

ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ:

промышленность и транспорт

№ 4 (33)
2020



16+

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ВОЛГ 90
лет
ТГУ



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. Дармания – д.т.н., проф. ВГАУ,
г. Волгоград
А. М. Иванов – д.т.н., проф.,
МГТУ (МАДИ), г. Москва
А. В. Келлер – д.т.н., проф. НАМИ, г. Москва
В. В. Коротаев – д.т.н., проф., ИТМО,
г. Санкт-Петербург
О. Г. Котиев – д.т.н., проф., МВТУ
им. Н. Э. Баумана, г. Москва
А. А. Львов – д.т.н., проф., СГТУ
им. Гагарина Ю. А., г. Саратов
Мертен Клеменс – д.т.н., проф.,
университет г. Штутгарт, Германия
В. А. Марков – д.т.н., проф., МВТУ
им. Н. Э. Баумана, г. Москва
А. Е. Новиков – д.т.н., проф., ВолгГТУ
Б. В. Скворцов – д.т.н., проф., СГАУ
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

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

Тел. издательства ВолгГТУ:

+7 (8442) 24-84-08

+7 (8442) 24-84-05

e-mail: zavgio@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 (33)
Декабрь
2020

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
O. G. Kotiev – D. Sc. (Engineering), Prof.,
BMSTU, Moscow
A. A. L'vov – D. Sc. (Engineering), Prof.,
SSTU, Saratov
M. Clemens – D. Sc. (Engineering), Prof.,
University of Stuttgart, Germany
V. A. Markov – D. Sc. (Engineering), Prof.,
BMSTU, Moscow
A. E. Novikov – D. Sc. (Engineering), Prof.,
VSTU, Volgograd
B. V. Skvortsov – D. Sc. (Engineering), Prof.,
Samara University, Samara
E. A. Fedyanov – D. Sc. (Engineering), Prof.,
VSTU, Volgograd
B. T. Fomichev – D. Sc. (Engineering),
Prof., VSTU, Volgograd
A. N. Shilin – D. Sc. (Engineering),
Prof., VSTU, Volgograd

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

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

VSTU Publisher tel.:

+7 (8442) 24-84-08

+7 (8442) 24-84-05

e-mail: zavrio@vstu.ru

© Volgograd State Technical University,

«Energо- i resursosberezhenie: promyshlennost' i transport», 2020

Energо- 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 (33)
December
2020

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 «Energо- 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 «Energо- i
resursosberezhenie: promyshlennost' i transport» is obligatory*

The articles are published for free.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

- | | |
|---------------------------|---------------------|
| Балакина Е. В. 25 | Поздеев А. В. 38 |
| Ганзин С. В. 30 | Прохоренко Н. А. 12 |
| Голованчиков А. Б. 12, 23 | Раюшкин Э. С. 34 |
| Гребенникова В. А. 18 | Раюшкина А. А. 34 |
| Дроздова О. И. 18 | Рябов И. М. 38 |
| Еронтаев В. В. 38 | Сарбаев Д. С. 25 |
| Колесникова В. О. 34 | Сергиенко И. В. 25 |
| Комаров Ю. Я. 30 | Тимошин Н. В. 38 |
| Копейкина Т. В. 6, 9 | Харланов Н. В. 23 |
| Лазарева Е. Н. 34 | Шагарова А. А. 18 |
| Мансур Л. М. 18 | Ширяев С. А. 34 |
| Мелашенко О. И. 30 | Шурак А. А. 23 |
| Меренцов Н. А. 23 | |

AUTHOR INDEX

- | | |
|----------------------------|----------------------|
| Balakina E. V. 25 | Merentsov N. A. 23 |
| Drozдова O. I. 18 | Pozdeev A. V. 38 |
| Erontaev V. V. 38 | Prokhorenko N. A. 12 |
| Ganzin S. V. 30 | Rayushkin E. S. 34 |
| Golovanchikov A. B. 12, 23 | Rayushkina A. A. 34 |
| Grebennikova V. A. 18 | Ryabov I. M. 38 |
| Harlanov N. V. 23 | Sarbaev D. S. 25 |
| Kolesnikova V. O. 34 | Sergienko I. V. 25 |
| Komarov Y. Y. 30 | Shagarova A. A. 18 |
| Kopeykina T. V. 6, 9 | Shiryayev S. A. 34 |
| Lazareva E. N. 34 | Shurak A. A. 23 |
| Mansur L. M. 18 | Timoshin N. V. 38 |
| Melashchenko O. I. 30 | |

СОДЕРЖАНИЕ

Часть 1. ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

<i>Копейкина Т. В.</i> Применение пирометрических датчиков температуры в комплектных распределительных устройствах.....	6
<i>Копейкина Т. В.</i> Требования к индукционным датчикам распределительных устройств электрических сетей.....	9
<i>Голованчиков А. Б., Прохоренко Н. А.</i> Проведение анализа технико-экономических параметров барабанной сушилки и сушилки с псевдооживленным слоем высушиваемого материала.....	12
<i>Дроздова О. И., Гребенникова В. А., Мансур Л. М., Шагарова А. А.</i> Моделирование процесса классификации твердых сыпучих материалов.....	18
<i>Голованчиков А. Б., Шурак А. А., Меренцов Н. А., Харланов Н. В.</i> Совершенствование конструкции сушилки кипящего слоя.....	23

Часть 2. ТРАНСПОРТ

<i>Балакина Е. В., Сергиенко И. В., Сарбаев Д. С.</i> Влияние вида радиуса на форму φ_x-s_x диаграмм затормаживаемого колеса.....	25
<i>Комаров Ю. Я., Ганзин С. В., Мелащенко О. И.</i> Развитие общественного электрического транспорта в Волгограде на основе оптимизации энергопотребления.....	30
<i>Лазарева Е. Н., Раюшкина А. А., Ширяев С. А., Раюшкин Э. С., Колесникова В. О.</i> Снижение затрат на перевозку слабоалкогольной продукции за счет выбора подвижного состава.....	34
<i>Рябов И. М., Поздеев А. В., Еронтаев В. В., Тимошин Н. В.</i> Повышение энергетической эффективности колеса с пневматической шиной за счет внутреннего механизма с отрицательной жесткостью.....	38
К сведению авторов.....	44

CONTENTS

Part 1. INDUSTRY

<i>Kopeykina T. V.</i> APPLICATION OF PYROMETRIC TEMPERATURE SENSORS IN COMPLETE DISTRIBUTION DEVICES.....	6
<i>Kopeykina T. V.</i> REQUIREMENTS FOR INDUCTION SENSORS OF SWITCHGEARS OF ELECTRIC NETWORKS.....	9
<i>Golovanchikov A. B., Prokhorenko N. A.</i> ANALYSIS OF TECHNICAL AND ECONOMIC PARAMETERS OF THE DRUM DRYER AND DRYER WITH A FLUID LAYER OF THE DRY MATERIAL.....	12
<i>Drozдова O. I., Grebennikova V. A., Mansur L. M., Shagarova A. A.</i> MODELING OF THE SOLID BULK MATERIALS CLASSIFICATION PROCESS.....	18
<i>Golovanchikov A. B., Shurak A. A., Merentsov N. A., Harlanov N. V.</i> IMPROVING THE DESIGN OF THE BOILING LAYER DRYER.....	23

Part 2. TRANSPORT

<i>Balakina E. V., Sergienko I. V., Sarbaev D. S.</i> INFLUENCE OF THE RADIUS TYPE ON THE SHAPE φ_x-s_x DIAGRAMS OF THE BRAKED WHEEL.....	25
<i>Komarov Y. Y., Ganzin S. V., Melashchenko O. I.</i> DEVELOPMENT OF PUBLIC ELECTRIC TRANSPORT IN VOLGOGRAD ON THE BASIS OF ENERGY EFFICIENCY.....	30
<i>Lazareva E. N., Rayushkina A. A., Shiryaev S. A., Rayushkin E. S., Kolesnikova V. O.</i> REDUCING THE COST OF TRANSPORTATION OF LOW ALCOHOL PRODUCTS DUE TO THE CHOICE OF ROLLING STOCK.....	34
<i>Ryabov I. M., Pozdeev A. V., Erontaev V. V., Timoshin N. V.</i> INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF THE WHEEL WITH A PNEUMATIC TIRE AT THE EXPENSE OF THE INTERNAL MECHANISM WITH NEGATIVE STIFFNESS.....	38

ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

УДК 621.316.37

Т. В. Копейкина

ПРИМЕНЕНИЕ ПИРОМЕТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ТЕМПЕРАТУРЫ В КОМПЛЕКТНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ

Камышинский технологический институт (филиал)
Волгоградского государственного технического университета
e-mail: kopeikina@yandex.ru

В статье рассматривается эффективность применения пирометрических датчиков температур для контроля нагрева в комплектных распределительных устройствах. Приводятся причины возникновения неисправностей в контактных соединениях. Анализируются общие сведения и технические характеристики существующих моделей датчиков температур. Сделан вывод о том, что применение средств безопасного бесконтактного измерения температур объектов делает их незаменимыми для обеспечения должного контроля в случаях, когда физическое взаимодействие с контролируемым объектом невозможно из-за высоких температур, высокого напряжения или труднодоступных местах.

Ключевые слова: комплектные распределительные устройства, контактное соединение, датчик, измерение, ячейка, температура.

T. V. Kopeykina

APPLICATION OF PYROMETRIC TEMPERATURE SENSORS IN COMPLETE DISTRIBUTION DEVICES

Kamyshin Technological Institute (branch)
Volgograd State Technical University

The article discusses the effectiveness of using pyrometric temperature sensors to control heating in complete distribution devices. Causes of faults in contact connections are given. General information and technical characteristics of existing models of temperature sensors are analyzed. It is concluded that the use of means for safe non-contact measurement of object temperatures makes them indispensable for ensuring proper control in cases when physical interaction with the controlled object is impossible due to high temperatures, high voltage or hard-to-reach places.

Keywords: complete switchgear, contact connection, sensor, measurement, cell, temperature.

Введение

Модернизация электрической части трансформаторных подстанций в направлении усиления эффективности мониторинга и диагностики работы элементов системы электроснабжения является в настоящее время приоритетным направлением. Обеспечение надежности и безопасности эксплуатации оборудования в аварийных режимах; обеспечение минимальных трудовых и денежных затрат на монтаж распределительного устройства; минимальные габариты и вес комплектного распределительного устройства (КРУ); удобство проведения ремонтных работ и ревизий – все это задает на-

правление для дальнейшего развития и совершенствования КРУ-строительства.

Результаты исследования

Одной из наиболее распространенных причин аварий на участках системы электроснабжения является перегрев контактных соединений и/или контактов, а также токопроводящих кабелей, периодически сопровождающийся пожарами. Как известно, неисправности в контактных соединениях возникают вследствие повышения переходного контактного сопротивления. Так, в проводке большое переходное сопротивление способно привести к ускоренному старению электроизоляционных материалов,

из-за которого резко ухудшаются их диэлектрические свойства с последующим развитием аварийной ситуации [1]. Точки нагрева могут возникнуть из-за неплотного соединения, окисления или коррозии, неисправности компонентов. Такими точками чаще всего являются разъемные и неразъемные контактные соединения, зажимы в токопроводе, главные токоведущие контакты в коммутационных электроаппаратах, точки болтового присоединения главных шин к выключателю. Как правило, локальный перегрев носит длительный характер, что со временем может привести к повреждению аппарата и распространению аварии на соседние ячейки и оборудование.

Современная комплектная ячейка распределительного устройства – это комплексное решение, которое включает в себя: компоненты ячейки (выключатель с контролем коммутационного ресурса, микропроцессорное устройство РЗА, работающее по протоколу МЭК 61850, интеллектуальное электронное устройство телеизмерения, телеуправления, телесигнализации); датчики (температурные, индуктивные датчики положения, датчики дуговой защиты, видеонаблюдение); программное обеспечение.

Несомненно, что установка современных пирометрических датчиков температуры снижает риск возникновения неисправностей в контактных соединениях, а также предупреждает эксплуатационный персонал о возможных ненормальных режимах работы. С помощью пирометрических температурных в непрерывном режиме производится бесконтактное измерение температуры важных зон главных цепей распределительного устройства – контактов высоковольтного выключателя или разъединителя, соединений сборных шин, места соединения и оконцевания кабельных муфт. Пирометрический датчик является промышленным цифровым устройством нижнего уровня АСУ ТП, предназначенным для измерения температуры. Принцип бесконтактного измерения основан на преобразовании энергии инфракрасного излучения, излучаемую поверхностью объекта в электрический сигнал. Датчик передает измеренные значения температуры по промышленному интерфейсу в стандартном цифровом протоколе обмена данными для последующей их обработки, хранения и отображения на внешних устройствах [3]. Проанализируем предложение российских производителей пирометрических датчиков.

Модуль температурного контроля «Зной» производства ООО «Титан Инжиниринг» конструктивно выполнен в виде металлического корпуса с нижним и верхним подсоединениями внешних проводников. Устройство снабжено кронштейном для крепления на DIN-рейку. С помощью пирометрических температурных датчиков модуль в непрерывном режиме производит бесконтактное измерение температуры важных зон главных цепей распределительного устройства – контактов высоковольтного выключателя или разъединителя, соединений сборных шин, места соединения и оконцевания кабельных муфт. Система «Зной» разработана для применения в распределительных шкафах КРУ, КСО или различных промышленных электроустановках. Данная система предназначена для осуществления непрерывного многоканального бесконтактного контроля температур поверхностных зон материалов, конструктивных элементов и деталей. Система «Зной» осуществляет непрерывный контроль температуры с релейной сигнализацией о превышении установленных порогов температуры, имеет на борту цифровой интерфейс типа RS-485 с поддержкой протокола Modbus для связи с системами верхнего уровня.

Модули индикации мнемосхем «КРУ-Мнемо» и «КСО-Мнемо» производства Научно-производственного Предприятия «ТестЭлектро» (г. Самара) предназначены для отображения положения основных аппаратов главной электрической цепи КРУ и камер сборных одностороннего обслуживания (КСО), бесконтактного измерения температур в зонах контактов, соединений, а также сигнализации и связи с внешними устройствами управления [2]. Изменение положения или состояния аппарата – включение, отключение, перевод выкатного элемента из контрольного положения в рабочее, – визуально отображается на промышленном многоцветном TFT-дисплее устройства. Для обеспечения надежной работы кабельных линий необходимо следить за тем, чтобы максимально длительная допустимая рабочая температура токоведущих жил и соединений кабеля не превышала допустимых пределов. В противном случае изоляция кабеля в местах перегрева может высохнуть, потерять свои изоляционные свойства, что приведет к пробое изоляции кабеля. Износ изоляции кабелей, ее старения и срок эксплуатации определяется воздействиями электрического и тепловых полей,

особенно это актуально для мест соединения и оконцевания муфт. Кабель в процессе эксплуатации может нагреваться не только от тока номинальной нагрузки, но и от тока короткого замыкания при повреждении какого либо элемента в сети. В некоторых случаях токи короткого замыкания достигают очень большого значения, что при электрическом сопротивлении, превышающем нормы, в месте соединения шины

КРУ или КСО может привести к порче кабеля.

Пирометрический датчик температуры «Контроль-Т» производства АО «ПО Элтехника» (г. Санкт-Петербург) предназначен для непрерывного бесконтактного контроля температуры измеряемой поверхности материала в реальном времени [3]. Основные технические характеристики датчиков измерения температур приведены в таблице.

Основные технические характеристики датчиков измерения температур

Параметр	Модель датчика		
	Система «Зной»	Модули «КРУ-Мнемо» и «КСО-Мнемо»	датчик «Контроль-Т»
Напряжение сети и сигналов дискретных входов постоянное/переменное, В	120...370 / 85...265	140...242	от 5 В до 24 В постоянного тока
Номинальная потребляемая мощность по постоянному/переменному току, Вт	3 / 15	7/13	не более 0,12 Вт
Максимальное количество каналов измерения температур	15	12	-
Диапазон измерения температур, °С	-40...+300 °С	-40...+300 °С	-70...+380 °С
Погрешность измерения температур	±4 °С	±4 °С	±2 °С

Датчик предназначен для контроля температуры в различных режимах работы промышленных электроустановок (распределительных шкафов КРУ, КСО, НКУ), а также для измерения температуры поверхности конструктивных элементов и деталей бесконтактным способом в технологических процессах металлургии, машиностроения, нефтехимии и т. д. Одним из основных применений пирометрических датчиков температуры «Контроль-Т» в электроустановках является бесконтактное измерение температуры в зонах главных цепей распределительных устройств на номинальные напряжения 6–35 кВ (контроль нагрева контактных соединений высоковольтного выключателя, разъединителя, соединений сборных шин и кабельных присоединений). Датчик осуществляет непрерывное измерение температуры в реальном времени и имеет встроенный цифровой интерфейс RS-485 с поддержкой стандартного протокола Modbus для передачи измеренных значений температуры в различные системы верхнего уровня. Пирометрический датчик измеряет два значения температуры: температура окружающего воздуха в месте установки датчика и температура нагрева/охлаждения измеряемой поверхности [4].

Выводы

Приборы используются в роли средства безопасного бесконтактного измерения температур объектов, что делает их незаменимыми для

обеспечения должного контроля в случаях, когда физическое взаимодействие с контролируемым объектом невозможно из-за высоких температур, высокого напряжения или труднодоступных местах. На объектах энергетической отрасли пирометрические датчики температур необходимы в распределительных устройствах для контроля температуры главных цепей – контактов высоковольтного выключателя или разъединителя, соединений сборных шин, места соединения и оконцевания кабельных муфт находящихся под напряжением. Их можно применять в качестве теплотокаторов, для определения областей критических температур в различных производственных сферах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Высогорец, С.* Автоматизация диагностических работ при эксплуатации распределительных устройств 0,4–20 кВ / С. Высогорец // *Новости ЭлектроТехники.* – 2018. – № 5 (113)–6 (114).
2. Руководство по эксплуатации МОДУЛЬ ИНДИКАЦИИ МНЕМОСХЕМ «КРУ-Мнемо-3» и «КСО-Мнемо-3». – Режим доступа: http://testelektro.ru/upload/file/Rukovodstvo_po_ekspluatacii_indikator_KRU-KSO-Mnemo-03_1114.pdf (дата обращения: 15.09.2020).
3. Руководство по эксплуатации «Пирометрический датчик Контроль-Т»4. – Режим доступа: http://www.elteh.ru/upload/iblock/654/Operating_manual_Control_T.pdf (дата обращения: 11.09.2020).
4. Электротехнический интернет-портал elec.ru/Температура высоковольтных соединений. Техника контроля от «ТестЭлектро». – Режим доступа: <https://www.elec.ru/articles/temperatura-vysokovoltnyh-soedinenij-tehnika-> (дата обращения: 20.08.2020).

УДК 621.316.11

*Т. В. Копейкина***ТРЕБОВАНИЯ К ИНДУКЦИОННЫМ ДАТЧИКАМ
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ****Камышинский технологический институт (филиал)
Волгоградского государственного технического университета
e-mail: kopeikina@yandex.ru**

В статье рассматривается необходимость детального изучения вопроса внедрения индукционных датчиков в цифровые комплектные распределительные устройства для модернизации электрической части трансформаторных подстанций. Отмечается, что производство современных серий цифровых КРУ должно быть направлено на повышение эффективности работы систем электроснабжения, а также на снижение сроков компоновки распределительных сетей электроснабжения и сроков окупаемости объектов электроснабжения. Приводятся достоинства и недостатки, существующие в конструкции и функционировании индукционных датчиков. Рассмотрена конструкция датчика с указанием назначения основных узлов приспособления. Сделан вывод о том, что индукционный датчик является важной составной частью модернизации современных электрических сетей.

Ключевые слова: индукционный датчик, надежность, устройство, элемент, оборудование, конструкция, назначение.

*T. V. Kopeykina***REQUIREMENTS FOR INDUCTION SENSORS
OF SWITCHGEARS OF ELECTRIC NETWORKS****Kamyshin Technological Institute (branch)
Volgograd State Technical University**

The article considers the need for a detailed study of the introduction of induction sensors in digital complete switchgears for the modernization of the electrical part of transformer substations. It is noted that the production of modern series of digital switchgears should be aimed at improving the efficiency of power supply systems, as well as reducing the timing of the layout of power distribution networks and the payback period of power supply facilities. The advantages and disadvantages of the design and operation of induction sensors are given. The design of the sensor with the indication of the purpose of the main components of the device is considered. It is concluded that the induction sensor is an important part of modern electrical networks modernization.

Keywords: induction sensor, reliability, device, element, equipment, design, purpose.

Введение

Как известно, наиважнейшей составной частью РУ 6–20 кВ при проектировании современных подстанций является цифровая ячейка. Необходимость быстрого внедрения цифровых комплектных распределительных устройств ни у кого не вызывает сомнения и становится все более очевидной.

Конструктивное предложение, предлагаемое современной энергетической промышленностью – это комплексное решение, которое включает в себя такие компоненты: сама ячейка с выключателем, интеллектуальное электронное устройство телеизмерения, телеуправления, телесигнализации и микропроцессорное устройство РЗА; датчики температурные, индуктивные датчики положения, датчики дуговой защиты и видеонаблюдение; программное обеспечение автоматизированной системы управ-

ления. Указанные датчики в ячейке обеспечивают работу системы мониторинга электрооборудования.

Рассмотрим один из элементов системы мониторинга предлагаемого конструктивного решения – бесконтактные индуктивные датчики. Индукционный датчик представляет собой специальное бесконтактное приспособление. Применение индукционного датчика направлено на отсутствие необходимости в пробое оксидной пленки, обеспечивает бесконтактное срабатывание, абсолютную износостойчивость, нечувствительность к пыли, вибрации и влажности.

На сегодняшний момент область применения индукционных датчиков очень велика. Прибор отличается высоким качеством и надежностью. Датчики отличаются небольшими размерами и высокой функциональностью, поэтому широко применяются в различных сферах. Дан-

ные датчики используются в бытовой технике, автомобильной промышленности, робототехническом оборудовании, а также в промышленной технике регулирования и измерения.

Цель исследования

Индуктивным датчиком принято называть устройство, способное преобразовывать механические перемещения контролируемых объектов в электрический сигнал. Приспособление представляет собой одну или несколько катушек индуктивности, объединенных с магнитопроводом и подвижным якорем. Якорь регистрирует измерения линейного или углового размера и вследствие перемещения влияет на показатель индуктивности. Благодаря этому бесконтактные датчики широко используются как элемент контроля положения металлических объектов [1].

По схеме построения индукционные датчики принято разделять только на два отдельных вида: одинарные и дифференцированные. Одинарные датчики – устройства только с одним магнитопроводом. Данная схема чаще всего применяется при разработке бесконтактных выключателей. Дифференциальные датчики имеют два магнитопровода, внешний вид которых выполнен в виде буквы «ш». Вариант подключения любого бесконтактного датчика зависит от примененной в процессе его производства схемы построения. Трехпроводные датчики имеют три проводника, два из которых предназначаются для обеспечения устройства питанием, а третий применяется для подключения к нагрузке. Она в зависимости от использованной при разработке структуры может подсоединяться к аноду либо катоду источника напряжения электрического тока. Четырехпроводные индукционные датчики отличаются наличием четырех проводников: два провода идут на питание, а другие два – на загрузку. Двухпроводные устройства подключаются прямо в нагрузочную цепь. Это самый элементарный вариант, но и он обладает отдельными особенностями. Данный способ для нагрузки требует номинальное сопротивление, если же его значение окажется больше или меньше, тогда индукционный датчик не сможет корректно работать. Пятипроводной датчик отличается от четырехпроводного наличием пятого проводника для выбора режима работы устройства.

По принципу действия различают три типа датчиков: оптические, емкостные и индуктивные. Самыми простыми по конструкции и очень

надежными считаются именно индуктивные датчики [1].

Результаты исследования

Рассмотрим конструкцию и функциональное назначение основных элементов индукционного датчика. Датчик состоит из различных узлов, которые и обеспечивают его бесперебойную работу. Основные элементы следующие:

1. Генератор – основная составная часть прибора. Именно здесь образуется электромагнитное поле, необходимое для функционирования приспособления. Генератор формирует переменное электромагнитное поле. В свою очередь, катушка индуктивности и конденсатор образуют колебательный контур. При попадании металлического объекта в зону чувствительности датчика в приборе образуются вихревые токи. Они создают встречный магнитный поток, демпфирующий колебания контура. Другими словами, происходит затухание электромагнитных колебаний, уменьшается их амплитуда. Чем ближе металлический объект к чувствительной поверхности датчика и чем больше его размер, тем сильнее затухание.

2. Триггер Шмидта – отвечает за переработку информации, полученной после включения в работу генератора и передачу другим узлам.

3. Усилитель – передает сигнал на большие расстояния.

4. Индикатор на светодиодах – визуальный контроль функционирования датчика.

5. Компаунд – деталь, препятствующая попаданию различных частиц внутрь приспособления.

Все указанные элементы расположены в корпусе, изготовленном из прочных материалов, таких как латунь или полиамид [2].

Основное предназначение анализируемого прибора – это измерение перемещения части оборудования, а при превышении установленных пределов отключение оборудования. При этом у датчиков есть свои пределы перемещения, которые варьируются в диапазоне от 1 микрона до 20 миллиметров. Именно поэтому данный прибор называют и индуктивным датчиком положения.

Работа приспособления начинается после включения, которое дает толчок к образованию магнитного поля. Это поле, в свою очередь, оказывает влияние на вихревые токи, меняющие амплитуду колебаний генератора, который первым реагирует на любые изменения.

Как только поступает сигнал, начинается обработка его в других узлах устройства. Сила сигнала в большей степени зависит от размера предмета, попавшего в поле действия устройства, а также зависит от расстояния, на котором находится оборудование. Следующим этапом работы приспособления является преобразование аналогового сигнала в логический сигнал. Для понимания всей важности использования индукционных датчиков в современных системах электроснабжения рассмотрим достоинства данных устройств:

- датчики отличаются простотой конструкции, имеют достаточно высокую надежность;
- устройство не имеет скользящих контактов, которые быстро выходили бы из строя;
- датчик можно использовать для подключения в электрические сети с промышленной частотой;
- приспособление имеет высокую чувствительность;
- индукционный датчик может выдерживать большую выходную мощность.

В свою очередь, необходимо также отметить существующие недостатки индуктивного датчика:

- нестабильное напряжение в сети становится причиной разброса пределов реагирования, так как напряжение и точность работы датчика взаимосвязаны между собой;
- ток нагрузки датчика составляет всего 200 мА.

В настоящее время созданы усовершенствованные модели индукционных датчиков. Принцип работы датчика не изменился, но была модернизирована конструкция устройства. Современный датчик оснащается тонкими платами, распечатанными на 3D-принтерах, и современной цифровой электроникой. Новейшие датчики производят на гибких подложках, это решает проблему необходимости использования традиционных кабелей и разъемов [2].

К преимуществам новых разработок можно отнести следующее:

- снижение стоимости и веса;
- более компактные размеры устройства;
- возможность выбора практически любых форм-факторов;
- повышение точности реагирования на металлические объекты;
- возможность проведения замеров, связанных со сложной геометрией, в двух или трех измерениях;

- упрощение конструкции;
- возможность устанавливать несколько индукционных датчиков близко друг к другу из-за высокой электромагнитной совместимости.

Выводы

Индукционные датчики имеют свои достоинства и недостатки, как и любое другое устройство. Главным преимуществом считается простота конструкции, не требующая сложной настройки и не нуждающаяся в особых условиях для монтирования. Приспособление не имеет скользящих контактов, сделано из прочного материала и может на протяжении длительного времени работать без перерыва.

Важным достоинством является то, что прибор очень редко выходит из строя, а ремонт не представляет сложности. Именно этим обуславливается широкое применение индукционного датчика на предприятиях, где необходим круглосуточный контроль над производственным процессом. Бесконтактное подключение позволяет без проблем осуществлять соединение с промышленной системой напряжения.

Важным преимуществом считается высокая чувствительность, позволяющая устанавливать датчики на производстве, где работают с металлическими предметами из разных сплавов.

Несмотря на все достоинства приспособления, существуют и некоторые недостатки. Наиболее важным считаются погрешности, которые прибор выдает в работе. Нелинейный тип погрешности проявляется вследствие того, что прибор имеет свой показатель индуктивной величины, который может отличаться от значения тех предметов, на которые он реагирует. Именно поэтому датчик может реагировать на металл некорректно и подавать неверные сигналы. Часто встречается температурная погрешность, связанная со значительным понижением или повышением температуры в производственном помещении. Инструкция к прибору предполагает его правильное функционирование при показателе +25 °С. При отклонении значения нарушается нормальная работа устройства. Одной из случайных погрешностей считается изменение показаний датчика вследствие воздействия на него электромагнитного поля других приборов. Для того чтобы избежать подобных ситуаций, на всех производствах установлен стандарт частоты электроустановок, составляющий 50 Гц. В этом случае риск возникновения погрешности из-за постороннего электромагнитного излучения снижается

к минимуму. Исключить любые нарушения в работе устройства можно путем предварительной проработки деталей.

Таким образом, можно сделать вывод, что в направлении модернизации электрических сетей индукционный датчик занимает достойное место, что в свою очередь определяет необходимость действий, направленных на максимальное исключение от всех недостатков в работе данного устройства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Принцип работы и виды индуктивных датчиков, способы подключения // Портал о датчиках и измерительных приборах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://prodatchik.ru/vidy/induktivnyj-datchik> (дата обращения: 15.08.2020).

2. Индуктивные датчики положения принцип действия // ELECTRIC-UFA.RU [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elektrik-ufa.ru/raznoe/induktivnye-datchiki-polozheniya-printsip-dejstviya> (дата обращения: 25.08.2020).

УДК 66.021.4

А. Б. Голованчиков, Н. А. Прохоренко

ПРОВЕДЕНИЕ АНАЛИЗА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ БАРАБАННОЙ СУШИЛКИ И СУШИЛКИ С ПСЕВДООЖИЖЕННЫМ СЛОЕМ ВЫСУШИВАЕМОГО МАТЕРИАЛА

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: natasha292009@yandex.ru

Проводится сравнение технико-экономических показателей барабанной сушилки и сушилки с кипящим слоем при сушке одного и того же материала с учетом энерго- и ресурсосбережения. Определяются для каждой из вышеназванных сушилок оптимальные температуры сушильного агента на входе и выходе, при которых сумма годовых амортизационных отчислений за капитальные затраты, оборотных средств за ремонт и обслуживание и затрат электроэнергии в электроколорифере становится минимальной.

Ключевые слова: сушка, барабанная сушилка, сушилка с кипящим слоем, сушильный агент, амортизационные отчисления, затраты электроэнергии.

A. B. Golovanchikov, N. A. Prokhorenko

ANALYSIS OF TECHNICAL AND ECONOMIC PARAMETERS OF THE DRUM DRYER AND DRYER WITH A FLUID LAYER OF THE DRY MATERIAL

Volgograd State Technical University

A comparison is made of the technical and economic indicators of a drum dryer and a fluidized bed dryer when drying the same material, taking into account energy and resource conservation. For each of the aforementioned dryers, the optimum temperatures of the drying agent at the inlet and outlet are determined, at which the sum of annual depreciation deductions for capital costs, working capital for repairs and maintenance, and energy costs in the electric heater becomes minimal.

Keywords: drying, drum dryer, fluidized bed dryer, drying agent, depreciation charges, electricity costs.

Процесс сушки является одним из основных массообменных процессов химической технологии, который широко используется в производстве материалов, дисперсных компонентов красок, химических волокон и нитей, а также в фармакологии, медицинской промышленности, биотехнологических производствах, строительной индустрии, промышленной экологии при удалении влаги из перерабатываемых бытовых и промышленных отходов и во многих других производствах [1].

Сушка – это массообменный процесс удаления влаги (воды, растворителей и других жид-

ких компонентов) из твердых и пастообразных материалов. Движущей силой процесса сушки является разность парциальных давлений паров влаги над высушиваемым материалом и в сушильном агенте (воздухе, топочных или инертных газовых средах, в том числе перегретом водяном паре) [2–4].

Целью работы является сравнение технико-экономических показателей барабанной сушилки и сушилки с кипящим слоем при сушке одного и того же материала с учетом энерго- и ресурсосбережения. Для каждой из сушилок определяются оптимальные температуры су-

шильного агента на входе и выходе. При этом сумма годовых амортизационных отчислений за капитальные затраты, оборотных средств за ремонт и обслуживание, а также затрат электроэнергии в электрокалорифере становится минимальной.

Рассмотрим алгоритм расчета технико-экономических параметров барабанной сушилки.

1. Производительность по удаляемой влаге:

$$W = G_n (\omega_n - \omega_k) / (1 - \omega_k).$$

2. Производительность по высушенному материалу:

$$G_k = G_n - W.$$

3. Производительность годовая по высушенному материалу:

$$G_g = 24 n_p G_k / 1000.$$

4. Парциальное давление водяных паров в воздухе, соответствующие его начальной температуре и относительной влажности:

$$p_n = (t_0 / e^{4,6})^{1/0,26}.$$

5. Влажосодержание воздуха, соответствующее его начальной температуре и относительной влажности:

$$x_0 = \left(\frac{M_w}{M_e} \right) \varphi_0 p_n / (1,033 - \varphi_0 p_n).$$

6. Энтальпия воздуха, соответствующая его начальной температуре и влажосодержанию:

$$J_0 = C_{ca} t_0 + x_0 (i_p + c_h t_0).$$

7. Принимаем температуру t_1 на выходе из электрокалорифера наибольшую из рекомендуемых [1. С. 192] для высушиваемого материала в барабанной сушилке $t_1 = 750$ °С, так как при этой температуре (как показывают расчеты) имеют место минимальные затраты на амортизационные отчисления, оборотные средства и электроэнергии (рассматривается сушка песка).

8. Варьируется температура воздуха t_2 на выходе из барабанной сушилки в диапазоне от 60 до 400 °С. По формуле:

$$t_2 = 60 + 10 \cdot (i - 1).$$

9. Энтальпия воздуха на входе в барабанной сушилке (выходе из электрокалорифера):

$$J_1 = C_{ca} \cdot t_1 + x_1 \cdot (i_p + c_p \cdot t_1).$$

10. Энтальпийный параметр, учитывающий отклонение действительной от теоретической сушилки:

$$D = [c_w t_0 - c_m (t_2 - t_0 / W)] / 0,03.$$

11. Влажосодержание воздуха на выходе из действительной сушилки:

$$x_2 = (J_1 - D \cdot x_1 - C_{ca} \cdot t_2) / (i_p + c_p \cdot t_2 - D).$$

12. Энтальпия воздуха на выходе из действительной сушилки:

$$J_2 = c_{ca} \cdot t_2 + x_2 \cdot (i_p + c_p \cdot t_2).$$

13. Расход сухого воздуха:

$$L = W / (x_2 - x_1).$$

14. Мощность электрокалорифера:

$$N_e = L (J_1 - J_0) / 3600.$$

15. Средний расход влажного воздуха:

$$L_w = L [1 + (x_1 + x_2) / 2].$$

16. Средняя температура воздуха в барабане:

$$t_{ac} = (t_1 + t_2) / 2.$$

17. Средняя плотность воздуха:

$$\rho_e = 1,29 \cdot \left(\frac{273}{273 + t_{ac}} \right) \cdot \left(\frac{1,02}{1,033} \right).$$

(В барабане создается небольшой вакуум 0,012 ат или 1200 Па).

18. Объемный расход влажного воздуха:

$$q_{vw} = L_w / 3600 \cdot \rho_e,$$

где $L_w = L \left(1 + \frac{x_1 + x_2}{2} \right)$ – массовый расход влажного воздуха в барабане.

19. Расчетный диаметр барабана:

$$D_a = \sqrt{4 q_{vw} / \pi v_{10} (1 - e)}.$$

20. Выбор из массива стандартных диаметров барабана ближайшего большего к расчетному D_a :

$$D_e \geq D_a.$$

21. Напряженность по влаге в диапазоне изменения температуры t_2 определяется по формуле:

$$A_p = 26,7 + 0,133 \cdot t_2.$$

22. Объем барабана:

$$V_o = W / A_p.$$

23. Длина барабана:

$$L_e = 4 V_o / \pi D_a^2.$$

24. Фиктивная скорость воздуха в барабане стандартного диаметра:

$$V = q_{vw} / [0,785 \cdot D_e^2 \cdot (1 - e)].$$

25. Время пребывания воздуха в барабане:

$$\tau_e = L_e / V.$$

26. Годовые амортизационные отчисления за капитальные затраты:

$$C_{ao} = c_{ak} V_o / 1000.$$

27. Годовые оборотные средства:

$$C_{oc} = \Delta_{oc} C_{ao}.$$

28. Годовые затраты на электроэнергию:

$$C_e = \frac{24 \cdot n_p \cdot C_{ek} \cdot (Ne/k.p.d.)}{1000}$$

29. Суммарные годовые затраты (функция минимизации):

$$U = C_{ao} + C_{oc} + C_e$$

30. Годовая производительность по высушенному материалу тонн/год:

$$G_{mg} = \frac{G_k \cdot 24n_p}{1000}$$

31. Стоимость сушки одной тонны материала:

$$z = 1000U / G_{mg}$$

32. Доля в годовой общей стоимости затрат:

а) амортизационных отчислений:

$$O_{ao} = 100 \cdot C_{ao} / U$$

б) оборотных средств:

$$O_{oc} = 100 \cdot C_{oc} / U$$

в) электроэнергии:

$$O_e = 100 \cdot C_e / U$$

Рассмотрим алгоритм расчета для сушилки с псевдооживленным слоем высушиваемого материала.

1. Пункты алгоритма материального баланса и расчеты начальных параметров воздуха для сушилки с псевдооживленным слоем повторяют пункты (1–14) барабанной сушилки.

2. Число Архимеда для частиц высушиваемого материала.

3. Число Рейнольдса, соответствующее началу псевдооживления для частиц высушиваемого материала [5]:

$$Re = \frac{Ar \cdot \varepsilon_0^{4,75}}{18 + 0,575 \cdot \sqrt{Ar \cdot \varepsilon_0^{4,75}}}$$

где $\varepsilon_0 \approx 0,4$ – порозность высушиваемого материала до псевдооживления.

4. Рабочая фиктивная скорость воздуха в сушилке, равная двум скоростям скорости начала псевдооживления:

$$v = 2Re \mu / \rho_e d_k$$

5. Массовый расход влажного воздуха в сушилке с псевдооживленным слоем:

$$L_w = L \cdot (1 + x_2)$$

6. Объемный расход влажного воздуха в сушилке с псевдооживленным слоем:

$$q_{vw} = L_w / 3600 \cdot \rho_g$$

7. Диаметр сушилки псевдооживленного слоя:

$$D_a = \sqrt{4q_{vw} / \pi v}$$

8. Напряженность сушилки псевдооживленного слоя:

$$A_v = 86,7 + 0,133 \cdot t_2$$

9. Рабочий объем сушилки псевдооживленного слоя:

$$V_n = W / A_v$$

10. Высота псевдооживленного слоя в сушилке:

$$H_n = 4 \cdot V / \pi \cdot D_a^2$$

11. Время пребывания воздуха в сушилке:

$$\tau_e = H_n / v$$

12. Годовые амортизационные отчисления за капитальные затраты:

$$C_{ao} = c_{ak} V / 1000$$

13. Годовые оборотные средства:

$$C_{oc} = \left(\frac{\Delta_{oc}}{3} \right) C_{ao}$$

14. Годовые затраты электроэнергии в электроколорифере:

$$C_e = \frac{24n_p c_{ek} (Ne/k.p.d.)}{1000}$$

15. Алгоритм расчета сушилки с псевдооживленным слоем повторяет пункты (29–31) алгоритмы расчета барабанной сушилки.

Результаты расчетов представлены в виде таблицы, где наглядно видно получившиеся параметры для барабанной сушилки и сушилки с кипящим слоем материала.

На рисунке представлено графическое представление процессов сушки в барабанной сушилке и в сушилке псевдооживленного слоя, где для каждой из вышеназванных сушилок, определены оптимальные температуры сушильного агента на входе и выходе, для которых сумма годовых амортизационных отчислений за капитальные затраты, оборотных средств за ремонт и затрат электроэнергии в электроколорифере становится минимальной.

Исходные и справочные данные и расчетные параметры программы «Sushkaopt»
[1, стр. 192, 193 и стр. 211]

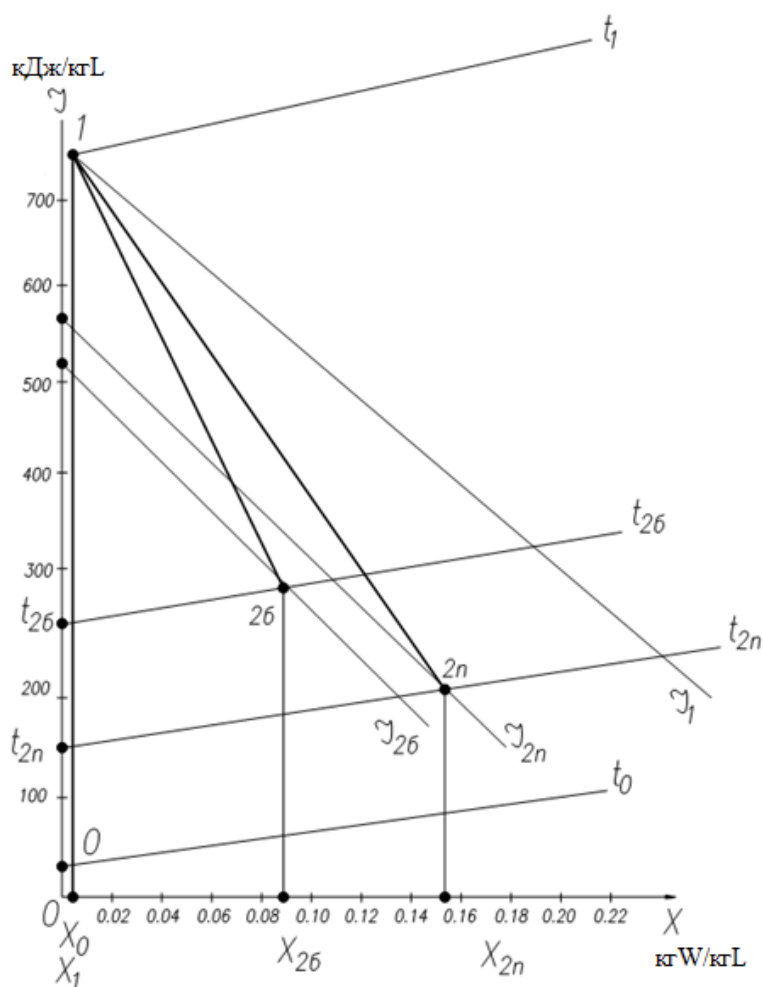
№	Наименование параметра	Размерность	Обозначение	Величина параметра	
1	2	3	4	5	
Исходные и справочные данные					
1.	Производительность по влажному материалу	$кг/час$	G_n	10000	
2.	Начальная влажность материала (абсолютная массовая)	$\frac{кгW}{кг(W+G)}$	ω_n	0,06	
3.	Конечная влажность материала (абсолютная массовая)	$\frac{кгW}{кг(W+G)}$	ω_k	0,005	
4.	Температура окружающего воздуха до калорифера	$^{\circ}C$	t_0	25	
5.	Температура воздуха на входе в сушилку	$^{\circ}C$	t_1	(750 ÷ 850)	
6.	Температура воздуха на выходе из сушилки	$^{\circ}C$	t_2	(100 ÷ 400)	
7.	Теплоемкость сухого воздуха	$кДж/(кг \cdot K)$	c_a	1,01	
8.	Теплоемкость водяного пара	$кДж/(кг \cdot K)$	c_n	1,97	
9.	Энтальпия пара при 0 $^{\circ}C$	$кДж/кг$	l_0	2493	
10.	Теплоемкость воды	$кДж/(кг \cdot K)$	c_w	4,19	
11.	Относительная влажность воздуха при температуре t_0	—	φ_0	0,5	
12.	Теплоемкость высушиваемого матер.	$кДж/(кг \cdot K)$	c_m	0,8	
13.	Рабочая скорость воздуха в барабане	$м/с$	v_a	3	
14.	Диаметр кусков	$м$	d_k	0,001	
15.	Плотность высушиваемого материала	$кг/м^3$	ρ_k	1500	
16.	Вязкость воздуха при температуре воздуха $^{\circ}C$ в сушилке кипящего слоя	$Па \cdot с$	μ_0	$3 \cdot 10^{-5}$	
17.	Порозность неподвижного слоя	—	e_0	0,4	
18.	Насыпная плотность песка	$кг/м^3$	ρ_n	1200	
19.	Коэффициент заполнения барабана высушиваемым материалом	—	e	0,25	
20.	Стоимость электроэнергии с учетом утилизации тепла воздуха на выходе из сушилки	$\frac{руб}{кВт \cdot час}$	c_{ek}	1,23	
21.	Амортизационные отчисления, приходящиеся на 1 $м^3$ объема барабана за год	$\frac{руб}{м^3}$	c_{ak}	$3,48 \cdot 10^6$	
22.	Доля оборотных средств в амортизационных отчислениях за обслуживание и ремонт	—	Δ_{oc}	0,26	
23.	Число рабочих суток	—	n_p	310	
24.	КПД электрокалорифера	—	КПД	0,6	
				сушилка	
				барабанная	с псевдоожоженным слоем
Расчетные параметры для барабанной сушилки и сушилки с кипящим слоем материала					
1.	Массовый расход удаляемой влаги из материала	$кг/час$	W	552,8	552,8
2.	Расход материала на выходе из сушилок и годовая производительность по высушиваемому материалу	$\frac{кг}{год}$	G_k G_{mg}	9447,2 68020,1	9447,2 68020,1

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	
3.	Давление насыщенных паров при температуре окружающего воздуха и энтальпия этого воздуха	$\frac{aT}{\kappa ZL}$	P_n J_0	0,0049 29,03	0,0049 29,03
4.	Влагосодержание воздуха при его начальной температуре и относительной влажности и на выходе из электрокалорифера	$\frac{\kappa ZW}{\kappa ZL}$	x_0 x_1	0,0015 0,0015	0,0015 0,0015
5.	Температура воздуха на выходе из калорифера и входе в сушилку (варьируется в пределах, рекомендованных [1] и записывается оптимальное значение)	$^{\circ}C$	t_1	750	750
6.	Температура воздуха на выходе из сушилки (варьируется в пределах, рекомендованных [1] и записывается оптимальное значение)	$^{\circ}C$	t_2	250	130
7.	Напряженность аппарата по влаге для оптимальных температур t_1 и t_2	$\frac{\kappa ZW}{\text{м}^3 \text{час}}$	A_v	60	74,0
8.	Энтальпия воздуха на входе в сушилку для температуры t_1	$\frac{\kappa ZJ}{\kappa ZL}$	J_1	763,4	763,4
9.	Энтальпийный параметр, учитывающий отклонение действительной сушки от теоретической	$\frac{\kappa ZJ}{\kappa ZL}$	D	-3060,8	-1370,8
10.	Влагосодержание воздуха на выходе из действительной сушилки	$\frac{\kappa ZW}{\kappa ZL}$	x_2	0,0853	0,154
11.	Энтальпия воздуха на выходе из действительной сушилки	$\frac{\kappa ZJ}{\kappa ZL}$	J_2	507	554,5
12.	Расход сухого воздуха	$\kappa ZL/\text{час}$	L	6599,0	3623,2
13.	Мощность электрокалорифера	κBm	N_e	1346,1	739,7
14.	Средний расход влажного воздуха в аппарате	$\frac{\kappa ZL_w}{\text{час}}$	L_w	6885,2	4184,4
15.	Средняя температура воздуха в аппарате	$^{\circ}C$	t_{ac}	500	130
16.	Средняя плотность воздуха	$\kappa Z/\text{м}^3$	ρ_s	0,695	0,874
17.	Объемный расход влажного воздуха	$\text{м}^3/\text{с}$	q_{vw}	2,75	1,33
18.	Расчетный диаметр аппарата	м	D_a	1,282	1,4
19.	Стандартный диаметр в барабанной сушилке / в сушилке с кипящем слоем	м	D_s/D_p	1,4	1,68
20.	Объем аппарата	м^3	V_s	9,22	7,47
21.	Длина (высота) аппарата	м	L_s/H_p	7,54	3,37
22.	Фиктивная скорость воздуха в аппарате	$\text{м}/\text{с}$	V	2,38	0,6
23.	Время пребывания воздуха в аппарате	с	τ_s	3,2	5,6
24.	Число Архимеда для воздуха и частиц материала	—	Ar	—	—
26.	Годовые амортизационные отчисления за капитальные затраты	$\frac{\text{тыс.руб}}{\text{год}}$	C_{ao}	32087	26000
27.	Годовые оборотные средства за эксплуатацию и ремонт	$\frac{\text{тыс.руб}}{\text{год}}$	C_{oc}	8342,6	6760
28.	Годовые затраты за электроэнергию для нагревания воздуха в электрокалорифере	$\frac{\text{тыс.руб}}{\text{год}}$	C_e	19869,1	10920

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	
29.	Общие годовые затраты	$\frac{\text{тыс.руб}}{\text{год}}$	U	60298,8	43680
30.	Годовая производительность по высушенному материалу	$T/\text{год}$	G_{mg}	68020,1	68020,1
31.	Стоимость сушки одной тонны материала	$\text{руб}/T$	z	886,48	642,1
32.	Доля амортизационных отчислений в общих годовых затратах	%	O_{ao}	53,2	59,5
33.	То же для оборотных средств	%	O_{oc}	13,80	15,5
34.	То же для стоимости электроэнергии	%	O_e	33	25



Графическое представление процессов сушки в барабанной сушилке (индекс «б») и в сушилке псевдооживленного слоя (индекс «л»):

0-1 – общая линия нагревания воздуха от $t_0 = 25^\circ\text{C}$ до $t_1 = 750^\circ\text{C}$ в электрокалорифере; 1-2б – рабочая линия для барабанной сушилки (точка 2б соответствует температуре $t_{2б} = 250^\circ\text{C}$, $x_{2б} = 0,0853 \text{ кгW/кгL}$ и $J_{2б} = 507 \text{ кДж/кгL}$; 1-2л – рабочая линия для сушилки с псевдооживленным слоем (точка 2л соответствует температуре $t_{2л} = 130^\circ\text{C}$, $x_{2л} = 0,154 \text{ кгW/кгL}$ и $J_{2л} = 554,5 \text{ кДж/кгL}$ (см. таблицу)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лыков, М. В. Сушка в химической промышленности / М. В. Лыков. – М.: Химия, 1970. – 432 с.

2. Павлов, К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. – 10-е изд., перераб. и доп. – М.: Альянс, 2013. – 576 с.

3. Основные процессы и аппараты химической технологии: пособие по проектированию / Г. С. Борисов, В. П. Брыков, Ю. И. Дытнерский ; под ред. Ю. И. Дытнерского. – 4-е изд. – М.: Альянс, 2008. – 496 с.

4. Голованчиков, А. Б. Применение ЭВМ в химической технологии и экологии учебное пособие часть 4. Массообменные процессы / А. Б. Голованчиков, Б. В. Си-

монов. – Волгоград: ВолгГТУ – 1997. – 117 с.

5. Голованчиков, А. Б. Оценка влияния обратного перемешивания сушильного агента на технологические и геометрические параметры барабанной сушилки / А. Б. Голованчиков, Н. А. Меренцов, В. А. Балашов // Химическая промышленность сегодня. – 2017. – № 5. – С 50-56.

УДК 66.022.52: 621.928.235

О. И. Дроздова, В. А. Гребенникова, Л. М. Мансур, А. А. Шагарова

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КЛАССИФИКАЦИИ ТВЕРДЫХ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: pahp@vstu.ru

На основании разработанной программы в MS Excel проведена оценка влияния различных факторов на производительность и эффективность грохочения в зависимости от входных параметров установок. Приведены графические зависимости для выбора рациональных конструктивных и режимных параметров инерционных грохотов для повышения эффективности разделения сыпучих материалов.

Ключевые слова: классификация, сыпучие материалы, грохочение, эффективность.

O. I. Drozdova, V. A. Grebennikova, L. M. Mansur, A. A. Shagarova

MODELING OF THE SOLID BULK MATERIALS CLASSIFICATION PROCESS

Volgograd State Technical University

On the basis of the developed program in MS Excel estimation of influence of various factors on the productivity and effectiveness of screening in the installation depending on the input parameters. Graphic dependences are presented for selection of rational constructive and sensitive parameters applications to improve the efficiency of the bulk materials separation.

Keywords: classification, bulk materials, screening, efficiency.

Используемые в различных отраслях промышленности сыпучие материалы имеют, как правило, полидисперсный состав.

Разделение зернистых материалов по размерам является составным элементом во многих технологических процессах, в частности в химической технологии, в производстве строительных материалов и металлургии, при обогащении полезных ископаемых, в пищевых производствах и других областях промышленности.

Необходимая для производственных целей крупность материала определяется требованиями технологического процесса, а для других случаев – назначением и условиями его потребления.

Для выделения из общей массы сыпучего материала определенных фракций используют машины для классификации. Под классификацией смеси частиц понимается процесс разделения смеси на две или более частей с существенным содержанием классификационно-

го признака. Признаком классификации может быть крупность частиц, их плотность, форма, диэлектрические и магнитные свойства и другие [1].

Технологическая задача процесса классификации в основном сводится к разделению исходного полидисперсного продукта на два класса: мелкий, с содержанием частиц мельче граничного размера, и крупный, с содержанием частиц с размером больше граничного.

По способу транспортирования сыпучей среды вдоль разделяющей поверхности или в объеме зоны разделения различают механические, пневматические и гидравлические классификаторы [1, 2].

В механических классификаторах, называемых грохотами, движение материала вдоль разделяющей поверхности происходит за счет перемещения частиц среды по наклонной поверхности или (и) периодических движений самой поверхности.

К числу наиболее часто используемых устройств для классификации сыпучих материалов относят вибрационные (инерционные) грохоты.

Вибрационные грохоты характеризуются высокой производительностью и значительной эффективностью (85–90 %) грохочения, низким потреблением электроэнергии.

Главными технологическими показателями процесса грохочения материала являются: производительность грохота, «замельченность» надрешетного продукта и эффективность грохочения.

На сегодняшний день остро стоит вопрос об эффективности процесса грохочения, которая зависит от рационального выбора конструктивных и технологических параметров классифицирующего устройства.

Значение эффективности грохочения определяется и обуславливается действием ряда факторов, которые можно разделить на две основные группы:

- факторы, зависящие от физико-механических свойств грохотимого материала (относительный размер зерен в исходном питании, форма зерна, влажность материала и т. д.);

- конструктивно-механические факторы (размеры грохота и режим его эксплуатации).

К конструктивно-механическим факторам относятся [3]: форма отверстий сита; размер отверстия сетки грохота; угол наклона просеивающей поверхности; скорость движения зерен по просеивающей поверхности; частота и амплитуда колебания поверхности грохота; питание грохота.

Несомненный практический интерес представляет взаимосвязь угла наклона грохота, производительности и эффективности грохочения.

На стадии проектирования вибрационного грохота или при усовершенствовании какого-либо его узла, а также при подборе рациональных параметров технологической установки возникает необходимость компьютерного моделирования процесса грохочения.

Цель настоящей работы состояла в проведении оценки влияния различных факторов на производительность и эффективность грохочения в зависимости от входных параметров установки.

В качестве объекта исследования был выбран промышленный инерционный грохот с двумя просеивающими поверхностями для классификации извести ГИЛ-32, схематичное изображение которого представлено на рис. 1.

Для расчета параметров инерционного грохота разработана программа в MS Excel.

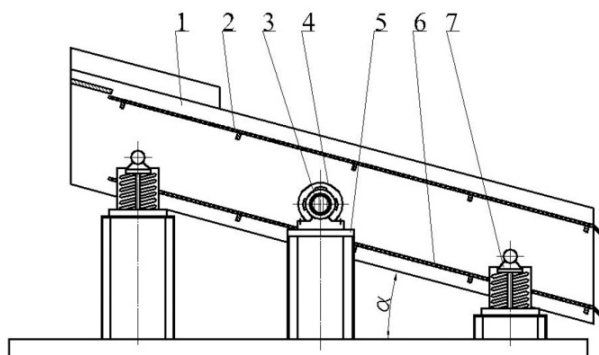


Рис. 1. Схема инерционного наклонного грохота с двумя ситами типа ГИЛ-32:

1 – корпус; 2 – верхнее сито; 3 – мотор; 4 – вибровозбудитель; 5 – моторная опора; 6 – нижнее сито; 7 – упругие опоры жестко закрепленные на подвижной раме

Производительность грохота определяется с учетом физико-механических свойств материала по формуле В. А. Баумана и П.С. Ермолаева [4]:

$$Q = F \cdot q \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot m, \quad (1)$$

где Q – объемная производительность сита, $\text{м}^3/\text{ч}$; q – коэффициент, зависящий от размера отверстия, принимаем $q_1 = 82$, $q_2 = 43$; F – площадь просеивающей поверхности, м^2 ; m – коэффициент, учитывающий неравномерность питания, форму зерен и тип грохота; принимаем $m = 0,5$; k_1 – коэффициент, учитывающий угол наклона грохота; k_2 – коэффициент, учитывающий содержание зерен нижнего класса в исходном материале, для первого сита $C_{H1} = 80\%$; принимаем $k_{21} = 1,17$, для второго сита $C_{H2} = 60\%$; принимаем $k_{22} = 1$; k_3 – коэффициент, учитывающий содержание в нижнем классе зерен, размер которых меньше половины размера отверстий; для первого сита $C_{01} = 30$, принимаем $k_{31} = 0,82$, для второго сита $C_{02} = 40$; принимаем $k_{32} = 0,91$.

Для заданной производительности грохота из уравнения (1) находим площадь просеивающей поверхности:

$$F = \frac{Q}{q \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot m}. \quad (2)$$

Оптимальный угол наклона определяется по эмпирической зависимости, предложенной В. А. Олевским [4]:

$$\alpha = \frac{1,15 \cdot Q_1}{1 + 0,0375 \cdot Q_1}, \quad (3)$$

где Q_1 – пропускная способность сита, $\text{м}^3/\text{ч}$, определяется по формуле:

$$Q_1 = \frac{G}{\rho \cdot B'} \quad (4)$$

где G – массовая производительность, кг/ч; ρ – насыпная плотность извести, кг/м³; B – ширина сита, м.

Значения коэффициентов k_1 , k_2 , k_3 приведены в табл. 1.

Эффективность грохочения – отношение массы материала, прошедшего сквозь отверстия сита к массе материала данной крупности, содержащейся в исходном продукте [3]. Эффективность грохочения является качественным критерием процесса грохочения и определяется по формуле:

$$E = e \cdot k'_1 \cdot k'_2 \cdot k'_3 \quad (5)$$

где e – эталонная эффективность грохочения, принимаем $e = 86\%$; k'_1 – коэффициент, учитывающий угол наклона грохота; k'_2 – коэффициент, учитывающий содержание нижнего класса в исходном материале, для первого сита $C_{H1} = 80\%$; принимаем $k'_{21} = 1,03$, для второго сита $C_{H2} = 60\%$; принимаем $k'_{22} = 1$; k'_3 – коэффициент, учитывающий содержание в нижнем классе зерен с размером меньше половины отверстия сита, для первого сита $C_{01} = 30$; принимаем $k'_{31} = 0,95$, для второго сита $C_{02} = 40$; принимаем $k'_{32} = 0,98$.

Значения коэффициентов k'_1 , k'_2 , k'_3 приведены в табл. 2.

Фактическая объемная производительность, м³/(м²·ч):

$$q_\phi = \frac{G}{E \cdot \rho \cdot L'} \quad (6)$$

где L – длина сита, м.

Оптимальная скорость движения материала по поверхности сита, м/с:

$$V_{opt} = 15 \cdot q_\phi + 160. \quad (7)$$

Скорость колебаний сит, м/с:

$$V_o = A \cdot \omega, \quad (8)$$

где A – амплитуда колебаний, м; ω – вибрационная частота колебаний; с⁻¹.

Высота подброса частиц, м:

$$h = \frac{V_o^2}{2 \cdot g \cdot \cos \alpha}. \quad (9)$$

Время частицы в полете, с:

$$t_v = \sqrt{\frac{2h}{g}}. \quad (10)$$

Максимальная длина пролета частицы, м:

$$X_{max} = 0.5 \cdot g \cdot t_v^2 \cdot \sin \alpha. \quad (11)$$

Коэффициент динамического режима работы грохота, представляющий собой отношение составляющих инерционной силы, действующей на частицу сортируемого материала, к ее силе тяжести, определяется из соотношения:

$$K_D = \frac{A \cdot \omega^2}{g \cdot \cos \alpha}. \quad (12)$$

При $K_D > 1$ грохот работает в вибрационном режиме и частицы передвигаются по ситам с подбрасыванием, при $K_D < 1$ грохот работает в инерционном режиме и частицы от поверхности сита не отрываются.

Значения коэффициента K_D находится в пределах $1,0 < K_D < 8,0$ из условия обеспечения долговечности грохота.

Оптимальное время грохочения, ч:

$$t_{opt} = \frac{t}{E}, \quad (13)$$

где t – это отношение массы материала к массовой производительности.

Масса дебаланса, кг:

$$M_D = \frac{M \cdot A}{r_D}, \quad (14)$$

где M – общая масса грохота, кг; r_D – расстояние от оси вала до центра неуравновешенной массы дебаланса, м.

Таблица 1

Значения коэффициентов k_1 , k_2 , k_3

Размер квадратного отверстия в свету, мм	5	10	16	18	20	25	35	40	42
q	12	23	37	40	43	46	50	62	64
Угол наклона грохота, α°	9	11	13	14	15	17	18	20	22
k_1	0,45	0,61	0,73	0,80	0,86	0,92	1,00	1,18	1,37
Содержание нижнего класса в исходном материале, %	10	20	30	40	50	60	70	80	90
k_2	0,58	0,66	0,76	0,84	0,92	1,00	1,08	1,17	1,25
Содержание в нижнем классе зерен с размером меньше половины отверстия сита, %	10	20	30	40	50	60	70	80	90
k_3	0,63	0,72	0,82	0,91	1,00	1,09	1,18	1,28	1,37

Таблица 2

Значения коэффициентов k'_1, k'_2, k'_3

Угол наклона грохота, α°	0	9	12	15	18	21	24
k'_1	1,00	1,07	1,05	1,03	1,00	0,96	0,88
Содержание нижнего класса в исходном материале, %	20	30	40	50	60	70	80
k'_2	0,86	0,90	0,95	0,97	1,00	1,02	1,03
Содержание в нижнем классе зерен с размером меньше половины отверстия сита, %	20	30	40	50	60	70	80
k'_3	0,90	0,95	0,98	1,00	1,01	1,03	1,04

Таблица 3

Исходные и расчетные параметры

Наименование	Размерность	Обозначение	Грохот с 1-м ситом	Грохот с 2-мя ситами
Заданные параметры				
Размер стороны квадратного отверстия сита	мм	d_p	20	80
Масса сита	кг	m_c	130,88	108,2
Размеры отверстий сит	мм	$b \times b \times a$	20x20x5	80x80x10
Содержание зерен нижнего класса в исходном материале	%	–	80	60
Содержание в нижнем класса зерен размером меньше половины размера отверстий	%	–	30	40
Амплитуда колебаний грохота	м	A	0,005	
Частота колебаний грохота	Гц	f	14,7	
Производительность массовая	кг/ч	G	50 000	
Производительность объемная	м ³ /ч	Q	36,765	
Ширина сита	м	B	1,75	
Длина сита	м	L	4,375	
Масса грохота	кг	m	3 500	
Насыпная плотность извести	кг/м ³	ρ	1 360	
Масса извести	кг	M	200 000	
Скорость просеивания через сито (по регламенту)	м/ч	$U_{пр}$	90	
Расстояние от оси вала до центра неуравновешенной массы дебаланса	м	r_d	0,1	
Расчетные параметры				
Коэффициент динамичности	–	K_d	4,47	
Оптимальное время грохочения	ч	t_{opt}	4,58	
Масса дебаланса	кг	M_d	191	
Скорость колебаний сит	м/с	V_0	0,46	

Поскольку угол наклона влияет на пропускную способность грохота, то чем больше угол наклона, тем выше производительность грохота как транспортирующего аппарата, но ниже

эффективность грохочения [5].

На практике угол наклона для инерционных наклонных грохотов принимают в пределах от 15° до 26°. Наиболее оптимальный угол накло-

на, обеспечивающий необходимую производительность и эффективность процесса, как правило, устанавливаются экспериментальным путем.

В результате проведенных расчетов по заданным исходным данным (табл. 3) получена зависимость оптимального угла наклона грохота и площади грохочения от производительности (рис. 2). С ростом производительности оптимальный угол наклона в пределе стремится к 18° .

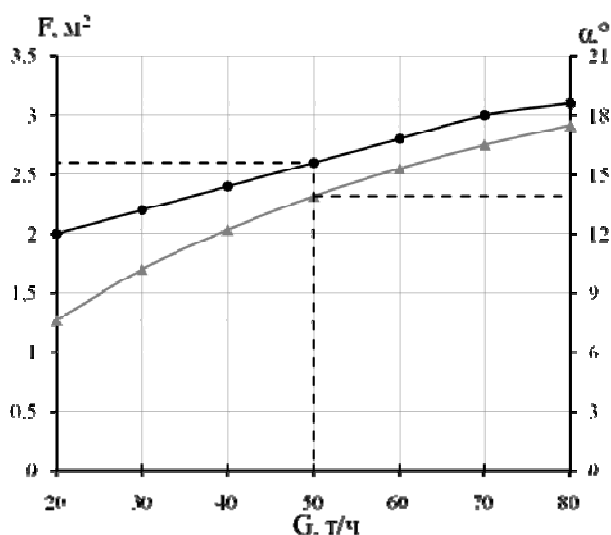


Рис. 2. Зависимость оптимального угла наклона грохота и площади грохочения от производительности

При помощи разработанной программы получены графические зависимости, характеризующие взаимосвязь угла наклона грохота, производительности и эффективности грохочения (рис. 3, 4).

В ходе анализа расчета инерционного наклонного грохота стало ясно, что при одном

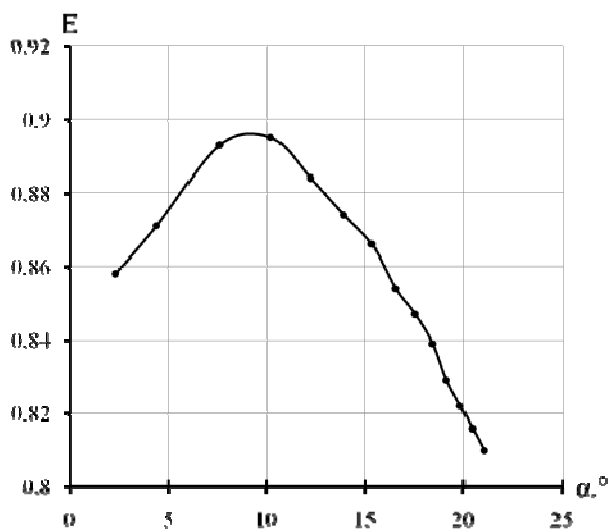


Рис. 3. Зависимость эффективности грохочения от оптимального угла наклона грохота

и том же фракционном составе исходного материала при увеличении угла наклона грохота эффективность грохочения возрастает, а затем снижается (рис. 3).

При увеличении производительности до определенного момента наблюдается рост эффективности процесса, а далее происходит резкое падение эффективности грохочения (рис. 4).

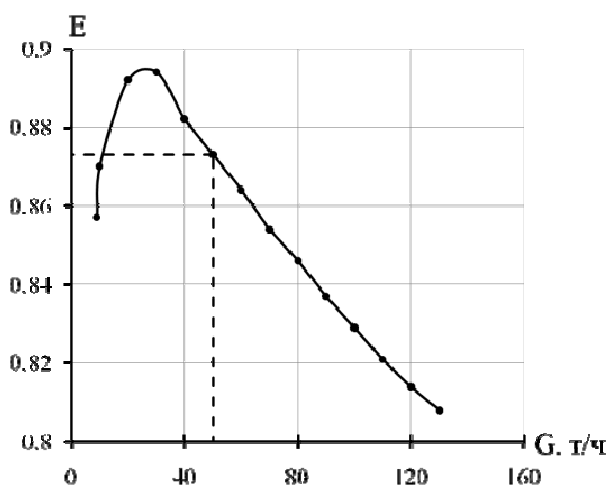


Рис. 4. Зависимость эффективности грохочения от производительности

Анализ графических зависимостей показывает, что, например, для заданной производительности грохота, составляющей 50 т/ч можно определить, что оптимальный угол наклона грохота α равен 14° , а эффективность грохочения составляет 0,87 (87 %).

Таким образом, на основании проведенных теоретических исследований показано, что для исследуемого промышленного инерционного грохота максимальная эффективность достигается при угле наклона грохота α в интервале от 8° до 12° и производительности в диапазоне 20÷30 т/ч.

Полученные результаты моделирования могут быть использованы при выборе рациональных конструктивных и режимных параметров промышленных инерционных грохотов для повышения эффективности разделения сыпучих материалов и проектировании вновь разрабатываемого оборудования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сергеев, В. П. Строительные машины и оборудование: учебник для вузов по специальности «Строительные машины и оборудование» / В. П. Сергеев. – М.: Высшая школа, 1987. – 376 с.
2. Кусков, В. Б. Учебное пособие. Обогащение и переработка полезных ископаемых / В. Б. Кусков, М. В. Никитин. – СПб.: Санкт-Петербургский горный институт. – 2002. – 84 с.

3. Вайсберг, Л. А. Проектирование и расчет вибрационных грохотов / Л. А. Вайсберг. – Недра, М., 1986. – 144 с.

4. Гусев, Ю. И. Конструирование и расчет машин химических производств: учебник для машиностроительных вузов по специальности «Химическое машиностроение и аппаратостроение» / Ю. И. Гусев, И. Н. Карасов,

Э. Э. Кольман-Иванов, Ю. И. Макаров, М. П. Макевнин, Н. И. Расказов. – М.: Машиностроение, 1985. – 408 с.

5. Волков, Е. Б. Определение угла наклона рабочей поверхности вибрационного грохота / Е. Б. Волков, С. А. Ляпцев, В. Я. Потапов // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 3. – С. 36–39.

УДК 66.047

А. Б. Голованчиков, А. А. Шурак, Н. А. Меренцов, Н. В. Харланов

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ СУШИЛКИ КИПЯЩЕГО СЛОЯ

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: pahp@vstu.ru

Разработана конструкция сушилки кипящего слоя для сушки сыпучих материалов с использованием резонансных колебаний. Для данной конструкции приводится расчет упругости пружин и собственная частота колебаний физического пружинного маятника.

Ключевые слова: сушилка кипящего слоя, резонансные колебания, упругость пружины, частота колебаний, резонанс.

A. B. Golovanchikov, A. A. Shurak, N. A. Merentsov, N. V. Harlanov

IMPROVING THE DESIGN OF THE BOILING LAYER DRYER

Volgograd State Technical University

The design of a fluidized bed dryer for drying bulk materials using resonant vibrations has been developed. For this design, the calculation of the elasticity of the springs and the natural vibration frequency of the physical spring pendulum are given.

Keywords: fluidized bed dryer, resonant vibrations, spring elasticity, vibration frequency, resonance.

Сушилки кипящего слоя очень широко распространены в промышленности и предназначены для проведения массообменных процессов между твердыми частицами и газовой средой [1].

Основной областью применения сушилок кипящего слоя является: химическая, нефтехимическая, фармацевтическая и пищевая промышленность [2].

Предлагается конструкция сушилки пульсирующего слоя (рис. 1), включающая газораспределительную решетку, устройства для подвода сыпучего тела и выгрузки готового продукта, корпус, установленный на виброопоры, выполненные в виде конических пружин переменной жесткости с постоянным шагом, причем сушильный агент подается с помощью пульсатора, частота колебаний которого определяется выражением:

$$v = \sqrt{\frac{k \cdot n}{M}} / 2\pi, \quad (1)$$

где v – частота колебаний пульсатора, Гц; k – минимальная жесткость пружины, Н/м; M – воздействующая на пружины масса корпуса, кг; n – число конических пружин.

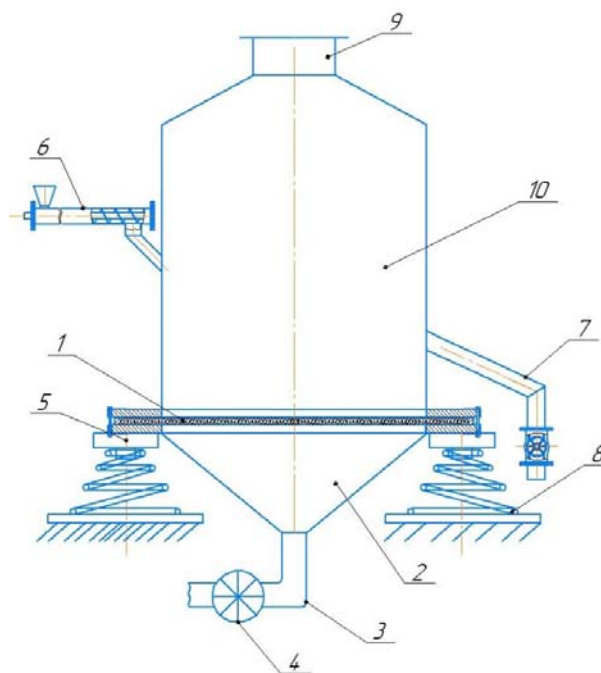


Рис. 1. Сушилка пульсирующего слоя:

- 1 – корпус; 2 – дутьевая камера; 3 – газоподводящий патрубок;
4 – пульсатор; 5 – виброопоры; 6 – питатель; 7 – патрубок;
8 – пружины переменной жесткости; 9 – отводящий патрубок;
10 – газораспределительная решетка

В соответствии с выражением (1) максимальная жесткость пружины определяется следующей пропорцией:

$$\frac{K}{k} = \frac{m + M}{M}, \quad (2)$$

где K и k – соответственно наибольшая и наименьшая жесткость конической пружины, Н/м; M и m – соответственно масса корпуса без высушиваемого материала и масса высушиваемого материала, кг.

Тогда собственная частота колебаний аппарата вместе с высушиваемым материалом, как физического маятника, определяется согласно выражению (1), как:

$$\nu_1 = \sqrt{\frac{K \cdot n}{m + M}} / 2\pi. \quad (3)$$

При выполнении пропорции (2):

$$\nu_1 = \nu. \quad (4)$$

Из выражения (4) следует, что при любой массе высушиваемого материала в аппарате его собственная частота колебаний, как пружинного маятника, равна частоте колебаний пустого аппарата и вынужденной частоте колебаний пульсатора, что приводит к колебаниям всего аппарата в резонансном режиме и интенсифицирует процесс тепло- и массопередачи между высушиваемым материалом и сушильным агентом, а следовательно, приводит к увеличению производительности.

Предположим, что масса корпуса $M = 200$ кг, а масса высушиваемого материала $m = 50$ кг. Общая наибольшая масса аппарата с высушиваемым материалом:

$$M + m = 250 \text{ кг},$$

число пружин δ , на которых установлен аппарат, равно $n = 4$.

Минимальное значение жесткости каждой из четырех пружин δ принимаем $k = 4 \cdot 10^6$ Н/м. Тогда максимальное значение жесткости каждой из 4 пружин δ , согласно пропорции (2), определяется как:

$$K = k \cdot \frac{m + M}{m} = 4 \cdot 10^6 \cdot \frac{250}{200} = 5 \cdot 10^6 \text{ Н/м}.$$

В этом случае необходимая частота вынужденных колебаний пульсатора 4, согласно выражению (1), должна быть равной:

$$\nu = \sqrt{\frac{4 \cdot 10^6 \cdot 4}{200}} / 2\pi = 45 \text{ Гц},$$

то есть пульсатор 4 на пружинах δ с переменной жесткостью от

$$k = 4 \cdot 10^6 \text{ Н/м} \quad \text{до} \quad K = 5 \cdot 10^6 \text{ Н/м}$$

должен совершать колебания с частотой $\nu = 45 \text{ Гц}$.

Из всего вышесказанного следует, что предлагаемая конструкция сушильного аппарата, в котором вынужденные колебания, создаваемые пульсатором 4, обеспечивают резонансный режим колебаний корпуса аппарата 1, установленного на виброопорах 5 с пружинами переменной жесткости δ , интенсифицирует процесс тепло- и массообмена между высушиваемым материалом и сушильным агентом, что в свою очередь повышает производительность [3].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Расчет аппаратов кипящего слоя: справочник / под ред. И. П. Мухленова, Б. С. Сажина, В. Ф. Фролова. – Л.: Химия, 1986. – 352 с.
2. Муштаев, В. И. Сушка дисперсных материалов / В. И. Муштаев, В. М. Ульянов. – М.: Химия, 1988. – 352 с.
3. П. м. 198582 Российская Федерация, МПК F26B17/10. Сушилка пульсирующего слоя / Голованчиков А. Б., Шурак А. А. и др.; ВолГТУ. – 2020.

УДК 629.33

Е. В. Балакина, И. В. Сергиенко, Д. С. Сарбаев

**ВЛИЯНИЕ ВИДА РАДИУСА
НА ФОРМУ φ_x - s_x -ДИАГРАММ ЗАТОРМАЗИВАЕМОГО КОЛЕСА***

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: fahrgestell2011@yandex.ru

При расчете зависимости коэффициента сцепления автомобильной шины с опорной поверхностью от коэффициентов продольного скольжения колеса разные исследователи используют разные виды радиусов колеса: свободный, статический, динамический и качения. Авторы провели анализ их влияния на величины расчетных φ_x - s_x -диаграмм. Получены приближенные теоретические зависимости для расчета относительного радиуса качения колеса.

Ключевые слова: шина, коэффициент сцепления, коэффициент продольного скольжения колеса, виды радиуса колеса, расчет относительного радиуса качения.

E. V. Balakina, I. V. Sergienko, D. S. Sarbaev

**INFLUENCE OF THE RADIUS TYPE
ON THE SHAPE φ_x - s_x -DIAGRAMS OF THE BRAKED WHEEL**

Volgograd State Technical University

When calculating the dependence of the tire friction coefficient to supporting surface on the coefficients of longitudinal sliding of a wheel, different researchers use different types of wheel radii: free, static, dynamic and rolling. The authors analyzed their influence on the values of the calculated φ_x - s_x -diagrams. Approximate theoretical dependences are obtained for calculating the relative rolling radius of the wheel.

Keywords: tire, friction coefficient, coefficient of longitudinal sliding of a wheel, types of wheel radius, calculation of the relative rolling radius.

Существуют разные виды радиуса эластичного колеса: свободный R_0 , качения R_r , статический R_{st} , динамический R_d [1–15].

Радиусы эластичного колеса (шины) могут иметь разные величины. При этом всегда $R_{st} < R_0$; $R_d \leq R_0$.

В зависимости от радиальной деформации шины,

$$R_d < > R_{st} \wedge R_d = R_{st}.$$

Радиус качения

$$R_r \leq R_0; R_r > R_{st}; R_r \geq R_d.$$

Необходимость применения того или иного вида радиуса колеса диктуется видом решаемой задачи [2, 3, 7, 9, 11].

Цель данного исследования – установление влияния влияния вида радиуса на форму φ_x - s_x -диаграмм затормаживаемого колеса.

φ_x - s_x -диаграммой называют зависимость коэффициента сцепления φ_x автомобильной шины с опорной поверхностью от коэффициента продольного скольжения колеса (КПСК) s_x . Вид и численные характеристики этих зависимостей оказывают существенное влияние на расчетные оценочные параметры устойчивости, управляемости и тормозной динамики автомобиля.

В соответствии с ГОСТ 17697-72 «Автомобили. Качение колеса. Термины и определения», КПСК – это отношение скорости продольного скольжения колеса к произведению его угловой скорости на радиус качения колеса без скольжения:

$$s_x = \frac{V_s}{\omega \cdot R_r}, \quad (1)$$

где V_s – скорость продольного скольжения колеса ($V_s \approx V_x - \omega \cdot R_r$); ω – угловая скорость

колеса; R_r – радиус качения колеса; V_x – продольная составляющая поступательной скорости оси колеса.

Диапазон изменения $s_x = 0-100\%$. В знаменателе формулы (1) в практических расчетах КПСК в режиме торможения ставят V_x для исключения деления на ноль при блокировании колеса.

Многие авторы рассчитывают величину s_x по указанной зависимости (1), т. е. через радиус качения, например [2, 4, 9–11, 13–15 и др.]. Некоторые же авторы, ввиду отсутствия данных по радиусу качения, заменяют его другими величинами: свободным радиусом [5 и др.], динамическим радиусом [6 и др.]. Поэтому в данной статье авторы провели анализ влияния вида используемого радиуса при расчете КПСК на форму получаемых φ_x-s_x -диаграмм.

Радиус качения шины

$$R_r \approx R_{r0} \approx \frac{L_t}{2\pi}, \quad [10]$$

где L_t – путь, пройденный шиной за один оборот; R_{r0} – радиус качения в свободном режиме.

$$R_d = R_0 - z.$$

Введем понятие относительной радиальной деформации шины и обозначим ее через n :

$$n = \frac{z}{R_0},$$

тогда

$$R_d = R_0(1 - n),$$

$$L_t = 2\pi R_0 - \cup 123 + l_c.$$

Из формулы Хедэкеля:

$$l_c \approx 2\sqrt{z(2R_0 - z)} = 2R_0\sqrt{n(2 - n)};$$

$$\cup 123 \approx 2R_0 \cdot \alpha = 2R_0 \left(\arcsin \left(\frac{l_c}{2R_0} \right) \right).$$

После преобразований получено приближенное выражение для расчета радиуса качения колеса:

$$R_r \approx R_0 \left[\left(1 - \frac{\arcsin(\sqrt{n(2-n)})}{\pi} \right) + \frac{\sqrt{n(2-n)}}{\pi} \right],$$

где n – относительная радиальная деформация шины ($n = \frac{z}{R_0}$).

В этом выражении при $n = 0$ (нет радиальной деформации шины) $R_r = R_0$. При $n = \text{const}$ $R_r = \text{const}$.

Так как

$$R_d = R_0 - z = R_0 - n \cdot R_0 = R_0(1 - n),$$

$$\text{то } \frac{R_r}{R_d} \approx \frac{1 - \frac{\arcsin(\sqrt{n(2-n)})}{\pi} + \frac{\sqrt{n(2-n)}}{\pi}}{1 - n}.$$

У этого уравнения нет решения в явном виде. Поэтому было принято решение строить графическую зависимость $\frac{R_r}{R_d} = f(n)$ с последующей ее аппроксимацией.

На рис. 1 показаны расчетные относительные радиусы: динамический и качения при разных относительных деформациях шины n , а на рис. 2 – их отношение.

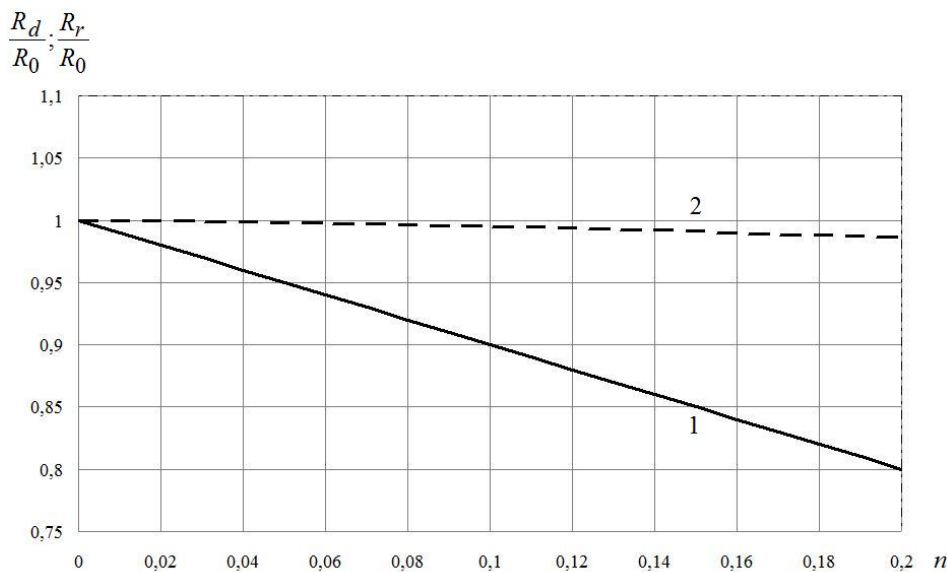


Рис. 1. Расчетные относительные радиусы:
1 – динамический; 2 – качения

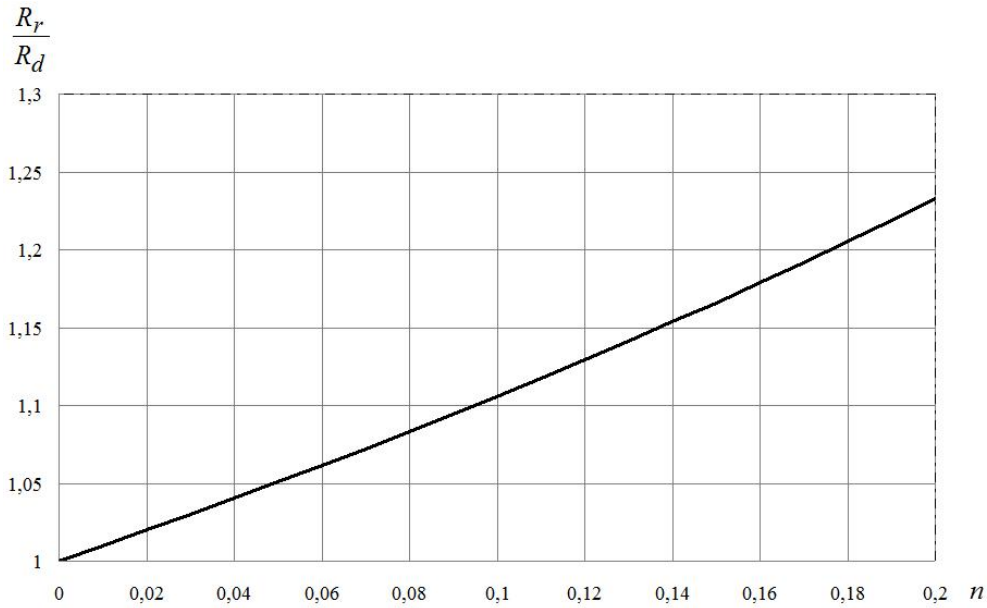


Рис. 2. Отношение радиуса качения к динамическому

Из этих графических зависимостей получены соотношения:

$$\frac{R_r}{R_0} \approx 1 - 0,075 \cdot n; \quad \frac{R_d}{R_0} = 1 - n; \quad \frac{R_r}{R_d} \approx \frac{1 - 0,075n}{1 - n}$$

Из рис. 1 видно, что при рабочих деформациях шины радиус качения уменьшается не более чем на 2 %.

Из рис. 2 видно, что при рабочих деформациях шины радиус качения больше динамического на 0...23 %.

Был проведен расчетный анализ влияния вида используемого радиуса при расчете КПСК на форму получаемых φ_x - s_x -диаграмм, результаты которого приведены на рис. 3 и 4.

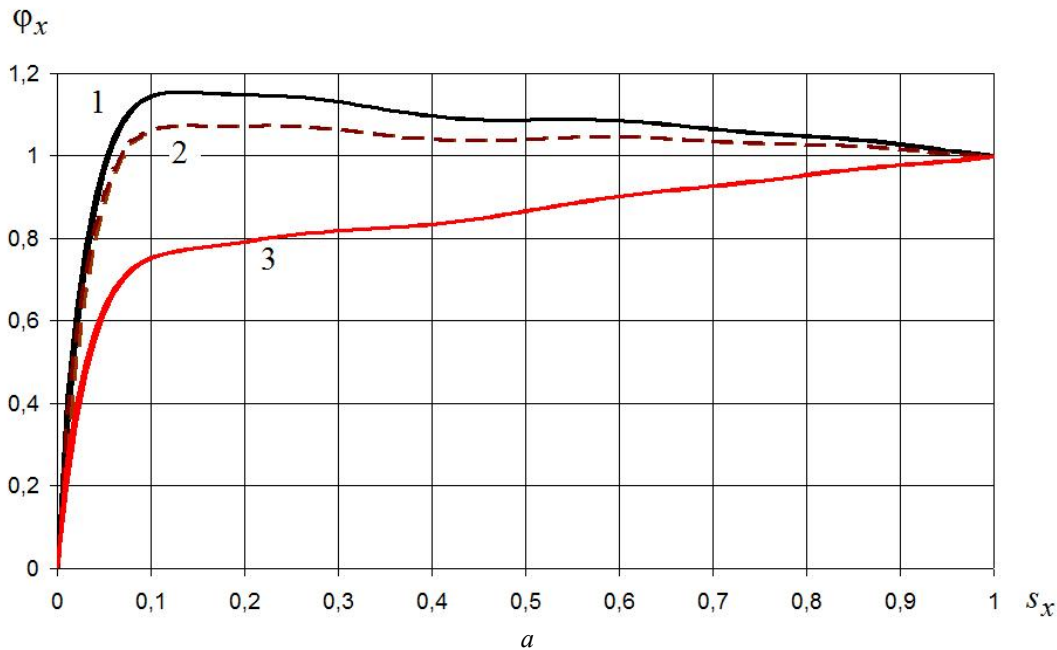


Рис. 3. Расчетные φ_x - s_x -диаграммы при разных величинах боковой силы, появившейся до начала торможения, полученные при расчете величины s_x (см. также на с. 28):
 a – по свободному радиусу и радиусу качения; b – по динамическому радиусу;

$$1 - \frac{P_y}{P_z} = 0; \quad 2 - \frac{P_y}{P_z} = 0,5; \quad 3 - \frac{P_y}{P_z} = 1$$

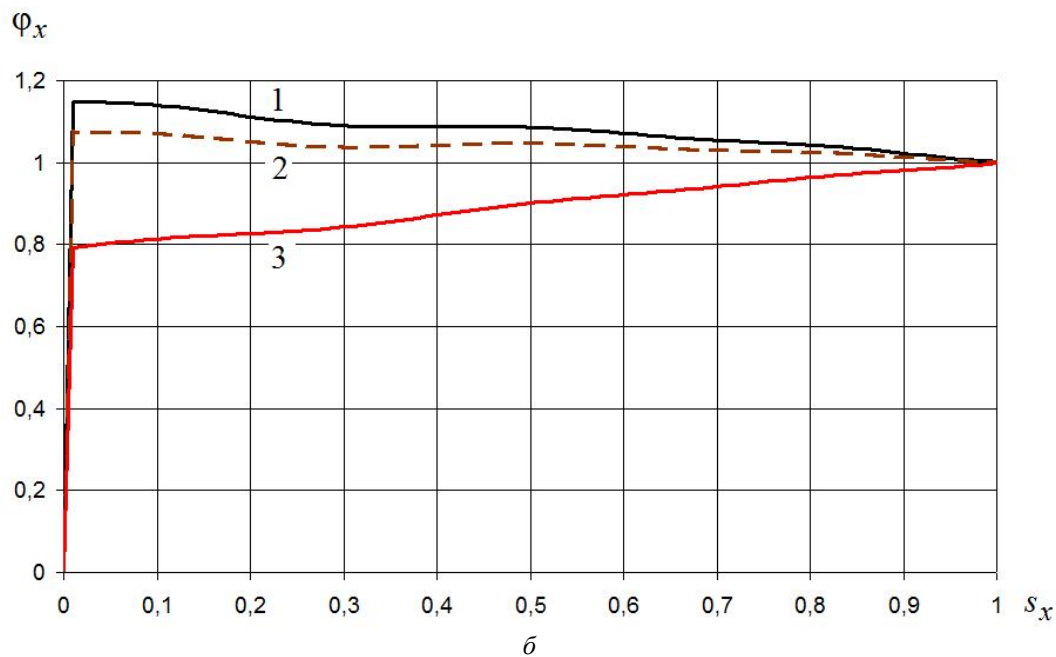


Рис. 3. Окончание

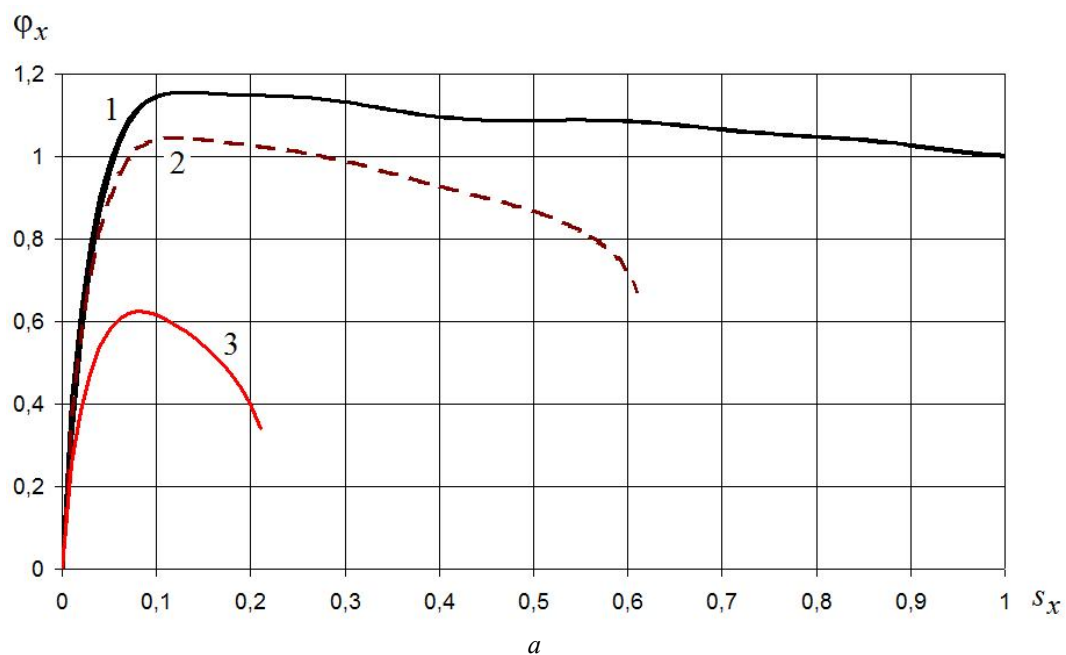


Рис. 4. Расчетные φ_x - s_x -диаграммы при разных величинах боковой силы, появившейся после начала торможения, полученные при расчете s_x (см. также на с. 29):
 а – по свободному радиусу и радиусу качения; б – по динамическому радиусу;

$$1 - \frac{P_y}{P_z} = 0; 2 - \frac{P_y}{P_z} = 0,5; 3 - \frac{P_y}{P_z} = 1$$

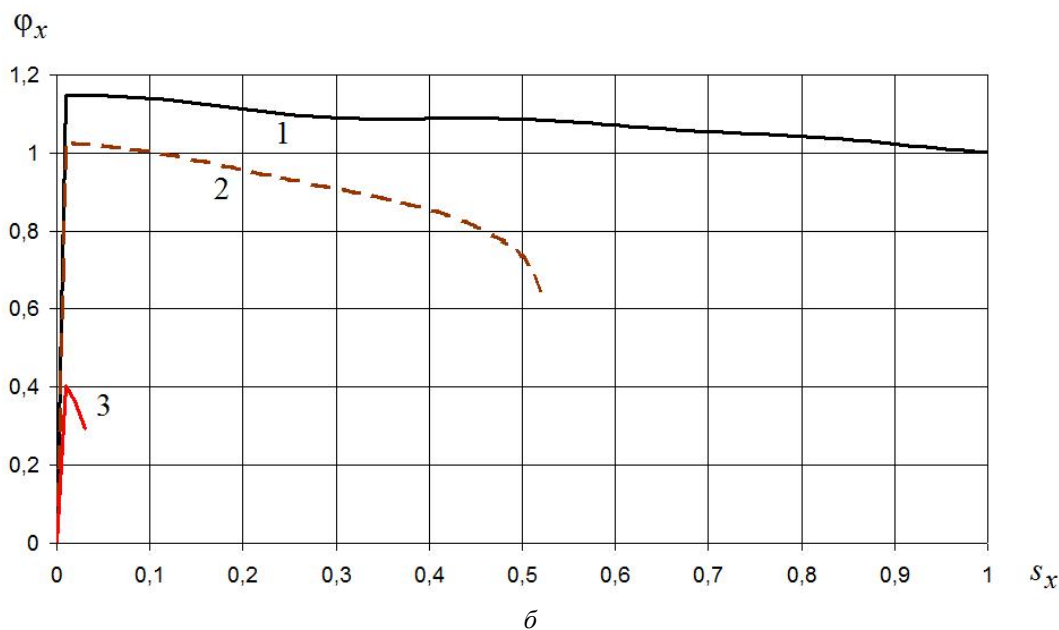


Рис. 4. Окончание

На основании проведенного анализа сделан вывод о целесообразности использования при расчетах КПСК s_x радиуса качения шины (но не динамического!). При расчетах φ_x - s_x -диаграмм вместо значения радиуса качения можно применять близкое к нему значение свободного радиуса. Конечно, с точки зрения механики, грамотнее было бы использовать радиус качения. Поскольку он отличается от свободного радиуса, даже при максимально допустимых деформациях шины, не более чем на 2 %, и это расхождение не оказывает видимого влияния на расчетные φ_x - s_x -диаграммы при разных величинах боковой силы, появившейся до или после начала торможения колеса, то нет необходимости усложнять задачу расчетом радиуса качения в каждый момент движения, поскольку это увеличивает время счета, а использование свободного радиуса дает тот же результат. А приближенно рассчитать радиус качения с достаточной для практических расчетов точностью можно по приведенной выше зависимости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Балабин, И. В. Автомобильные и тракторные колеса и шины / И. В. Балабин, В. А. Путин, И. С. Чабунин. – МГТУ «МАМИ», 2012. – 920 с.
2. Балакина, Е. В. Применение разных радиусов колеса в задачах моделирования свойств активной безопасности автомобилей / Е. В. Балакина, И. В. Сергиенко // Автомобильная промышленность. – 2019. – № 5. – С. 16–19.
3. Балакина, Е. В. Расчет геометрического положения и размеров зон трения покоя и скольжения в пятне контакта эластичного колеса с твердой опорной поверхно-

стью / Е. В. Балакина // Трение и износ. – 2017. – Т. 38, № 2 – С. 136–143.

4. Бойко, А. В. Пространственная математическая модель процесса торможения автомобиля на полноопорном роликовом стенде / А. В. Бойко, А. И. Федотов // Автомобильная промышленность. – 2016. – № 3. – С. 8–15.

5. Задворнов, В. Н. Прогнозирование износа протектора по жесткостным характеристикам шин / В. Н. Задворнов, Е. В. Балакина, Н. А. Мищенко // Трение и износ. – 2020. – Т. 41, № 4. – С. 485–490.

6. Кравец, В. Н. Теория автомобиля: учебник для вузов / В. Н. Кравец, В. В. Селифонов. – М.: ООО «Гринлайт+», 2011. – 884 с.

7. Пожидаев, С. П. О теории качения эластичного колеса с позиций механики / С. П. Пожидаев // Автомобильная промышленность. – 2014. – № 11. – С. 16–17.

8. Рыжих, Л. А. Определение продольной реализуемой силы сцепления автомобильного колеса с опорной поверхностью по крутильной деформации шины и ее жесткости / Л. А. Рыжих, Д. Н. Леонтьев, А. В. Бакадоров // Автомобильная промышленность. – 2019. – № 5. – С. 16–19.

9. Тарасик, В. П. Теория движения автомобиля: учебник для вузов / В. П. Тарасик. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 478 с.

10. Федотов, А. И. Динамический метод диагностики пневматического тормозного привода автомобилей: монография. – Иркутск: Изд-во ИрННТУ, 2015. – 514 с.

11. Balakina, E. V. Advantages of Using Wheel Rolling Radius for Calculating Friction Characteristics in Wheel-to-Road Contact Patch / E. V. Balakina, E. Y. Lipatov, D. S. Sarbaev // Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019) (March 25–29, 2019). Vol. I / ed. by A. A. Radionov [et al.]; South Ural State University (National Research University), Moscow Polytechnic University, Platov South-Russian State Polytechnic University, Volgograd State Technical University. – Cham (Switzerland): Springer Nature Switzerland AG, [2020]. – (Book ser.: Lecture Notes in Mechanical Engineering – LNME).

12. Balakina, E. V. Analysis of various types of elastic wheel radii and establishing necessity and sufficiency of their

application for various problem solving / E.V. Balakina, I.V. Sergienko, R.R. Sanzhapov // Proceedings of the 6th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2020) (18-22 May, 2020) / ed. by A. A. Radionov [et al.] ; Moscow Polytechnic University [et al.]. – Cham (Switzerland) : Springer Nature Switzerland AG, [2020]. – (Book ser.: Lecture Notes in Mechanical Engineering : LNME).

13. Pacejka H.B. Tire and Vehicle Dynamics. Published

by Elsevier Ltd, USA, 2012. 672 p.

14. Reza N. Jazar Vehicle Dynamics: Theory and Application. Springer Science + Business Media, LLC, 2008, 1015 p.

15. Viehweger, M., Vasseur, C., van Aalst, S., Acosta, M., Regolin, E., Alatorre, A., Ivanov, V., Victorino, A. (2020). Vehicle state and tyre force estimation: demonstrations and guidelines. Vehicle System Dynamics, 1–28. doi:10.1080/00423114.2020.1714672

УДК 656.025.2

Ю. Я. Комаров, С. В. Ганзин, О. И. Мелашенко

РАЗВИТИЕ ОБЩЕСТВЕННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА В ВОЛГОГРАДЕ НА ОСНОВЕ ОПТИМИЗАЦИИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: ganzin_fat@mail.ru

В статье представлены результаты исследования работы городского пассажирского транспорта на некоторых маршрутах г. Волгограда и на их основе обоснована необходимость изменения транспортной системы города. Рассмотрены принципы и способы совершенствования сети электрического транспорта, основанные на современных технологиях энергопотребления.

Ключевые слова: городской общественный транспорт, электротранспорт, автобусные перевозки.

Y. Y. Komarov, S. V. Ganzin, O. I. Melashchenko

DEVELOPMENT OF PUBLIC ELECTRIC TRANSPORT IN VOLGOGRAD ON THE BASIS OF ENERGY EFFICIENCY

Volgograd State Technical University

The article presents the results of a study of the work of urban passenger transport on some routes in Volgograd and on their basis justified the need to change the city's transport system. Principles and ways to improve the electric transport network based on modern energy technologies are considered.

Keywords: municipal public transport, electric transport, bus transportations.

Введение

Историческое развитие общественного транспорта в г. Волгограде во многом связано с электротранспортом. В 1913 году впервые в уездном городе России в Царицыне была пущена первая линия трамвая. В дальнейшем общественный транспорт развивался за счет расширения маршрутной сети трамваев и использования железнодорожных путей для перевозки населения. В послевоенное время в систему общественного транспорта активно вошли троллейбусные линии, а также электропоезда, установившие надежную и быструю связь между центром города и южными районами, г. Волжским. Настоящий прорыв в транспортной системе произошел с пуском 5 ноября 1984 года первой линии скоростного трамвая. Вторую очередь протяженностью 3,8 км приняли в 2011 году. В 80-х годах XX века г. Волгоград имел одну из лучших в стране систему общественного транспорта, основанного на электротранспорте

(скоростной трамвай, трамвай, троллейбусы, электропоезда).

1. Современное состояние городского общественного транспорта

Проблемы развития транспортных систем городов наиболее остро встали в России в конце 1990-х и первое десятилетие нового века, когда советские плановые основы переставали действовать, а новые рыночные принципы носили характер стихийности и практического отсутствия государственного регулирования. При отсутствии финансирования обновления парка муниципалитеты больших городов значительную часть перевозок пассажиров отдали на откуп частным предприятиям, эксплуатирующим автобусы малой вместимости. Протяженность маршрутов троллейбусов сократилась, при этом в связи со старением парка одно депо было даже закрыто и стало кладбищем подвижного состава. Апогеем упадка электротранспорта стало

закрытие трамвайного маршрута № 1, вызвавшего многочисленные жалобы жителей.

Для частных предприятий выручка является основной целью, что привело к снижению качества перевозок (безопасность, регулярность, комфорт). В последнее десятилетие ситуация начала меняться – началось обновление парка, появился федеральный закон о регулярных пассажирских перевозках, однако в отличие Москвы, Казани, в большинстве городов эти изменения носили несистемный характер и к качественным переменам не привело!

Таким типичным российским городом является Волгоград, в котором в начале века на линии выходило около пяти тысяч автобусов малой вместимости [1], а сейчас половину из них заменили автобусы большой вместимости, появился «Городской центр управления пассажирскими перевозками» (ГЦУПП), но кардинального, качественного изменения в сфере пассажирских перевозок не произошло [2].

На основе проведенных ранее исследований [3–5] необходимость приоритетного развития именно общественного транспорта стоит наиболее остро, так как увеличение интенсивности движения транспортного потока и загрузки УДС снижает скорость движения транспортного потока.

Анализ развития общественного транспорта в разных странах [6] показал, что ключевым элементом применяемых методов обеспечения приоритетного движения общественного транспорта является взаимодействие различных видов сообщения. Такая политика связана с использованием разнообразных мер [7], однако с помощью решений, исходящих из краткосрочных индивидуальных или групповых интересов, развитие только автобусных перевозок, как это делается в г. Волгограде, невозможно создать привлекательную, удобную и рациональную транспортную систему города. Благодаря попаданию г. Волгограда в некоторые федеральные проекты появилась возможность развивать сеть электротранспорта. Поэтому необходима разработка долгосрочных программ с участием не только администрации и иногородних компаний, не всегда учитывающих местные общественные интересы, а более широкого круга специалистов.

2. Исследование работы общественного транспорта в г. Волгограде

Для определения путей развития транспортной системы и разработки мероприятий по совершенствованию мобильности населения

в 2019 году было проведено исследование качества работы общественного транспорта по пяти критериям и сравнение с результатами, полученными в 2017 году.

Критерии оценки качества работы общественного транспорта [8]:

- 1) интервал движения автобусов на маршруте;
- 2) интервал отправления от конечного остановочного пункта;
- 3) средняя скорость сообщения;
- 4) количество автобусов на маршруте;
- 5) интервалы движения на промежуточных остановочных пунктах при дублировании маршрутов.

Исследование интервалов движения автобусов на маршруте показал, что практически на каждом маршруте возникают ситуации, когда между ближайшими автобусами интервал движения составляет 1–2 минуты либо 15–20 и даже 30 минут [5]. Подобная ситуация складывается и на троллейбусных маршрутах. Это доказывают отсутствие эффективного оперативного управления подвижным составом.

Исследование интервалов отправления проводилось от конечных остановочных пунктов «Волгоградский оптово-строительный рынок», «Больничный комплекс», «Трамвайное кольцо» в три временных интервала: 7:00-9:00, 13:00-15:00, 17:00-19:00. Было выявлено, что автобусы в основном не соблюдают расписание движения [5]. Так, интервал отправления по контракту для автобусов маршрута № 35 составляет 6 минут, при этом разброс значений составил от 2 до 22 минут. Для автобусов маршрута № 65 интервал отправления по контракту установлен в 10 минут, фактически же автобусы отправлялись от 2 до 17 минут, при этом разброс значений и в 2017, и в 2019 годах кардинально не изменился.

Особый интерес вызывают исследования интервалов движения на дублирующих маршрутах, где пересекаются интересы разных перевозчиков. Такими маршрутами являются № 20 и № 25 (перевозчик «Волгоградский автобусный парк» (ВАП), работающий в городе с 2016 года), а также № 21э (перевозчик МУП «ПАТП № 7»), у которых 12 км маршрута совпадают. Были исследованы интервалы движения на промежуточном остановочном пункте «Мамаев Курган», где проходят эти три маршрута. На рис.1 представлены интервалы прибытия автобусов трех маршрутов: 20, 21э и 25 – на промежуточный остановочный пункт «Мамаев Курган» при движении из центра города.

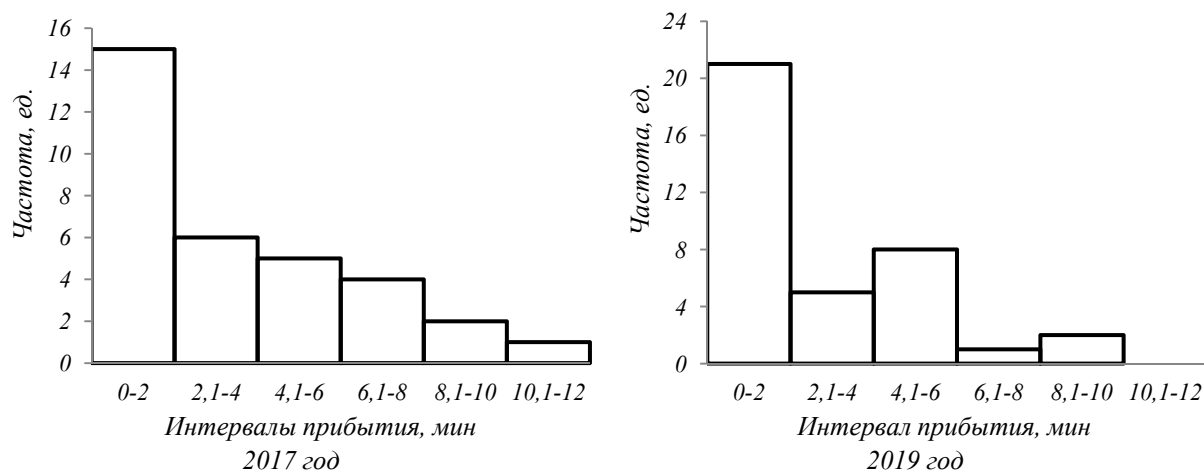


Рис. 1. Интервалы прибытия автобусов на промежуточный остановочный пункт «Мамаев Курган» с 17:00 до 19:00

Построенные графики имеют большие отклонения от средних значений как в меньшую сторону (т. е. автобусы следуют друг за другом, зачастую обгоняя друг друга и пытаясь собрать выручку), так и в большую сторону, что может происходить при отсутствии диспетчерского управления при высокой степени дублирования маршрутов. Данное исследование подтверждает и наличие конкурентной борьбы между перевозчиками, которая при организации пассажирских перевозок должна допускаться только на этапе заключения контракта и отсутствовать при выполнении перевозок.

Наглядным примером жесткой конкуренции на маршруте является работа автобусного маршрута № 95 (ВАП), который практически полностью дублирует маршрут троллейбуса № 12 и частично № 9. В результате выручка электротранспорта резко снизилась, что дало повод говорить о закрытии или сокращении троллейбусных маршрутов на основании якобы некомфортности поездки (отсутствуют кондиционеры и эффективные отопители) в старом подвижном составе. Однако летом 2020 года практически во всех автобусах в условиях жаркого лета из-за неисправности или экономии топлива кондиционеры не включались, что снимает тезис о некомфортности поездок. При этом водители автобусов для обеспечения высокой средней скорости движения, в отличие от водителей электротранспорта, допускают более резкое торможение или разгон, а также обгоны друг друга. Все это указывает на несовершенство существующей системы общественного транспорта.

3. Пути развития общественного транспорта в г. Волгограде

В последние несколько лет по всему миру начали активно внедрять принципы транзитно-ориентированного развития (ТОР) [9]. Благодаря особенностям нашего города (его ленточной структуре), при которой практически 80 % населения города проживает в пешей доступности (согласно нормативам 500 м [10]) от предполагаемых скоростных транспортных коридоров, возможно применение, согласно мультимасштабной стратегии ТОР [9] только первого (глобального) и третьего (локального) уровней. Первый уровень (рис. 2) – это скоростные транспортные коридоры, которые пролегают по основным магистралям (охватывают 1-ую и 2-ую Продольные магистрали на всем протяжении, а также маршрут от аэропорта через пос. Гумрак до центра города). В качестве третьего уровня – подвозящие маршруты, которые обслуживают прилегающие к магистралям районы. При этом для каждого уровня предусматривается использование различных видов транспорта: для первого – скоростной трамвай, электропоезда, автобусы большой вместимости; для третьего – автобусы малой и средней вместимости, велосипеды. Возможно еще использование второго (районного) уровня в Дзержинском районе с использованием трамваев и троллейбусов, так как он имеет компактную схему улично-дорожной сети (УДС) и располагается обособленно, в отличие от расположенных вдоль Волги остальных районов.

Системообразующим мероприятием, обеспечивающим качественное изменение ситуа-

ции, является развитие скоростных и новых видов транспорта, что позволит снизить конку-

ренцию маршрутов за счет уменьшения дублирования и изменения тарифной политики [4, 5].



Рис. 2. Скоростные транспортные коридоры

Если развитие скоростного трамвая не вызывает сомнений, то развитие трамвайной и троллейбусной сетей ставится часто под сомнение. Хотя мировой опыт говорит о приоритетном развитии внеуличного транспорта (трамвай), не зависящего от загрузки УДС, в частности, в г. Париже в 1937 году убрали все трамвайные маршруты в пользу автомобильного транспорта, а спустя 70 лет начали возрождение этого вида транспорта. Больших успехов сейчас в развитии трамвайного движения достиг г. Санкт-Петербург.

Особого внимания необходимо обратить на реорганизацию троллейбусных маршрутов. На фоне практически полного прекращения обновления подвижного состава, и основываясь лишь на опыте эксплуатации троллейбусов уже фактически предыдущего поколения, сформировалось не соответствующее современным техническим возможностям стереотипное мнение о троллейбусе, как об устаревшем и неповоротливом виде городского транспорта. Однако в 2017 году в г. Шанхай (Китай), в г. Марракеш (Марокко) и в г. Прага (Чехия) были вновь построены и открыты системы троллейбусов нового поколения – электробусов с динамической подзарядкой батарей от участков контактной сети, которые являются наиболее эффективным решением развития городского наземного электротранспорта для городов по сравнению с другими видами электробусов.

Электробусы, используемые в Москве, должны заряжаться на конечных и промежуточных пунктах, что требует развития сложной и дорогой инфраструктуры зарядных станций. Кроме этого, стоимость данного типа электробусов составляет более 35 млн рублей и замену батарей необходимо проводить через 4 года (10 млн руб.), а в условиях жаркого климата и ранее. По сравнению с ними электробусы с динамической подзарядкой стоят примерно в два раза меньше, при этом не требуется создание новой инфраструктуры (сети и тяговых подстанций), что для Волгограда является очень важным. Главной особенностью электробусов с динамической подзарядкой является *технология автономного хода* (от 7 до 30 км), которая позволяет продлевать троллейбусные линии в кварталы новостроек, которые не имеют контактной сети, запускать временные маршруты или сохранять движение во время краткосрочных ремонтных работ или ДТП. Поэтому удаленные микрорайоны города (пос. ГЭС, Жилгородок и т. п.) можно связать единой сетью электротранспорта.

Вывод

Развитие общественного транспорта должно основываться на топологии города и существующих элементах инфраструктуры, не требующих значительных инвестиций. Волгоград имеет развитую инфраструктуру электротранспорта (троллейбус, трамвай, электропоезда),

которую необходимо сохранить и модернизировать на новом технологическом уровне.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Бойко, Г. В.* По плечу ли «маршруткам» безопасность и экологичность / Г. В. Бойко, А. А. Ревин, С. В. Ганзин // Грузовое и пассажирское автохозяйство. – 2005. – № 11. – С. 62–63.
2. Индекс качества городской среды. – Режим доступа: <https://индекс-городов.рф/#/> (дата обращ. 24.04.2020).
3. *Комаров, Ю. Я.* Основные подходы к повышению скорости сообщения на общественном автомобильном транспорте в г. Волгограде / Ю. Я. Комаров, С. В. Колесников, С. В. Ганзин, Д. Ю. Комаров // Известия ВолгГТУ : междуз. сб. науч. ст. № 10 (113) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – (Серия «Наземные транспортные системы»; вып. 6). – С. 64–66.
4. *Комаров, Ю. Я.* Роль муниципалитетов в улучшении функционирования транспортной инфраструктуры / Ю. Я. Комаров, С. В. Ганзин, Д. Ю. Комаров // Транспорт Российской Федерации. – 2019. – № 2 (81). – С. 7–10.
5. *Комаров, Ю. Я.* Развитие общественного транспорта с учетом топологии города на примере Волгограда / Ю. Я. Комаров, С. В. Ганзин, А. В. Лемешкин, О. И. Мелашенко // Строительные и дорожные машины. – 2020. – № 7. – С. 42–49.
6. *Вучик, В. Р.* Транспорт в городах, удобных для жизни / под ред. М. Блинкина. – Издательский дом «Территория будущего», 2011. – 576 с.
7. *Куликов, Ю. И.* Концептуальные подходы развития городского транспорта на современном этапе / Ю. И. Куликов, И. Н. Пугачев // Транспорт Российской Федерации. – 2013. – № 4 (47). – С. 8–11.
8. Пассажирыские автомобильные перевозки: учебник / В. А. Гудков, Л. Б. Миротин, А. В. Вельможин, С. А. Ширяев; под ред. В. А. Гудкова. – М., 2004. – 448 с.
9. Building a sustainable and smart urban development model based on transit oriented development (TOD) / Shammai Ali Maher, Abdela'al Abu Rass. 2012.
10. СП 42.13330.2016 Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89*. Официальное издание. – М.: Стандартинформ, 2017.

УДК 656.073

Е. Н. Лазарева, А. А. Раюшкина, С. А. Ширяев, Э. С. Раюшкин, В. О. Колесникова
**СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ НА ПЕРЕВОЗКУ СЛАБОАЛКОГОЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ
 ЗА СЧЕТ ВЫБОРА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

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

Рассмотрены проблемы системы доставки слабоалкогольной продукции (пива) потребителям г. Волгограда. Данная продукция относится не только к алкогольной продукции, но и к категории товаров повседневного спроса, вследствие этого, имеет ряд специфических особенностей, которые необходимо учитывать при организации ее перевозок, а именно, значительная номенклатура грузов; немеханизированный способ разгрузки в пунктах назначения (магазинах, ресторанах и т. д.); временные ограничения; необходимость соблюдения температурно-влажностного режима в процессе доставки и т. д.

Требованием рынка является не только оптимальная стоимость при доставке скоропортящейся продукции, но и выполнение ряда условий, таких как доставка продукции в нужное время (точно в срок), в нужное место, в необходимом количестве и соответствующего качества, сохранение определенных потребительских характеристик продукции (минимизация возникновения порчи продуктов). Невыполнение вышеперечисленных требований приводит к увеличению процента возврата продукции и, как следствие, увеличению затрат и удорожанию конечного продукта.

Существующая система доставки пива потребителям имеет ряд недостатков. С целью их устранения предложено совершенствование системы доставки этой продукции потребителям Волгограда за счет замены наемного транспорта на собственный подвижной состав для предприятия, занимающегося производством пива.

Ключевые слова: слабоалкогольная продукция, специфический груз, особые условия перевозки, автомобильные перевозки, транспортная логистика.

E. N. Lazareva, A. A. Rayushkina, S. A. Shiryayev, E. S. Rayushkin, V. O. Kolesnikova

**REDUCING THE COST OF TRANSPORTATION OF LOW ALCOHOL
 PRODUCTS DUE TO THE CHOICE OF ROLLING STOCK**

Volgograd State Technical University

The problems of the system of delivery of low-alcohol products (beer) to consumers in Volgograd are considered. This product belongs not only to alcoholic beverages, but also to the category of consumer goods. as a result, it has a number of specific features that must be taken into account when organizing its transportation, namely, a significant range of goods; non-mechanized method of unloading at destinations (shops, restaurants, etc.); time restrictions; the need to comply with temperature and humidity conditions during delivery, etc.

The market demand is not only the optimal cost for the delivery of perishable products, but also the fulfillment of a number of conditions, such as the delivery of products at the right time (on time), to the right place, in the required quantity and quality, the preservation of certain consumer characteristics of products (minimizing the occurrence of product damage). Failure to comply with these requirements leads to an increase in the rate of return of the products and, consequently, rising costs and appreciation of the final product.

The existing system of beer delivery to consumers has a number of disadvantages. In order to eliminate them, it is proposed to improve the system of delivery of these products to consumers in Volgograd by replacing hired transport with its own rolling stock for an enterprise engaged in beer production.

Keywords: low alcohol products, specific cargo, special conditions of transportation, road transport, transport logistics.

В связи с модернизацией пивоваренной отрасли в России за последние несколько лет производство пива значительно выросло. Крупные холдинги на пивном рынке сделали ставку на недорогой продукт, поэтому продукция отечественных пивоваров стоит в два раза дешевле импортных аналогов, и неудивительно, что она пользуется стабильным спросом. Категория пива, как товара повседневного спроса, занимает второе место в обороте этих товаров с долей более 8 %.

Однако в последние годы наблюдается сни-

жение объемов продаж этой продукции в стране, так, например, за 2015–2019 гг. снизился на 9,4 %: с 10,28 до 9,32 млрд л. (рис. 1) [1, 2].

Пиво относится к категории специфических грузов, требующих особых условий перевозки. В частности, данная продукция требует особого порядка погрузки (выгрузки); использования для перевозки специального подвижного состава и транспортного оборудования; специального надзора и соблюдения правил государственного медико-санитарного контроля и т. д.

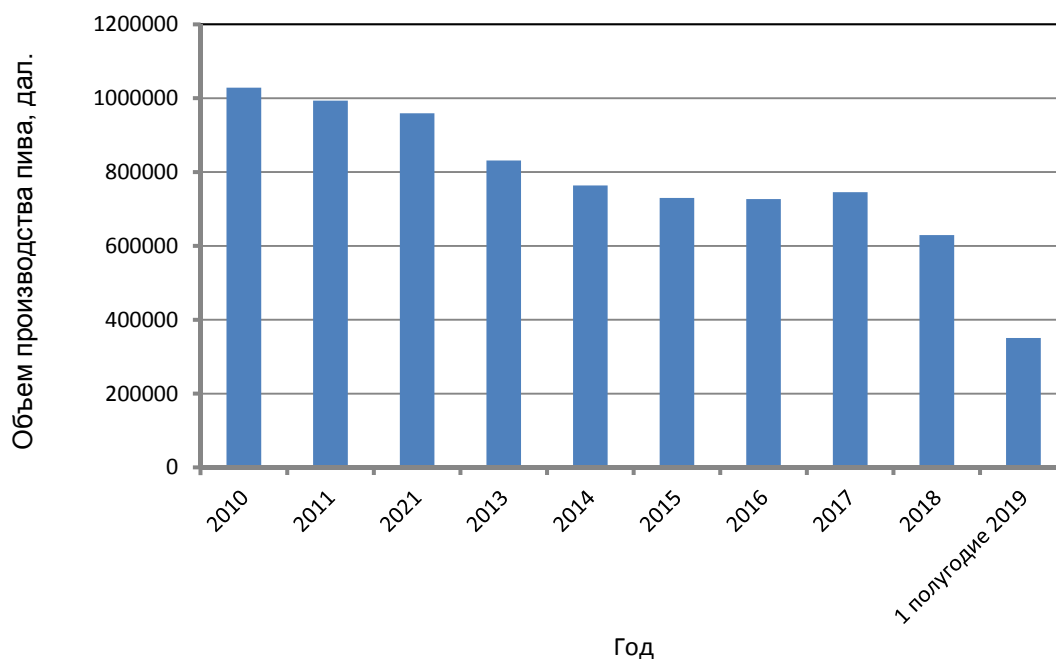


Рис. 1. Динамика производства пива в России в 2010–2019 гг.

Отличительными особенностями грузов, перевозимых на особых условиях, являются: повышенная ответственность грузовладельца за предоставление ему качественной характеристики груза; необходимость инспектирования предоставляемых перевозчиком транспортного средства и транспортного оборудования; обязательный надзор за выполнением погрузочно-разгрузочных работ; необходимость привлече-

ния для выполнения операций, связанных с доставкой груза, квалифицированных специалистов; более высокие транспортные издержки [3].

На сегодняшний день пиво потребителям доставляется преимущественно автомобильным транспортом [4]. Как отмечалось выше, пиво входит в сегмент пищевых продуктов, что требует при доставке соблюдения определенных требований [5]:

– соблюдение температурного режима при перевозке (температура при перевозке не выше +15 °С), так как пиво теряет свои вкусовые свойства при замораживании и нагревании, используется специализированный подвижной состав (ПС) – рефрижераторы;

– соблюдение режима освещенности (прямое попадание солнечных лучей не желательно);

– особенности крепления груза внутри транспортного средства, пиво в потребительской таре допускается скреплять в групповую упаковку. Формирование грузовой единицы при доставке напитков осуществляется согласно требованиям ГОСТ 24597-81 «Пакеты тарно-штучных грузов. Основные параметры и размеры»;

– отсутствие резких или неприятных запахов: укупорка потребительской и транспортной тары с пивом должна быть герметичной, с применением укупорочных материалов, применение которых в контакте с пивом обеспечивает его качество и безопасность;

– наличие специальных документов для перевозки (товарно-транспортная накладная, сертификат соответствия и пр.);

– широкая номенклатура перевозимой пивоваренной продукции;

– способ погрузки-разгрузки (как правило,

немеханизованная, с ручной разгрузкой товарных упаковок в пунктах назначения (магазинах)), а также условия временных ограничений на этот процесс.

Рассмотрим организацию доставки слабоалкогольной продукции на примере российской пивоваренной компании, которая находится на втором месте в России по объемам производства пива.

Объемы перевозок продукции, осуществляемые рассматриваемой пивоваренной компанией, потребителям г. Волгограда по годам представлена на рис. 2.

Анализ данных рис. 2 показывает, что объемы перевозок данного вида продукции потребителям Волгограда с 2017 г. снижаются, что подтверждает общую статистику по потреблению пива в стране. Снижение объемов продаж связано с одной стороны применением мер государственного регулирования (повышение акцизных ставок, усиленный государственный контроль за оборотом алкогольных напитков, запрет на торговлю алкогольными напитками в ночное время и в объектах нестационарной торговли (киосках) и др.), с другой стороны – стремление россиян следовать принципам здорового образа жизни и отказом от употребления алкогольных напитков.

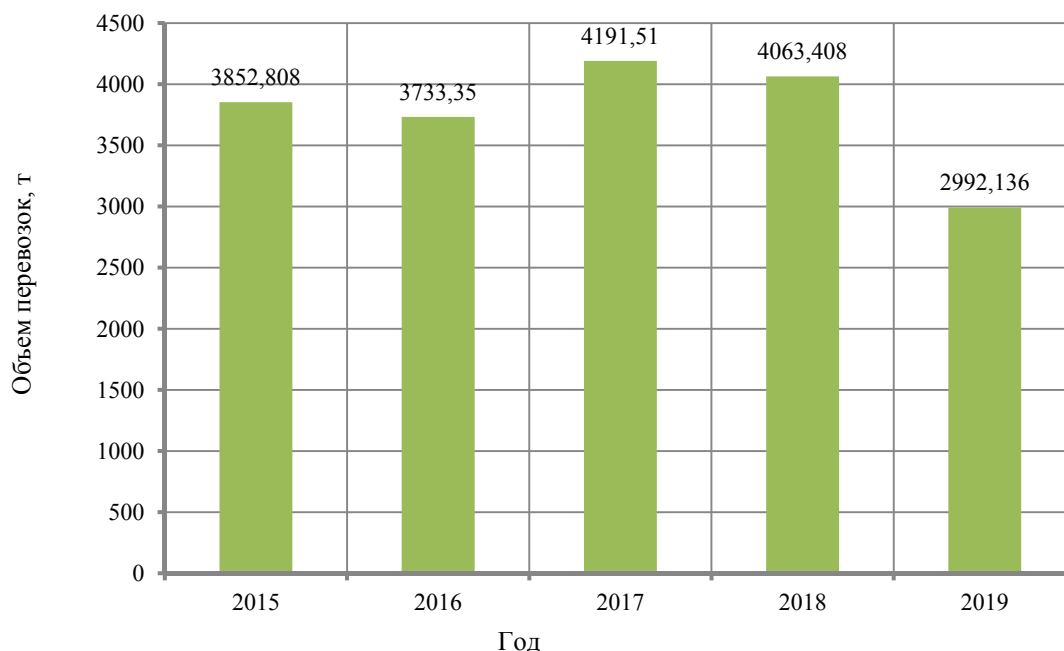


Рис. 2. Объемы перевозок продукции потребителям Волгограда

В этих условиях вопрос снижения затрат на доставку продукции потребителям и, как следствие, сокращение транспортной составляющей

в цене товара, становится все более актуальным.

При существующей системе доставки пива, используемой пивоваренной компанией, затраты

на перевозку составляют более 3 млн руб. в год. Нужно отметить, что компания использует привлеченный (наемный) транспорт. Выбор собственного или наемного транспортного средства производится на основе издержек, которые несет компания при использовании автотранспорта, а также на основе анализа основных преимуществ и недостатков при различных способах организации перевозок. Так, например, основными преимуществами использования собственного транспорта являются: высокая доступность использования, полный контроль и управление, независимость от услуг крупных и локальных транспортных компаний. В то время как привлечение наемного транспорта обеспечивает высокий уровень транспортных услуг за счет возможности выбора транспортной компании.

С целью снижения затрат на доставку пива потребителям города Волгограда предлагается использовать собственный подвижной состав взамен, используемого предприятием, наемного транспорта при доставке продукции. Проведем расчет транспортных расходов на примере доставки пива в 1,5 литровых бутылках в групповой упаковке на маршруте протяженностью 31 км, годовой объем перевозок – 2235,8 т, количество ездов – 248, годовой пробег – 15376 км.

В настоящий момент доставка по этому маршруту осуществляется фургоном-рефрижератором КамАЗ-43118. Предлагается приобретение и использование автомобиля-рефрижератора IsuzuForward. Технические характеристики транспортных средств приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика ПС, используемого при доставке пива

Показатель	КамАЗ-43118	IsuzuForward
Грузоподъемность, т	10	10
Размеры кузова, мм	6000 x 2500 x 2500	6400 x 2500 x 2400
Расход топлива, л/100 км	33	26

Кроме того, следует учесть, что масса одновременно перевозимого груза в заказываемом и предлагаемом для закупки подвижном составе будет одинакова, а, следовательно, годовое число ездов останется прежним, требуе-

мое количество наемных и заказываемых автомобилей составляет 1 ед.

В результате проведенных расчетов транспортных издержек [6] были получены следующие показатели (табл. 2).

Таблица 2

Результаты расчетов использования ПС при доставке пива

Показатели	Наемный ПС	Собственный ПС
Себестоимость перевозки, руб./т	1390	1213,5
Годовые затраты, руб.	3107650,8	2713046,2

Таким образом, проведенные расчеты по замене наемного транспорта на собственный при доставке пива потребителям г. Волгограда показывают, что себестоимость доставки снизится на 176,5 руб./т, годовой экономический эффект составит 394604,6 руб., срок окупаемости приобретаемого подвижного состава – 5,27 лет.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анализа рынка пива и пивных напитков в России // Магазин по продаже маркетинговых исследований РБК. – Режим доступа: <https://marketing.rbc.ru/articles/11291> (дата обращения. 01.11.2020).
2. Рынок пива в России и СНГ: 2009-2011 гг. // ID-Marketing – Режим доступа: <http://id-marketing.ru/goods/>

pinok-piva-v-rossii-i-sng.htm (дата обращения. 01.11.2020).

3. Сханова, С. Э. Транспортно-экспедиционное обслуживание : учеб. пособ. для студ. высш. учеб. заведений / С. Э. Сханова, О. В. Попова, А. Э. Горев. – М. : Академия, 2005. – 432 с.

4. Раюшкина, А. А. Повышение сохранности сельскохозяйственных грузов при перевозках как фактор конкурентных преимуществ автомобильного транспорта: монография / А. А. Раюшкина, С. А. Ширяев, Е. В. Балакина; ВолгГТУ. – Волгоград, 2019. – 140 с.

5. Перевозка пива // РефПеревозка. – Режим доступа: <https://ref-perevozka.ru/perevozka-piva> (дата обращения. 01.11.2020).

6. Оценка экономической эффективности владения грузовым коммерческим автомобилем: монография / Н. А. Ляпин, Е. Ю. Ивакина, А. А. Раюшкина, А. П. Федин, К. В. Чернышов; под ред. Н. А. Ляпина; ВолгГТУ. – Волгоград, 2015. – 112 с.

УДК 629.113

*И. М. Рябов, А. В. Поздеев, В. В. Еронтаев, Н. В. Тимошин***ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОЛЕСА
С ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ШИНОЙ ЗА СЧЕТ ВНУТРЕННЕГО МЕХАНИЗМА
С ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ЖЕСТКОСТЬЮ****Волгоградский государственный технический университет**

e-mail: rjabov1603@mail.ru

В статье отмечается, что энергетическая эффективность колес определяется их способностью с малыми потерями преобразовывать вращательное движение колесного движителя в поступательное движение автомобиля. Для оценки энергетической эффективности автомобильных шин используется параметр – коэффициент сопротивления качению, приводятся формулы для его определения, а также расчета работы сил сопротивления качению всех колес автомобиля. Приводятся экспериментальные зависимости коэффициента сопротивления качению. Отмечается, что при повышении давления в шинах увеличивается их радиальная жесткость и мощность, рассеиваемая в шинах при вертикальных колебаниях, которая может составлять до 5 % мощности, затрачиваемой на преодоление сопротивления качению колес. Приводится формула для среднего значения мощности, рассеиваемой в шинах при вертикальных колебаниях. Дано описание колеса с внутренней пневматической демпфирующей системой. Раскрыт принцип работы колеса, имеющего механизм с отрицательной жесткостью, приведены его упругие характеристики, в том числе при повышенном давлении. Получена формула для расчета жесткости упругой характеристики. На основе расчетов доказано, что у предлагаемого колеса жесткость упругой характеристики снижается в 2,28 раза при повешенном на 20 % давлении, следовательно, оно имеет повышенную энергетическую эффективность.

Ключевые слова: колесо, энергетическая эффективность, коэффициент сопротивления качению, механизм с отрицательной жесткостью.

*I. M. Ryabov, A. V. Pozdeev, V. V. Erontaev, N. V. Timoshin***INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF THE WHEEL
WITH A PNEUMATIC TIRE AT THE EXPENSE OF THE INTERNAL
MECHANISM WITH NEGATIVE STIFFNESS****Volgograd State Technical University**

The article notes that the energy efficiency of the wheels is determined by their ability to convert the rotary motion of the wheeled propeller into the forward motion of the car with low losses. To assess the energy efficiency of car tires, a parameter is used - the coefficient of rolling resistance, formulas are given for its determination, as well as for calculating the work of the rolling resistance forces of all wheels of a car. The experimental dependences of the rolling resistance coefficient are given. It is noted that with an increase in tire pressure, their radial stiffness and power dissipated in tires during vertical vibrations increase, which can be up to 5% of the power spent on overcoming the rolling resistance of the wheels. The formula is given for the average value of the power dissipated in the tires during vertical vibrations. A description of a wheel with an internal pneumatic damping system is given. The principle of operation of a wheel with a mechanism with negative stiffness is disclosed, its elastic characteristics are given, including at elevated pressure. A formula for calculating the stiffness of the elastic characteristic is obtained. On the basis of calculations, it has been proved that for the proposed wheel the stiffness of the elastic characteristic decreases 2.28 times at a pressure suspended by 20 %, therefore, it has an increased energy efficiency.

Keywords: wheel, energy efficiency, rolling resistance coefficient, mechanism with negative stiffness.

Колеса с пневматическими шинами для транспортных средств непрерывно совершенствуются, ежегодно выдаются десятки патентов на новые конструкции колес, однако принципиально колесо практически не изменилось со дня изобретения в 1844 году. Это обод, на котором смонтирована герметичная эластичная оболочка, заполненная сжатым воздухом. Благодаря эластичности резинокордной оболочки шина под действием нагрузки деформируется в нижней части, поэтому взаимодействует

с опорными поверхностями по площадке, называемой пятном контакта. При движении транспортного средства колесо вращается, а пятно контакта перемещается по дороге и по протектору, деформируя его. При этом деформация боковин также перемещается по шине, постоянно оставаясь внизу и перемещаясь относительно дороги. За один оборот колеса все участки протектора и боковин шины испытывают однократную деформацию. Непрерывная деформация материала шины при качении колеса

вследствие гистерезисных потерь в резине приводит к нагреву шины, создает сопротивление качению колеса, что ухудшает топливную экономичность транспортных средств. Поэтому снижение потерь энергии в пневматической шине является важной научно-технической проблемой.

Энергетическая эффективность автомобильных колес определяется их способностью с малыми потерями преобразовывать вращательное движение колесного движителя в поступательное движение автомобиля. Для оценки энергетической эффективности автомобильных шин используется параметр – коэффициент сопротивления качению. Определив силу, необходимую для качения нагруженного колеса, коэффициент сопротивления качению можно определить по формуле:

$$f = P_f / R_z, \quad (1)$$

где P_f – сила сопротивления качению колеса; R_z – вертикальная (нормальная) реакция в контакте колеса с дорожной поверхностью.

Работа сил сопротивления качению всех колес автомобиля:

$$A_k = P_f s = \sum_{i=1}^n (R_{zi} f_i) s, \quad (2)$$

где s – длина пути перемещения груза; n – число колес.

Из формулы (2) видно, что при заданных массе груза и расстоянии его перемещения, уменьшить энергию, необходимую для перемещения колес, можно только за счет снижения коэффициента сопротивления качению.

На рис. 1 представлены зависимости коэффициента сопротивления качению в ведомом режиме $f_{шв}$ для различных шин от давления воздуха в шине p_w при различной вертикальной нагрузке P_z [1].

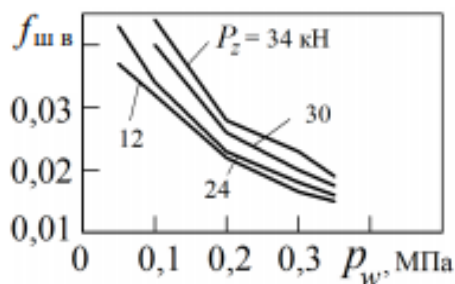


Рис. 1. Экспериментальные зависимости коэффициента сопротивления качению в ведомом режиме $f_{шв}$ от давления воздуха при различной вертикальной нагрузке для шин 1200×500–508 мод. И-247

Как видно из зависимостей $f_{шв}(P_z, p_w)$, коэффициент сопротивления качению в ведомом режиме всех рассмотренных шин уменьшается как при повышении давления воздуха, так и при снижении нагрузки на колесо.

Таким образом, если нагрузка на колесо задана, то единственным путем повышения энергетической эффективности автомобильных колес остается повышение давления в пределах его допустимых значений. Однако при повышении давления в шинах увеличивается их радиальная жесткость и мощность, рассеиваемая в шинах при вертикальных колебаниях, которая может составлять до 5 % мощности, затрачиваемой на преодоление сопротивления качению колес [1]. Она в 4–10 раз меньше мощности, рассеиваемой в амортизаторах. Среднее значение мощности, рассеиваемой в шинах при вертикальных колебаниях, достаточно точно определяется по формуле:

$$N_{к.ср} = f_i c_{ш} \lambda_{ш.ст} v_a, \quad (3)$$

где $c_{ш}$ – жесткость шины; $\lambda_{ш.ст}$ – статическая деформация шины; v_a – скорость автомобиля.

Расчеты, выполненные в работе [1] показали, что оптимальная жесткость шин грузового автомобиля ЗИЛ-130 почти в два раза ниже существующей.

Таким образом, энергетическую эффективность автомобильного колеса с пневматической шиной можно повысить за счет увеличения внутреннего давления воздуха только на ровных дорогах. На дорогах с большим числом неровностей для повышения энергетической эффективности необходимо одновременно повышением давления снижать жесткость шины, что является весьма сложной задачей. Для решения этой задачи авторами статьи было усовершенствовано колесо транспортного средства с внутренней пневматической демпфирующей системой (ВПДС) [2], представленное на рис. 2.

В колесе с ВПДС на ободе 1 внутри шины 2 на роликах 6 установлена оболочка 3 с усеченной нижней частью 4, полость А которой сообщается с полостью шины Б через клапаны и дросселирующие отверстия, установленные в гнездах 5. Центр масс оболочки O_1 расположен несколько ниже оси вращения колеса O , что удерживает ее от вращения. В нижней части оболочки имеется гаситель крутильных колебаний в виде тороидальных каналов 7 с металлическими шарами 8, которые при колебаниях оболочки катаются по поверхности каналов 9 и гасят энергию колебаний за счет трения. Обо-

лочка имеет округления 10 для предотвращения касания внутренней поверхности шины при крутильных колебаниях, разгоне и торможении.

Колесо с ВПДС обеспечивает существенное повышение демпфирующих свойств шины, но оно не может снизить жесткость шины.

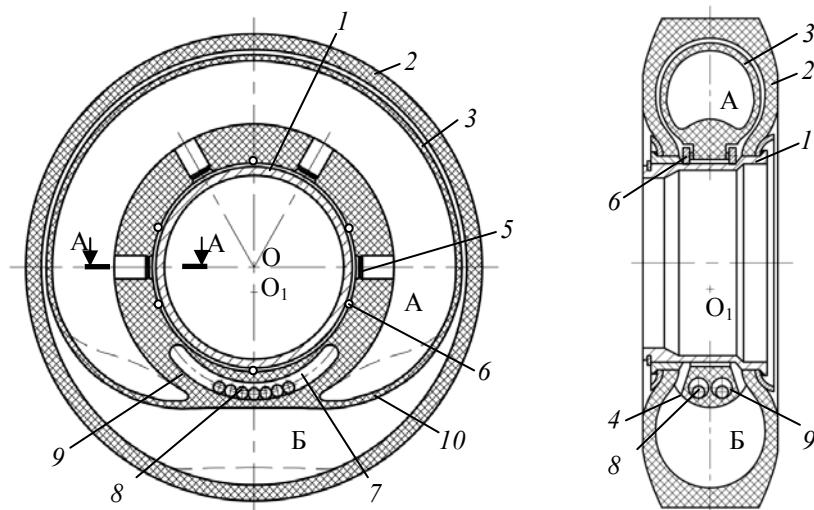


Рис. 2. Колесо с внутренней пневматической демпфирующей системой (ВПДС): А – полость оболочки; Б – полость шины; О – ось вращения колеса; O_1 – центр масс оболочки; 1 – обод; 2 – шина; 3 – эластичная оболочка; 4 – усеченная часть оболочки; 5 – гнезда с клапанами и дросселирующими отверстиями; 6 – ролики; 7 – полость гасителя крутильных колебаний оболочки; 8 – металлические шары; 9 – поверхность качения шаров; 10 – округления оболочки

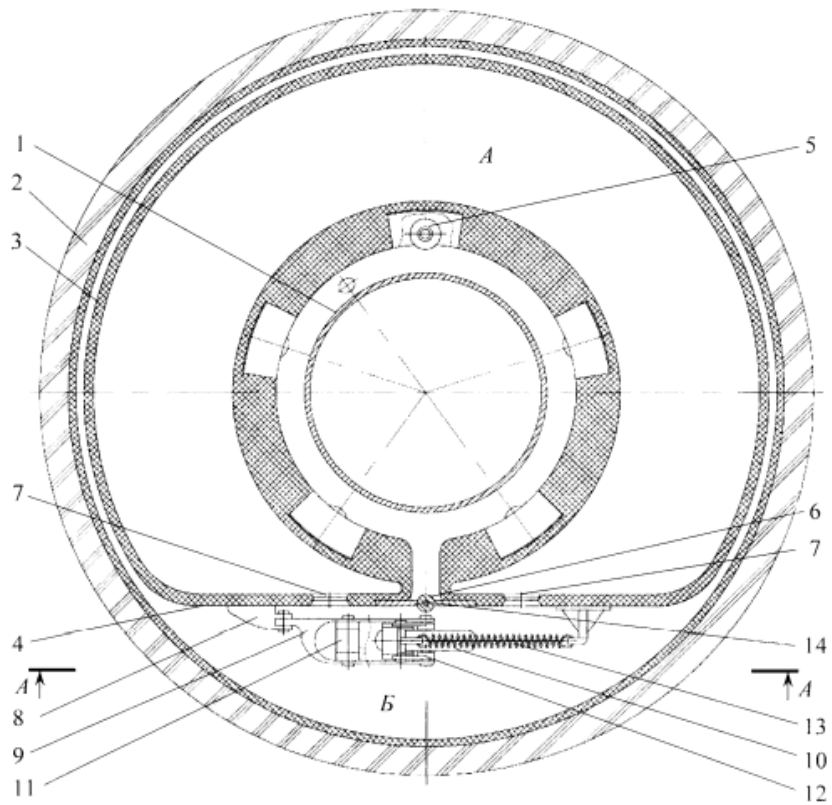
Для обеспечения снижения жесткости шины в зоне ее статической деформации авторами предложено установить в колесе с ВПДС механизм с отрицательной жесткостью (МОЖ) [3] (рис. 3).

Колесо (рис. 3) содержит обод 1 и пневматическую шину 2, в полости которой установлена не вращающаяся относительно автомобиля эластичная оболочка 3, усеченная в нижней части 4. Она опирается на обод посредством закрепленных на ней роликов 5 и разделяет полость шины на две полости: А – полость оболочки 3 и Б – кольцевая рабочая полость шины 2. В нижней части оболочка 4 имеет замок 6, что облегчает ее установку в шину.

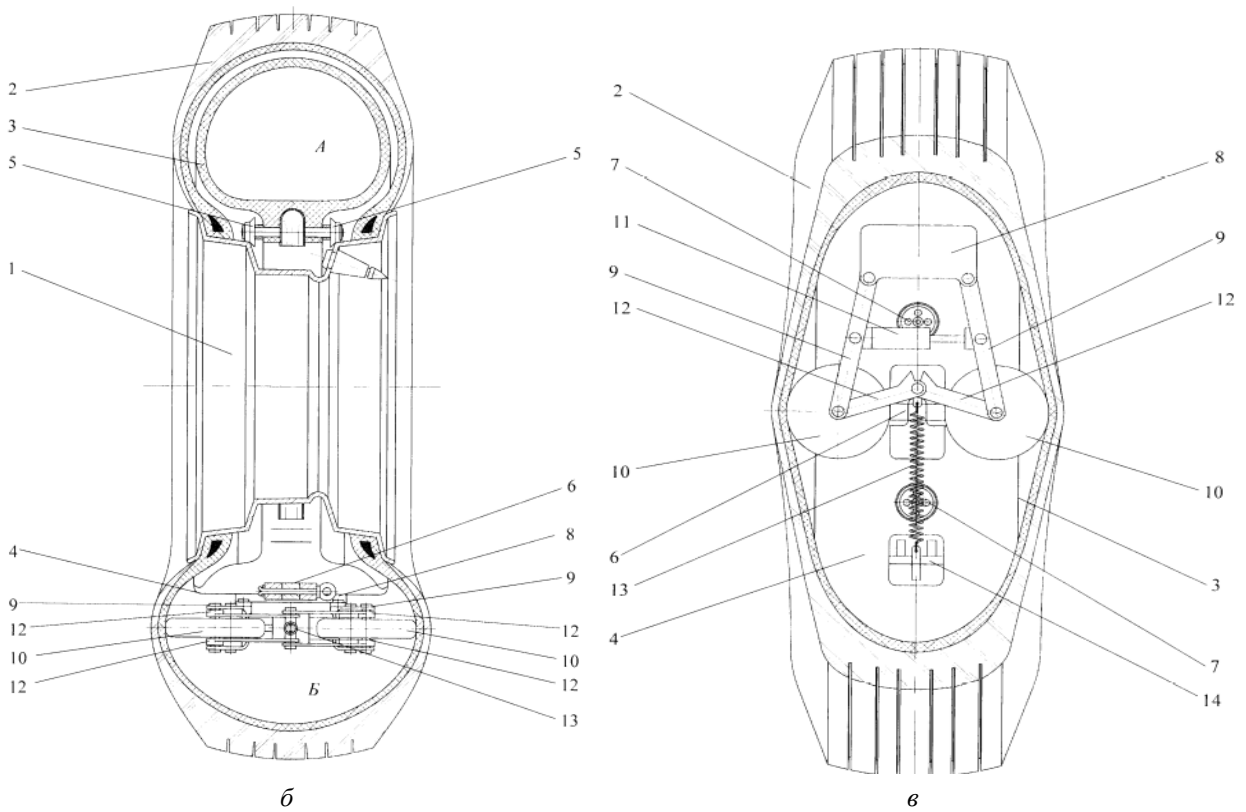
Эластичная оболочка 3 в нижней части 4 имеет клапаны с дросселирующими отверстиями 7, через которые сообщаются полости А и Б. В нижней части эластичной оболочки закреплен кронштейн 8 с двумя рычагами 9, имеющими на концах ролики 10, а между рычагами шарнирно установлены гидравлический амортизатор 11 и тяги 12, образующие с рычагами ромбический четырехзвенник – механизм с от-

рицательной жесткостью (МОЖ). Он поджимает ролики 10 к боковым поверхностям шины посредством пружины растяжения 13, связывающей шарнир между тягами 12 с закрепленным на оболочке кронштейном 14. Для уменьшения напряжений в месте контакта роликов 10 и боковых стенок шины 2 рабочая поверхность роликов 10 выполнена в виде части тора и имеет покрытие с низким коэффициентом трения.

При приложении к колесу силы веса транспортного средства, боковины шины 2 деформируются, образуя внутри шины вогнутые поверхности. При движении автомобиля ролики 10, поджатые пружиной к боковым поверхностям шины, поворачивают оболочку вместе с шиной. Оказавшись внизу, ролики заходят в деформированные боковины шины. При этом они обеспечивают устойчивое удержание оболочки в положении усеченной частью 4 вниз при качении колеса, поскольку при отклонении от этого положения ролики 10 переходят в зону меньшей деформации боковин шины и стремятся вернуться в зону максимальной деформации.



a



б

в

Рис. 3. Усовершенствованное колесо транспортного средства, снабженное механизмом с отрицательной жесткостью (МОЖ)

Упругие характеристики колеса с ВДПС и МОЖ приведены на рис. 4.

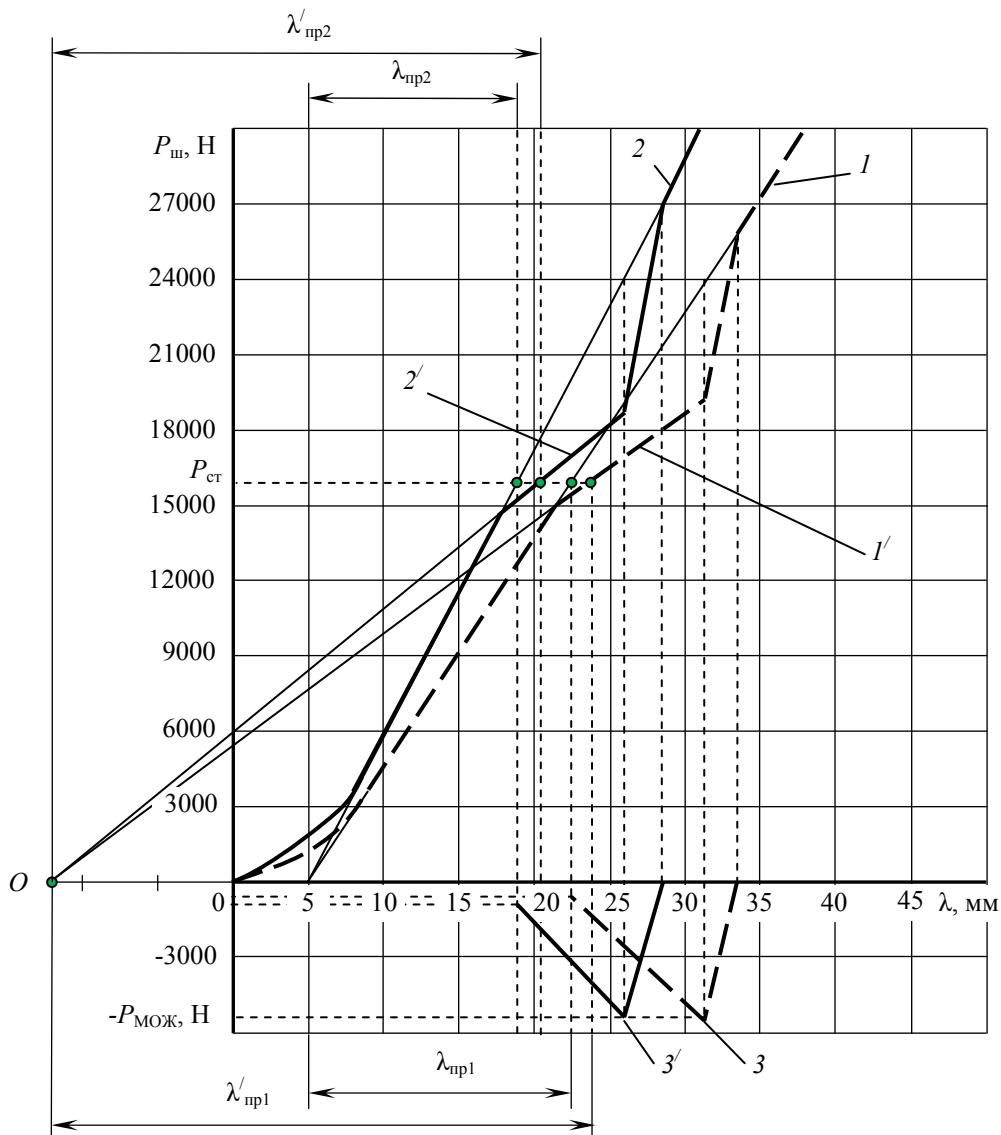


Рис. 4. Упругие характеристики заднего колеса трактора «Беларусь», снабженного МОЖ

Упругая характеристика 1 соответствует давлению в шине 1,8 атм., а упругая характеристика 2 соответствует на 20 % более высокому давлению шине. Обе упругие характеристики (рис. 4) в зоне статической деформации шины имеют участок пониженной жесткости.

Жесткость линейной упругой характеристики можно рассчитать по формуле

$$c_{ш} = 10\,000 \pi^2 / \lambda_{пр}, \quad (4)$$

где $c_{ш}$ – жесткость шины; $\lambda_{пр}$ – приведенная статическая деформация шины.

Из формулы (4) следует, что отношение жесткостей линейных упругих характеристик об-

ратно пропорционально отношению их приведенных статических прогибов. Тогда, выполнив измерения на рис. 4 приведенных прогибов упругой характеристики 2 с мягким участком и без него, получаем соотношение:

$$\lambda'_{пр} / \lambda_{пр} = 2,28$$

Таким образом, МОЖ на мягком участке снижает жесткость упругой характеристики шины с повышенным на 20 % давлением в 2,28 раз, следовательно, он позволяет повысить энергетическую эффективность колеса с пневматической шиной.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ларин, В. В.* Зависимости сопротивления качению пневматических шин / В. В. Ларин // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2013. – Вып. 12. – Режим доступа: URL: <http://engjournal.ru/catalog/machin/transport/1034.html>

2. П. м. 2108240 РФ, МКИ 6 В 60 С 17/00. Колесо транспортного средства / И. М. Рябов ; ВолгГТУ. – 1998.

3. П. м. 179 290 РФ, МПК В 60 С 17/00, В 60 С 17/00. Колесо транспортного средства / И. М. Рябов, А. В. Поздеев ; ВолгГТУ. Бюл. № 13. – 2018.

4. *Рябов, И. М.* Математическая модель колеса

с пневматической демпфирующей системой для бесподвесочных машин / И. М. Рябов, К. В. Чернышов, А. Ю. Соколов // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 8 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – (Серия «Наземные транспортные системы» ; вып. 2). – С. 51–53.

5. *Рябов, И. М.* Колесо с внутренней пневматической демпфирующей системой и исследование его динамического гасителя / И. М. Рябов, А. В. Поздеев, А. Ю. Соколов, Н. Н. Малинин // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 3 (130) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2014. – (Серия «Наземные транспортные системы» ; вып. 8). – С. 37–41.

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» (ВолгГТУ)

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

Темплан 2020 г. (научные издания). Поз. № 20ж. Дата выхода в свет 23.12.2020 г. Формат 60 × 84
1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 5,12. Уч.-изд. л. 4,76.
Тираж 100 экз. Свободная цена. Заказ №

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

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

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

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

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

Для ускорения подготовки издания необходимо представлять файлы статей на компакт-дисках (CD) в полном соответствии с распечатанным оригиналом. Диск должен быть вложен в отдельный конверт, на этикетке указываются фамилии авторов статьи.

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

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

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

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

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

Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

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

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

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