06	5,68	12,86

Результаты анализа расчетных данных показали, что расхождения величин, полученных двумя вышеупомянутыми методами, не превышают 2 %.

Расчетная область и сетка

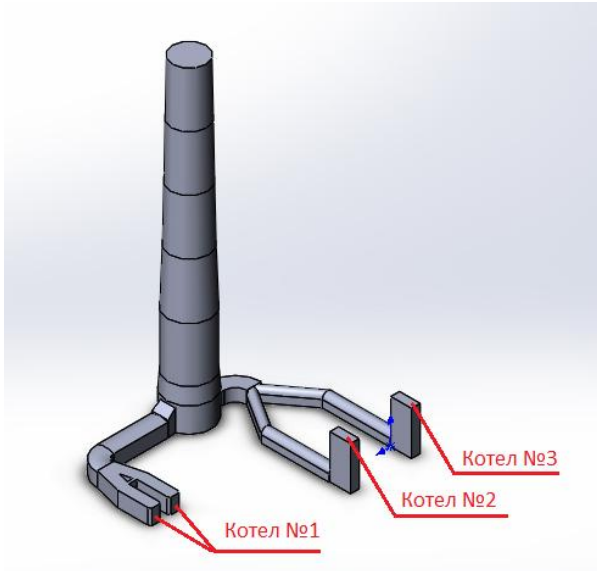


Рис. 1. Область течения дымовых газов

На рис. 1 представлено изображение расчетной области. Дымовые газы поступают в расчетную область из котлов № 2 и № 3, (рис. 1, справа), либо из котла № 1 (рис. 1, слева) проходят по газоходам и выпускаются в окружающую среду через дымовую трубу. Внутри трубы область разделена вертикальной стенкой высотой порядка четырех метров. Стенка расположена под углом в 45° по отношению к плоскости расположения котлов. Вся расчетная область покрывается неравномерной шестигранной сеткой, общее число ячеек которой составляет порядка полмиллиона. В пристеночном слое дополнительно учитывается модель k - ϵ турбулентности.

Описание математической модели

Для детального исследования течения газа по дымовой трубе предлагается трехмерная математическая модель газодинамики, описывающая данное течение. Математическая модель учитывает тензор вязких напряжений, силу тяжести, условия оттока и притока жидкости, а также температурные особенности среды.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \rho u}{\partial t} + \frac{\partial \rho u^2}{\partial x_1} + \frac{\partial \rho uv}{\partial x_2} + \frac{\partial \rho uw}{\partial x_3} + \frac{\partial p}{\partial x_1} = (\text{Div} \tau)_1 - \frac{\partial u^2 \rho}{\partial x_1} \theta, \\ \frac{\partial \rho v}{\partial t} + \frac{\partial \rho uv}{\partial x_1} + \frac{\partial \rho v^2}{\partial x_2} + \frac{\partial \rho vw}{\partial x_3} + \frac{\partial p}{\partial x_2} = (\text{Div} \tau)_2 - \frac{\partial u^2 \rho}{\partial x_2} \theta, \\ \frac{\partial \rho w}{\partial t} + \frac{\partial \rho uw}{\partial x_1} + \frac{\partial \rho vw}{\partial x_2} + \frac{\partial \rho w^2}{\partial x_3} + \frac{\partial p}{\partial x_3} = (\text{Div} \tau)_3 - \rho g - \frac{\partial u^2 \rho}{\partial x_3} \theta, \\ \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x_1} + \frac{\partial \rho v}{\partial x_2} + \frac{\partial \rho w}{\partial x_3} = 0, \\ (\text{Div}(\tau))_i = \sum_{k=1}^3 \frac{\partial \tau_{ki}}{\partial x_k}, \\ \tau_{ki} = 2\mu S_{ki}, \\ S_{ki} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_k}{\partial x_i} + \frac{\partial v_i}{\partial x_k} \right) \\ \frac{\partial \rho T}{\partial t} + (\rho \mathbf{V} \nabla) T = \chi \Delta(\rho T), \\ pV = \frac{m}{M} RT, \\ \theta = \frac{T - T_0}{T_0}. \end{array} \right.,$$

где $u = v_1, v = v_2, w = v_3$ – компоненты скорости газа по координатам x_1, x_2 и x_3 соответственно; p, T, ρ, μ, V, m, M и χ – давление, температура, плотность, динамическая вязкость, объем, мас-

са, молярная масса и коэффициент температуропроводности соответственно; R – универсальная газовая постоянная.

Подобный способ построения математиче-

ских моделей хорошо зарекомендовал себя и подробно рассмотрен в работах [1–7], где представлены численные методы, на основе которых решалась данная система уравнений.

Результаты расчетов

Для каждого из режимов работы котлов получены свои собственные поля скоростей и температур. Рассмотрим последовательно некоторые из них.

Расчет 1

Исходные данные (рис. 2–4)

Лето. Температура окружающего воздуха составляет плюс 25 °С. В работе 2 котла № 2 и №3. Котел № 1 не работает. Топливо – мазут. Температура уходящих дымовых газов составляет 190 °С. Состав газов, % об.:

$O_2 - 5$, $N_2 - 73,73$, $CO_2 - 10,92$, $H_2O - 10,35$.

Действительный объемный расход дымовых газов, м³/ч составляет 37130,3.

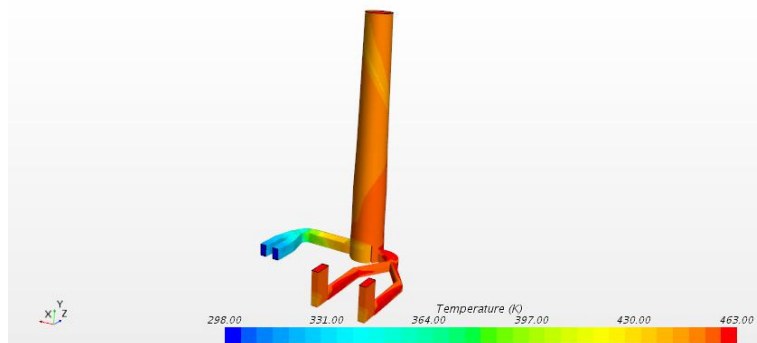


Рис. 2. Распределение поля температур для расчета типа 1

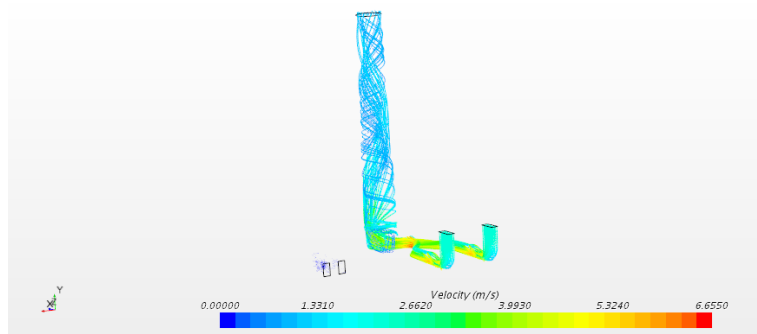


Рис. 3. Линии тока газа для расчета типа 1

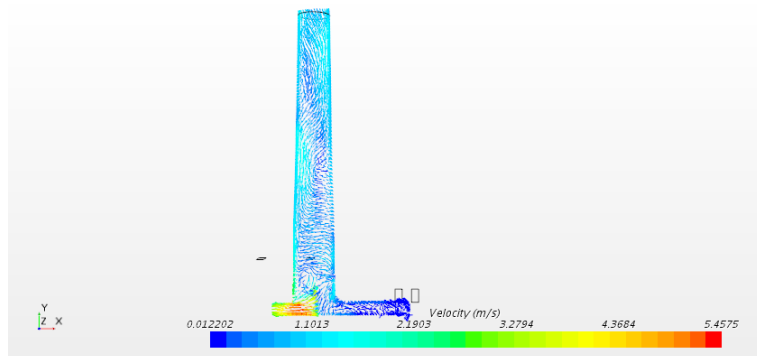


Рис. 4. Вертикальный срез поля скоростей для расчета 1. Вид сзади

Расчет 2

Исходные данные (рис. 5–7)

Лето. Температура окружающего воздуха составляет плюс 25 °С. В работе 2 котла № 2 и № 3. Котел № 1 не работает. Топливо – при-

родный газ. Температура уходящих дымовых газов составляет 190 °С. Состав газов, % об.:

$O_2 - 5$, $N_2 - 71,26$, $CO_2 - 7,61$, $H_2O - 16,13$.

Действительный объемный расход дымовых газов, м³/ч составляет 35659,9.

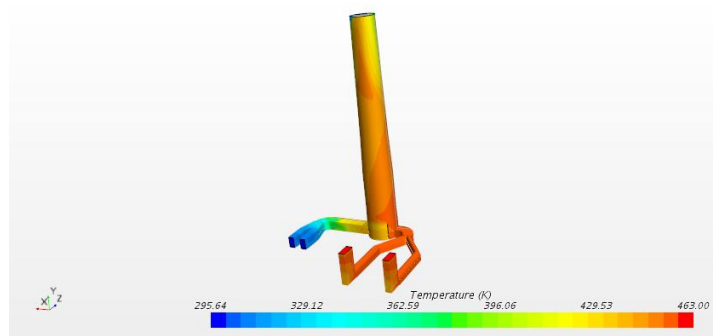


Рис. 5. Распределение поля температур для расчета типа 2

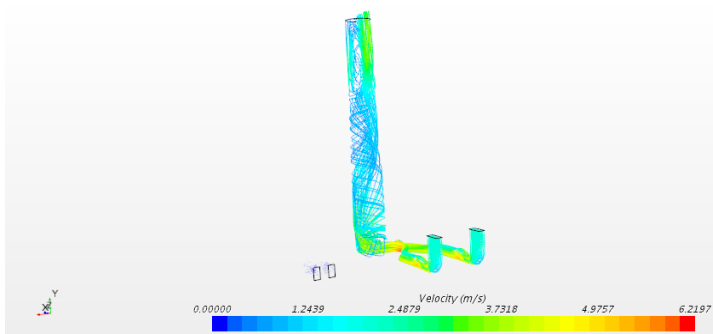


Рис. 6. Линии тока газа для расчета типа 2

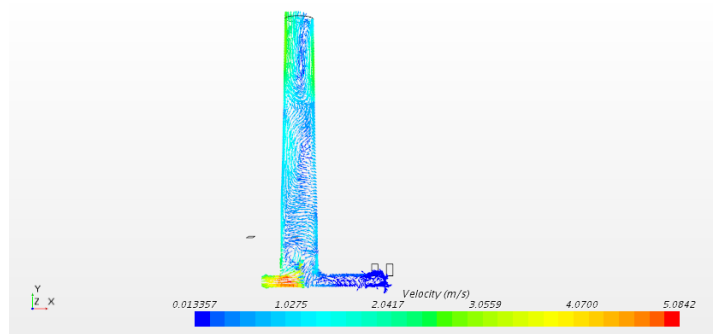


Рис. 7. Вертикальный срез поля скоростей для расчета 2. Вид сзади

Расчет 3

Исходные данные (рис. 8–10)

Зима. Температура окружающего воздуха составляет минус 28 °С. В работе 1 котел № 1. Котлы № 2 и № 3 не работают. Топливо – ма-

зут. Температура уходящих дымовых газов составляет 150 °С. Состав газов, % об.:

O_2 – 11,8, N_2 – 74,88, CO_2 – 6,51, H_2O – 6,80.

Действительный объемный расход дымовых газов, м³/ч составляет 431476.

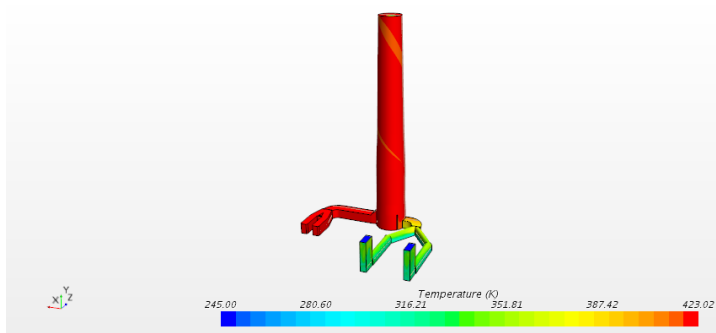


Рис. 8. Распределение поля температур для расчета типа 3

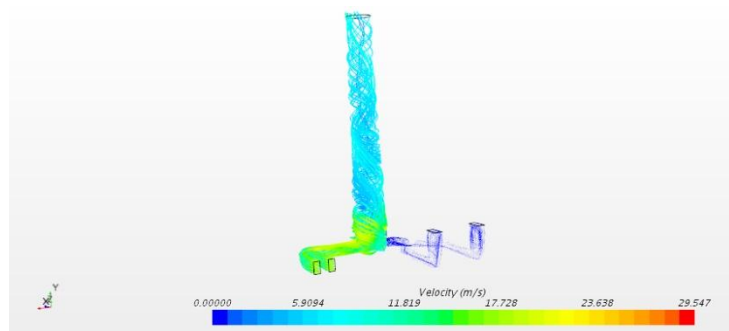


Рис. 9. Линии тока газа для расчета типа 3

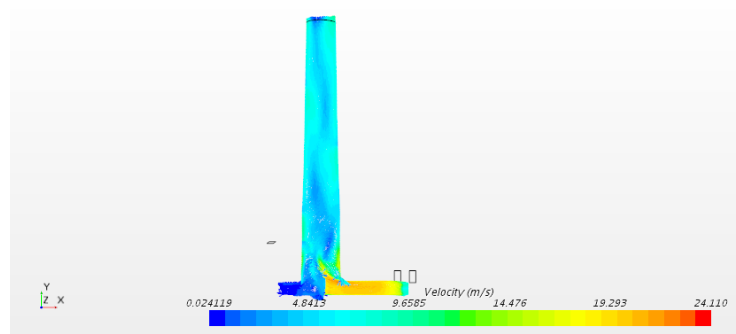


Рис. 10. Вертикальный срез поля скоростей для расчета 3. Вид сзади

Расчет 4

Исходные данные

Зима. Температура окружающего воздуха составляет минус 28 °С. В работе 1 котел № 1. Котлы № 2 и № 3 не работают. Топливо – при-

родный газ. Температура уходящих дымовых газов составляет 140 °С. Состав газов, % об.:

$O_2 - 5,6$ $N_2 - 71,37$, $CO_2 - 7,37$, $H_2O - 15,66$.

Действительный объемный расход дымовых газов, м³/ч составляет 303532.

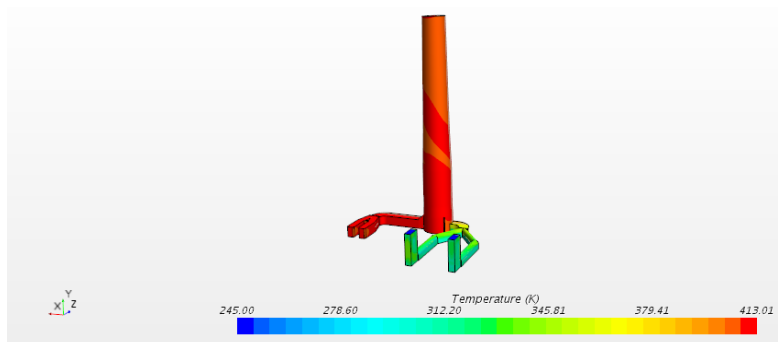


Рис. 11. Распределение поля температур для расчета типа 4

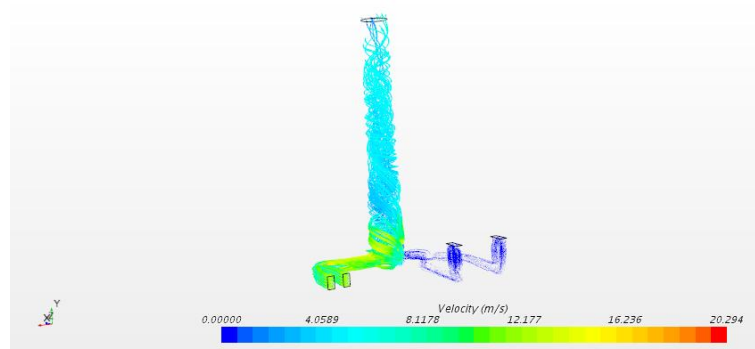


Рис. 12. Линии тока газа для расчета типа 4

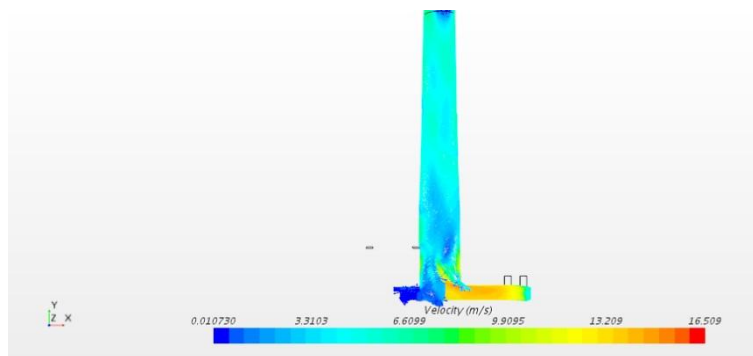


Рис. 13. Вертикальный срез поля скоростей для расчета 4. Вид сзади

Выводы

Анализ проведенных расчетов по расходам дымовых газов и их составу, включенных в исходные данные для математического моделирования, показал, что расхождения величин, полученных двумя методами (классическим и по приведенным характеристикам топлива), не превышают 2 %.

Результаты математического моделирования на основе значений скоростей и температур на выходе из трубы позволяют провести анализ и сделать выводы о необходимой высоте трубы, требуемой после проведения реконструкции. Также результаты тепловых расчетов позволяют сделать выводы о достаточности толщины стенки трубы и газоходов, а также о необходимости дополнительных утеплителей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Markelov, A. Y. Optimization of thermophysical processes of bottom part of shaft furnace for plasma treatment plant of solid radioactive waste / Markelov A. Y., Kudrinskiy A. A., Anpilov S. V., Shiryaevsky V. L. // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2019. – Vol. 1370, no. 1.

2. Savenkova, N. P. Mathematical Distribution of Pressures in a Commercially Producing Petroleum Layer / Savenkova N.P., Mokin A.Yu, Laponin V.S. // *Computational Mathematics and Modeling – Consultants Bureau (United States)*, – 2018 – Vol. 29, № 1, PP. 102-109

3. Складчиков, С. А. 4D-исследование вихревых движений жидкостей внутри глаза / С. А. Складчиков, Н. П. Савенкова, Ф. И. Высикайло и др. // *Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Серия «Естественные науки»*, Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана (М.). – 2021. – № 5. – С. 73–88.

4. Laponin, V. S. Numerical investigation of wave formation in an annular channel / Laponin V.S., Skladchikov S.A., Savenkova N.P. // *Computational Mathematics and Modeling – Consultants Bureau (United States)*, Vol. 29, № 1, PP. 96-101

5. Skladchikov, S. A. Mathematical modeling of the toroidal vortex structures interaction/ Skladchikov S. A., Savenkova N. P., Kuzmin R. N. // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2018. – no. 996. – P. 1–5.

6. Laponin, V. S. Numerical investigation of wave formation in an annular channel / Laponin V. S., Skladchikov S. A., Savenkova N. P. // *Computational Mathematics and Modeling*. – 2018. – Vol. 29, no. 1. – P. 96–101.

7. Bychkov, V. L. On modeling of «plasmoid» created by electric discharge / V. L. Bychkov, S. V. Anpilov, N. P. Savenkova et al. // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2018. – Vol. 996. – P. 012012–012012.

УДК 661.965

А. Б. Голованчиков, В. А. Козловцев, Н. А. Прохоренко, Н. А. Меренцов **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДОРОДА, ОБРАЗУЮЩЕГОСЯ** **ПРИ ПИРОЛИЗЕ МЕТАНА, ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АММИАКА**

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: natasha292009@yandex.ru

Предложено водород, образующийся на предприятиях производства технического углерода при пиролизе метана, использовать в технологическом процессе синтеза аммиака, а в перспективе и других технологиях связанного азота. В качестве примера взято производство технического углерода на предприятии, работающем в южном промышленном узле города Волгограда.

Ключевые слова: пиролиз метана, технический углерод, водород, азот, синтез аммиака.

A. B. Golovanchikov, V. A. Kozlovtssev, N. A. Prokhorenko, N. A. Merentsov

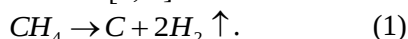
PROSPECTS FOR THE USE OF HYDROGEN FORMED DURING THE PYROLYSIS OF METHANE FOR THE PRODUCTION OF AMMONIA

Volgograd State Technical University

It is proposed that hydrogen, which forms at carbon black production plants during methane pyrolysis, be used in the technological process of ammonia synthesis, and in the future other technologies of bound nitrogen. As an example, the carbon black plant operating in the southern industrial complex of the city of Volgograd is taken as a basis.

Keywords: pyrolysis of methane, carbon black, hydrogen, nitrogen, synthesis of ammonia.

В южном промышленном узле города Волгограда уже несколько десятилетий успешно работает завод по производству технического углерода, на котором названный продукт получают пиролизом метана [1; 2]:



Основной продукцией этого предприятия является технический углерод, используемый в основном как наполнитель при производстве резинотехнических изделий и прежде всего производстве шин.

Образующийся при пиролизе метана водород как товарный продукт не используется, а расходуется внутри предприятия как дополнительный топливный ресурс.

Однако образующийся водород является ценным, а не побочным продуктом пиролиза природного газа. Например, его можно использовать в производстве аммиака по реакции [3]:



Сам водород в известных способах его производства получают не прямым разложением природного газа, а электрохимическим разложением воды (способы: Ж. Клода, Л. Казале, Габера-Боша, Д. Фаузера).

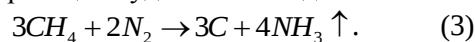
В отечественной промышленности с 1955 г. используется так называемый конверсионный способ получения аммиака с применением парокислородной каталитической конверсии CH_4 при низком давлении или высокотемпературной кислородной конверсии природного газа без катализатора (давление 3 МПа) [3]:

В настоящее время на смену энергоемким способам в России внедряется система двухступенчатой каталитической конверсии природного газа при давлении 3 ÷ 4 МПа. На первой ступени применяется паровая конверсия природного газа в трубчатой печи, на второй – паровоздушная конверсия в шахтном реакторе. Важным преимуществом двухступенчатой каталитической конверсии является использование почти 80 % водорода и 20 % кислорода непосредственно из воздуха, а экзотермической реакцией второй стадии обеспечивают резкое

снижение общих затрат теплоты на эндотермический процесс конверсии метана.

Целью работы является предложение и оценка возможностей непосредственного использования получаемого водорода при пиролизе метана по эндотермической реакции (1) в синтезе аммиака по экзотермической каталитической реакции (2).

Общая реакция будет иметь вид:



Согласно стехиометрии химических реакций [1, 2, 4–6] теоретически на 1 тонну метана необходимо 1,17 тонны азота. В результате реакции получается 0,750 тонн углерода и 1,42 тонн аммиака. В настоящее время при пиролизе 1 тонны метана образуются 0,25 тонны водорода, который не используется как товарный продукт.

Интересно то, что в реакции пиролиза метана (1) целесообразно уменьшать давление, так как из одной газообразной молекулы образуется две. Во второй реакции (2), наоборот, давление нужно увеличивать, так как из четырех газообразных молекул образуются две. В общей реакции (3) из пяти газообразных молекул образуется четыре, что также требует повышенного давления для сдвига равновесия в сторону продукта реакции – аммиака. Существенной преградой получения одновременно технического углерода и аммиака может стать температура: если в реакции пиролиза аммиака она достигается 1500 °С, то при синтезе аммиака она существенно меньше (400 ÷ 500 °С) [3]. Решение этой проблемы требует дополнительных теоретических и экспериментальных исследований, а также термодинамических расчетов.

Важнейшей проблемой здесь остается выбор катализатора. В природе фиксация атмосферного азота происходит в процессах, в результате которых он присоединяет водород с образованием аммиака. В лабораторных условиях эта проблема решена путем использования комплексных соединений металлов VIII группы: Fe, Ru и Os, но практического выхода на промышленное производство пока нет [7].

Таблица

Значение термодинамических параметров для реакции прямого синтеза аммиака из метана и азота (по реакции (4))

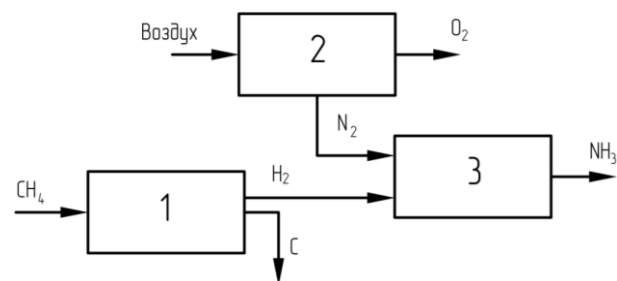
№	Температура (°C)	Энтальпия (Дж/мол, ΔH)	Энтропия (Дж/мол·К, S)	Энергия Гиббса (Дж/мол, ΔG)	$\ln K_p$ (логарифм константы равновесия)
1	Промышленная температура синтеза аммиака (2): 450 °C	$1,29 \cdot 10^6$	145,6	$-1,29 \cdot 10^6$	-1850,2
2	Промышленная температура разложения метана (1): 1150 °C	$1,25 \cdot 10^4$	-1204	$-1,29 \cdot 10^6$	-1725,3
3	Температура перехода значения энтальпии от «+» к «-»: 1230 °C	0	-1280	$-1,286 \cdot 10^6$	-1400
4	Температура перехода значения энтропии от «+» к «-»: 680 °C	$1,24 \cdot 10^4$	0	$-1,29 \cdot 10^6$	-1828

Так при средней температуре 450 °C синтеза аммиака из азота и водорода энтальпия для реакции (3) составляет: $\Delta H = 1,29 \cdot 10^6$ Дж/мол, а энтропия $S = 145,6$ Дж/(мол·К), то для реакции разложения метана (1) при средней температуре ее проведения в 1150 °C энтальпия составляет $\Delta H = 1,25 \cdot 10^4$ Дж/мол, а энтропия $S = -1204$ Дж/(мол·К). Последняя проходит через нулевую энтропию $S = 0$ при $t = 680$ °C.

В реакции (3) энтальпия проходит через нулевую отметку, меняя знак с плюса на минус, при температуре $t = 1230$ °C.

В таблице представлены результаты расчетов основных термодинамических параметров реакции (3) в зависимости от температуры.

Во всяком случае уже сейчас можно провести предварительные проектные работы по созданию на базе производства технического углерода при производстве аммиака с азото-кислородной станцией [8], а в перспективе присоединения к ним завода по производству азотных минеральных удобрений и других азотосодержащих веществ [9; 10].



Блок-схема основных сырьевых компонентов и продуктов реакции химкомбината в процессах:

- 1 – пиролиз метана (действующее производство);
 2 – разделение воздуха (азотно-кислородный завод);
 3 – синтез аммиака (новое производство)

Выводы:

1. Целесообразно с точки зрения энерго- и ресурсосбережения водород, образующийся при пиролизе метана в производстве технического углерода, использовать не как побочный энергетический ресурс, а как товарный продукт.

2. Дополнительно к существующему производству технического углерода, целесообразно начать предпроектные работы по созданию аммиачного производства с использованием водорода, образующегося при пиролизе метана.

3. В перспективе можно на базе производства технического углерода создать в южном промышленном узле города Волгограда новый химический комбинат, включающий дополнительно производство аммиака, азотных минеральных удобрений и других азотосодержащих веществ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Молодых, Э. И. К кинетике выделения сажи при пиролизе метана / Э. И. Молодых, В. И. Булгаков, Н. Н. Васильева // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2012. – № 1. – С. 43–47.
2. Тимонин, А. С. Машины и аппараты химических производств: учебник для вузов / А. С. Тимонин, Б. Г. Балдин и др.; под общ. ред. А. С. Тимонина. – Калуга: Изд. Ноосфера, 2014. – 856 с.
3. Бласяк, Е. Технология связанного азота. Синтетический аммиак / Е. Бласяк, К. Лайдлер, С. Павликовский, [и др.]. – М.: Госхимиздат, 1961. – 623 с.
4. Аксенчик, К. В. Эволюция и перспективы энерго- и ресурсосберегающих подходов в технологии аммиака / К. В. Аксенчик // Известия вузов. Химия и химическая технология. – 2021. – Т. 64, вып. 1. – С. 4–21.
5. Кузнецов, Л. Д. Синтез аммиака / Л. Д. Кузнецов, Л. М. Дмитриенко, П. Д. Рабина. – М.: Химия, 1982. – 296 с.
6. Голованчиков, А. Б. Расчет реактора пиролиза метана с учетом неизохорности протекания реакции / А. Б. Голованчиков, В. А. Козловцев, А. А. Шурак, Н. А. Меренцов // Технологии нефти и газа. – 2021. – № 6. – С. 37–40.
7. Стацко, В. В. Водород – хром. Популярная библиотека химических элементов / В. В. Стацко, М. Б. Черненко. – М.: Наука, 1971. – 360 с.

8. Глизманенко, Д. Л. Получение кислорода. Изд. 4-е перераб. и доп. / Д. Л. Глизманенко. – М.: Химия, 1972. – 752 с.

9. Русин, В. Н. Технология связанного азота / В. Н. Русин, Н. Ф. Тарчигина. – М.: Изд-во МГОУ, 2009. – 199 с.

10. Воробьев, Н. И. Технология связанного азота и азот-

ных удобрений: тексты лекций по одноименному курсу для студентов специальности 1-48 01 01 «Химическая технология неорганических веществ, материалов и изделий» специализации 1-48 01 01 01 «Технология минеральных удобрений, солей и щелочей» очной и заочной форм обучения / Н. И. Воробьев. – Минск : БГТУ, 2011 – 216 с.

УДК 621.311

Д. Н. Авдеюк

АНАЛИЗ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИИ

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: eltech@vstu.ru

На сегодняшний день в электроэнергетике наиболее перспективным развитием является внедрение Smart Grid, которое должно содержать информационно-измерительную систему по мониторингу неисправностей элементов системы и принимать решение по отключению или переключению с аварийных участков сетей на резервную линию. Работа существующих систем основана на сборе информации и передачи данных оператору, окончательное решение об отключении или переключении линии принимает оператор. Для повышения достоверности принятия решения, необходимо повысить надежность, а именно провести предварительную тренировку и обучение оператора с учетом погодных факторов, то есть ту часть информации, которая формализуется для решения проблемы. В связи с чем необходим тренажер по обучению оператора, учитывающий специфику контролируемых участков линии, а именно погодные и конструктивные особенности, в том числе с учетом ответвлений линии. В целях повышения скорости принятия решения целесообразно включить в существующие системы контроля линий искусственный интеллект.

Ключевые слова: аварийные режимы воздушных линий (ВЛ), мониторинг ВЛ, средства определения мест повреждений ВЛ, линии с распределенными параметрами, рефлектометры.

D. N. Avdeyuk

ANALYSIS OF INTELLIGENT MEASURING INFORMATION CONVERTERS

Volgograd State Technical University

To date, the most promising development in the electric power industry is the introduction of a Smart Grid, which should contain an information and measurement system for monitoring malfunctions of system elements and make a decision on disconnecting or switching from emergency sections of networks to a backup line. The operation of existing systems is based on the collection of information and data transmission to the operator, the final decision on disconnecting or switching the line is made by the operator. To increase the reliability of decision-making, it is necessary to increase reliability, namely, to conduct preliminary training and training of the operator taking into account weather factors, that is, the part of information that is formalized to solve the problem. In this connection, an operator training simulator is needed that takes into account the specifics of the controlled sections of the line, namely weather and design features, including taking into account the branches of the line. In order to increase the speed of decision-making, it is advisable to include artificial intelligence in existing line control systems.

Keywords: emergency modes of overhead lines (overhead lines), overhead line monitoring, means of determining the locations of overhead line damage, lines with distributed parameters, reflectometers.

В 1980-е года создание персонального компьютера привело к развитию аппаратно-программных средств обработки данных. Ввиду необходимости сбора данных, а также их обработки, анализа и отображения информации разработаны инструменты, которые названы «интеллектуальные». Чаще стали появляться датчики со встроенными микропроцессорами, которые позволяют обрабатывать информацию

в самом датчике. Такие датчики получили название «умные датчики».

Под управлением микропроцессора возможно менять уровни возбуждения так, что переключение между диапазонами происходит автоматически. В связи с чем открывается возможность получения линейного сигнала от нелинейного датчика при помощи таблицы соответствия, хранящейся в памяти.

В некоторых случаях требуется обрабатывать и анализировать информацию, поступающую от нескольких датчиков. Такая потребность может появиться из-за того, что оператор не способен оценивать приходящую информацию с требуемой скоростью. Данная задача стимулировала развитие систем искусственного интеллекта на основе нечеткой логики и искусственных нейронных сетей.

Определение понятия «искусственный интеллект», предложенное Джоном Маккарти в 1950-х годах, объясняло способность интеллектуальных машин выполнять творческие функции, которые традиционно считаются прерогативой человека. Также этим термином обозначают науку и технологию создания интеллектуальных машин.

Приложения с использованием искусственного интеллекта были созданы для того, чтобы поместить экспертную оценку известного специалиста или опыт целой команды в базу знаний, которой позднее мог бы воспользоваться новичок или к которой мог быть обеспечен удаленный доступ. Кроме того, она могла быть обработана на высокой скорости, не доступной человеку.

Однако система принятия решения редко нужна для того, чтобы выносить строгие решения типа «черное» и «белое», чаще от нее требуется более тонкая оценка значений типа «градация серого».

В 1930 г. польский логик и философ Ян Лукашевич предложил понятие многозначной логики. Логические переменные в ней могут принимать любое значение в промежутке между 0 и 1. Это легло в основу теории вероятности. В 1937 г. Макс Блэк приложил, чтобы значения, присваиваемые уровням в дискретной системе

многозначной логики, задавались на основе мнения группы людей. Это и стало основополагающим нечеткого множества.

В нечеткой логике в отличие от классической вместо величин «истина» и «ложь» используется величина «степень истинности», принимающая любые значения из бесконечного множества от 0 до 1 включительно. Следовательно, логические операции уже нельзя представить таблично. В нечеткой логике они задаются функциями.

Нечеткая логика применяется в:

- сборе информации;
- навигационных системах;
- системе учета расписания при перевозках;
- робототехнике;
- системе обработки изображений;
- метеорологическом анализе.

Для получения обратной связи, необходимой для работы «умного» датчика нужен сенсор. Сенсор – это устройство (прибор, орган, узел), преобразующее физическое изменение в объекте наблюдения, его физическое воздействие в информационный сигнал для пользователя. Сенсор – это связующее звено между реальным «физическим» миром и миром информационных моделей, между материей и информацией.

Функциональная схема простого сенсора представлена на рис. 1. Главными его составными частями являются чувствительный элемент и сигнализатор. Реагируя на то или иное воздействие со стороны объекта наблюдения, чувствительный элемент меняет свое состояние, а сигнализатор выдает об этом какой-то понятный пользователю сигнал. Этот сигнал и является носителем информации об объекте наблюдения.

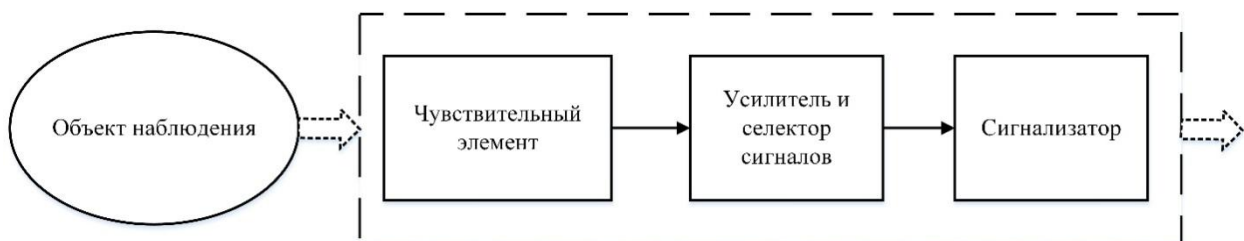


Рис. 1. Функциональная схема сенсора

В связи с интеграцией микропроцессоров в сенсоры сложились предпосылки для появления принципиально нового класса «интеллектуальных» сенсоров. Такие сенсоры, как правило «активные», то есть они могут не просто пассивно воспринимать влияние, свойство, ха-

рактеристики объекта наблюдения, но и сами воздействовать на объект, воспринимая и анализируя вызванные этим изменения. Такие датчики автоматически могут повторить измерения, усреднить результаты, пересчитать в иные единицы измерения и т. п.

Функциональная схема «интеллектуального» сенсора представлена на рис. 2. «Интеллект» сосредоточен в микроконтроллере МК. МК не только обрабатывает информацию, но и

организует всю работу сенсора и его информационную связь с внешним миром – с пользователем, с внешним компьютером, с каналом связи или с компьютерной сетью.

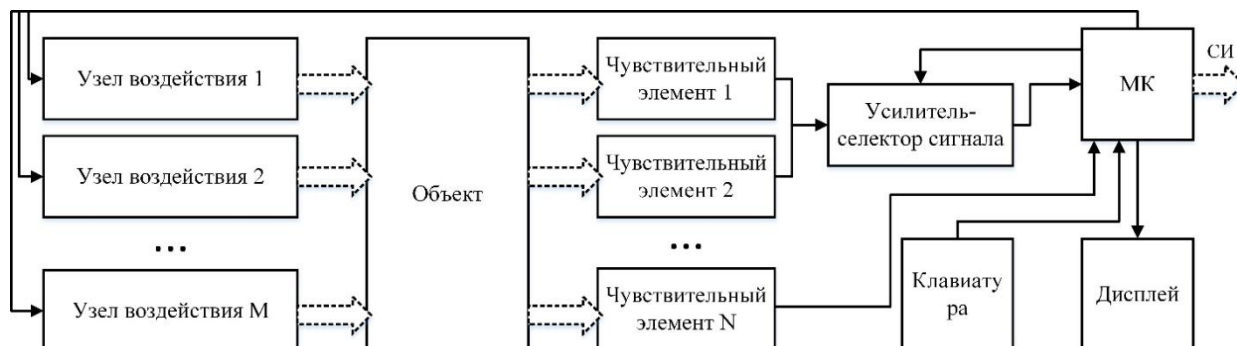


Рис. 2. Функциональная схема «интеллектуального» сенсора

МК при наличии соответствующего программного обеспечения может выполнять также самоконтроль, контроль всех узлов сенсора и выдавать пользователю предупреждения и диагностические сообщения.

Получив команду о начале работы, МК включает узлы воздействия на объект наблюдения и начинает отслеживать сигналы, поступающие от чувствительных элементов. Слабые или «зашумленные» сигналы предварительно усиливаются и выделяются в усилителе-селекторе сигналов. Сигналы, не требующие усиления или селекции, могут поступать непосредственно в МК. Отслеживая данные от чувствительных элементов, МК может автоматически изменять интенсивность или характер воздействия на объект наблюдения.

В соответствии с заданной программой МК обрабатывает совокупность сигналов, поступающих от чувствительных элементов, а полученные результаты перекодирует в наиболее удобную для пользователя форму и выводит на дисплей. Результаты могут быть занесены в долговременную память МК и храниться в ней, а также через стандартный интерфейс (СИ) переданы во внешний компьютер или компьютерную сеть.

Наличие МК придает «интеллектуальным» сенсорам гибкость, возможность автоматической адаптации к изменяющимся условиям работы. Такой сенсор способен интерпретировать данные о контролируемом объекте, помогая пользователю в диагностике и принятии решения.

В целях реализации концепции ситуационного управления на основе современных интеллектуальных технологий предполагает на-

личие развернутой базы знаний о принципах построения и целей функционирования системы, специфике использования различных алгоритмов, особенностях исполнительных механизмов и управляемого объекта. В этом случае классификационный анализ имеющихся знаний с учетом текущих показаний измерительно-информационных средств должен обеспечивать параметрическую и структурную настройку управляющих алгоритмов, модификацию программы достижения целей управления, а при необходимости и их коррекцию. На рис. 3 представлена интеллектуальная система управления.

Главное отличие интеллектуальной системы управления от построенной по «традиционной» схеме, связана с подключением механизмов хранения и обработки знаний для реализации способностей по выполнению требуемых функций в неполно заданных условиях при случайном характере внешних возмущений. К возмущениям подобного рода могут относиться непредусмотренное изменение целей, эксплуатационных характеристик системы и объекта управления, параметров внешней среды и т. д. Кроме того, состав системы при необходимости дополняется средствами самообучения, обеспечивающими обобщение накапливаемого опыта и на этой основе пополнение знаний.

Наиболее актуальны вопросы интеллектуализации в реальном масштабе времени при высокой автономности протекания контролируемых процессов. Анализ зарубежного и отечественного опыта показывает необходимость создания технических устройств и систем, включая

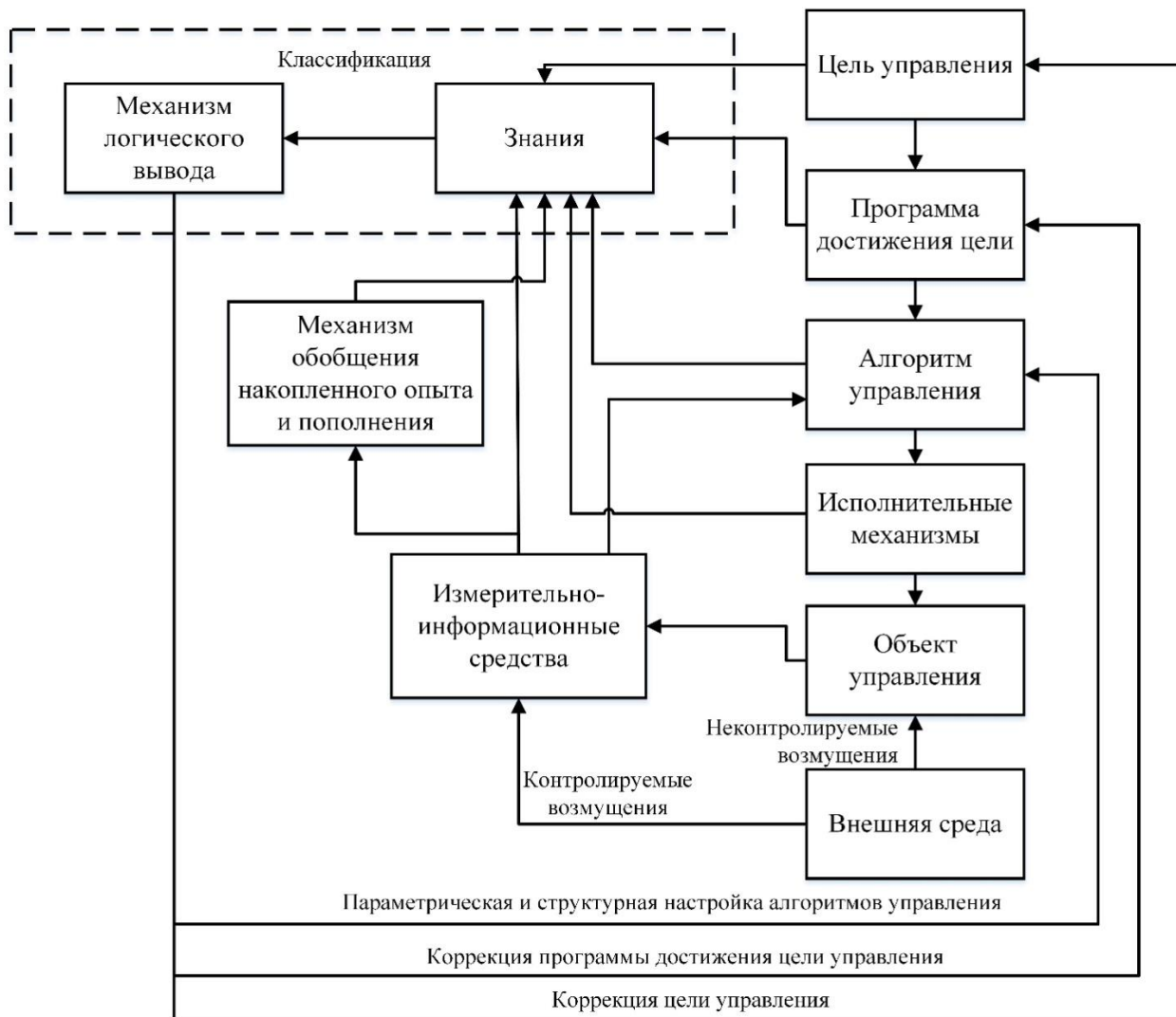


Рис. 3. Обобщенная структура системы интеллектуального управления

- автоматическое управление сложными технологическими процессами;
- управление автономными роботами и микросредствами;
- управление подвижными объектами специального назначения;
- мониторинг окружающей обстановки.

Повышение степени интеллектуализации систем предполагает обеспечение следующих функциональных возможностей:

- идентификация ситуаций, распознавание объектов и ориентиров на сложном подстилающем фоне;
- представление интегральной информации для принятия решений человеку в удобной для него форме;
- принятие решений на выполнение действий и осуществление маневра в зависимости от сложившейся ситуации;

- оценка состояния объекта и принятие решений о режимах его использования;
- интеллектуализация человеко-машинного общения.

Нейронные сети (НС) – это раздел искусственного интеллекта, в котором для обработки сигналов используются явления, аналогичные происходящим в нейронах живых существ. Важнейшая особенность сети, свидетельствующая о ее широких возможностях и огромном потенциале, состоит в параллельной обработке информации всеми звеньями. Другое, не менее важное свойство – способность к обучению и обобщению накопленных знаний. Искусственные нейронные сети (ИНС) представляют собой простейшие математические модели мозга. Математическая модель нейрона представляет собой суммирующий пороговый элемент. Входные сигналы искусственного нейрона ум-

ножаются на веса связей, суммируются и сравниваются с порогом. Пороговые суммирующие элементы объединяются в сеть. Любой нейрон характеризуется следующими параметрами:

- вектор входов $X = (X_1, \dots, X_n)$;
- вектор выходов $O = (O_1, \dots, O_m)$;
- вектор весов $W = (W_1, \dots, W_n)$;
- порог срабатывания P ;
- функция активации F .

Энергетика небольшими, но уверенными шагами идет в «зеленое» будущее. В ближайшее время искусственный интеллект существенно автоматизирует процесс преобразования энергии ветра и солнца. Однако постоянной проблемой с возобновляемыми источниками энергии, такими как ветер и солнечная энергия, является их ненадежность, так как эти источники зависят от погоды. Ученые из разных корпораций стараются решить эту проблему внедрением искусственного интеллекта. Благодаря новому методу интеллектуального анализа данных компания Xcel смогла получить доступ к отчетам о погоде с более высоким уровнем точности и детализации. Для обеспечения этих подробных метеорологических отчетов система искусственного интеллекта использует данные из местных спутниковых отчетов, метеорологических станций, а также ветропарков в окрестностях. Алгоритмы, управляющие системой, обучаются выявлять шаблоны в этих наборах данных и делать прогнозы на их основе. Компания Nenergy использует прогноз погоды с высоким разрешением, создаваемый на базе спутниковых изображений, на основе которых формируются крупные и малые погодные модели. Анализ этих данных позволит алгоритмам обучения машин предсказывать состояние атмосферы для определенной области. С целью сбора данных о производстве и потреблении электроэнергии был придуман новый термин – Smart Grid, которое дословно переводится как умные сети электроснабжения. Smart Grid – это система передачи электроэнергии от производителя к потребителю, которая самостоятельно отслеживает и распределяет потоки электричества для достижения максимальной эффективности использования энергии.

Хорошим примером применения новых технологий является проект Smart Grid Gotland, направленный на разработку стратегии создания и эксплуатации крупномасштабных интеллектуальных сетей с большой долей непостоянной энергии ветра в общем энергобалансе

и реализованный на острове Готланд в Швеции. Это важный шаг и один из ключевых элементов развития современной устойчивой экономики, который может быть воплощен в масштабах всей Швеции и других стран мира. Со временем этот проект сможет служить международной моделью интеллектуальных электрических сетей. На данный момент в США и Европе формируется широкая система стандартов и требований к функциям, элементам, устройствам, системе взаимодействий Smart Grid. Использование искусственного интеллекта позволит снизить потери, улучшить качество электроэнергии, снизить общую стоимость распределения электроэнергии и т. д.

В настоящее время существует немало проблем, замедляющих развитие искусственного интеллекта:

- потенциальные инвесторы в системы искусственного интеллекта испытывают недостаток информации в современных трендах в этой области;
- нехватка экспертов по искусственному интеллекту в руководстве технологических компаний;
- в странах СНГ существует нехватка учебных центров, которые готовят специалистов в области Data Science;
- отечественные корпорации в экосистеме рынка искусственного интеллекта раскрывают меньше информации при сравнении с международными компаниями, что осложняет процесс машинного обучения на основе больших данных;
- отечественные компании и эксперты слабо интегрированы в международный академический научный обмен в этой сфере;
- в СНГ стартапы сталкиваются с сложностями при наборе специалистов по машинному обучению.

Совершенствование принципов построения измерительных средств, и в первую очередь использование модульного подхода к синтезу как аппаратной, так и программной частей процессорных измерительных средств (ПриС), привело к созданию средств измерений с открытыми функциональными возможностями, варьируемыми за счет трансформации состава ПриС. Эта особенность ПриС в соединении с усложнением реализуемых алгоритмов измерений потребовала формирования адекватных методов метрологического анализа результатов и средств измерений с широким использовани-

ем расчетов и имитационного моделирования, выполняемых универсальными или специализированными вычислительными устройствами.

Понимая, в развитие вышеприведенного определения, под интеллектуальностью способность технического средства общаться с пользователем и принимать решения о характере дальнейших действий, основанную на знаниях, можно сделать вывод о том, что третий этап компьютеризации измерений связан с их интеллектуализацией. При этом развиваются и принципы построения средств измерений, во-первых, в связи с необходимостью включения в их состав баз измерительных знаний (БИЗ), а во-вторых, в связи с переходом к формированию измерительных цепей непосредственно в процессе функционирования интеллектуальных средств измерения (ИнСИ) с учетом текущих требований и ограничений, свойств объектов и условий измерений, а также имеющихся измерительных ресурсов. Измерительное математическое обеспечение ИнСИ, помимо математических моделей объектов, условий, процедур и средств измерений и алгоритмического обеспечения метрологического анализа, включает в себя алгоритмическое обеспечение метрологического синтеза.

Анализируя состояние вопроса применения искусственного интеллекта в измерительной технике, имеющиеся результаты и направления развития работ в области интеллектуальных средств измерений, содержащиеся в публикациях последнего периода, и на основании практического ознакомления с результатами работ в этой области в нашей стране и за рубежом можно сделать заключение о том, что в настоящее время исследования и разработки в области интеллектуализации средств измерений наиболее интенсивно развиваются по двум основным направлениям:

1. Теория интеллектуализации измерений и измерительной техники;

2. Разработка и постановка на производство средств измерений, обладающих элементами интеллекта.

Следует признать необходимым условием интеллектуальности наличие процессора (микропроцессора) в составе измерительной цепи.

Интеллектуальные измерительные регистраторы (ИНИР) – сравнительно новый вид средств измерительной техники, получающий с каждым годом все большее распространение в различных странах. Во всех случаях исход-

ный измерительный сигнал подвергается дискретизации и аналого-цифровому преобразованию. Результаты заносятся в буферное электронное запоминающее устройство. То, что дольше всего хранится в памяти, стирается, а на освободившееся место заносятся результаты новых измерений. Таким образом, в памяти ИнСИ все время оказывается конечное прошлое измеряемого процесса. Наличие такой задержки позволяет оперировать массивом данных, находящимся в данное время в памяти. Именно этими обстоятельствами обусловлены широкие функциональные возможности ИнСИ.

Функции процессора – это математическая обработка зарегистрированной информации, оптимизация алгоритма функционирования системы, реализация сервисных функций, диалоговые процедуры установки режима работы ИнСИ, оперативные изменения алгоритма функционирования и индикации параметров работы ИнСИ, измерение и отображение статистических характеристик и экстремальных значений зафиксированной информации на внешних устройствах или вывод цифровых данных посредством интеллектуального интерфейса.

Термин «интеллектуальный» последнее время становится столь популярным, что появились даже «интеллектуальные измерительные каналы», под которыми понимаются каналы, содержащие функциональные узлы на основе микропроцессоров и однокристалльных ЭВМ и реализующие концепцию «распределенного интеллекта».

Необходимо отметить, что экспертная система (ЭС), включающая в себя базу знаний и систему логического вывода, стала часто использоваться как ИнСИ.

Использование ЭС в составе измерительной техники у нас в стране и за рубежом достаточно широко, получены значительные результаты, связанные с созданием интерфейса пользователя. Достаточно подробно рассмотрены процедуры взаимодействия между пользователем и средством измерений и предложена их типизация. Дополнительный и самостоятельный интерес при этом представляет типовой набор возможностей средства измерений для обеспечения такого взаимодействия, включающий, в частности, синтаксический анализ сообщений пользователя, генерации подсказок и комментариев и т. д.

При решении вспомогательных (сопутствующих) задач также возможно и целесообраз-

но применение ЭС. Теоретической и методологической основой здесь является теория планирования эксперимента и богатый арсенал статистических методов обработки результатов измерений.

Сегодня одним из принципов, на основе которого строятся решения по обеспечению защиты энергосистем от различного рода технологических нарушений в целом, и как следствие, поддержанию нормальной работы электрических подстанций и потребителей электроэнергии, является использование информационных моделей защищаемых объектов, позволяющих выявлять риски.

Электрические подстанции – достаточно сложные технологические объекты, численность которых в России близка к миллиону, однако большинство из них были построены десятки лет назад и нуждаются в модернизации. Сейчас рынок автоматизированных систем управления технологическим процессом (АСУ ТП) составляет несколько десятков миллиардов рублей и растет на 10–15 % ежегодно, а 5–7 % от этого составляют услуги по проектированию. Нормативный срок проектирования таких объектов занимает до 10–12 месяцев. Следовательно, для того чтобы в короткие сроки провести массовую модернизацию, необходимы новые решения и подходы.

У любого элемента электрической сети есть заранее известные паспортные данные, содержащие конкретные значения параметров устройства, однако каждая схема – уникальна, и при работе с ней необходимо учитывать то, каким образом ее элементы связаны между собой. Продукт, используя механизм логического вывода, позволяет определять необходимые элементы без необходимости написания уникального алгоритма и большого количества программного кода под каждый новый состав сети и взаимосвязь ее элементов между собой. Кроме того, существуют такие объекты сети, которых нет в базе «активов», однако они также нуждаются в средствах защиты. Именно механизмы логического вывода позволяют найти подобные звенья и представить нужную функцию.

Добавив к типу оборудования и его связям с другими устройствами сети соответствующий вид повреждения, получаем «модель угроз». Исходя из норм и требований, система, используя методы логического вывода, определяет для каждого технологического оборудования соб-

ственный объем возможных коротких замыканий. Таким образом, отдельному виду повреждения соответствует определенная функция, которая способна устранить этот вид повреждения.

Таким образом, проанализировав схему, система может идентифицировать объекты защиты, даже если они не являются «активами», а также определить полный состав функций защиты от различного рода технологических нарушений.

Следующим этапом является правильное распределение текущей логической цепочки функций защиты по специальным устройствам – контроллерам. У любой функции есть определенные параметры, которые ставятся в соответствие параметрам контроллеров, вследствие этого происходит перераспределение задач по устройствам, учитывая критерии оптимальности.

Однако, решая задачу по распределению функций по физическим устройствам, используя традиционный подход, сотрудники Центра компетенций столкнулись с тем, что для реального объекта – электрической подстанции – перебор всех возможных вариантов занимает часы. Для решения этой задачи был разработан специальный алгоритм распределения, учитывающий наборы ограничений различных производителей оборудования и группы нормативных документов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шилин, А. А. Интеллектуальный рефлектометр для мониторинга воздушных линий электропередачи [Электронный ресурс] / А. А. Шилин, Над. С. Кузнецова, Д. Н. Авдеюк // Пром-Инжиниринг (The 4th International Conference on Industrial Engineering 2018) : тр. IV междунар. науч.-техн. конф. (г. Москва – г. Челябинск – г. Новочеркасск, 15-18 мая 2018 г.) / отв. ред.: А. А. Радионов ; ФГАОУ ВО «Южно-Уральский гос. ун-т» (национальный исследовательский ун-т). – Челябинск, 2018. – С. 352-355. – Режим доступа : <http://icie-rus.org/issues/ICIE-2018RU.pdf>.
2. Кузнецова, Н. С. Рефлектометр с автоматической коррекцией методической погрешности для определения места повреждения линии электропередачи. [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.11.16: защищена 01.12.17: / Кузнецова Надежда Сергеевна. – Волгоград, 2017. – 111 с.
3. Шилин, А. Н. Intelligent Device for Measuring Distance to Point of Damage to Power Lines [Электронный ресурс] / А. Н. Шилин, Над. С. Кузнецова, Д. Н. Авдеюк // 2019 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM) (Sochi, Russia, 25-29 March, 2019) / South Ural State University (national research university), IEEE Industry Applications Society, IEEE Power Electronics Society [et al.]. – [Publisher: IEEE], 2019. – P. 1–5.

УДК 621.311

*М. А. Богале, Л. А. Коновалова***СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И МОНИТОРИНГА ИСПАРЕНИЯ И УРОВНЯ ВОДЫ****Волгоградский государственный технический университет**

e-mail: eltech@vstu.ru

Изменения климата влияют на выработку гидроэнергии путем изменения режимов речного стока. Следовательно, это источник энергии, который, скорее всего, пострадает от изменения климата, поскольку количество вырабатываемой электроэнергии напрямую связано с количеством воды и ее сроками. Точное измерение уровней воды и колебаний в водохранилищах и оценка испарения имеют решающее значение для управления водными ресурсами. В данной статье основное внимание уделяется разработанной системе контроля испарения и уровня воды в водохранилище гидроэлектростанции. Этот метод повышает точность и производительность системы и принятия управленческих решений для сохранения стабильности. Данная система реализует метод оценки испарения и автоматического измерения фактического уровня воды в резервуаре.

Ключевые слова: расчетное испарение, измерение фактического уровня воды, автоматическая метеостанция, ультразвуковой датчик уровня воды, микроконтроллер.

*M. A. Bogale, L. A. Konovalova***EVAPORATION AND WATER LEVEL CONTROL AND MONITORING SYSTEM****Volgograd State Technical University**

Changes in climate affect hydropower generation through alterations to river flow regimes. Hence it is the energy source most likely to be affected by climate change because the amount of electricity generated is directly related to water quantity and its timing. Accurate measurement of water levels and variations in reservoirs and estimation evaporation are crucial for water management. This paper focuses on the method of control and monitors the variation of water quantity or level and estimation evaporation of hydropower reservoirs that occur because of this climate change and developed evaporation and water level control and monitoring system in hydropower reservoir. This method improves the accuracy and performance of the system and management decision-making to preserve stability. This system implements the method of estimation evaporation and measuring actual water level automatically from reservoir.

Keywords: estimation evaporation, measuring actual water level, automatic weather station, ultrasonic water level sensor, microcontroller.

Анализ методы измерения и оценки

Скорость испарения определяется как количество воды, испаряющейся с единицы площади поверхности за единицу времени. Он может быть выражен как масса или объем жидкой воды, испарившейся на единицу площади за единицу времени, обычно как эквивалентная глубина жидкой воды, испарившейся за единицу времени со всей площади. Единицей измерения времени обычно является день. Количество испарения следует измерять в миллиметрах [1].

Существует ряд методов измерения или оценки испарения. Эти методы могут быть сгруппированы в несколько категорий, включая [2–4]:

1. Эмпирический;
2. Водный бюджет;
3. Энергетический бюджет;
4. Массоперенос (аэродинамический);
5. Комбинация предыдущих методов.

Эмпирические методы связывают испарение в резервуарах, фактическое испарение

в озерах или измерения лизиметром с метеорологическими факторами с использованием регрессионного анализа. Слабость этих эмпирических методов заключается в том, что они имеют ограниченный диапазон применимости.

Методы составления *водного бюджета* просты и потенциально могут обеспечить более надежную оценку испарения при условии точного измерения каждого компонента водного бюджета. Однако из-за трудностей в измерении некоторых переменных, таких как скорость фильтрации в системе водоснабжения, методы составления водного бюджета редко дают надежные результаты на практике.

Метод энергетического бюджета, испарение из водного объекта оценивается как разница между затратами энергии и выходами, измеренными на участке. Методы энергетического бюджета считаются наиболее надежными в теории, но требуют дорогостоящих приборов и большого количества персонала для полевых работ и обработки данных.

Методы, основанные на массообмене (аэродинамические), используют концепцию вихревого переноса водяного пара с испаряющейся поверхности в атмосферу. Методы массообмена обычно используют легко измеряемые переменные и во многих случаях дают удовлетворительные результаты. Однако измерение скорости ветра и температуры воздуха на разных высотах привело к большому количеству уравнений с аналогичной или идентичной структурой.

Комбинированные методы объединяют принципы массообмена и энергетического бюджета в одном уравнении. Двумя наиболее широко известными комбинированными методами являются уравнение Пенмана и уравнение Пенмана-Монтейта.

Благодаря своей ограниченной эмпирической базе уравнение Пенмана-Монтейта более легко применимо к различным водным объектам. Кроме того, модель учитывает накопление тепла в водных объектах. Поэтому для целей текущего исследования уравнение Пенмана-Монтейта с накоплением тепла считается подходящим для оценки испарения из выбранных гидроэнергетических резервуаров [5].

Испарение с поверхности воды (E , мм/сут⁻¹) оценивается с использованием уравнения Пенмана-Монтейта с учетом накопления тепла в водоеме. Это уравнение записывается в виде [6; 7]:

$$E = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_a + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}, \quad (1)$$

где E – испарение открытой воды [мм/сут]; Δ – наклон кривой давления насыщенного пара [кПа · °C⁻¹]; R_n – чистая радиация [МДж · м⁻² · дня⁻¹]; G – тепловой поток в почве [МДж · м⁻² · дня⁻¹]; U_2 – скорость ветра на высоте 2 м [м · с⁻¹]; e_s – среднее давление насыщенного пара [кПа]; e_a – текущее давление водяного пара [кПа]; и γ – психрометрическая постоянная [кПа/°C]; T_a – средняя температура воздуха [°C].

Методы расчета испарения открытой воды на основе метеорологических данных требуют различных климатологических и физических параметров. Некоторые данные измеряются непосредственно на метеостанциях. Другие параметры связаны с обычно измеряемыми данными и могут быть получены с помощью прямой или эмпирической зависимости.

Согласно статье Linacre [8] для ежедневных оценок скорости испарения уровня свободной воды термином G можно пренебречь, т. е. мы устанавливаем $G = 0$.

$$e_s = 0.6108 \exp \frac{17.27T}{T + 237.3} \quad (2)$$

$$e_a = \frac{RH}{100} e_s, \quad (3)$$

где RH – относительная влажность [%].

Психрометрическая константа γ зависит от атмосферного давления P в [кПа] и от нижеуказанных констант $C_p = 1013$ Дж · кг⁻¹ · °C⁻¹, $\lambda = 2,45$ МДж · кг⁻¹ и $\mathcal{E} = 0,622$ [–], где $\mathcal{E}$ – отношение молекулярной массы водяного пара к сухому воздуху. Для вычисления его значения используется следующая формула:

$$\gamma = \frac{C_p P}{\mathcal{E} \lambda} = 0.665 \times 10^{-3} P \quad (4)$$

Используя эту формулу, вычисленное значение γ зависит только от одной измеренной величины, а именно от атмосферного давления P . Атмосферное давление (P , кПа) изменяется в зависимости от высоты над уровнем моря (z , м) и выражается как:

$$P = 101.3x \left(\frac{293 - 0.0065z}{293} \right)^{5.26} \quad (5)$$

Наклон Δ описывает зависимость между давлением насыщенного пара и температурой. Для заданной температуры T_a соответствующее Δ задается формулой:

$$\Delta = \frac{4098 \left(0.6108 \exp \left(\frac{17.27T_a}{T_a + 237.3} \right) \right)}{(T_a + 237.3)^2}. \quad (6)$$

Результирующая единица измерения Δ равна кПа · °C⁻¹.

Чистое излучение на поверхности R_n в [МДж · м⁻² · день⁻¹], по Allen et al., 1998 [30], задается как разность входящего чистого коротковолнового излучения R_{ns} и исходящего чистого длинноволнового излучения R_{nl} , т. е.

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (7)$$

Для оценки R_{nl} требуются знания о солнечной радиации R_s и глобальной внеземной радиации R_a . Внеземное излучение – это количество излучения, падающего на единицу горизонтальной поверхности на внешней границе атмосферы. Для мест с аналогичной широтой она примерно одинакова и меняется только в течение года. На земную атмосферу не влияет мутность облаков или загрязнение воздуха, и поэтому доза солнечной энергии является самой высокой в любой момент времени. В дополнение к солнечной постоянной необходимо также учитывать угол падения солнечных лучей в данном месте границы атмосферы. Следовательно, значение R_a выражается в зависимости от этих величин как:

$$R_a = \frac{24 \times 60}{\pi} G_{sc} d_r (\omega_s \sin \varphi \sin \delta + \sin \omega_s \cos \varphi \cos \delta). \quad (8)$$

Члены, включенные в уравнение (5), являются:

$G_{sc} = 0,082 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{мин}^{-1}$, глобальная солнечная постоянная,

$d_r = 1 + 0,33 \cdot \cos(2\pi/365 \text{ JD})$, относительное расстояние «Земля–Солнце» [–]

$\delta = 0,409 \cdot \sin(2\pi/365 \text{ JD} - 1,39)$, солнечное склонение [рад],

φ – широта интересующего места [рад],

$w_s = \arccos(-\tan \varphi \tan \delta)$, часовой угол захода солнца [рад],

JD – номер юлианского дня.

где JD – номер дня в году между 1 (1 января) и 365 или 366 (31 декабря). Широта φ , выраженная в радианах, положительна для северного полушария и отрицательна для южного.

Преобразование из десятичных градусов в радианы задается формулой:

$$[\text{Radians}] = \frac{\pi}{180} [\text{decimal degrees}] \quad (9)$$

Термины R_s и R_{ns} могут быть вычислены с помощью:

$$R_{nl} = \sigma \left(\frac{(T_{\max} + 273.16)^4 + (T_{\min} + 273.16)^4}{2} \right) (0.34 - 0.14 \sqrt{e_a}) \left(1.35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0.35 \right). \quad (13)$$

В приведенном выше уравнении (9) используется постоянная Стефана-Больцмана

$$\sigma = 4,903 \cdot 10^{-9} \text{ МДж} \cdot \text{К}^{-4} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$$

и R_{so} в $[\text{MJm}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}]$, которая представляет собой излучение ясного неба.

Значение R_{so} излучения ясного неба рассчитывается как:

$$R_{so} = (0.75 + 2 \times 10^{-5} z) R_a, \quad (14)$$

где z – высота участка в [м] над уровнем моря.

Испарение зависит от температуры (T), относительной влажности (RH), чистой радиации (R_n) и скорости ветра на высоте 2 м над поверхностью воды (U_2).

Система контроля и мониторинга испарения и уровня воды

Управление и техническое обслуживание водохранилища гидроэлектростанции требует измерения уровня воды в водохранилище и погодных условий (количество осадков, температура, солнечная радиация, скорость ветра) на месте плотины для принятия более эффективных решений. Отделению управления требуются данные для ежедневного управления и сбора долгосрочной статистики для планирования водных ресурсов. Испарение было рассчитано

$$R_s = \left(a_s + b_s \frac{n}{N} \right) R_a; \quad (10)$$

$$R_{ns} = (1 - \alpha) R_s. \quad (11)$$

Принимая во внимание, что b_s – это коэффициенты Ангстрема, $n[h]$ и $N[h]$ – фактическая и максимально возможная продолжительность светового дня соответственно. Наконец, α обозначает альбедо, т. е. коэффициент отражения.

Поскольку коэффициенты Ангстрема здесь не рассчитываются на основе фактических измерений солнечной радиации, используется рекомендация документа ФАО [7] $a_s = 0,25$ и $b_s = 0,5$ в уравнении (10). Кроме того, альбедо свободной поверхности воды задается как $\alpha = 0,07$ на основе [8].

Максимальная продолжительность светового дня N вычисляется как:

$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s. \quad (12)$$

Для определения чистого длинноволнового излучения R_{nl} используется следующая формула

с использованием метода Пенмана-Монтейта, и метод Пенмана-Монтейта получает все необходимые данные от автоматической метеостанции (температура (T), относительная влажность (RH), чистая радиация (R_n) и скорость ветра на высоте 2 м над поверхностью воды (U_2)).

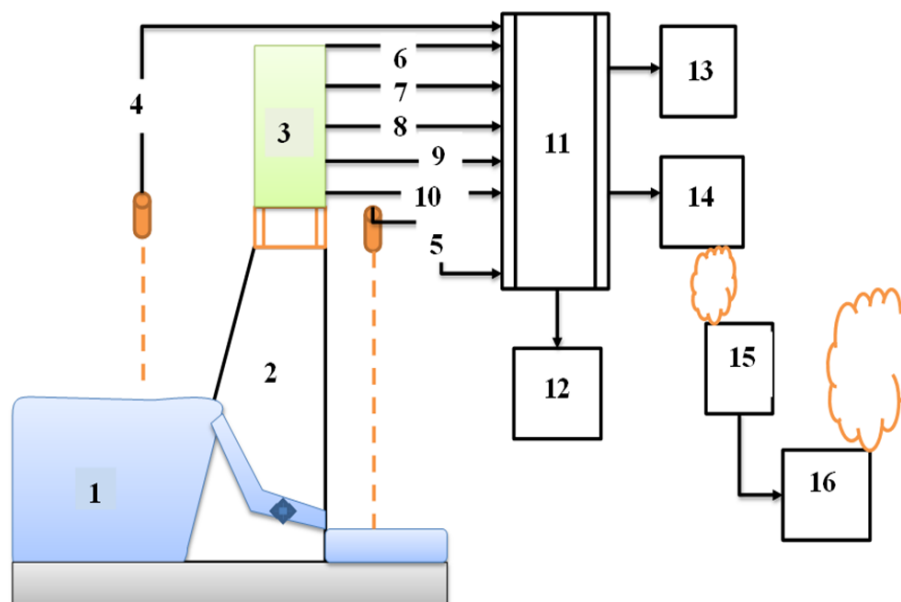
Должна быть создана новая система контроля и мониторинга испарения и уровня воды, которая может обеспечивать испарение, уровень воды и погодные условия в режиме реального времени и может позволить нам быстро делать выводы относительно безопасности эксплуатации плотин. Вся система состоит из набора датчиков, коммуникационных сетей и микроконтроллера.

Ультразвуковые датчики уровня воды (на переднем и заднем ходу) и автоматическая метеостанция должны быть сопряжены с микроконтроллером, через который информация передается на местную базовую станцию, полученные данные, в свою очередь, могут отображаться или не отображаться на ЖК-дисплее, в зависимости от установленного уровня риска, микроконтроллер интегрирован с источником питания. После сбора информации с автомати-

ческой метеостанции с помощью метеорологических данных можно оценить испарение воды из водохранилища. В результате базовая станция отправляет данные в центральный командный центр через облако / Интернет. На рисунке показана деятельность по мониторингу и представлению реализации сбора дан-

ных и извлечения данных для всего процесса.

Процесс передачи данных может осуществляться в различных режимах, таких как связь на короткие расстояния, связь на большие расстояния и связь в дальнем поле, в зависимости от расстояния, на которое требуется передавать данные.



Система контроля и мониторинга испарения и уровня воды:

1 – водохранилище; 2 – плотина; 3 – автоматическая метеостанция; 4 и 5 – датчик уровня воды; 6 – датчик капель дождя; 7 – датчик температуры; 8 – датчик солнечной радиации; 9 – датчик скорости ветра; 10 – датчик влажности; 11 – микроконтроллер; 12 – источник питания; 13 – ЖК-дисплей; 14 – передатчик (TX); 15 – приемник (RX); 16 – базовая станция (ПК)

Система контроля и мониторинга испарения и уровня воды в водохранилище гидроэлектростанции получает входные данные: показания уровня воды от датчика верхнего бьефа 4 и датчика нижнего бьефа 5 плотины 2 и погодных условий в водохранилище 1 от автоматической метеостанции 3 (под автоматической метеостанцией существуют различные датчики, такие как капли дождя 6, температура 7, солнечная радиация 8, скорость ветра 9 и влажность 10), расположенные непосредственно на плотине. Эти датчики уровня воды и автоматическая метеостанция полезны для получения уровня воды в реальном времени и значения данных о погоде и с помощью этих данных микроконтроллер вычисляет испарение (оценочное значение). Каждая плотина имеет локальную базовую станцию, с которой данные об испарении, уровне воды и погодных параметрах могут передаваться на центральный сервер (программное обеспечение для мониторинга в офисе подразделения).

Датчики уровня воды 4 и 5 и автоматическая метеостанция 3 (6–10 датчиков) должны быть со-

пряжены с микроконтроллером 11, через который информация передается на локальную базовую станцию 16. Полученные данные, в свою очередь, могут отображаться на жидкокристаллическом дисплее 13, а могут и не отображаться, в зависимости от установленного уровня риска. Датчики работают без пауз, непрерывно обновляя данные. Для этого нам необходимо использовать методы дальней связи, так как минимальное расстояние между передатчиком 14 (рядом с датчиком) и приемником 15 (рядом с базовой станцией) будет составлять не менее 1 км. Таким образом, данные как от датчика уровня воды, так и от автоматической метеостанции поступают на местную базовую станцию. Микроконтроллер 11 интегрирован с источником питания 12.

После сбора информации базовая станция 16 отправляет данные в центральный командный центр через облако. Данные с базовой станции загружаются в облако, и центральный командный центр может проверять уровень воды в реальном времени и погодные условия, используя эти данные, а также анализировать и принимать необходимые решения.

Выводы

Предлагаемый метод облегчит оценка испарения, управления уровнем воды и погодными условиями в больших масштабах. Установив центральный командный центр, может сократить количество рабочей силы, необходимой для работы системы. Поскольку это полностью автоматизированный проект, удалось избежать любого вмешательства человека и устранить человеческие ошибки в системе. Во время стихийных бедствий, таких как наводнения, этот метод будет очень полезен, поскольку не нужно, чтобы рядом с фактическим местом строительства плотины находился человек для контроля. Это также сокращает время отклика, поскольку данные об уровне воды вблизи командного центра поступают в режиме реального времени и решения принимаются почти мгновенно. Еще одно преимущество хорошо подходит для прогнозирования погоды и испарения, стоит дополнительно использовать эти данные для дальнейшего изучения исследователями вокруг плотины.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. World Meteorological Organization. «Guide to Instruments and Methods of Observation». Measurement of Meteorological Variables.(WMO-No. 8) 1 (2018).
2. Singh, V. P., and C-Y. Xu. «Evaluation and generalization of 13 mass-transfer equations for determining free water evaporation». *Hydrological Processes* 11.3 (1997): 311-323.
3. Lenters, John D., Timothy K. Kratz, and Carl J. Bowser. «Effects of climate variability on lake evaporation: Results from a long-term energy budget study of Sparkling Lake, northern Wisconsin (USA)». *Journal of Hydrology* 308.1-4 (2005): 168-195.
4. Winter, T. C., Rosenberry, D. O. and Sturrock, A. M. (1995) Evaluation of 11 equations for determining evaporation for a small lake in the north central united states, *Water Resource Research* 31(4): 983-993.
5. Mekonnen, Mesfin M., and Arjen Y. Hoekstra. "The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products, Value of Water Research Report Series No. 47." (2010): 24-24.
6. McJannet, D. L., et al. «Estimating open water evaporation for the Murray-Darling Basin». (2008).
7. Allen, R.G.; Pereira, L.; Raes, D.; Smith, M. Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements-FAO Irrigation and Drainage Paper 56; United Nations Food and Agriculture organisation: Rome, Italy, 1998; Volume 56.
8. Linacre, E. Data-sparse estimation of lake evaporation, using a simplified Penman equation. *Agric. For. Meteorol.* 1993, 64, 237–256.

УДК 629.3. 027

Д. В. Бусалаев, М. В. Ляшенко, В. В. Шеховцов, П. В. Потапов, М. В. Морсков, Е. В. Клементьев

**УСТРОЙСТВО КРЕПЛЕНИЯ ПРУЖИННОЙ СТОЙКИ ПОДВЕСКИ АВТОМОБИЛЯ
С УЛУЧШЕННЫМИ ВИБРО-ШУМОИЗОЛИРУЮЩИМИ СВОЙСТВАМИ**

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: shehovtsov@vstu.ru

В статье рассмотрены способы и варианты технических решений устройств крепления пружинной стойки передней подвески легкового автомобиля. Приведено описание предложенного технического решения, позволяющего улучшить вибро- и шумоизолирующие свойства устройства крепления пружинной стойки подвески автомобиля при одновременном обеспечении высокой жесткости конструкции в радиальном направлении для улучшения качеств управляемости и устойчивости автомобиля.

Ключевые слова: устройство крепления, пружинная стойка подвески, вибро- и шумоизолирующие свойства, жесткость конструкции, управляемость и устойчивость автомобиля

D. V. Busalae, M. V. Lyashenko, V. V. Shekhovtsov, P. V. Potapov, M. V. Morskov, E. V. Klementiev

**THE UPPER MOUNT FOR THE CAR SPRING STRUT SUSPENSION
WITH IMPROVED VIBRATION AND NOISE ISOLATION CHARACTERISTICS**

Volgograd State Technical University

This article presents ways and variants of the upper mount for the spring strut suspension of a car. Description of proposed technical solution providing improvement of vibration and noise isolation of the upper mount for the spring strut suspension of a car along with high stiffness in radial direction. Also, this technical solution provides improvement of car steering and stability.

Keywords: upper mount, spring strut suspension, vibration and noise isolation characteristics, structure stiffness, car steering and stability.

Введение

Плавность хода легкового автомобиля в решающей степени зависит от конструкции элементов его ходовой части и подвески [1–5]. Особая роль в обеспечении плавности хода автомобиля, устойчивости его прямолинейного движения и управляемости принадлежит конструкции опоры передней подвески. Как элемент подвески стойка содержит пружину и элемент из эластомера, призванные обеспечивать упругие и демпфирующие свойства подвески, то есть во время движения уменьшать амплитуду колебаний автомобиля и частично поглощать (рассеивать) колебательную энергию. Кроме того, от ее конструкции в значительной степени зависят свойства управляемости автомобиля и устойчивости его прямолинейного движения. Ниже рассмотрено предложенное авторами техническое решение устройства крепления пружинной стойки подвески, направленное на улучшение вибро- и шумоизо-

лирующих свойств устройства крепления с одновременным улучшением качеств управляемости и устойчивости автомобиля.

1. Анализ предшествующих технических решений

Одним из наиболее известных технических решений является верхняя опора направляющей пружинной стойки подвески транспортного средства (рис. 1) [6].

Упругий элемент 4 опоры установлен между наружным 1 и внутренним 2 корпусами и привулканизирован к ним, подшипник 3 охвачен внутренним корпусом 2 и расположен между нижним торцом ограничителя хода отбоя 5 и верхней чашкой 9 опоры пружины, причем нижняя часть упругого элемента имеет уклон от периферии к внутреннему корпусу и примыкает к нему по всему периметру в зоне характерной линии перегиба внутреннего корпуса. Это техническое решение обладает следующими недостатками:

- при повороте управляемого колеса шток стойки не вращается относительно ее корпуса, вследствие чего возрастают силы трения между штоком и направляющей стойки, что способствует повышенному износу штока и направляющей стойки;

- резиновый элемент опоры воспринимает нагрузку одновременно и от пружины подвески, и от штока стойки, вследствие чего имеет

место недостаточная вибро- и шумоизоляция опоры;

- из-за формы внутреннего корпуса, начиная от зоны нижнего торца подшипника и в зоне характерной линии перегиба, конструкция опоры не позволяет устанавливать пружины с меньшим посадочным диаметром (например, бочкообразной и конической формы) в подвеску автомобиля.

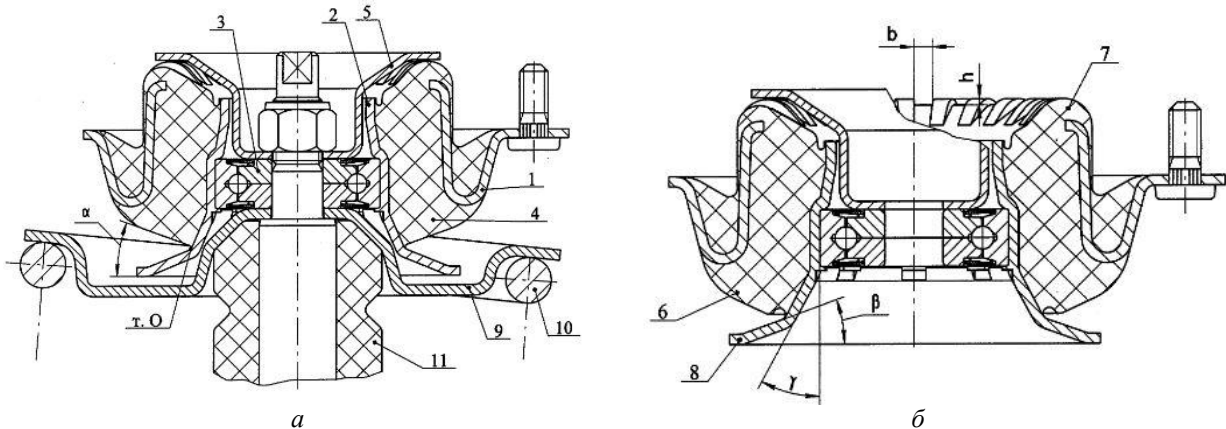


Рис. 1. Верхняя опора направляющей пружинной стойки подвески транспортного средства:

а – продольный разрез опоры с устройством крепления; *б* – конструкция верхней опоры; 1 – наружный корпус; 2 – внутренний корпус; 3 – подшипник; 4 – упругий элемент; 5 – ограничитель хода отбоя; 6 – нижняя часть упругого элемента; 7 – радиально ориентированные выступы; 8 – прилегающая часть внутреннего корпуса; 9 – чашка пружины; 10 – пружина; 11 – блок из эластомера

Достаточно серьезно от выше описанной отличается конструкция верхней опоры стойки передней подвески автомобиля [7], представленная на рис. 2.

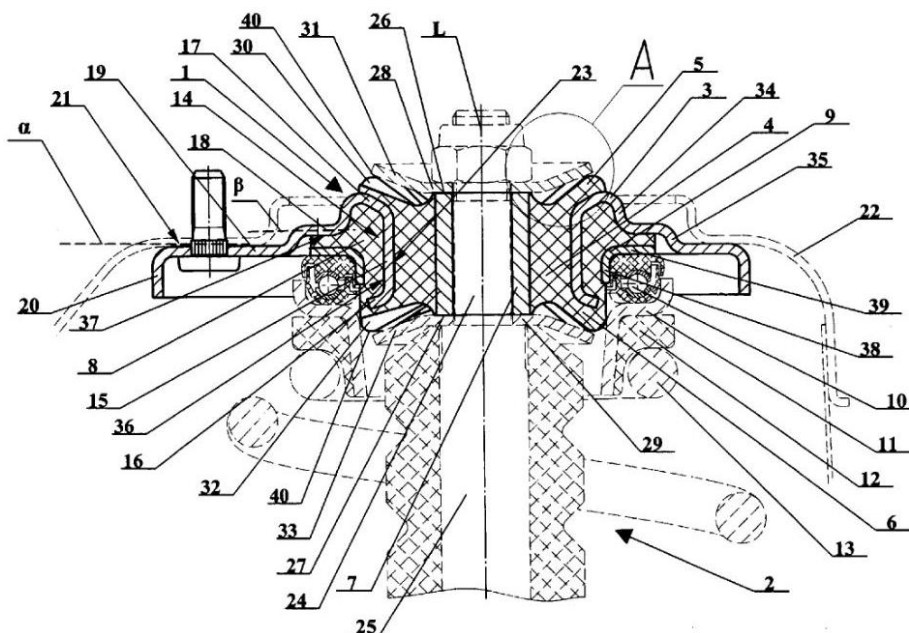


Рис. 2. Верхняя опора стойки передней подвески автомобиля:

1 – верхняя опора; 2 – стойка; 3 – корпус; 4 – упругая вставка; 5 – верхний упругий элемент; 6 – нижний упругий элемент; 7 – центральная распорная втулка; 8 – дополнительная упругая вставка; 9 – опорная втулка; 10 – подшипник; 11 – чашка; 12 – эластичная прокладка; 13 – пружина; 14 – центральная рабочая часть корпуса; 15, 23 – трубчатый отдел корпуса; 16 – краевой участок корпуса; 17 – внутренний участок корпуса; 18 – опорная часть корпуса; 19 – крепежная часть корпуса; 20 – кромочный участок; 21 – опорная поверхность; 22 – кузов; 24 – хвостовик; 25 – шток; 26 – верхний; 27 – нижний торец распорной втулки; 28 – тарельчатый ограничитель хода отбоя; 29 – тарельчатый ограничитель хода отбоя; 30 – выступы верхнего кольцевого элемента; 31 – нижняя отбортовка тарельчатого ограничителя; 32 – выступы нижнего кольцевого элемента; 33 – верхняя отбортовка тарельчатого ограничителя; 34, 35 – ребра жесткости; 36 – наружная поверхность центральной рабочей части корпуса; 37 – прилегающая поверхность опорной части корпуса; 38, 39 – полки; 40 – вершины выступов кольцевых упругих элементов

Это техническое решение обладает следующими недостатками:

- буфер сжатия опирается непосредственно на тарельчатый ограничитель хода сжатия и, соответственно, при ходах сжатия подвески кольцевой упругий элемент опоры воспринимает нагрузки как от штока стойки подвески, так и от буфера сжатия, что обуславливает недостаточно эффективное гашение опорой высокочастотных

колебаний при больших ходах сжатия подвески;

- из-за формы чашки верхней опоры конструкция опоры не позволяет устанавливать пружины с большим посадочным диаметром (например, цилиндрической формы) в подвеску автомобиля.

В патенте на изобретение [8] также описано устройство крепления пружинной стойки подвески автомобиля (рис. 3).

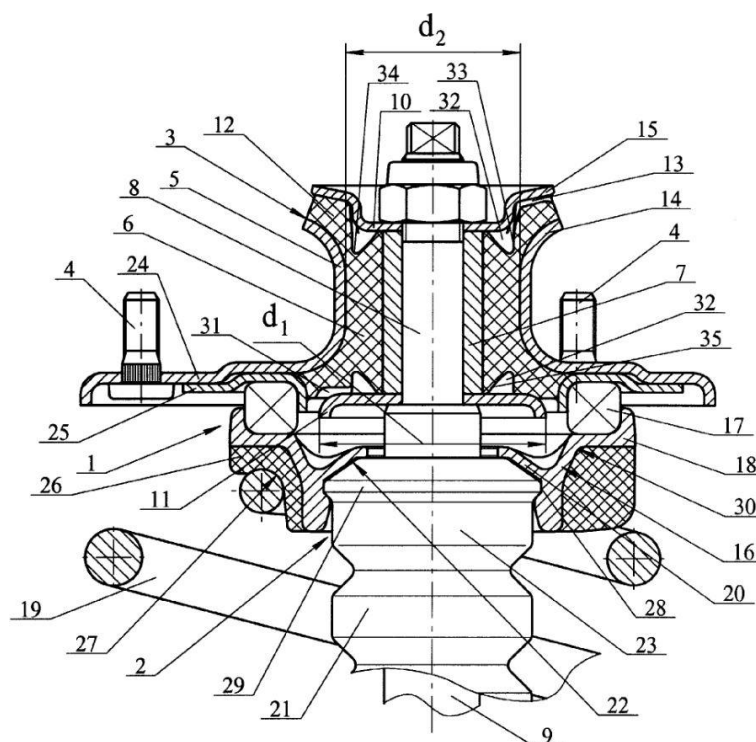


Рис. 3. Устройство крепления пружинной стойки подвески автомобиля

Устройство крепления 1 пружинной стойки 2 подвески автомобиля содержит: верхнюю опору 3 с элементами крепления 4 к кузову (не показан), которые жестко соединены непосредственно с кольцеобразным корпусом 5, к внутренней поверхности которого привулканизирована упругая вставка 6 с привулканизированной центральной втулкой 7, в которой закреплен хвостовик 8 штока 9 стойки 2 с установленными на нем по торцам центральной втулки 7 тарельчатыми ограничителями хода отбоя 10 и хода сжатия 11 упругой вставки 6 верхней опоры 3; выполненный за одно целое с упругой вставкой 6 верхней опоры 3 кольцевой упругий элемент 12 с выступами 13, привулканизированный к верхней отбортовке 14 корпуса 5 верхней опоры 3 с расположением между ней (отбортовкой 14) и периферийной отбортовкой 15 тарельчатого ограничителя хо-

да отбоя 10; опорный элемент 16 подшипника 17, чашка 18 пружины 19 и опора 20 буфера 21 которого выполнены в виде единой детали из однородного материала (в частном случае из алюминия) с посадочным гнездом 22, в котором под опорой 20 буфера 21 расположена с фиксацией верхняя часть 23 буфера 21, находящегося на штоке 9; жестко соединенную с нижней отбортовкой 24 корпуса 5 верхней опоры 3 стойки 2 упорную втулку 25, к которой поджимается подшипник 17 его опорным элементом 16 под действием пружины 19, через расположенную между последней (пружиной 19) и ее чашкой 18 опорного элемента 16 подшипника 17 эластичную прокладку 26, которая установлена в чашке 18 пружины 19 опорного элемента 16 подшипника 17 и в которой выполнено винтовое посадочное седло 27 под верхний виток пружины 19.

Это техническое решение обладает следующими недостатками:

- из-за увеличенного в осевом направлении и уменьшенного в радиальном направлении размера упругой вставки опоры она обладает повышенной жесткостью в осевом направлении, что обуславливает недостаточные вибро- и шумоизолирующие свойства опоры при восприятии ею осевых нагрузок от штока стойки подвески;
- из-за увеличенного в осевом направлении и уменьшенного в радиальном направлении размера упругой вставки опоры она обладает повышенной угловой жесткостью, что приводит к снижению плавности хода автомобиля, а также вибро- и шумоизолирующих свойств опоры при больших ходах сжатия и отбоя;
- жесткое (сварное) крепление опорной втулки подшипника непосредственно к опорной части корпуса опоры обуславливает недостаточные вибро- и шумоизолирующие свойства опоры при восприятии ею нагрузок от пружины стойки подвески;
- из-за формы опорного элемента подшипника верхней опоры конструкция устройства не позволяет устанавливать пружины с большим

посадочным диаметром (например, цилиндрической формы) в подвеску автомобиля.

2. Описание предложенного технического решения

На основе анализа приведенных выше конструктивных решений устройств крепления пружинной стойки подвески автомобиля авторами предложено новое техническое решение [9], направленное на устранение их перечисленных выше недостатков.

Устройство крепления 1 (рис. 4) пружинной стойки 2 подвески автомобиля содержит: верхнюю опору 3 с элементами крепления 4 к кузову (не показан), корпусом 5, упругим элементом 6, буфером отбоя 7, ограничителем хода отбоя 8, центральной втулкой 9 упругого элемента, в которой закреплен хвостовик 10 штока 11 стойки, тарельчатым ограничителем хода сжатия 12, опорный элемент 13 с чашкой 14 пружины 15, эластичной прокладкой 16 и опорой 17 буфера 18, который (буфер 18) зафиксирован в опоре 17 своей верхней частью, подшипник 19, установленный в посадочном гнезде 20 упругого элемента 6 и опирающийся на опорный элемент 13.

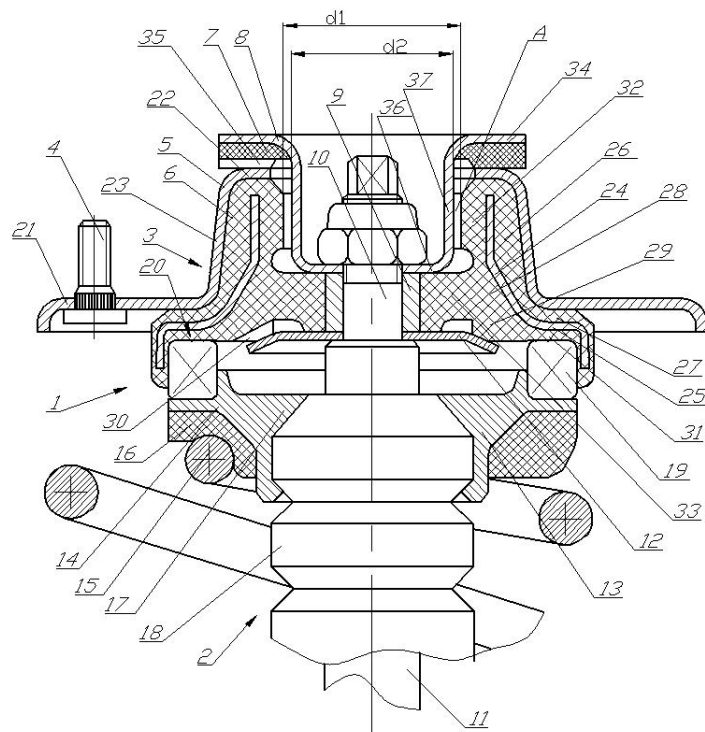
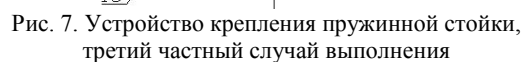
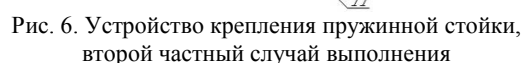


Рис. 4. Устройство крепления пружинной стойки подвески автомобиля

Упругий элемент 6 верхней опоры 3 устанавливается в корпус 5 и содержит посадочное гнездо 20 подшипника 19, а также армирующий

стакан 24 с площадкой 25 посадочного гнезда 20 подшипника 19, который (стакан 24) делит массив упругого элемента 6 на две части: на-



дочное гнездо 20 упругого элемента 6 и крепежный фланец 21 корпуса 5 верхней опоры 3 на кузов автомобиля, а остальные элементы верхней опоры 3 в это время не воспринимают никаких нагрузок.

При прямолинейном равномерном движении автомобиля по ровной дороге на устройст-

во крепления 1 передаются совокупно осевые и радиальные усилия от высокочастотных низкоамплитудных колебаний, вызываемых возмущениями от мелких неровностей дорожного полотна вследствие недостаточных демпфирующих качеств низкопрофильных шин; осевые возмущения в малой части передаются на устройство крепления 1 пружиной 15 и демпфируются (поглощаются) эластичной прокладкой 16, а также пакетом эластичных прокладок 27 и 31 посадочного гнезда 20, а колебания штока 11 стойки 2 в осевом направлении, обусловленные колебательным характером изменения сил сопротивления амортизатора стойки 2 при ходах сжатия/отбоя, вызывают знакопеременную осевую деформацию диафрагмы 33, работающей при этом на изгиб, и постепенное смятие волнообразных поверхностей 30 (буфера сжатия 29) или 35 (буфера отбоя 7), при этом за счет зазора *A* цилиндр 37 ограничителя хода отбоя 8 не входит в соприкосновение с цилиндрической втулкой 32 упругого элемента 6 и не вызывает в ней деформаций сдвига в осевом направлении, чем достигается высокая изоляция корпуса 5 верхней опоры 3 от осевых высокочастотных низкоамплитудных колебаний; радиальные колебания вызывают незначительную (в пределах зазора *A*) знакопеременную деформацию сжатия/растяжения в радиальном направлении диафрагмы 33; возникающие при этом нагрузки во внутренней части 28 упругого элемента 6 воспринимаются армирующим стаканом 24, который изолирован от корпуса 5 наружной частью 26 упругого элемента 6, чем достигается дополнительная изоляция корпуса 5 верхней опоры 3 от радиальных высокочастотных низкоамплитудных колебаний.

При прямолинейном неравномерном движении автомобиля по неровной дороге на устройство крепления 1 дополнительно передаются ударные нагрузки, вызванные крупными неровностями дорожного полотна (стыками полотна) и знакопеременным изменением касательной силы тяги на ведущих колесах автомобиля; осевые усилия частично передаются на устройство крепления 1 пружиной 15 и демпфируются (поглощаются) эластичной прокладкой 16, а также пакетом эластичных прокладок 27 и 31 посадочного гнезда 20, а осевые усилия на штоке 11 стойки 2, обусловленные растущим сопротивлением амортизатора стойки 2 при ходах сжатия/отбоя, вызывают сначала осевую деформацию диафрагмы 33, работаю-

щей при этом на изгиб, и одновременное с деформацией диафрагмы 33 смятие волнообразных поверхностей 30 (буфера сжатия 29) или 35 (буфера отбоя 7), а потом деформацию самих буферов сжатия 29 или отбоя 7, чем достигается резко прогрессивный характер сопротивления упругого элемента 6 и буфера отбоя 7 при ходах сжатия/отбоя подвески; при этом в случае, если под воздействием радиальных сил, действующих совместно с осевыми (например, при преодолении стыка полотна или резком изменении касательной силы тяги либо того и другого одновременно) диафрагма 33 одновременно с осевой деформацией деформировалась на сжатие в радиальном направлении до выбора зазора *A*, то цилиндр 37 ограничителя хода отбоя 8 входит в соприкосновение с цилиндрической втулкой 32 упругого элемента 6 со стороны, обратной действию радиальной нагрузки и вызывает сдвиговую деформацию последней (втулки 32), чем достигается дополнительное демпфирование (поглощение) энергии осевых колебаний штока 11 стойки 2 подвески; радиальные усилия по мере их роста сначала вызывают радиальную деформацию сжатия диафрагмы 33 до выбора зазора *A*, т. е. до соприкосновения цилиндра 37 ограничителя хода отбоя 8 с цилиндрической втулкой 32 со стороны, обратной действию радиальной нагрузки, после чего радиальная нагрузка воспринимается одновременно втулкой 32, обладающей высокой радиальной жесткостью, и диафрагмой 33, и распределяется на армирующий стакан 24 упругого элемента 6, который изолирован от корпуса 5 верхней опоры 3 наружной частью 26 упругого элемента 6, чем достигаются высокие вибро- и шумоизолирующие качества устройства крепления 1 при сохранении высокой радиальной жесткости упругого элемента 6 верхней опоры 3, которая (радиальная жесткость) положительно влияет на улучшение параметров управляемости и устойчивости автомобиля.

При повороте автомобиля на устройство крепления 1 дополнительно к высокочастотным низкоамплитудным колебаниям передаются осевые и радиальные нагрузки, обусловленные перераспределением масс автомобиля при повороте и силами, возникающими при уводе управляемого колеса, которые воспринимаются элементами устройства крепления 1 в порядке, описанном выше, т. е. по мере роста нагрузок, возникающих при повороте, сначала в работу включается диафрагма 33, работающая на из-

гиб и/или растяжение-сжатие, и одновременно сминаются волнообразные поверхности 30 (буфера сжатия 29) или 35 (буфера отбоя 7), а по мере роста нагрузки и выбирания зазора A со стороны, обратной действию радиальной нагрузки, между цилиндром 37 ограничителя хода отбоя 8 и цилиндрической втулкой 32 упругого элемента 6, нагрузки воспринимают буферы сжатия 29 или отбоя 7, диафрагма 33 и цилиндрическая втулка 32, обладающая высокой радиальной жесткостью, при этом нагрузки, воспринимаемые различными элементами внутренней части 28 упругого элемента 6, передаются на армирующий стакан 24, который изолирован от корпуса 5 наружной частью 26 упругого элемента 6, вследствие чего и в этом случае достигаются высокие вибро- и шумоизолирующие качества устройства крепления 1 и улучшаются параметры управляемости и устойчивости автомобиля.

Характер зависимости между осевой деформацией S_y упругого элемента 6 верхней опоры 3 и силой F_y , действующей на устройство крепления 1 в осевом направлении, представлен на рис. 8. Участок кривой от точки O до точки A иллюстрирует прогрессивный ха-

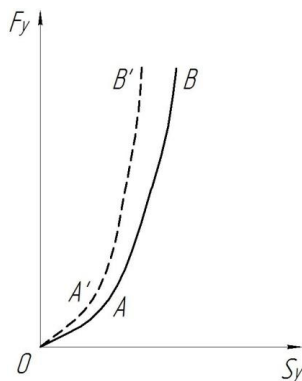


Рис. 8. График изменения деформации упругого элемента опоры в осевом направлении

Таким образом, за счет особенностей конструкции устройство обладает лучшими вибро- и шумоизолирующими свойствами во всем диапазоне нагрузок при одновременном обеспечении высокой жесткости конструкции в радиальном направлении для улучшения качеств управляемости и устойчивости автомобиля, а также обеспечивает возможность установки пружин с различным посадочным диаметром и различной геометрической формы (например, пружин цилиндрической, бочкообразной и конической формы) в подвеску автомобиля.

рактически изменения величины усилия F_y при деформации S_y до момента смятия профилированной поверхности 30 буфера сжатия 29. Участок кривой от точки A до точки B иллюстрирует прогрессивный характер изменения величины F_y при деформации S_y после смятия профилированной поверхности 30 буфера сжатия 29. Участки кривых $O - A'$ и $A' - B'$ иллюстрируют соответствующие изменения осевой деформации для хода отбоя.

Характер зависимости между радиальной деформацией S_x упругого элемента 6 верхней опоры 3 и силой F_x , действующей на устройство крепления 1 в радиальном направлении, представлен на рис. 9. Участок кривой от точки O до точки C иллюстрирует прогрессивный характер изменения величины F_x при деформации S_x до момента включения в работу цилиндрической втулки 32 упругого элемента 6, т. е. в процессе сжатия диафрагмы 33. Участок от точки C до точки D иллюстрирует прогрессивный характер изменения величины F_x при деформации S_x после включения в работу цилиндрической втулки 32 упругого элемента 6, т. е. при совместном действии диафрагмы 33 и цилиндрической втулки 32 упругого элемента 6.

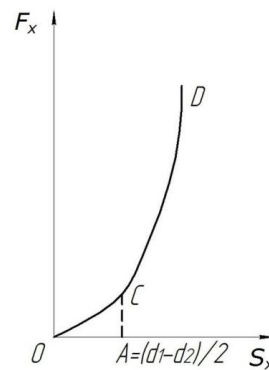


Рис. 9. График изменения деформации упругого элемента опоры в радиальном направлении

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ротенберг, Р. В. Подвеска автомобиля. Колебания и плавность хода / Р. В. Ротенберг. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1972. – 392 с.
2. Deboli, R. Whole-body vibration: Measurement of horizontal and vertical transmissibility of an agricultural tractor seat / R. Deboli, A. Calvo, C. Preti // International Journal of Industrial Ergonomics. – 2017. – Vol. 58. – P. 69-78.
3. Виброзащитные системы с квазиуравовой жесткостью: монография / П. М. Алабужев [и др.]; под ред. К. М. Рагульска. – Л.: Машиностроение, 1986. – 96 с.
4. П. м. 177004 Российская Федерация, МПК В 60 N 2/52. Подвеска сиденья транспортного средства / Ляшенко М. В., Шеховцов В. В., Потапов П. В., Искалиев А. И.; ВолгГТУ. – 2018.

5. Ляшенко, М. В. Analysis of vibroprotection characteristics of pneumatic relaxation seat suspension with capability of vibration energy recuperation [Электронный ресурс] / М. В. Ляшенко, П. В. Потапов, А. И. Искалиев // MATEC Web of Conferences. Vol. 129: International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2017) (Sevastopol, Russia, September 11-15, 2017) / eds.: S. Bratan [et al.]; Sevastopol State University, National University of Science and Technology «MISIS», Polzunov Altai State Technical University, Inlink Ltd. and International Union of Machine Builders. – [Publisher: EDP Sciences], 2017. – 5 p. – Режим доступа. – URL: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2017/43/mateconf_icmtmte2017_06018.pdf.

6. П.м. 34120 Российская Федерация, МПК В60G 15/06. Верхняя опора направляющей пружинной стойки подвески транспортного средства / Щербак Е. Н. – 2003.

7. П.м. 72439 Российская Федерация, МПК В60G 15/00. Верхняя опора стойки передней подвески автомобиля / Алексеев В. Ф., Сенокосов В. Т., Викторова Н. Н. – ОАО «Автоваз» – 2008.

8. Пат. 2270762 Российская Федерация, МПК В60G 15/06. Устройство крепления пружинной стойки подвески автомобиля / Поташов А. Е., Макаров В. П. – ОАО «Автоваз» – 2006.

9. П.м. 100962 Российская Федерация, МПК В60G 15/06. Устройство крепления пружинной стойки подвески автомобиля / Бусалаев Д. В., Шеховцов В. В., Ляшенко М. В., Шеховцов К. В. – 2011.

УДК 629.114.2.042.027

Д. В. Бусалаев, М. В. Ляшенко, В. В. Шеховцов, П. В. Потапов, М. В. Морсков, Е. В. Клементьев

РЕЗИНОМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ВИБРОИЗОЛЯТОРЫ В ПОДВЕСКАХ КАБИН ОТЕЧЕСТВЕННЫХ КОЛЕСНЫХ И ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: shehovtsov@vstu.ru

В статье рассмотрены конструкции резинометаллических виброизоляторов системы поддрессирования кабин отечественных колесных и гусеничных машин. Отмечены недостатки этих виброизоляторов, касающиеся недостаточных свойств виброзащиты от средне- и низкочастотных вибровоздействий. Описано предложенное авторами техническое решение виброизолятора с улучшенными характеристиками виброзащиты, позволяющее адаптивно изменять упругие и диссипативные свойства виброизолятора в зависимости от частот и амплитуд вибровоздействий.

Ключевые слова: система поддрессирования кабины, резинометаллический виброизолятор, вибро- и шумоизолирующие свойства, упругие и диссипативные свойства, адаптивное изменение

D. V. Busalae, M. V. Lyashenko, V. V. Shekhovtsov, P. V. Potapov, M. V. Morskov, E. V. Klementiev

THE VIBRATION ISOLATOR WITH ADAPTIVE CHANGING OF ELASTIC AND DAMPING PARAMETERS

Volgograd State Technical University

This article describes designs of rubber-metal vibration isolators used in cabin suspensions of domestic wheeled and tracked vehicles. It is shown that these vibration isolators have insufficient vibration protection characteristics from mid- and low-frequency vibrations. Also, technical solution of vibration isolator proposed by authors providing improved vibration protection characteristics due adaptive change of elastic and damping parameters on the base of frequencies and amplitudes of vibration excitations is described.

Keywords: cabin suspension, rubber-metal and vibration isolator, vibration and noise protection characteristics, elastic and damping parameters, adaptive change

Введение

Одним из важных показателей качества современных колесных и гусеничных машин является обеспечение комфортных условий труда оператора. Его трудовой процесс осуществляется в кабине, которая, помимо защиты оператора от механических воздействий, например, при загрузке в кузов транспортируемого материала, при опрокидывании транспортного средства, должна обеспечивать также соответствующую нормативным показателям шумо- и виброзащищенность оператора. Во время ра-

боты на кабину воздействует комплекс эксплуатационных нагрузок динамического характера, источниками которых являются двигатель, ходовая система и трансмиссия. Колебательные нагрузки от этих источников имеют широкий спектр частот и диапазон амплитуд. Энергия колебаний, источниками которых является ходовая система, в значительной степени поглощается первичной системой поддрессирования машины, в которую входят упругие элементы, гасители колебаний и стабилизирующие элементы. Однако существенная часть

этой энергии (и не только от ходовой системы), а также от двигателя и трансмиссии передается раме, на которую устанавливается кабина. Система поддрессоривания кабины, то есть вторичная система поддрессоривания машины должна в максимальной степени уменьшать амплитуду передаваемых от рамы на пол кабины вибровоздействий и по возможности также в максимальной степени обеспечивать их гашение.

В систему поддрессоривания отечественных колесных и гусеничных машин в большинстве случаев включают пружинные, резинометаллические и комбинированные виброизоляторы.

1. Упругие элементы в системах поддрессоривания кабин современных отечественных колесных и гусеничных машин

Схемы и конструкции элементов поддрессоривания кабин современных колесных и гусеничных машин в зависимости от назначения

и функций машины существенно отличаются. Даже у машин одного и того же производителя, одинакового функционального назначения, к примеру, у бульдозеров, они существенно отличаются в зависимости от массы и тягового класса машины, мощности двигателя, конструкции рамы и самой кабины.

Рассмотрим конструкции систем поддрессоривания кабин ряда отечественных гусеничных и колесных машин. В настоящее время для их поддрессоривания наиболее часто используются пружинные виброизоляторы и виброизоляторы из эластомеров. Их конструкции, места размещения, способы соединения с рамой или с корпусом трансмиссии, с полом или стойками кабины у каждой машины разные. Для примера на рис. 2.10 показана установка на упругих опорах кабины бульдозера Б11 производства ООО «ЧТЗ – УралТрак» (рис. 1).

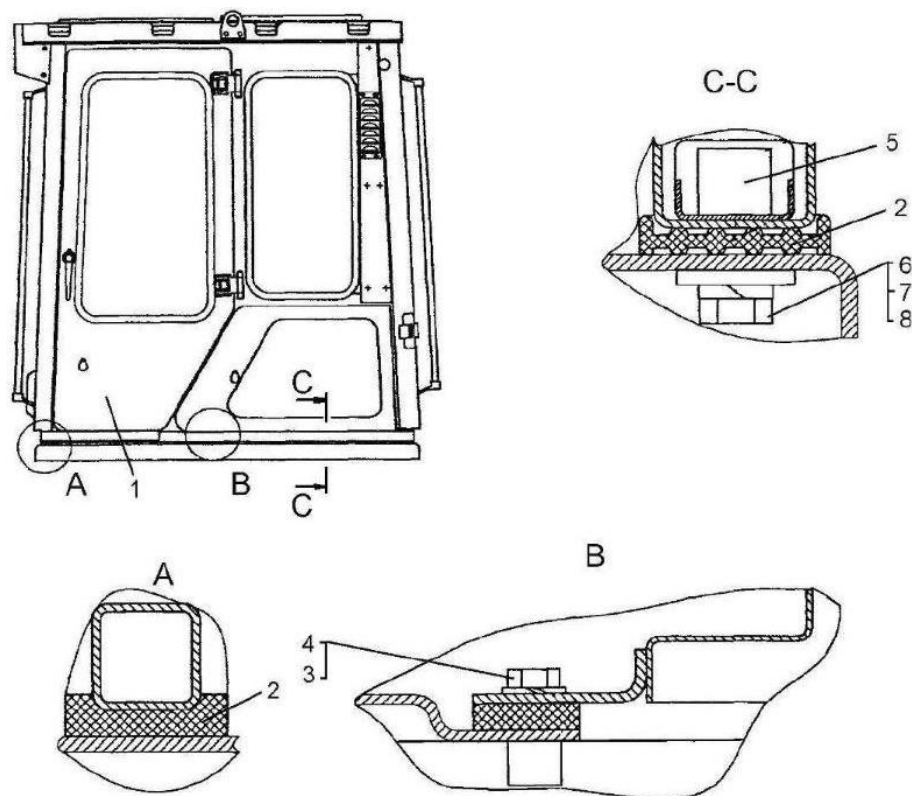


Рис. 1. Конструкция подвески кабины бульдозера Б11:
1 – кабина; 2 – резиновый амортизатор; 3, 5 – болт; 4, 7, 8 – шайба; 5 – балка

В передней и задней частях кабины пустотелая балка 5 прямоугольного сечения, связанная с полом кабины (вид А, разрез С-С), имеет связь с рамой через амортизатор 2, в средней части (вид В) также предусмотрено соединение через резиновую подушку. Это одна из самых простых пассивных систем виброизоляции. Как

показывает опыт, такая конструкция системы поддрессоривания кабины обеспечивает достаточную защиту рабочего места оператора от высокочастотных вибраций, но обычно неудовлетворительно защищает от низкочастотных.

Пассивная система виброизоляции используется также в системе поддрессоривания каби-

ны трактора Агромаш-150ТГ (рис. 2.4). Кабина крепится по периметру к платформе через резиновые прокладки болтами. Платформа с кабиной устанавливается на раме трактора на шести резиновых амортизаторах (рис. 2 и 3).

Основные функции по поддрессированию кабины выполняет амортизатор задний (рис. 4). Он включает в себя один монолитный резиновый блок. Испытания показали, что из-за высокой жесткости резины его упругая характеристика близка к линейной, и его упругие свойства практически не изменяются при действии вертикальных и боковых колебательных нагрузок с разными частотами при изменении их амплитуд.

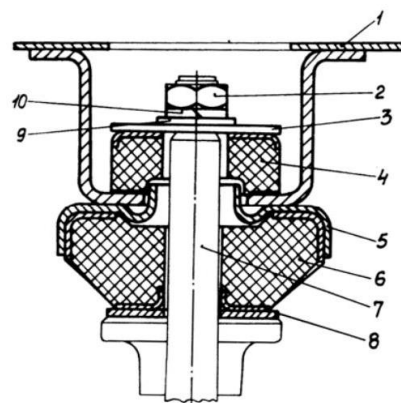


Рис. 2. Амортизатор кабины передний:
1 – пол кабины; 2 – гайка; 3, 8, 9 – шайба; 4 – виброизолятор верхний; 5 – обойма; 6 – виброизолятор нижний; 7 – болт рамы; 10 – шайба пружинная

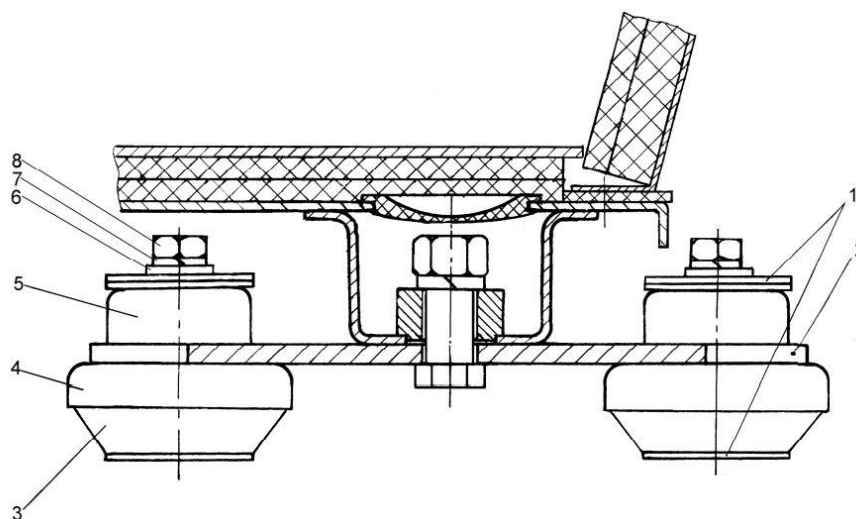


Рис. 3. Амортизатор кабины задний:
1 – шайба; 2, 3 – виброизолятор нижний; 4 – обойма; 5 – виброизолятор верхний; 6 – шайба; 7 – шайба пружинная; 8 – гайка

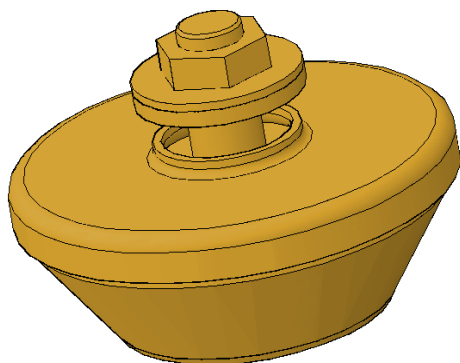


Рис. 4. Амортизатор задний

Рассмотрим особенности поддрессирования кабин российских грузовых автомобилей. На автомобиле Зил-133 кабина крепится в трех точках на кронштейнах 5 и 12 рамы (рис. 5). Две резинометаллические опоры в передней

части кабины защищают водителя в основном от вибрационных колебаний в вертикальном направлении, а связанная с кронштейном 12 в третьей точке крепления резиновая втулка 13 защищает водителя при поперечно-боковых колебаниях кабины. Таким образом, в этой системе поддрессирования также присутствуют резинометаллические амортизаторы.

У более современного автомобиля ЗИЛ-5301 («Бычок») кабина устанавливается уже на четыре опоры на кронштейнах рамы, каждая из которых включает в себя резинометаллический амортизатор (рис. 6).

На грузовом автомобиле ГАЗ-3307 производства «Группы ГАЗ» также используется четырехточечная подвеска кабины (рис. 7) с использованием резинометаллических виброизоляторов (рис. 8).

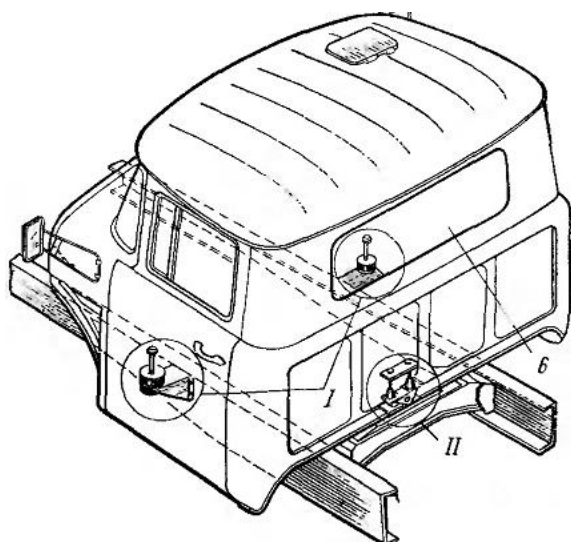


Рис. 6. Резинометаллический амортизатор системы поддрессирования кабины автомобиля ЗИЛ-5301

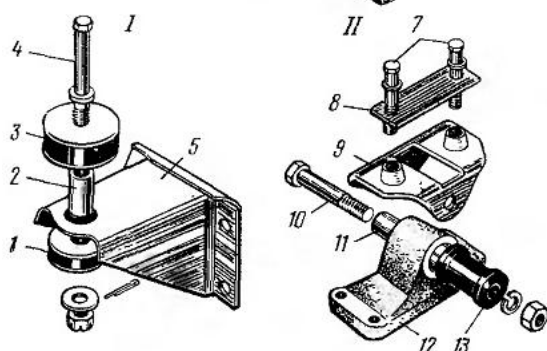


Рис. 5. Установка кабины грузового автомобиля ЗИЛ-133: 1, 3 – подушки; 2, 11 – втулки; 4, 10 – болты; 5 – боковой кронштейн; 6 – заднее стекло; 8 – планка; 9 – серьга; 12 – задний кронштейн; 13 – резиновая втулка

Кабина автомобиля ГАЗель NEXT крепится к раме на четырех опорах (рис. 9). Две передние резинометаллические опоры опираются на подрамник, задние резиновые подушки установлены в кронштейны, прикрепленные болтами и гайками к лонжеронам рамы.

Таким образом, и на современных автомобилях производства «Группы ГАЗ» используется несколько усовершенствованная, но практически та же четырехточечная установка кабины на резинометаллических и резиновых виброизоляторах.

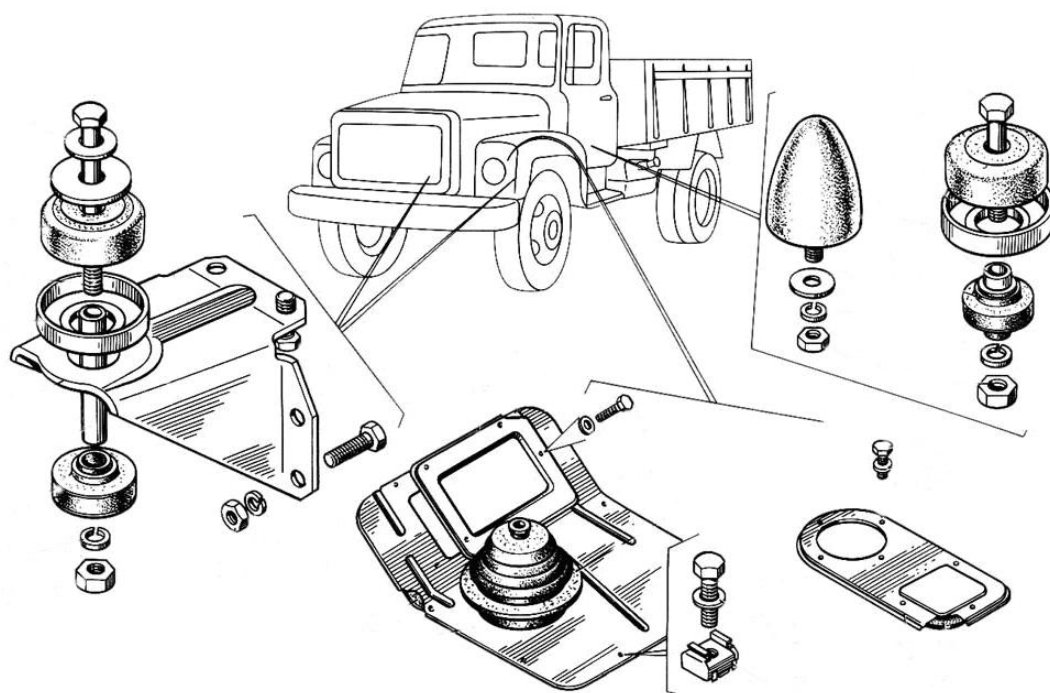


Рис. 7. Четырехточечная подвеска кабины автомобиля ГАЗ-3307



Рис. 8. Передняя (а) и задняя (б) опоры кабины автомобиля ГАЗ-3307в сборе

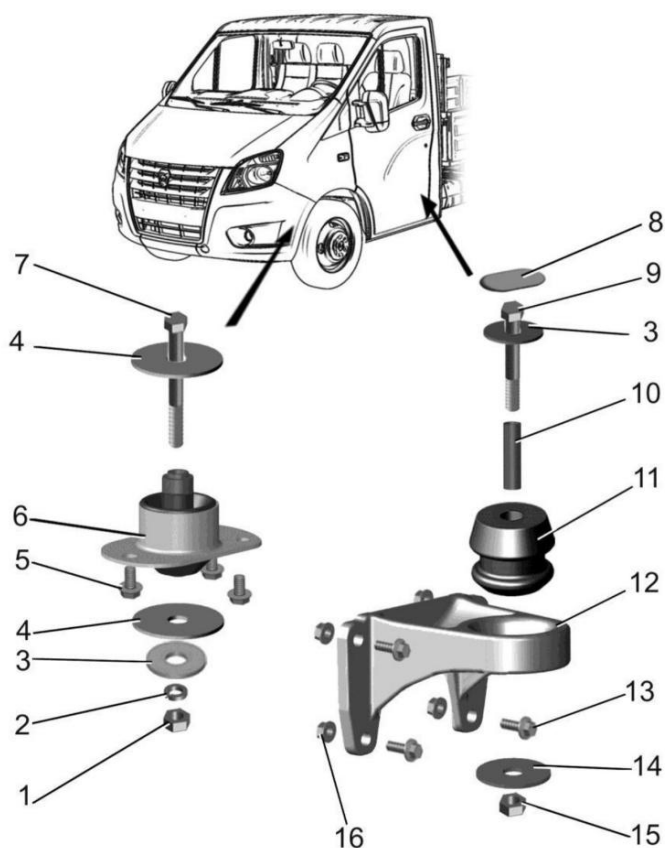


Рис. 9. Установка кабины автомобиля ГАЗель NEXT:
1, 15, 16 – гайки; 2, 3, 4, 14 – шайбы; 5, 7, 9, 13 – болты; 6 – опора передняя; 8 – заглушка;
10 – втулка распорная; 11 – подушка; 12 – кронштейн крепления кабины задний

2. Виброизолятор кабины с адаптивным изменением упругих и диссипативных свойств

Как отмечалось выше, применяемые в системах поддрессоривания кабин отечественных колесных и гусеничных машин резинометаллические виброизоляторы обеспечивают виброзащиту оператора преимущественно только от высокочастотных колебаний, в меньшей степени – от среднечастотных и в совсем малой степени от низкочастотных. Авторами предложено

техническое решение виброизолятора [10], направленное на совершенствование его виброизолирующих качеств и адаптивное изменение упругих и диссипативных свойств в зависимости от амплитуд и частот вибровоздействий.

Виброизолятор (рис. 10) включает в себя связанную с основанием 1 верхнюю 2 и связанную с опорной плитой 3 нижнюю 4 части корпуса, упругий элемент из эластомера, состоящий из центрального 5, периферийного 6 и нижнего 7 кольцевых блоков, центральный

стержень 8, установленный в опорной плите 3, связанной с источником вибраций, установленные на центральном стержне 8 ограничительную металлическую шайбу 9 и буферный ограничитель хода 10 из эластомера, при этом основание 1 связано с поддресорируемым объектом.

Наружная поверхность кольцевого центрального блока 5 имеет цилиндрическую форму, а внутренняя – форму усеченного конуса, диаметр нижнего основания которого равен диаметру центрального стержня 8, причем внутренняя боковая поверхность усеченного

конуса выполнена волнообразной (рис. 10–12).

Внутренняя поверхность кольцевого периферийного блока 6 имеет цилиндрическую форму, соответствующую форме наружной поверхности кольцевого центрального блока 5, и контактирует с ней. Наружная поверхность кольцевого периферийного блока 6 на части его высоты имеет цилиндрическую форму, соответствующую форме внутренней поверхности верхней 2 части корпуса и контактирующую с ней, на другой части высоты – форму усеченного конуса (рис. 10).

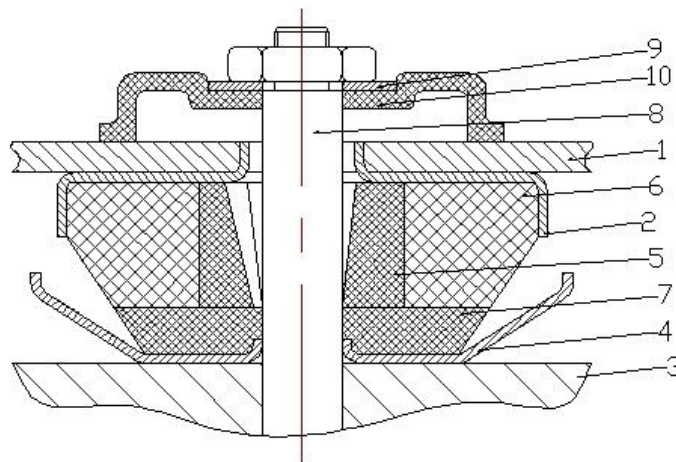


Рис. 10. Виброизолятор в разрезе

Внутренняя поверхность кольцевого нижнего блока 7 имеет цилиндрическую форму, соответствующую форме центрального стержня 8, и контактирует с ней. Наружная поверхность кольцевого нижнего 7 блока имеет форму усеченного конуса, контактирующего верхним основанием с центральным 5 и периферийным 6 блоками, а нижним основанием, имеющим волнообразную поверхность, – с внутренней поверхностью нижней 4 части корпуса (рис. 10, 13 и 14).

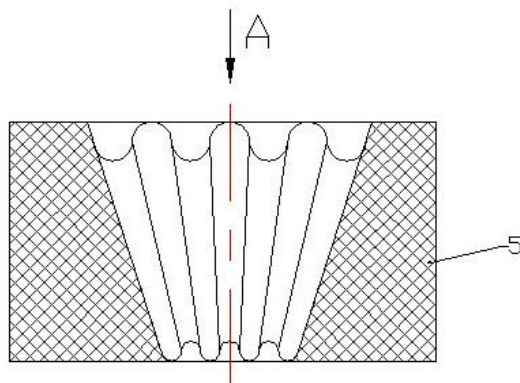


Рис. 11. Кольцевой центральный блок в разрезе

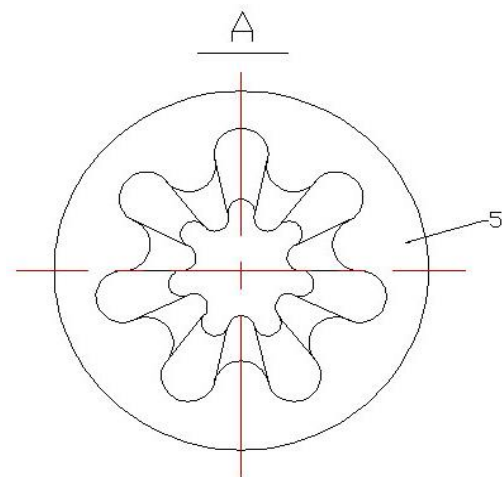


Рис. 12. Кольцевой центральный блок, вид по стрелке А

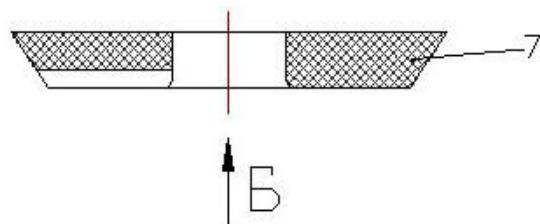


Рис. 13. Кольцевой нижний блок в разрезе

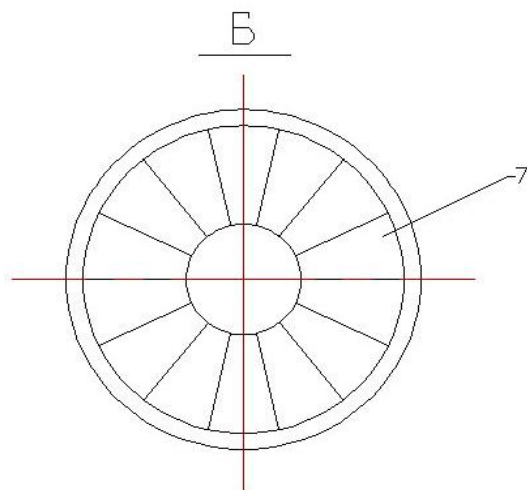


Рис. 14. Кольцевой нижний блок, вид по стрелке Б

Центральный 5 и нижний 7 кольцевые блоки выполнены из материала с повышенной податливостью в осевом и боковых направлениях, периферийный 6 кольцевой блок – из материала с пониженной податливостью в осевом и боковых направлениях.

Виброизолятор работает следующим образом. При действии в осевом направлении со стороны опорной плиты 3 колебательных нагрузок с высокими и средними частотами и малыми амплитудами эти нагрузки воспринимаются волнообразной поверхностью кольцевого нижнего блока 7, контактирующего с внутренней поверхностью нижней 4 части корпуса. Под действием нагрузок сминаются выступы волнообразной поверхности этого блока (участок ОА зависимости осевой деформации f_0 виброизолятора от осевой нагрузки P_0 , рис. 15), увеличиваются объем деформируемого эластомера и жесткость блока в осевом направлении (участок АВ, рис. 15). В результате упругого и демпфирующего действия материала кольцевого нижнего блока 7 уменьшается амплитуда нагрузок и частично поглощается колебательная энергия. Нагрузки с уменьшенной амплитудой от кольцевого нижнего блока 7 через его верхнее основание, контактирующее с поверхностями центрального 5 и периферийного 6 кольцевых блоков, передаются материалу этих блоков, в результате упругого и демпфирующего действия которого еще уменьшается (в предельном случае – до нуля) амплитуда нагрузок и частично или полностью поглощается колебательная энергия. При этом осевая жесткость виброизолятора изменяется в соответствии с участком ВС, рис. 15.

При действии в осевом направлении со стороны опорной плиты 3 колебательных нагрузок с низкими частотами и высокими амплитудами эти нагрузки также воспринимаются кольцевым нижним блоком 7. Но вследствие того что материал этого блока обладает повышенной податливостью, уменьшение амплитуд таких нагрузок и поглощение их колебательной энергии осуществляется лишь частично и нагрузки с большей амплитудой, чем в предыдущем случае, передаются на центральный 5 и периферийный 6 кольцевые блоки. Они вызывают большую, чем в предыдущем случае, осевую деформацию материала этих блоков, при этом в большей степени увеличивается осевая жесткость виброизолятора (участок ВД, рис. 15). При значительных нагрузках часть материала кольцевых периферийного 6 и нижнего 7 блоков имеет возможность в результате упругой деформации перемещаться в предназначенный для этой цели свободный объем между верхней 2 и нижней 4 частями корпуса (рис. 10). В результате упругого и демпфирующего действия материала всех блоков уменьшается (в предельном случае – до нуля) амплитуда осевых нагрузок и частично или полностью поглощается колебательная энергия. Таким образом, в зависимости от частот и амплитуд, воздействующих на виброизолятор осевых нагрузок, адаптивно изменяются его упругие и демпфирующие свойства с целью улучшения виброизолирующих качеств.

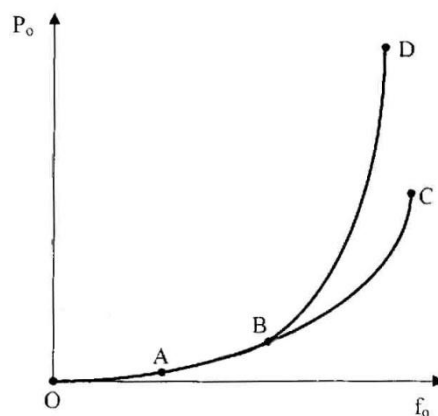


Рис. 15. Зависимость осевой деформации виброизолятора от осевой нагрузки

Если амплитуда не уменьшается до нуля, не поглощенная виброизолятором часть колебательной энергии через верхнюю 2 часть его корпуса передается основанию 1, связанному с подрессориваемым объектом. В предельных случаях, когда амплитуда нагрузок настолько

велика, что, несмотря на упругие и демпфирующие свойства виброизолятора, значительная часть колебательной энергии не может быть им поглощена и через основание 1 передается поддрессорируемому объекту, его осевое перемещение ограничивается буферным ограничителем хода 10 из эластомера, опирающимся на ограничительную металлическую шайбу 9, закрепленную на центральном стержне 8.

При действии в боковых направлениях со стороны опорной плиты 3 колебательных нагрузок с высокими и средними частотами и малыми амплитудами эти нагрузки воспринимаются внутренней поверхностью кольцевого нижнего блока 7 и волнообразной внутренней конической поверхностью кольцевого центрального блока 5. Под действием нагрузок сминаются выступы их волнообразных поверхностей, увеличиваются объем деформируемого эластомера и жесткость указанных блоков в боковых направлениях (участок ОА зависимости боковой деформации f_6 виброизолятора от боковой нагрузки P_6 , рис. 16). В результате упругого и демпфирующего действия материала указанных блоков уменьшается (в предельном случае – до нуля) амплитуда боковых нагрузок и частично или полностью поглощается колебательная энергия.

При действии в боковых направлениях со стороны опорной плиты 3 колебательных нагрузок с низкими частотами и высокими амплитудами эти нагрузки также воспринимаются кольцевыми центральным 5 и нижним 7 блоками. Материал этих блоков обладает повышенной податливостью, и при действии боковых нагрузок с высокими амплитудами деформации в боковом направлении подвергается также материал кольцевого периферийного блока 6. При этом нагрузки с амплитудами, частично уменьшенными при деформации материала кольцевых центрального 5 и нижнего 7 блоков, от кольцевого центрального блока 5 через его наружную цилиндрическую поверхность передаются контактирующей с нею внутренней цилиндрической поверхности кольцевого периферийного блока 6, материал которого обладает пониженной податливостью. В результате упругого и демпфирующего действия материала всех трех блоков еще уменьшается (в предельном случае – до нуля) амплитуда боковых нагрузок и частично или полностью поглощается колебательная энергия. Характер изменения боковой жесткости виброизолятора в зависимости от изменения боковой нагрузки с момента

начала и до конца деформации материала кольцевого периферийного блока 6 иллюстрирует участок АВ, рис. 16.

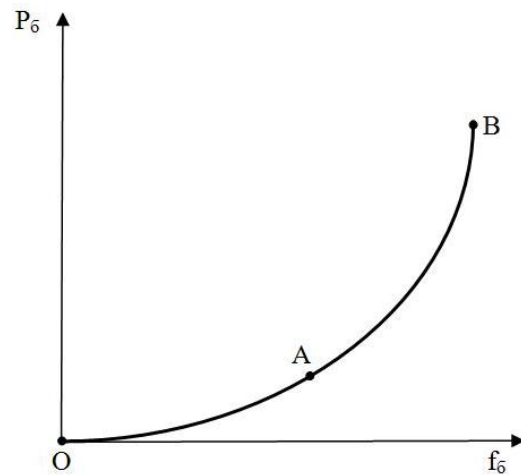


Рис. 16. зависимость боковой деформации виброизолятора от боковой нагрузки

При одновременном действии осевых и боковых нагрузок, а именно такие нагрузочные режимы наиболее часты в эксплуатации, по выше описанной схеме одновременно работают все три блока, воспринимающие осевые и боковые нагрузки.

Схема виброизолятора обеспечивает получение прогрессивных адаптивных осевой и боковой упругих характеристик – рост деформации в этих направлениях уменьшается по мере роста нагрузки, что способствует передаче от блока к блоку упругого элемента из эластомера колебательных нагрузок со все более уменьшающейся амплитудой и повышению за счет этого виброизолирующих качеств виброизолятора. При этом повышение качества виброизоляции обеспечивается за счет адаптивного изменения его упругих и демпфирующих свойств в зависимости от частот и амплитуд действующих на виброизолятор осевых и боковых нагрузок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Модель подвески кабины трактора / А. В. Победин, О. Д. Косов, В. В. Шеховцов, К. В. Шеховцов // Прогресс транспортных средств и систем – 2009: матер. междунар. науч.-практич. конф., Волгоград, 13–15 окт. 2009 г.: в 2 ч. Ч. 1; ВолГТУ [и др.]. – Волгоград, 2009. – С. 222–223.
2. Анализ технических решений виброизоляторов / А. В. Победин, О. Д. Косов, В. В. Шеховцов, К. В. Шеховцов // Прогресс транспортных средств и систем – 2009: матер. междунар. науч.-практич. конф., Волгоград, 13–15 окт. 2009 г.: в 2 ч. Ч. 1; ВолГТУ [и др.]. – Волгоград, 2009. – С. 210–211.
3. Classification and Analysis of the Ways of Cabin Suspension Vibroinsulators` Characteristic Formation / В.В. Шеховцов, А.В. Победин, М.В. Ляшенко, К.В. Шеховцов //

XXIX Seminarium Kół Naukowych «Mechaników», Warszawa, 22-23 kwietnia 2010 r.: referaty / Wojskowa Akademia Techniczna. – Warszawa, 2010. – S. 449-452. – Англ.

4. Development and Calculation Researches of the Vehicle's Cabin Suspension Model / В.В. Шеховцов, А.В. Победин, М.В. Ляшенко, К.В. Шеховцов // XXIX Seminarium Kół Naukowych «Mechaników», Warszawa, 22-23 kwietnia 2010 r.: referaty / Wojskowa Akademia Techniczna. – Warszawa, 2010. – S. 453-458. – Англ.

5. Разработка модели и расчетные исследования подвески кабины транспортного средства / В. В. Шеховцов, А. В. Победин, М. В. Ляшенко, К. В. Шеховцов // Проектирование колесных машин: матер. всерос. науч.-техн. конф., посвящ. 100-летию начала подгот. инж. по автомобильной специальности в МГТУ им. Н. Э. Баумана (25-26 дек. 2009 г.) ; ГОУ ВПО «МГТУ им. Н. Э. Баумана». – М., 2010. – С. 184–188.

6. Победин, А. В. Расчетные исследования для совершенствования подвески кабины автомобиля / А. В. Победин, В. В. Шеховцов, К. В. Шеховцов // Какой автомобиль нужен России?: матер. 69-й междунар. науч.-техн. конф. Ассоциации автомобильных инженеров (ААИ) ; ГОУ ВПО «Сибирская гос. автомоб.-дор. академия (СибАДИ)» [и др.]. – Омск, 2010. – С. 112–117.

7. Анализ и классификация технических решений виброизоляторов подвески кабины / В. В. Шеховцов, А. В. Победин, О. Д. Косов, К. В. Шеховцов // Проектирование колесных машин: матер. всерос. науч.-техн. конф., посвящ. 100-летию начала подгот. инж. по автомобильной специальности в МГТУ им. Н. Э. Баумана (25–26 дек. 2009 г.) ; ГОУ ВПО «МГТУ им. Н. Э. Баумана». – М., 2010. – С. 181–184.

8. Шеховцов, К. В. Vibration Isolators's Laboratory Testing Plant / К. В. Шеховцов, А. В. Победин, О. Д. Косов // 30th Anniversary Seminar of the Students' Association for Mechanical Engineering (11–13.05.2011, Warsaw, Poland): book of Abstracts ; Military University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering. – Warsaw, 2011. – S. 66–67. – Англ.

9. Шеховцов, В. В. Технические решения упруго-демпфирующих устройств подвески кабины трактора / В. В. Шеховцов, М. В. Ляшенко, В. П. Шевчук, Н. С. Соколов-Добрев, К. В. Шеховцов // Международный научно-исследовательский журнал = Research Journal of International Studies. – 2013. – № 7–2. – С. 122–125.

10. П. м. 124340 Российская Федерация, МПК F16F3/093, F16F1/373. Виброизолятор / Шеховцов В. В., Победин А. В., Шевчук Вл. П., Косов О. Д., Ляшенко М. В., Шеховцов К. В.; ГОУ ВПО «ВолГТУ». – 2013.

Ответственный за выпуск редактор РИО
В. В. Свитачева

Компьютерная верстка:
Е. В. Макарова

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

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

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

Темплан 2022 г. (научные издания). Поз. № 20ж. Дата выхода в свет 27.12.2022 г. Формат 60 × 84 1/8.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 5,12. Уч.-изд. л. 4,98.
Тираж 100 экз. Свободная цена. Заказ № 608.

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

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