

Редколлегия

Главный редактор

Радченко С.Ю. д-р техн. наук, проф.

Заместители главного редактора:

Барсуков Г.В. д-р техн. наук, проф.

Гордон В.А. д-р техн. наук, проф.

Подмастерьев К.В. д-р техн. наук, проф.

Поляков Р.Н. д-р техн. наук, проф.

Шоркин В.С. д-р физ.-мат. наук, проф.

Члены редколлегий:

Бухач А. д-р техн. наук, проф. (Польша)

Голенков В.А. д-р техн. наук, проф. (Россия)

Дьяконов А.А. д-р техн. наук, проф. (Россия)

Емельянов С.Г. д-р техн. наук, проф. (Россия)

Запонец Я. д-р техн. наук, проф. (Чехия)

Зубачин В.Г. д-р техн. наук, проф. (Россия)

Киричек А.В. д-р техн. наук, проф. (Россия)

Копылов Ю.Р. д-р техн. наук, проф. (Россия)

Кузичкин О.Р. д-р техн. наук, проф. (Россия)

Кухарь В.Д. д-р техн. наук, проф. (Россия)

Лавриненко В.Ю. д-р техн. наук, проф. (Россия)

Ли Шэнбо. канд. техн. наук, доц. (Китай)

Мирсаидов В.М. д-р физ.-мат. наук, проф. (Азербайджан)

Мулюкин О.П. д-р техн. наук, проф. (Россия)

Осачин В.Я. д-р техн. наук, проф. (Россия)

Пилипенко О.В. д-р техн. наук, проф. (Россия)

Распопов В.Я. д-р техн. наук, проф. (Россия)

Савин Л.А. д-р техн. наук, проф. (Россия)

Смоленцев В.П. д-р техн. наук, проф. (Россия)

Солдаткин В.М. д-р техн. наук, проф. (Россия)

Старовойтов Э.И. д-р физ.-мат. наук, проф. (Беларусь)

Степанов Ю.С. д-р техн. наук, проф. (Россия)

Хейфец М.Л. д-р техн. наук, проф. (Беларусь)

Ответственный секретарь:

Тюхтя А.В. канд. техн. наук

Адрес редакции

302030, г. Орел, ул. Московская, 34

+7(920)2806645, +7(906)6639898

http://oreluniver.ru

E-mail: radsu@rambler.ru

Зарег. в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство ПИ № ФС77-67029 от 30 августа 2016 года

Подписной индекс 29504 по объединенному каталогу «Пресса России»

© ОГУ имени И.С. Тургенева, 2020

Содержание

Теоретическая механика и ее приложения

Попов И.П. Импедансы и адмитансы механических систем	3
Попов И.П. Алгебраические методы расчета разветвленных механических систем при вынужденных колебаниях	12
Дологлоня А.В., Стребков Д.С., Матвеев В.Т., Стаценко И.Н. Термодинамические характеристики комбинированных циклов вакуумных микрогазотурбинных установок теплоэлектроснабжения локальных объектов	21

Механика деформируемого твердого тела, динамика и прочность

Леонтьев В.В., Кондратова Е.В., Коломийченко В.П. Сравнительный анализ системы APM Winmachine и CAE Abaqus при расчете прочности сварного соединения	28
--	----

Машиностроительные технологии и оборудование

Дорофеев О.В., Воробьев В.И., Борзенков М.И., Злобин С.Н., Копылов С.О. Применение объектной модели для устройств предотвращения боксования локомотива	33
Титова И.В., Коноплин А.Н. Технологический процесс обработки композитов с применением разработанной конструкции реза для черного точения	41
Колосовский А.М. Пути повышения надежности и долговечности ответственных деталей на основе перспективных материалов и технологий	46
Барсуков Г.В., Киричек А.В., Селемев К.Ф., Селемеева Е.М. Экспериментальные исследования влияния тонкопленочных покрытий на стойкость инструмента	55

Машиноведение и мехатроника

Аблаев Р.Р. Основные задачи обеспечения эффективности функционирования передвижных механизированных комплексов	61
Карелина М.Ю., Атаманенко Н.В., Черепнина Т.Ю. Перспективы применения червячных передач в конструкциях автотранспортных средств	67
Корнаев А.В., Стебаков И.Н., Попов С.Г., Казаков Ю.Н. Кластерный анализ для выявления групп дефектов роторно-опорной системы	73
Бондаренко М.Э., Поляков Р.Н., Родичева И.В., Грядунова М.А. Экспериментальные исследования многоопорных валопроводов	80
Поляков Р.Н., Токмаков Н.В., Горин А.В., Токмакова М.А. Мехатронный динамический стенд для исследования подшипников скольжения агрегатов энергогенерирующего производства	85
Корнаева Е.П., Бабин А.Ю., Корнаев А.В., Казаков Ю.Н. Управляемый эффект температурно-вязкостного клина в подшипниках жидкостного трения: результаты физических экспериментов и разработка цифрового двойника	91
Фетисов А.С. Магнитоэологическая опора скольжения: результаты экспериментальных исследований	98

Приборы, биотехнические системы и технологии

Дунаев А.В. Принципы построения тест-объектов для контроля технического состояния приборов мультипараметрической оптической диагностики	104
Бондарева Л.А., Суханова М.В., Кузнецова Л.Д. Использование метода измерения зеркальной составляющей отраженного излучения в косметологии для оценки функционального состояния кожи лица	115
Матюхин С.И., Малый Д.О., Вишняков А.С., Орлов Е.Ю., Казаков В.И. Тепловое сопротивление силовых полупроводниковых модулей паяной конструкции	122

Контроль, диагностика, испытания и управление качеством

Ванькин Д.А., Марков В.В., Подмастерьев К.В. Стенд для эксплуатационных испытаний светодиодных ламп	131
Петров С.П., Подмастерьев К.В., Пилипенко А.В., Маркин Н.И., Никитенко О.С., Баранов Ю.Н. Оценка влияния повышения качества управления тепловым и гидравлическим режимами на эффективность комбинированной системы централизованного теплоснабжения	138
Кашапова И.А., Федоров А.В., Егоров Р.А. Обоснование применимости метода динамического индентирования для контроля твердости материалов покрытий элементов жидкостных ракетных двигателей	144
Савкова Е.О., Ченгарь О.В., Шевченко В.И. Система мониторинга гидрофизических полей водной среды	153

Editorial Committee

Editor-in-chief

Radchenko S.Yu. Doc. Sc. Tech., Prof.

Editor-in-chief Assistants:

Barsukov G.V. Doc. Sc. Tech., Prof.

Gordon V.A. Doc. Sc. Tech., Prof.

Podmasteryev K.V. Doc. Sc. Tech., Prof.

Polyakov R.N. Doc. Sc. Tech., Prof.

Shorkin V.S. Doc. Sc. Ph. – Math., Prof.

Member of editorial board:

Bukhach A. Doc. Sc. Tech., Prof. (Poland)

Golenkov V.A. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Dyakonov A.A. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Emelyanov S.G. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Zapomel Ya. Doc. Sc. Tech., Prof. (Czech Republic)

Zubchaninov V.G. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Kirichek A.V. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Kopylov Yu.R. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Kuzichkin O.R. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Kukhar V.D. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Lavrynenko V.Yu. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Li Shenbo. Cand. Sc. Tech., Assist. Prof. (China)

Mirsalimov V.M. Doc. Sc. Ph. – Math., Prof. (Azerbaijan)

Mulyukin O.P. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Osadchy V.Ya. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Pilipenko O.V. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Raspopov V.Ya. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Savin L.A. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Smolenzhev V.P. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Soldatkin V.M. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Starovoitov A.I. Doc. Sc. Ph. – Math., Prof. (Belarus)

Stepanov Yu.S. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Heifets M.I. Doc. Sc. Tech., Prof. (Belarus)

Executive secretary:

Tyukhta A.V. Candidate Sc. Tech.

Address

302030, Oryol, st. Moskovskaya, 34

+7(920)2806645, +7(906)6639898

http://oreluniver.ru

E-mail: radsu@rambler.ru

Journal is registered in Federal Agency of supervision in sphere of communication, information technology and mass communications. The certificate of registration PI № FS77-67029 from 30.08.2016

Index on the catalogue of the
«Pressa Rossii» 29504

© Orel State University, 2020

Contents

Theoretical mechanics and its applications

Popov I.P. Impedance and admittance of mechanical systems	3
Popov I.P. Algebraic methods for calculating branched mechanical systems for forced oscillations	12
Dologlonyan A.V., Strebkov D.S., Matvienko V.T., Stacenko I.N. Thermodynamic characteristics of combined cycles of vacuum micro-gas turbine plants of heat and power supply of local objects.....	21

Mechanics of deformable solids, dynamics and strength

Leontyev V.V., Kondratova E.V., Kolomiychenko V.P. Comparative analysis of the system APM Winnachine and CAE Abaqus for calculating the strength of a welded joint	28
--	----

Machine-building technologies and equipment

Dorofeev O.V., Vorobyev V.I., Borzenkov M.I., Zlobin S.N., Kopylov S.O. Application of the object model for locomotive boxing prevention devices	33
Titova I.V., Konoplin A.N. Technological process of processing composites using the developed design of the cutter for rough turning	41
Kolosovskiy A.M. Ways to improve the reliability and durability of responsible parts based on advanced materials and technologies.....	46
Barsukov G.V., Kirichek A.V., Selemenov K.F., Selemenova E.M. Experimental studies of the influence of thin-film coatings on the resistance of the tool.....	55

Machine Science and Mechatronics

Ablaev R.R. The main tasks of ensuring the effectiveness of mobile mechanized complexes.....	61
Karelina M.Yu., Atamanenko N.V., Cherepnina T.Yu. Prospects for the use of worm gears in vehicle designs	67
Stebakov I.N., Kornaeve A.V., Popov S.G., Kazakov Yu.N. Cluster analysis for detecting groups of defects rotary support system.....	73
Bondarenko M.E., Polyakov R.N., Rodicheva I.V., Griadynova M.A. Experimental studies multi-supported shafting.....	80
Polyakov R.N., Tokmakov N.V., Gorin A.V., Tokmakova M.A. Mechatronic dynamic stand for research of plain bearings power generating units	85
Kornaeve E.P., Babin A.Yu., Kornaeve A.V., Kazakov Yu.N. Controllable temperature and viscosity wedge effect in fluid friction bearings: results of physical experiments and design of a digital twin	91
Fetisov A.S. Magnetorheological journal bearing: experimental study results.....	98

Devices, biotechnical systems and technologies

Dunaev A.V. Principles of constructing test-objects for technical condition control of multiparameter optical diagnostics devices	104
Bondareva L.A., Sukhanova M.V., Kuznetsova L.D. Using the method of measuring the mirror component of reflected radiation in cosmetology to assess the functional state of the face skin	115
Matyukhin S.I., Malyi D.O., Vishnyakov A.S., Orlov E.Yu., Kazakov V.I. Thermal resistance of power semiconductor modules of soldered construction	122

Monitoring, Diagnostics, Testing and Quality Management

Vankin D.A., Markov V.V., Podmasteryev K.V. Stand for operational tests led lamp	131
Petrov S.P., Podmasteryev K.V., Pilipenko A.V., Markin N.I., Nikitenko O.S., Baranov Yu.N. Assessing the impact of improving management quality thermal and hydraulic modes on the efficiency of the combined system district heating.....	138
Kashapova I.A., Fedorov A.V., Egorov R.A. Justification applicability of the dynamic indentation method for control hardness coating materials of elements liquid rocket engines	144
Savkova E.O., Chengar O.V., Shevchenko V.I. The monitoring system of the water environment hydrophysical fields	153

И.П. ПОПОВ

ИМПЕДАНСЫ И АДМИТАНСЫ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Аннотация. Отмечено, что традиционный расчет механизмов при вынужденных колебаниях зачастую представляет собой непростую задачу. Чаще всего расчетчиков интересуют установившиеся режимы колебаний. Целью работы является значительное упрощение вычислений путем замены необходимости решения дифференциальных уравнений на алгебраические методы. Подобный подход широко используется в электротехнике. Использование символического (комплексного) описания механических систем при вынужденных гармонических колебаниях (в установившемся режиме) позволило отказаться от чрезвычайно громоздкого и трудоемкого алгоритма расчета, связанного с решением дифференциальных уравнений и заменить его простыми и наглядными алгебраическими операциями. Благодаря этому время расчетов уменьшается в разы. Векторные диаграммы, не являясь необходимой составляющей исследования механических систем, имеют существенное методическое значение, поскольку показывают количественные и фазные соотношения между параметрами систем.

Ключевые слова: потребители механической мощности, вынужденные колебания, параллельное, последовательное соединение, резонанс сил, резонанс скоростей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прокопов, Е.Е. Методы исследования процессов в системах виброзащиты с управляемой жесткостью / Е.Е. Прокопов, А.В. Горин // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2019. № 2(334). с. 52–59.
2. Владимиров, А.А. Геометрическая модель шероховатости при тчении с маятниковыми колебаниями резца / А.А. Владимиров, А.Н. Афонин, А.В. Макаров, М.Ю. Назарова // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2019. № 4–1(336). с. 15–19.
3. Коробко, В.И. Экспериментальное определение основной частоты колебаний пластинок в виде ромба и равнобедренного треугольника / В.И. Коробко, Н.Г. Калашникова // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2018. № 3(329). с. 57–63.
4. Коробко, В.И. Взаимосвязь максимального прогиба и основной частоты колебаний пластинок / В.И. Коробко, А.А. Черняев, С.В. Шляхов, В.О. Тюрин // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2018. № 2(328). с. 3–8.
5. Морева, И.Н. Определение коэффициентов волнового демпфирования методом свободных затухающих колебаний / И.Н. Морева, Е.В. Хромов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2019. № 4–2(336). с. 73–76.
6. Лопат, И.В., Приближенное решение задачи о продольных волнах напряжений в упруго вязкопластических стержнях / И.В. Лопат // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2019. № 2(334). с. 14–17.
7. Леоненко, Д.В. Колебания трехслойной цилиндрической оболочки в упругой среде под действием осесимметричных динамических нагрузок / Д.В. Леоненко // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2018. № 3(329). с. 64–72.
8. Попов, И.П. Дифференциальные уравнения двух механических резонансов / И.П. Попов // Прикладная физика и математика. 2019. № 2. С. 37–40. DOI: 10.25791/pfim.02.2019.599
9. Попов, И.П. Применение символического (комплексного) метода для расчета сложных механических систем при гармонических воздействиях / И.П. Попов // Прикладная физика и математика. 2019. № 4. С. 14–24. DOI: 10.25791/pfim.04.2019.828
10. Попов, И.П. Антирезонанс — резонанс скоростей / И.П. Попов // Мехатроника, автоматизация, управление. 2019. Т 20. № 6. С. 362–366. <https://doi.org/10.17587/mau.20.362-366>

Попов Игорь Павлович

Курганский государственный университет

Старший преподаватель кафедры «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты»

640002, Курган, ул. Томина, 106, кв. 52

8-951-273-80-87

E-mail: ip.popov@yandex.ru

IMPEDANCE AND ADMITTANCE OF MECHANICAL SYSTEMS

Abstract. *It is noted that the traditional calculation of mechanisms in forced oscillations is often a difficult task. Most often, calculators are interested in steady-state oscillation modes. The aim of the work is to significantly simplify the calculations by replacing the need to solve differential equations with algebraic methods. A similar approach is widely used in electrical engineering. The use of a symbolic (complex) description of mechanical systems under forced harmonic oscillations (in the steady state) made it possible to abandon the extremely cumbersome and time-consuming calculation algorithm associated with solving differential equations and replace it with simple and clear algebraic operations. Due to this, the calculation time is reduced significantly. Vector diagrams, not being a necessary component of the study of mechanical systems, have significant methodological significance, since they show quantitative and phase relationships between the parameters of systems.*

Keywords: *consumers of mechanical power, forced vibrations, parallel, series connection, force resonance, speed resonance.*

BIBLIOGRAPHY

1. Prokopov, Ye.Ye. Metody issledovaniya protsessov v sistemakh vibrozashchity s upravlyayemoy zhestkost'yu / Ye.Ye. Prokopov, A.V. Gorin // Fundamental'nyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. 2019. № 2(334). S. 52–59.
2. Vladimirov, A.A. Geometricheskaya model' sherokhovatosti pri tochenii s mayatnikovymi kolebaniyami reztsa / A.A. Vladimirov, A.N. Afonin, A.V. Makarov, M.YU. Nazarova // Fundamental'nyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. 2019. № 4–1(336). S. 15–19.
3. Korobko, V.I. Eksperimental'noye opredeleniye osnovnoy chastoty kolebaniy plastinok v vide romba i ravnobedrennogo treugol'nika / V.I. Korobko, N.G. Kalashnikova // Fundamental'nyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. 2018. № 3(329). S. 57–63.
4. Korobko, V.I. Vzaimosvyaz' maksimal'nogo progiba i osnovnoy chastoty kolebaniy plastinok / V.I. Korobko, A.A. Chernyayev, S.V. Shlyakhov, V.O. Tyurin // Fundamental'nyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. 2018. № 2(328). S. 3–8.
5. Moreva, I.N. Opredeleniye koeffitsiyentov volnovogo dempfirovaniya metodom svobodnykh zatukhayushchikh kolebaniy / I.N. Moreva, Ye.V. Khromov // Fundamental'nyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. 2019. № 4–2(336). S. 73–76.
6. Lopa, I.V., Priblizhennoye resheniye zadachi o prodol'nykh volnakh napryazheniy v uprugoy vyazkoplasticheskikh sterzhnyakh / I.V. Lopa // Fundamental'nyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. 2019. № 2(334). S. 14–17.
7. Leonenko, D.V. Kolebaniya trekhsloynoy tsilindricheskoy obolochki v uprugoy srede pod deystviyem osesimmetrichnykh dinamicheskikh nagruzok / D.V. Leonenko // Fundamental'nyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. 2018. № 3(329). S. 64–72.
8. Popov, I.P. Differentsial'nyye uravneniya dvukh mekhanicheskikh rezonansov / I.P. Popov // Prikladnaya fizika i matematika. 2019. № 2. S. 37–40. DOI: 10.25791/pfim.02.2019.599
9. Popov, I.P. Primeneniye simvolicheskogo (kompleksnogo) metoda dlya rascheta slozhnykh mekhanicheskikh sistem pri garmonicheskikh vozdeystviyakh / I.P. Popov // Prikladnaya fizika i matematika. 2019. № 4. S. 14–24. DOI: 10.25791/pfim.04.2019.828
10. Popov, I.P. Antirezonsans — rezonsans skorostey / I.P. Popov // Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravleniye. 2019. T. 20. № 6. S. 362–366. <https://doi.org/10.17587/mau.20.362-366>

Popov Igor Pavlovich

Kurgan State University

Senior Lecturer, Department of «Engineering Technology, machine tools and instruments»

640002, Kurgan, Tomina str., 106-52

8-951-273-80-87

E-mail: ip.popow@yandex.ru

УДК 531.8

DOI: 10.33979/2073-7408-2020-343-5-12-20

И.П. ПОПОВ

АЛГЕБРАИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА РАЗВЕТВЛЕННЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЯХ

Аннотация. *Рассмотрены параллельно-последовательное и последовательно-параллельное соединения потребителей механической мощности. По известным параметрам систем и возмущающему гармоническому воздействию алгебраически определяются скорости элементов механических систем и приложенные к ним силы. Используется комплексное представление гармонических и связанных с ними величин. Подобный подход широко используется в электротехнике. Для рассмотренных разветвленных механических схем классические методы, основанные на решении дифференциальных уравнений второго порядка, многократно усложняются и требуют решения систем уравнений, которые сводятся к дифференциальным уравнениям более высоких*

порядков. Использование символического (комплексного) описания механических процессов и систем позволяет применять вместо этого простые и компактные алгебраические методы, трудоемкость которых меньше в десятки раз.

Ключевые слова: потребители механической мощности, вынужденные колебания, параллельное, последовательное соединение, резонанс сил, резонанс скоростей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прокопов, Е.Е. Методы исследования процессов в системах виброзащиты с управляемой жесткостью / Е.Е. Прокопов, А.В. Горин // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2019. № 2(334). с. 52–59.
2. Владимиров, А.А. Геометрическая модель шероховатости при тчении с маятниковыми колебаниями резца / А.А. Владимиров, А.Н. Афонин, А.В. Макаров, М.Ю. Назарова // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2019. № 4–1(336). с. 15–19.
3. Коробко, В.И. Экспериментальное определение основной частоты колебаний пластинок в виде ромба и равнобедренного треугольника / В.И. Коробко, Н.Г. Калашникова // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2018. № 3(329). с. 57–63.
4. Коробко, В.И. Взаимосвязь максимального прогиба и основной частоты колебаний пластинок / В.И. Коробко, А.А. Черняев, С.В. Шляхов, В.О. Тюрин // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2018. № 2(328). с. 3–8.
5. Морева, И.Н. Определение коэффициентов волнового демпфирования методом свободных затухающих колебаний / И.Н. Морева, Е.В. Хромов // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2019. № 4–2(336). с. 73–76.
6. Лопа, И.В., Приближенное решение задачи о продольных волнах напряжений в упруго вязкопластических стержнях / И.В. Лопа // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2019. № 2(334). с. 14–17.
7. Леоненко, Д.В. Колебания трехслойной цилиндрической оболочки в упругой среде под действием осесимметричных динамических нагрузок / Д.В. Леоненко // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2018. № 3(329). с. 64–72.
8. Попов, И.П. Дифференциальные уравнения двух механических резонансов / И.П. Попов // *Прикладная физика и математика*. 2019. № 2. С. 37–40. DOI: 10.25791/pfim.02.2019.599
9. Попов, И.П. Применение символического (комплексного) метода для расчета сложных механических систем при гармонических воздействиях / И.П. Попов // *Прикладная физика и математика*. 2019. № 4. С. 14–24. DOI: 10.25791/pfim.04.2019.828
10. Попов, И.П. Антирезонанс — резонанс скоростей / И.П. Попов // *Мехатроника, автоматизация, управление*. 2019. Т 20. № 6. С. 362–366. <https://doi.org/10.17587/mau.20.362-366>

Попов Игорь Павлович

Курганский государственный университет

Старший преподаватель кафедры «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты»

640002, Курган, ул. Томина, 106, кв. 52

8-951-273-80-87

E-mail: ip.popow@yandex.ru

I.P. POPOV

ALGEBRAIC METHODS FOR CALCULATING BRANCHED MECHANICAL SYSTEMS FOR FORCED OSCILLATIONS

Abstract. Parallel-serial and serial-parallel connections of consumers of mechanical power are considered. According to the known parameters of systems and the disturbing harmonic effect, the velocities of the elements of mechanical systems and the forces applied to them are algebraically determined. A comprehensive representation of harmonic and related quantities is used. This approach is widely used in electrical engineering. For the considered branched mechanical schemes, the classical methods based on the solution of second-order differential equations become many times more complicated and require the solution of systems of equations, which are reduced to higher-order differential equations. The use of a symbolic (complex) description of mechanical processes and systems makes it possible to use instead simple and compact algebraic methods, the complexity of which is ten times less.

Keywords: consumers of mechanical power, forced vibrations, parallel, series connection, resonance of forces, resonance of speeds.

BIBLIOGRAPHY

1. Prokopov, Ye.Ye. Metody issledovaniya protsessov v sistemakh vibrozashchity s upravlyayemoy zhestkost'yu / Ye.Ye. Prokopov, A.V. Gorin // Fundamental'nyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. 2019. № 2(334). S. 52–59.
2. Vladimirov, A.A. Geometricheskaya model' sherokhovatosti pri tochenii s mayatnikovymi kolebaniyami reztsa / A.A. Vladimirov, A.N. Afonin, A.V. Makarov, M.YU. Nazarova // Fundamental'nyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. 2019. № 4–1(336). S. 15–19.
3. Korobko, V.I. Eksperimental'noye opredeleniye osnovnoy chastoty kolebaniy plastinok v vide romba i ravnobedrennogo treugol'nika / V.I. Korobko, N.G. Kalashnikova // Fundamental'nyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. 2018. № 3(329). S. 57–63.
4. Korobko, V.I. Vzaimosvyaz' maksimal'nogo progiba i osnovnoy chastoty kolebaniy plastinok / V.I. Korobko, A.A. Chernyayev, S.V. Shlyakhov, V.O. Tyurin // Fundamental'nyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. 2018. № 2(328). S. 3–8.
5. Moreva, I.N. Opredeleniye koeffitsiyentov volnovogo dempfirovaniya metodom svobodnykh zatukhayushchikh kolebaniy / I.N. Moreva, Ye.V. Khromov // Fundamental'nyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. 2019. № 4–2(336). S. 73–76.
6. Lopa, I.V., Priblizhennoye resheniye zadachi o prodol'nykh volnakh napryazheniy v uprugoy vyazkoplasticheskikh sterzhnyakh / I.V. Lopa // Fundamental'nyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. 2019. № 2(334). S. 14–17.
7. Leonenko, D.V. Kolebaniya trekhsloynoy tsilindricheskoy obolochki v uprugoy srede pod deystviem osesimmetrichnykh dinamicheskikh nagruzok / D.V. Leonenko // Fundamental'nyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. 2018. № 3(329). S. 64–72.
8. Popov, I.P. Differentsial'nyye uravneniya dvukh mekhanicheskikh rezonansov / I.P. Popov // Prikladnaya fizika i matematika. 2019. № 2. S. 37–40. DOI: 10.25791/pfim.02.2019.599
9. Popov, I.P. Primeneniye simvolicheskogo (kompleksnogo) metoda dlya rascheta slozhnykh mekhanicheskikh sistem pri garmonicheskikh vozdeystviyakh / I.P. Popov // Prikladnaya fizika i matematika. 2019. № 4. S. 14–24. DOI: 10.25791/pfim.04.2019.828
10. Popov, I.P. Antirezonans — rezonans skorostey / I.P. Popov // Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravleniye. 2019. T. 20. № 6. S. 362–366. <https://doi.org/10.17587/mau.20.362-366>

Popov Igor Pavlovich

Kurgan State University

Senior Lecturer, Department of «Engineering Technology, machine tools and instruments»

640002, Kurgan, Tomina str., 106-52

8-951-273-80-87

E-mail: ip.popov@yandex.ru

УДК 621.438

DOI: 10.33979/2073-7408-2020-343-5-21-27

А.В. ДОЛОГЛОНЯН, Д.С. СТРЕБКОВ, В.Т. МАТВЕЕНКО, И.Н. СТАЦЕНКО

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМБИНИРОВАННЫХ ЦИКЛОВ ВАКУУМНЫХ МИКРОГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК ТЕПЛОЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

Аннотация. Предметом рассмотрения в статье являются использование установок органического цикла Ренкина (ОЦР) для повышения эффективности вакуумных циклов микрогазотурбинных двигателей (ВМГТД). Исследованы комбинированные установки ВМГТД с ОЦР простого цикла и с регенерацией теплоты. Найдены оптимальные параметры установок в режиме переключающегося потока теплоты для различных рабочих тел ОЦР. Установлено, что комбинация ВМГТД с ОЦР позволяет увеличить эффективный КПД установок на 4,2...12,5 %, при этом сохранить когенерационные возможности. Ввиду особенностей конструкции комбинированная установка на базе простого цикла может быть применена для утилизации вторичных энергоресурсов любого потенциала.

Ключевые слова: микрогазотурбинная установка, микротурбина, регенерация теплоты, вакуумный цикл, органический цикл Ренкина.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дологлонян А.В. Использование вакуумных микрогазотурбинных установок для

теплоэлектроснабжения локальных объектов / А.В. Дологлонян, Д.С. Стребков, В.Т. Матвеев, И.Н. Стаценко // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – Орел: ОГУ им. И.С. Тургенева, 2020. – № 4-1 (342). – С. 42-48. DOI:10.33979/2073-7408-2020-342-4-1-42-48

2. Матвеев В.Т. Глубокая утилизация теплоты в газотурбинных двигателях с турбиной перерасширения / В.Т. Матвеев // Промышленная теплотехника. – 1997. – Т. 19. – № 4-5. – С. 81-85.

3. Аронсон К.Э. Теплообменники энергетических установок / К.Э. Аронсон, С.Н. Блинков, В.И. Брезгин и др. // Екатеринбург: Издательство УрФУ, 2015. – Электронный формат: html. Объем: 733 Mb.

4. Дологлонян А.В. Оптимизация степени регенерации для циклов микрогазотурбинных установок / А.В. Дологлонян, В.Т. Матвеев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – Орел: ОГУ им. И.С. Тургенева, 2020. – № 3 (341). – С. 59-66.

5. Velez F., Segovia J.J., Martin M.C., Antolin G., Chejne F., Quijano A. A technical, economical and market review of organic Rankine cycles for the conversion of low-grade heat for power generation // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2012. Vol. 16, no. 6. P. 4175-4189.

6. Quoilin S., Van Den Broek M., Declaye S., Dewalle P., Lemorta V. Techno-economic survey of Organic Rankine Cycle (ORC) systems // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2013. Vol. 22. P.168-186.

7. Янчошк Л., Кунц П. Органический цикл Ренкина: использование в когенерации // Турбины и дизели. 2012. № 2. С. 50-53.

8. Tchanché B.F., Lambrinos G., Frangoudakis A., Papadakis G. Low-grade heat conversion into power using organic Rankine cycles – A review of various applications // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2011. Vol.15, iss. 8. P. 3963-3979.

9. Дологлонян А.В. Термодинамические характеристики комбинированных циклов микрогазотурбинных двигателей для распределенной энергетики / А.В. Дологлонян, В.Т. Матвеев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – Орел: ОГУ им. И.С. Тургенева, 2020. – № 4-1 (342). – С. 28-41.

10. Дологлонян А.В. Исследование потенциала сезонного аккумулирования холода при работе солнечных коллекторов в ночное время / А.В. Дологлонян, А.К. Сухов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – Орел: ОГУ им. И.С. Тургенева, 2017. – № 5 (325). – С. 172-176.

11. [Электронный ресурс]. – 2019. – URL: http://neochemical.ru/File/DOWTHERM_A_TDS_Russian.pdf (дата обращения 31.05.19).

12. [Электронный ресурс]. – 2019. – URL: <https://webbook.nist.gov/chemistry/fluid/> (дата обращения 31.05.19).

Дологлонян Андрей Вартазарович
ФГБНУ Институт природно-технических систем
Российской Федерации, г. Севастополь
Кандидат технических наук, заведующий
лабораторией
E-mail: dologlonyan@hotmail.com

Стребков Дмитрий Семенович
ФГБНУ Федеральный научный агроинженерный
центр ВИМ, г. Москва
Доктор технических наук, профессор, академик
РАН
E-mail: vim@vim.ru

Матвеев Валерий Тимофеевич
ФГБНУ Институт природно-технических систем
Российской Федерации, г. Севастополь
Доктор технических наук, профессор
E-mail: mvt3900@mail.ru

Стаценко Иван Николаевич
ФГБНУ Институт природно-технических систем
Российской Федерации, г. Севастополь
Кандидат технических наук, старший научный
сотрудник
E-mail: stacenko-ivan@inbox.ru

A.V. DOLOGLONYAN, D.S. STREBKOV, V.T. MATVIEENKO, I.N. STACENKO

THERMODYNAMIC CHARACTERISTICS OF COMBINED CYCLES OF VACUUM MICRO-GAS TURBINE PLANTS OF HEAT AND POWER SUPPLY OF LOCAL OBJECTS

Abstract. *The subject of this article is the use of organic Rankine cycle (ORC) plants to improve the efficiency of vacuum cycles of micro-gas turbine engines (VMGTE). Combined installations VMGTE with ORC of a simple cycle and with heat regeneration have been investigated. The optimal parameters of the plants in the mode of the switching heat flow are found for various working fluids of the ORC. It has been established that the combination of VMGTE with ORC allows to increase the efficiency of plants by 4.2 ... 12.5%, while maintaining cogeneration capabilities. Due to the design features, the combined plant based on a simple cycle can be used for the utilization of secondary energy resources of any potential.*

Keywords: *microgas turbine plant, microturbine, warmth regeneration, vacuum cycle, organic Rankine cycle.*

BIBLIOGRAPHY

1. Dologlonyan A.V. Ispolzovanie vakuumnyh mikrogazoturbinyh ustanovok dlya teploelectrosnab-zheniya lokalnyh ob"ektov / A.V. Dologlonyan, D.S. Strebkov, V.T. Matveenko, I.N. Stacenko // Fundamental-nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. – Орел: ОГУ им. И.С. Тургенева, 2020. – № 4-1 (342). – С. 42-48. DOI:10.33979/2073-7408-2020-342-4-1-42-48

2. Matveenko V.T. Glubokaya utilizatsiya teploty v gazoturbinnnyh dvigatelyah s turbinoj pererasshire-niya / V.T. Matveenko // Promyshlennaya teplotekhnika. – 1997. – Т. 19. – № 4-5. – С. 81-85.
3. Aronson K.E. Teploobmenniki energeticheskikh ustanovok / K.E. Aronson, S.N. Blinkov, V.I. Brezgin i dr. // Ekaterinburg: Izdatelstvo UrFU, 2015. – Elektronnyj format: html. Ob'em: 733 Mb.
4. Dologlonyan A.V. Optimizatsiya stepeni regeneratsii dlya ciklov mikrogazoturbinnnyh ustanovok / A.V. Dologlonyan, V.T. Matveenko // Fundamentalnye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. – Orel: OGU im. I.S. Turgeneva, 2020. – № 3 (341). – С. 59-66.
5. Velez F., Segovia J.J., Martin M.C., Antolin G., Chejne F., Quijano A. A technical, economical and market review of organic Rankine cycles for the conversion of low-grade heat for power generation // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2012. Vol. 16, no. 6. P. 4175-4189.
6. Quoilin S., Van Den Broekb M., Declaye S., Dewallefa P., Lemorta V. Techno-economic survey of Organic Rankine Cycle (ORC) systems // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2013. Vol. 22. P.168-186.
7. Yanchoshek L., Kunc P. Organicheskiy cikl Renkina: ispolzovanie v kogeneratsii // Turbiny i dizeli. 2012. № 2. S. 50-53.
8. Tchanche B.F., Lambrinos Gr., Frangoudakis A., Papadakis G. Low-grade heat conversion into power using organic Rankine cycles – A review of various applications // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2011. Vol.15, iss. 8. P. 3963-3979.
9. Dologlonyan A.V. Termodinamicheskie harakteristiki kombinirovannyh ciklov mikrogazoturbinnnyh dvigatelej dlya raspredelennoj energetiki / A.V. Dologlonyan, V.T. Matveenko // Fundamentalnye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. – Orel: OGU im. I.S. Turgeneva, 2020. – № 4-1 (342). – С. 28-41.
10. Dologlonyan A.V. Issledovanie potentsiala sezonnogo akkumulirovaniya holoda pri rabote solnechnykh kollektorov v nochnoe vremya / A.V. Dologlonyan, A.K. Suhov // Fundamentalnye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. – Orel: OGU im. I.S. Turgeneva, 2017. – № 5 (325). – С. 172-176.
11. [Elektronnyj resurs]. – 2019. – URL: http://neochemical.ru/File/DOWTHERM_A_TDS_Russian.pdf/ (data obrashcheniya 31.05.19).
12. [Elektronnyj resurs]. – 2019. – URL: <https://webbook.nist.gov/chemistry/fluid/> (data obrashcheniya 31.05.19).

Dologlonyan Andrey Vartazarovich

FSBSI Institute of nature and technical systems,
Russian Federation, Sevastopol
Candidate of Technical Sciences, Chief of Laboratory,
E-mail: dologlonyan@hotmail.com

Strebkov Dmitriy Semenovich

FSBSI Federal scientific agroengineering center AIM,
Russian Federation, Moscow
Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician
of RAS
E-mail: vim@vim.ru

Matviienko Valerii Timofeevich

FSBSI Institute of nature and technical systems,
Russian Federation, Sevastopol
Doctor of Technical Sciences, Professor
E-mail: mvt3900@mail.ru

Stacenko Ivan Nikolaevich

FSBSI Institute of nature and technical systems,
Russian Federation, Sevastopol
Candidate of Technical Sciences, Senior Scientist
E-mail: stacenko-ivan@inbox.ru

МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА, ДИНАМИКА И ПРОЧНОСТЬ

УДК 621.884.091

DOI: 10.33979/2073-7408-2020-343-5-28-32

В.В. ЛЕОНТЬЕВ, Е.В. КОНДРАТОВА, В.П. КОЛОМИЙЧЕНКО

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМЫ АРМ WINMACHINE И САЕ АВАQUS ПРИ РАСЧЕТЕ ПРОЧНОСТИ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ

Аннотация. Традиционные методы расчета сварных соединений базируются на приближенных способах определения сил, возникающих в соединении. Это ведет к неточностям в определении напряжений. Кроме того, при таком подходе отсутствует возможность получения полной картины напряженно-деформированного состояния соединения. Все это приводит к необходимости повышения коэффициента запаса прочности и, как следствие, к удорожанию конструкции. Предложенный способ расчета соединения методом конечных элементов позволяет весьма точно определить напряжения во всех элементах соединения. Это дает возможность получить достоверную картину напряженно-деформированного состояния всех элементов соединения. Как следствие, возможно снижение трудоемкости создания соединения и его массы. Метод конечных элементов следует применять для расчета ответственных соединений со сложными условиями работы. Рассмотрен пример расчета такого соединения. Выполнен сравнительный анализ результатов расчета таврового соединения с помощью модуля АРМ Joint системы АРМ Winmachine и конечноэлементного пакета Abaqus.

Ключевые слова: сварное соединение, метод конечных элементов, напряженно-деформированное состояние, эквивалентные напряжения, касательные напряжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ соединения узлов сквозных ферм для металлических железнодорожных мостов / Казакова Е.В., Юрченко В.В. // В сборнике: Транспорт: наука, образование, производство Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. 2017. С. 259-263.
2. Мусаелян Г. В. Исследование процесса деформирования узла рамы методом конечных элементов // Вестник Национального политехнического университета Армении. Механика, машиноведение, машиностроение. 2015. № 1. С. 98-107.
3. Поплавко, М. Сварка в самолетостроении / М. Поплавко. - М.: Книга по Требованию, 2012. - 130 с.
4. Валишвили, Н. В. Сопротивление материалов и конструкций: учебник для академического бакалавриата / Н. В. Валишвили, С. С. Гаврюшин. — Москва: Издательство Юрайт, 2019. — 429 с. — (Серия: Бакалавр. Академический курс). — ISBN 978-5-9916-8247-3. — Текст: электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://biblio-online.ru/bcode/433489>
5. Астанин, В.В. Техническая механика: в четырех книгах. Книга вторая. Сопротивление материалов [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.В. Астанин. — Электрон. дан. — Москва: Машиностроение, 2012. — 160 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/5800>.
6. Гузенков П.Г. Детали машин: Учеб. для студ. высш. техн. учеб. заведений. - 5-е изд., перераб. - М.: Высш. шк., 1991. - 383 с.
7. Гулиа, Н.В. Детали машин [Электронный ресурс]: учебник / Н.В. Гулиа, В.Г. Клоков, С.А. Юрков. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2013. — 416 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/5705>
8. Рукодельцев, А.С. Детали машин [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.С. Рукодельцев, И.В. Никитаев, О.В. Сидорова. — Электрон. дан. — Нижний Новгород: ВГУВТ, 2012. — 204 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/60797>
9. Детали машин: типовые расчеты на прочность: учебное пособие / Т.В. Хруничева. - М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2007. - 224 с.: ил.; 70x100 1/16. - (Профессиональное образование). (переплет) ISBN 978-5-8199-0313-1 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/118033>
10. Писаренко Г. С. и др. Сопротивление материалов. - Киев: Техніка, 1967.-792 с.
11. Валишвили, Н. В. Сопротивление материалов и конструкций: учебник для академического бакалавриата / Н. В. Валишвили, С. С. Гаврюшин. — Москва: Издательство Юрайт, 2019. — 429 с. — (Серия: Бакалавр. Академический курс). — ISBN 978-5-9916-8247-3. — Текст: электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://biblio-online.ru/bcode/433489>
12. Мишенков, Г.В. Метод конечных элементов в курсе сопротивления материалов [Электронный ресурс]: учебное пособие / Г.В. Мишенков, Ю.Н. Самогин, В.П. Чирков; под ред. В.П. Чиркова. — Электрон. дан. — Москв : Физматлит, 2015. — 472 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/71992>
13. Макаров, Е. Г. Сопротивление материалов с использованием вычислительных комплексов: учеб. пособие для академического бакалавриата / Е. Г. Макаров. — 2-е изд., испр. и доп. — Москв : Издательство Юрайт, 2019. — 413 с. — (Серия: Бакалавр. Академический курс). — ISBN 978-5-534-01761-8. — Текст: электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://biblio-online.ru/bcode/438313>

Леонтьев Вячеслав Владимирович
ФГАОУ ВО Севастопольский
Государственный Университет, г.
Севастополь
Кандидат технических наук,
доцент, доцент кафедры
«Техническая механика и
машиноведение»
299053, г. Севастополь, ул.
Университетская, 33
Тел. 8(978) 821-18-34
E-mail: vvleontyev@sevsu.ru

Кондратова Елена Васильевна
Черноморское высшее военно-
морское училище имени П.С.
Нахимова, г. Севастополь
Доцент кафедры
«Физика и общетехнические
дисциплины»
299028, г. Севастополь, ул.
Дыбенко, 1а
Тел. 8(978) 975-43-26
E-mail: leonardo1967@yandex.ru

Коломийченко Виктория Павловна
Черноморское высшее военно-
морское училище имени
П.С. Нахимова, г. Севастополь
Преподаватель кафедры
«Физика и общетехнические
дисциплины»
299028, г. Севастополь, ул.
Дыбенко, 1а
Тел. 8(978) 791-77-25
E-mail: mantulova@yandex.ru

V.V. LEONTYEV, E.V. KONDRATOVA, V.P. KOLOMIYCHENKO

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE SYSTEM APM WINMACHINE AND CAE ABAQUS FOR CALCULATING THE STRENGTH OF A WELDED JOINT

Abstract. *Traditional methods for calculating welded joints are based on approximate methods for determining the forces that occur in the joint. This leads to inaccuracies in the definition of stress. In addition, this approach does not allow obtaining a complete picture of the stress-strain state of the joint. All this leads to the need to increase the coefficient of safety margin and, as a result, to increase the cost of construction. The proposed method of calculating the connection using the finite element method allows us to determine the stresses in all the elements of the connection very accurately. This makes it possible to obtain a reliable picture of the stress-strain state of all elements of the connection. As a result, it is possible to reduce the complexity of creating a compound and its mass. The finite element method should be used for calculating critical connections with complex operating conditions. An example of calculating such a connection is considered. A comparative analysis of the results of calculating the t-joint using the arm Joint module Of the WinMachine arm system and the Abaqus finite element package is performed.*

Keywords: *welding, finite element method, stress-strain state, equivalent stresses, tangent stresses.*

BIBLIOGRAPHY

1. Analiz soedineniya uzlov skvoznyh ferm dlya metallicheskih zheleznodorozhnyh mostov / Kazakova E.V., YUrchenko V.V. // V sbornike: Transport: nauka, obrazovanie, proizvodstvo Sbornik nauchnyh trudov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. 2017. S. 259-263.
2. Musaelyan G. V. Issledovanie processa deformirovaniya uzla ramy metodom konechnykh elementov // Vestnik Nacional'nogo politekhnicheskogo universiteta Armenii. Mekhanika, mashinovedenie, mashinostroenie. 2015. № 1. S. 98-107.
3. Poplavko, M. Svarka v samoletostroenii / M. Poplavko. - M.: Kniga po Trebovaniyu, 2012. - 130 c.
4. Valishvili, N. V. Soprotivlenie materialov i konstrukcij: uchebnik dlya akademicheskogo bakalavriata / N. V. Valishvili, S. S. Gavryushin. — Moskva: Izdatel'stvo YUrajt, 2019. — 429 s. — (Seriya: Bakalavr. Akademicheskij kurs). — ISBN 978-5-9916-8247-3. — Tekst : elektronnyj // EBS YUrajt [sajt]. — URL: <https://biblio-online.ru/bcode/433489>
5. Astanin, V.V. Tekhnicheskaya mekhanika: v chetyrekh knigah. Kniga vtoraya. Soprotivlenie materialov [Elektronnyj resurs] : uchebnoe posobie / V.V. Astanin. — Elektron. dan. — Moskva : Mashinostroenie, 2012. — 160 s. — Rezhim dostupa: <https://e.lanbook.com/book/5800>.
6. Guzenkov P.G. Detali mashin: Ucheb. dlya stud. vyssh. tekhn. ucheb. zavedenij.- 5-e izd., pererab. - M.: Vyssh. shk., 1991. - 383 s.
7. Gulia, N.V. Detali mashin [Elektronnyj resurs] : uchebnik / N.V. Gulia, V.G. Klovok, S.A. YUrkov. — Elektron. dan. — Sankt-Peterburg : Lan', 2013. — 416 s. — Rezhim dostupa: <https://e.lanbook.com/book/5705>
8. Rukodel'cev, A.S. Detali mashin [Elektronnyj resurs] : uchebnoe posobie / A.S. Rukodel'cev, I.V. Nikitaev, O.V. Sidorova. — Elektron. dan. — Nizhnij Novgorod : VGUVT, 2012. — 204 s. — Rezhim dostupa: <https://e.lanbook.com/book/60797>
9. Detali mashin: tipovye raschety na prochnost': uchebnoe posobie / T.V. Hrunicheva. - M.: FORUM: INFRA-M, 2007. - 224 s.: il.; 70x100 1/16. - (Professional'noe obrazovanie). (pereplet) ISBN 978-5-8199-0313-1 - Rezhim dostupa: <http://znanium.com/catalog/product/118033>
10. Pisarenko G. S. i dr. Soprotivlenie materialov.- Kiev: Tekhnika, 1967.-792 s.
11. Valishvili, N. V. Soprotivlenie materialov i konstrukcij: uchebnik dlya akademicheskogo bakalavriata / N. V. Valishvili, S. S. Gavryushin. — Moskva : Izdatel'stvo YUrajt, 2019. — 429 s. — (Seriya : Bakalavr. Akademicheskij kurs). — ISBN 978-5-9916-8247-3. — Tekst : elektronnyj // EBS YUrajt [sajt]. — URL: <https://biblio-online.ru/bcode/433489>
12. Mishenkov, G.V. Metod konechnykh elementov v kurse soprotivleniya materialov [Elektronnyj resurs] : uchebnoe posobie / G.V. Mishenkov, YU.N. Samogin, V.P. CHirkov ; pod red. V.P. CHirkova. — Elektron. dan. — Moskva : Fizmatlit, 2015. — 472 s. — Rezhim dostupa: <https://e.lanbook.com/book/71992>
13. Makarov, E. G. Soprotivlenie materialov s ispol'zovaniem vychislitel'nykh kompleksov : ucheb. posobie dlya akademicheskogo bakalavriata / E. G. Makarov. — 2-e izd., ispr. i dop. — Moskva : Izdatel'stvo YUrajt, 2019. — 413 s. — (Seriya : Bakalavr. Akademicheskij kurs). — ISBN 978-5-534-01761-8. — Tekst : elektronnyj // EBS YUrajt [sajt]. — URL: <https://biblio-online.ru/bcode/438313>

Leontyev Vyacheslav Vladimirovich
Sevastopol State University,
Sevastopol
Ph.D., Associate Professor
Department of Technical mechanics
and
machine science
299053, Sevastopol, Universitetskaya
st., 33
Ph.: 8(978) 821-18-34
E-mail: vvleontyev@sevsu.ru

Kondratova Elena Vasilievna
P.S. Nakhimov Higher Naval
School, Sevastopol
Associate Professor,
Department of Physics and
General technical disciplines
299028, Sevastopol, Dybenko
st., 1a
Ph.: 8(978) 975-43-26
E-mail:
leonardo1967@yandex.ru

Kolomiychenko Viktoriya Pavlovna
P.S. Nakhimov Higher Naval School,
Sevastopol
Lecturer, Department of Physics and
General technical disciplines
299028, Sevastopol, Dybenko st., 1a
Ph.: 8(978) 791-77-25
E-mail: mantulova@yandex.ru

МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ

УДК 629.4.027.4: 656.2

DOI: 10.33979/2073-7408-2020-343-5-33-40

О.В. ДОРОФЕЕВ, В.И. ВОРОБЬЕВ, М.И. БОРЗЕНКОВ, С.Н. ЗЛОБИН, С.О. КОПЫЛОВ

ПРИМЕНЕНИЕ ОБЪЕКТНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ УСТРОЙСТВ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ БОКСОВАНИЯ ЛОКОМОТИВА

Аннотация. Рассматривается задача выбора объектной модели технических решений устройств для предотвращения боксования тягового привода локомотива. Предложена модель в виде множеств описаний с разной степенью схематизации и библиотек описания типовых объектов в виде иерархической структуры функционального взаимодействия элементов.

Ключевые слова: Математическое моделирование, боксование, тяговый привод подвижного состава, автоматизация проектирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоколебательные процессы в транспортных системах: монография / В.И. Воробьев, О.В. Дорофеев, О.В. Измеров, М.И. Борзенков, А.А. Пугачев, С.Н. Злобин, С.О. Копылов. – Орел: ОГУ имени И.С. Тургенева, 2016. – 127 с.
2. Соколов, Ю.Н. Повышение надежности узлов тягового привода пассажирских электровозов ЭП1М и ЭП10 / Ю.Н. Соколов, А.С. Пономарев, В.Е. Дегтярев // Локомотив-информ. – 2010. – № 6. – С. 4-11.
3. Вахромеева, Т.О. Снижение динамических нагрузок в тяговых проводах электровозов с рамным подвешиванием тяговых двигателей и карданными муфтами. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Т.О. Вахромеева // МГУПС, Москва, 2014 – 24 с.
4. Корнев, А.М. Модернизация системы подвешивания ТЭД электровоза постоянного тока 2ЭС6 / А.М. Корнев, Д.В. Липунов // Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2016. С. 237-242.
5. Koller R. Konstruktionsmethode fur den Maschinen-, Gerate- und Apparatebau: monographie / R. Koller // Springer, Verlag, 1976 – 191p.
6. Roth, K.: Konstruieren mit Konstruktionskatalogen. Band 1: Konstruktionslehre: monographie / K. Roth // 3. Aufl. - Springer, Berlin, 2000 – 440p.
7. Аверченков, В.И. Основы математического моделирования технических систем: учебное пособие / В.И. Аверченков, В.П. Федоров, М.Л. Хейфец // Брянск, Изд-во БГТУ, 2004. – 271с.
8. Никитин, С.В. Моделирование новых технических решений локомотивов: учебное пособие / С.В. Никитин // Брянск, БИТМ, 1988 – 84 с.
9. Запорожцев, А.В. Моделирование технических систем / А.В. Запорожцев // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 8-6. – С. 1288-1294.
10. Измеров, О.В. Классификация как инструмент синтеза механической части тяговых приводов железнодорожного подвижного состава / О.В. Измеров, Г.С. Михальченко // Мир транспорта и технологических машин. – Орел, ГУ-УНПК (Госунiversитет-УНПК), 2012. - №4 (39). - С. 53-60.
11. Воробьев, В.И. Общие принципы классификации механической части тяговых приводов локомотивов / В.И. Воробьев, О.В. Измеров, А.А. Пугачев, Д.А. Бондаренко // Совершенствование энергетических машин: сб. науч. тр. / под ред. В.В. Рогова. – Брянск: БГТУ, 2015. – С. 241-248.
12. Измеров, О.В. Кибернетические аспекты методов синтеза электромеханических систем: монография / О.В. Измеров [и др.]; под ред. академика Академии электротехн. наук Рос. Федерации, д-ра техн. наук, проф. А.С. Космодамианского. – Орел: Госуниверситет - УНПК, 2015. – 234 с.
13. Буч, Гради. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений, 3-е изд.: Пер. с англ. / Гради Буч, Роберт А. Максимчук, Майкл У. Энгл, Бобби Дж. Янг, Джим Коналлен, Келли А. Хьюстон // М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2008. – 720 с.
14. Воробьев, В.И. Выбор объектной модели тягового привода локомотива / В.И. Воробьев, О.В. Измеров, М.А. Маслов // Вестник БГТУ. – 2017. – №6(59). – С. 69–75.
15. Antipin D. Ya. Application of the object model in the modelling process of locomotive drive units / D. Ya. Antipin, V. I. Vorobiev, S. O. Kopylov // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 450 (2018).
16. Устройство для предотвращения боксования локомотива: пат. 172435 Рос. Федерация: МПК B61C15/08 / Антипин Д.Я., Воробьев В.И., Измеров О.В., Маслов М.А., и др.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО "Брянский государственный технический университет". – № 2016117355; опубл. 07.07.2017, Бюл. № 19.

Дорофеев Олег Васильевич
ОГУ имени И.С. Тургенева, г.
Орёл
Кандидат технических наук,
доцент кафедры машиностроения
E-mail: olegdor57@gmail.com

Воробьев Владимир Иванович
Брянский государственный
технический университет, г.
Брянск
Кандидат технических наук,
доцент кафедры «Подвижной
состав железных дорог»

Борзенков Михаил Иванович
ОГУ имени И.С. Тургенева, г.
Орёл
Кандидат технических наук,
доцент, начальник отдела
научных изданий
E-mail: bim5155@yandex.ru

E-mail: vladimvorobiev@yandex.ru

Злобин Сергей Николаевич
ОГУ имени И.С. Тургенева, г.
Орёл
Кандидат технических наук,
доцент кафедры машиностроения
E-mail: zsn2@rambler.ru

Копылов Степан Олегович
Брянский государственный
технический университет, г.
Брянск
Аспирант кафедры «Подвижной
состав железных дорог»
E-mail: kopylov.stepan@gmail.com

O.V. DOROFEEV, V.I. VOROBYEV, M.I. BORZENKOV, S.N. ZLOBIN, S.O. KOPYLOV

APPLICATION OF THE OBJECT MODEL FOR LOCOMOTIVE BOXING PREVENTION DEVICES

Abstract. *The problem of choosing an object model of technical solutions for devices to prevent skidding of a traction drive of a locomotive is considered. A model is proposed in the form of sets of descriptions with varying degrees of schematization and libraries for describing typical objects in the form of a hierarchical structure of functional interaction of elements.*

Keywords: *mathematical modelling, skidding, railroad traction drive, computer-aided design.*

BIBLIOGRAPHY

1. Avtokolebatelnyye protsessy v transportnykh sistemakh: monografiya / V.I. Vorobyev, O.V. Dorofeev, O.V. Izmerov, M.I. Borzenkov, A.A. Pugachev, S.N. Zlobin, S.O. Kopylov. – Orel: OGU imeni I.S. Turgeneva, 2016. – 127 s.
2. Sokolov, Ju.N. Povyshenie nadezhnosti uzlov tјagovogo privoda passazhirskih jelektrovozov JeP1M i JeP10 / Ju.N. Sokolov, A.S. Ponomarev, V.E. Degtјarev // Lokomotiv-inform. – 2010. – № 6. – S. 4-11.
3. Vahromeeva T.O. Snizhenie dinami-cheskikh nagruzok v tјagovykh provodakh jelektrovozov s ramnym podveshivaniem tјagovykh dvigatelej i kardannymi muftami. Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni k.t.n./ T.O. Vahromeeva // MGUPS, Moskva, 2014 – 24 s.
4. Kornev, A.M.. Modernizacija sistemy podveshivaniya TJeD jelektrovoza postojannogo toka 2JeS6 / A.M. Kornev, D.V. Lipunov // Jekspluatacionnaja nadezhnost lokomotivnogo parka i povыshenie jeffektivnosti tјagi poezdov / Omskij gos. un-t putej soobshhenija. Omsk, 2016. C. 237-242.
5. Koller, R. Konstruktionsmethode fur den Maschinen-, Gerate- und Apparatebau: монография / R. Koller // Springer, Verlag, 1976 – 191p.
6. Roth, K. Konstruieren mit Konstruktionskatalogen. Band 1: Konstruktionslehre: монография / K.Roth // 3.Aufl. Springer, Berlin 2000 – 440p.
7. Averchenkov, V.I. Osnovy matematicheskogo modelirovaniya tehicheskikh sistem: ucheb. posobie / V.I. Averchenkov, V.P. Fedorov, M.L. Hejfec // Brjansk, Izd-vo BGTU, 2004. – 271s.
8. Nikitin, S.V. Modelirovanie novyh tehicheskikh reshenij lokomotivov: uchebnoe posobie / S.V. Nikitin // Brjansk, BITM, 1988 – 84 s.
9. Zaporozhce, A.V. Modelirovanie tehicheskikh sistem: statja / A.V. Zaporozhcev // Fundamentalnye issledovaniya. – 2014. – № 8-6. – S. 1288-1294.
10. Izmerov, O.V. Klassifikacija kak instrument sinteza mehanicheskoy chasti tјagovykh privodov zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava / O.V. Izmerov, G.S. Mihalchenko // Mir transporta i tehnologicheskikh mashin. – Orel, GU-UNPK (Gosuniversitet-UNPK), 2012. - №4 (39). - S. 53-60.
11. Vorobev, V.I. Obshhie principy klassifikacii mehanicheskoy chasti tјagovykh privodov lokomotivov [Tekst] + [Jelektronnyj resurs] / V.I. Vorobev, O.V. Izmerov, A.A. Pugachev, D.A. Bondarenko // Sovershenstvovanie jenergeticheskikh mashin: sb. nauch. tr. / pod red. V.V. Roga-ljova. – Brjansk: BGTU, 2015., S. 241-248.
12. Izmerov, O.V. Kiberneticheskie aspekty metodov sinteza jelektromehani-cheskikh sistem: monografiya / O.V. Izmerov [i dr.]; pod red. akademika Akademii jelektrotehn. nauk Ros. Federacii, d-ra tehn. nauk, prof. A.S. Kosmodamianskogo. – Orel: Gosuniversitet - UNPK, 2015. – 234 s.
13. Buch, Gradi. Obektno-orientirovannyj analiz i proektirovanie s primerami prilozhenij, 3-e izd: Per. s angl. / Gradi Buch, Robert A. Maksimchuk, Majkl U. Jengl, Bobbi Dzh. Jang, Dzhim Konallen, Kelli A. Hjuston // M.: OOO «I.D. Viljams», 2008. – 720 s.
14. Vorobyev, V.I. Vybor ob"yektnoy modeli tyagovogo privoda lokomotiva / V.I. Vorobyev, O.V. Izmerov, M.A. Maslov // Vestnik BGTU. –2017. – №6(59). –S. 69–75.
15. Antipin, D.Ya. Application of the object model in the modelling process of locomotive drive units / D.Ya. Antipin, V.I. Vorobiev, S.O. Kopylov // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 450 (2018).
16. Ustrojstvo dlya predotvrashheniya boksovaniya lokomotiva: pat. 172 435 Ros. Federaciya: MPK B61C15/08 / Antipin D.Ya., Vorobev V.I., Izmerov O.V., Maslov M.A., i dr.; заявитель i patentoobladatel' FGBOU VO "Bryanskij gosudarstvennyj texnicheskij universitet". – № 2016117355; opubl. 07.07.2017, Byul. №19.

Dorofeev Oleg Vasilevich
Orel State university, Orel
Candidate of technical sciences,
Associate Professor at the

Vorobyev Vladimir Ivanovich
Bryansk State Technical University,
Bryansk

Borzenkov Mikhail Ivanovich
Orel State university, Orel

Department of "Mechanical
engineering"
E-mail: olegdor57@gmail.com

Candidate of Engineering Sciences,
Associate Professor at the
Department of «Railroad rolling
stock»
E-mail: vladimvorobiev@yandex.ru

Candidate of technical sciences,
Associate Professor, head of the
department of scientific publications
E-mail: bim5155@yandex.ru

Zlobin Sergey Nikolaevich
Orel State university, Orel
Candidate of technical sciences,
Associate Professor at the
Department of "Mechanical
engineering"
E-mail: zsn2@rambler.ru

Kopylov Stepan Olegovich
Bryansk State Technical University,
Bryansk
Graduate student of the Department
«Railroad rolling stock»
E-mail: kopylov.stepan@gmail.com

УДК 621.941.025

DOI:10.33979/2073-7408-2020-343-5-41-45

И.В. ТИТОВА, А.Н. КОНОПЛИН

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ОБРАБОТКИ КОМПОЗИТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ РАЗРАБОТАННОЙ КОНСТРУКЦИИ РЕЗЦА ДЛЯ ЧЕРНОВОГО ТОЧЕНИЯ

Аннотация. В статье рассмотрен технологический процесс механической обработки композиционных материалов. Дана характеристика композиционных материалов, их физико-механических свойств. Дано обоснование необходимости совершенствования конструкции режущего инструмента. Для осуществления процесса резания разработана конструкция резцовой головки. Она состоит из чернового и чистового резцов. Для определения оптимальной геометрии указанных резцов было изготовлено по 20 резцов каждого вида с измененной геометрией. Проведены опыты с изменением величин заднего и переднего углов. Рекомендованы минимальные значения переднего угла для мягких и твердых материалов. Рекомендован радиус скругления чернового резца. Дан технологический процесс обработки композиционных материалов. Подробно описана конструкция чернового резца, который в значительной степени устраняет недостатки обработки, повышает производительность, улучшает качество, повышает стойкость.

Ключевые слова: композиционные материалы, машиностроение, режущий инструмент, резцовая головка, механическая обработка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галимов, Э.Р. Современные конструкционные материалы для машиностроения: учебное пособие /Э.Р.Галимов, А.Л.Абдуллин. - 3-е изд., стер.- Санкт-Петербург: Лань, 2020.- 268 с.
2. Deborah, D.L. Composite materials: science and applications. Functional materials for modern technologies> Printed in Great Britain, 2004. 293.
3. Сосенушкин, Е.Н. Технологические процессы и инструменты для изготовления деталей из пластмасс, резиновых смесей, порошковых и композиционных материалов: учебное пособие/ Е.Н.Сосенушкин. - Санкт-Петербург: Лань, 2018. - 300 с.
4. Шевченко, А.А. Физикохимия и механика композиционных материалов: Учебное пособие для вузов. – СПб.: ЦОП «Профессия», 2010. – 224 с.: ил.
5. Иванов, Д.А. Композиционные материалы: учебное пособие для вузов/ Д.А.Иванов, А.И.Ситников, С.Д.Шляпин; под редакцией А.А.Ильина.- Москва: Издательство Юрайт, 2019. – 253 с.
6. Растяжение и сжатие волокон. [Электронный ресурс] // Режим доступа// <http://stilin.ru/struktura-i-svoystva-kompozitov/209-rastyazhenie-i-szhatie-vdol-volokon.html> 30.06.2015.
7. Гладков, С.О. Физика композитов: учебник для вузов/ С.О.Гладков. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2020. – 332 с.
8. Парфеньева, И.Е. Технология конструкционных материалов: Учебное пособие /И.Е.Парфеньева. - Москва: Учебное пособие, 2009. – 198 с.
9. Рычков, Д.А., Янюшкин, А.С. Технология механической обработки композиционных материалов: монография. Старый Оскол: Тонкие наукоемкие технологии, 2017. – 224 с.
10. Титова, И.В. Достоинства и недостатки композиционных материалов /И.В.Титова, И.С.Киселев// Наука и образование в современных условиях: материалы международной научной конференции. Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», 2016. – С.307-313.

Титова Ирина Вячеславовна

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I.
кандидат технических наук, доцент
Тел.89155880745,
E-mail: titovair@yandex.ru

Коноплин Алексей Николаевич

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I.
кандидат технических наук, доцент
Тел.89102491931,
E-mail: aleksejj-konoplin@rambler.ru

I.V. TITOVA, A.N. KONOPLIN

TECHNOLOGICAL PROCESS OF PROCESSING COMPOSITES USING THE DEVELOPED DESIGN OF THE CUTTER FOR ROUGH TURNING

Abstract. *The article considers the technological process of mechanical processing of composite materials. The characteristic of composite materials and their physical and mechanical properties is given. The rationale for the need to improve the design of the cutting tool is given. The design of the cutting head has been developed for the cutting process. It consists of a rough and finishing incisors. To determine the optimal geometry of these incisors, 20 incisors of each type were manufactured with a modified geometry. Experiments with changing the values of the back and front corners were carried out. Recommended minimum front angle values for soft and hard materials. The radius of rounding of the roughing tool is recommended. The technological process of processing composite materials is given. The design of the roughing tool is described in detail, which largely eliminates the disadvantages of processing, increases productivity, improves quality, and increases durability.*

Keywords: *composite materials, mechanical engineering, cutting tools, tool head, mechanical processing.*

BIBLIOGRAPHY

1. Galimov, E. R. Modern structural materials for mechanical engineering: textbook /E. R. Galimov, A. L. Abdullin.- 3rd ed., ster.- Saint Petersburg: LAN, 2020. - 268 p.
2. Deborah, D.L. Composite materials: science and applications. Functional materials for modern technologies> Printed in Great Britain, 2004. 293.
3. Sosenushkin, E. N. Technological processes and tools for manufacturing parts from plastics, rubber mixtures, powder and composite materials: textbook/ E. N. Sosenushkin. - Saint Petersburg: LAN, 2018. - 300 p.
4. Shevchenko, A. A. physical chemistry and mechanics of composite materials: textbook for universities. - Saint Petersburg: PSC "profession", 2010. - 224 p.: Il.
5. Ivanov, D. A. Composite materials: textbook for universities/ D. A. Ivanov, A. I. Sitnikov, S. D. Shlyapin; edited by A. A. Ilyin.- Moscow: Yurayt publishing house, 2019. - 253 p.
6. Tension and compression fibers. [Electronic resource] // Access mode// <http://stilin.ru/struktura-i-svoystva-kompozitov/209-rastyazhenie-i-szhatie-vdol-volokon.html> 30.06.2015.
7. Gladkov, S. O. Physics of composites: textbook for universities/ S. O. Gladkov-2nd ed., ISPR. and additional – Moscow: Yurayt publishing house, 2020 – - 332 p.
8. Parfeneva, I. E. Technology of structural materials: a Textbook. / I. E. Parfeneva. - Moscow: Textbook, 2009. - 198 p.
9. Rychkov, D. A., Yanushkin, A. S. Technology of mechanical processing of composite materials: monograph. Stary Oskol: Thin science-intensive technologies, 2017, 224 p.
10. Titova, I. V. Advantages and disadvantages of composite materials /I. V. Titova, I. S. Kiselev// Science and education in modern conditions: proceedings of the international scientific conference. Voronezh: Voronezh state agrarian University named after Emperor Peter I, 2016, Pp. 307-313.

Titova Irina Vyacheslavovna

«Voronezh state agrarian University named after Emperor Peter I».
Candidate of technical Sciences, associate Professor
394030, Voronezh, Timiryazev str., 23a, sq. 148
Tel. 89155880745,
E-mail: titovair@yandex.ru

Konoplin Alexsey Nikolaevich

«Voronezh state agrarian University named after Emperor Peter I».
Candidate of technical Sciences, associate Professor
394043, Voronezh, birch Grove str., 24, sq. 35
Tel. 89102491931,
E-mail: aleksejj-konoplin@rambler.ru

А.М. КОЛОСОВСКИЙ

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ОТВЕТСТВЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ НА ОСНОВЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИЙ

Аннотация. В статье рассмотрены новые технологии производства, ремонта ответственных деталей машин, а также материалы, применение которых позволяет обеспечить высокий уровень надежности, долговечности и других важных эксплуатационных характеристик боевой техники. Показано, что актуальным и многообещающим направлением в сфере создания высокоэффективных покрытий (как и технологий их нанесения) с высокими физико-механическими свойствами ответственных деталей механизмов и машин является лазерное нанесение и спекание нанопорошков, другие передовые электрофизические методы формирования покрытий с уникальными свойствами

Ключевые слова: детали машин, покрытия, наноструктурные материалы, нанодисперсный порошок, модификатор, лазерная наплавка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афонин, Ю.В. Лазерная сварка титана с использованием нанопорошковых индукторов [Текст] / Ю.В. Афонин, А.Н. Черепанов, А.М. Оришчиц [и др.] // Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности. – СПб, 2008. – Т. 12. – С. 322–324;
2. Афонин, Ю.В. О применении нанопорошков тугоплавких соединений при лазерной варке и обработке металлов и сплавов [Текст] / Ю.В. Афонин, А.Г. Маликов // Тяжелое машиностроение. – 2008. – № 4. – С. 25–26;
3. Бакларь, В.Ю., Терехов, А.Ю., Кускова, Н.И. Нанесение металлического покрытия методом электрического взрыва проводников [Текст] / В.Ю. Бакларь, А.Ю. Терехов, Н.И. Кускова // Электронная обработка материалов. – 2011. – 47(6). – С. 29–34;
4. Бобырь, В.В., Терещенко, А.В. Создание изделий особо сложной формы для машиностроения на базе композиционных наноматериалов с помощью лазерных технологий // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. Донецк. 2010. – № 39, С. 7 – 13;
5. Бушуев, М. Н. Технология производства турбин [Текст] / М. Н. Бушуев. – М.: Машиностроение, 1966. – 416 с;
6. Гадалов, В.Н. Материаловедение: учебник / В.Н. Гадалов, С.Ф. Сафонов, Д.Н. Романенко, Ю.В. Скрипкина, Т.Н. Розина. – М.: АРГАМАК-МЕДИА: ИНФРА-М, 2017. – 272 с.;
7. Гольдштейн, Я.Е. Модифицирование и микролегирование чугуна и стали [Текст] / Я.Е. Гольдштейн, В.Г. Мизин. – М.: Металлургия, 1986. – 271 с.;
8. Гонсеровский, Ф.Г. Упрочнение и ремонт стальных паротурбинных рабочих лопаток после эрозийного износа [Текст] / Ф. Г. Гонсеровский // Электрические станции. – 1998. – № 8. – С. 37–41;
9. Давыдов, С.В. Наномодификатор как инструмент генной инженерии структурного состояния расплава чугуна [Текст] / С.В. Давыдов // Модифицирование как эффективный метод повышения качества чугунов и сталей. – Челябинск: Челяб. Дом печати, 2006. – 40 с.;
10. Дерябин, А.А. Кинетическая вязкость рельсовой стали, модифицированной сплавами Fe-Si-Ca, Fe-Si-Sa-Ba [Текст] / А.А. Дерябин, В.С. Цепелев, В.В. Конашко [и др.] // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2008. – № 4. – С. 3–6;
11. Еремин, Е.Н. Применение наночастиц тугоплавких соединений для повышения качества сварных соединений из жаропрочных сплавов [Текст] / Е.Н. Еремин // Омский научный вестник. – 2009. – № 3. – С. 63–67;
12. Жеребцов, С.А. Применение наноматериалов и высокотемпературной обработки никельхромовых сплавов при электрошлаковом литье [Текст] / С.А. Жеребцов / Автореф. канд. техн. наук. – Новокузнецк, 2006. – 22 с.;
13. Задиранов, А.Н. Теоретические основы кристаллизации металлов и сплавов [Текст] / А.Н. Задиранов, А.М. Кац. – М.: Изд-во РУДН, 2008. – 227 с.;
14. Картмазов, Г.Н. Коррозионно-эрозийностойкие покрытия для рабочих лопаток паровых турбин [Текст] / Г.Н. Картмазов, Ю.В. Лукирский, Г.В. Кирик, В.Г. Маринин, Ю. И. Поляков, А. А. Дейнека // Наука та інновації. – 2012. – Т. 8, № 3. – С. 17–22;
15. Коваленко, В.С., Колосовский, А.М. Исследование способа импульсной лазерной наплавки ферропорошками в магнитном поле [Текст] / В.С. Коваленко, А.М. Колосовский / Химическое машиностроение. – Киев, 1986. – Вып. 44. – С. 58–61;
16. Колосовский, А.М., Марченко И.Ф., Коваленко, В.С. Способ лазерной наплавки. А.С. № 1275851 (СССР);
17. Колосовский, А.М., Марченко И.Ф., Коваленко, В.С. Способ наплавки. А.С. № 1307276 (СССР);

18. Колосовский, А.М. Интенсификация лазерного упрочнения деталей машин и инструмента в магнитном поле [Текст]/А.М.Колосовский/ Автореф. диссер. канд. техн. наук – Киевский политехнический институт. – Киев, 1990. –16 с.;
19. Кузнецов, П.А., Терещенко, А.В., Савин, В.И., Бобырь В.В., Юрков, М.А., Кудрявцева, И.В. Технологии лазерного синтеза порошковых материалов для создания, восстановления и ремонта изделий сложной формы – Минск: Сборник докладов 8-го Международного симпозиума (ч. 2), 2013. – с.117-123;
20. Лахтин, Ю.М. Материаловедение [Текст]/Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева. – М.: Машиностроение, 1990. – 528 с.;
21. Лопухов, Г.А. Толковый металлургический словарь. Основные термины [Текст]/Г.А. Лопухов, В.А. Цирульников, В.И. Куманин [и др.] Под ред. В.И. Куманина. – М.: Рус. яз., 1989. – 446 с.;
22. Материаловедение и технология материалов: Учебное пособие/Под ред. А.И. Батышева и А.А. Смолькина. – М.: ИНФРА-М, 2015. – 288 с.;
23. Мингажев, А. Д. Защитное покрытие для лопаток паровых турбин [Текст] / А.Д. Мингажев, А.В. Новиков, Н.К. Криони, Р.Р. Бекишев // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2014. – № 4. – С. 257–278;
24. Мубоджян, С.А. Комплексные защитные покрытия турбинных лопаток авиационных ГДТ [Текст] / С.А. Мубоджян, В.П. Лесников, В.П. Кузнецов // Екатеринбург: Изд-во «Квист», 2008. – 208 с.;
25. Мухин, В. С. Инженерия поверхности деталей машин [Текст] / В. С. Мухин, А. М. Смыслов // Вестник УГАТУ. Машиностроение. – 2009. – Т. 12, № 4 (33). – С. 106–112;
26. Новиков, И. И. Повышение эрозионной стойкости сталей, применяемых в энергомашиностроении [Текст] / И.И. Новиков, Г.А. Филиппов, А.М. Мордухович, О.А. Кривда, И.А. Шалобасов, Б.Я. Ивницкий // Энергомашиностроение. – 1989. – № 12. – С. 15–17;
27. Орыщенко, А.С., Кузнецов, П.А., Бобырь В.В., Савин, В.И., Терещенко, А.В. Применение технологий селективного лазерного спекания и объемной лазерной наплавки для создания и восстановления деталей, используемых в машиностроении/Прогресивні технології і системи машинобудування. Донецьк, 2013. -Вып. 1, 2 (46). – с.238-244;
28. Похмурский, В. И. Разработка и исследование покрытий для защиты от фреттинг-коррозии [Текст] / В.И. Похмурский, В.М. Мацевитый, А.С. Калахан, И.Б. Казак, К.В. Вакуленко, С. В. Ляшок // Проблемы машиностроения. – 2010. – Т. 13, № 2. – С. 61–67;
29. Рябчиков, В.И. О качественных характеристиках модификаторов [Текст]/И.В. Рябчиков, А.Г. Панов, А.Э. Корниенко// Сталь. – 2007. - №6. – С.18-23;
30. Селиванов, К. С. Исследования свойств вакуумно-плазменных покрытий методом склерометрирования на установке CSM ScratchTest. Технология машиностроения [Текст] / К. С. Селиванов, А. М. Смыслов, А. Н. Петухов// Уфа: Вестник УГАТУ. – 2011. – Т. 15, № 4 (44). – С. 230–236;
31. Соболев, О.В., Дмитрик, В.В., Погребной, Н.А., Пинчук, Н.В., Мейлехов, А.А. Апробация структурного подхода для оптимизации режимов получения покрытий, повышающих износостойкость лопаток турбин/Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. - 2/5 (74). – с. 53-58;
32. Соколов, Г.Н. Модифицирование структуры наплавленного металла нанодисперсными карбидами вольфрама [Текст]/Г.Н. Соколов, И.В. Лысак, А.С. Трошков [и др.]// ФиХОМ. – 2009. - №6. – С.41-47;
33. Солонина, О.П. Жаропрочные титановые сплавы [Текст] / О. П. Солонина, С. Г. Глазунов. – М.: Металлургия, 1976. – 447 с.;
34. Тескер, Е.И., Тараненко, В.Ю., Субботин, М.А. Научно обоснованный подход к проблеме повышения сопротивляемости разрушению и изнашиванию высоконагруженных деталей машинного оборудования в нефтехимии и газовой отрасли/Известия ВолгГТУ, 2016. – с.93-95;
35. Черепанов, А.Н. Лазерная сварка стали с титановым сплавом с применением промежуточных вставок и нанопорошковых инокуляторов[Текст]/ А.Н. Черепанов, Ю.В. Афонин, А.М. Оришич// Тяжелое машиностроение. – 2009. - №8. – С.24-26;
36. Шишковский, И.В. Лазерный синтез функционально-градиентных мезоструктур и объемных изделий. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – С.424;
37. Rutherford, K. L. A Micro-Abrasive Wear Test, with Particular Application to Coated Systems [Text] / K. L. Rutherford, I. M. Hutchings // Surface & Coatings Technology. – 1996. – Vol. 79, Issue 1-3. – P. 231–239. doi: 10.1016/0257-8972(95)02461-1;
38. Sobol', O. V. Reproducibility of the single-phase structural state of the multielement high-entropy Ti–V–Zr–Nb–Hf system and related superhard nitrides formed by the vacuum-arc method [Text] / O.V. Sobol', A.A. Andreev, V.F. Gorban', N.A. Krapivka, V.A. Stolbovoi, I.V. Serdyuk, V.E. Fil'chikov // Technical Physics Letters. – 2012. – Vol. 38, Issue 7. – P. 616–619. doi: 10.1134/s1063785012070127.

Колосовский Андрей Михайлович

Филиал ФГКВОУ ВПО ВУНЦ «Военно-морская академия имени Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова» в г. Калининграде

Кандидат технических наук, профессор кафедры

236026, г. Калининград, Советский проспект, 82

Тел. (+7921) 617-61-64

E-mail: andrew.kol61@gmail.com

WAYS TO IMPROVE THE RELIABILITY AND DURABILITY OF RESPONSIBLE PARTS BASED ON ADVANCED MATERIALS AND TECHNOLOGIES

Abstract. *The article discusses new technologies of production, repair of responsible parts of machines, as well as materials, the application of which allows ensuring a high level of reliability, durability and other important performance of military equipment. The current and promising direction in the field of creating high-performance coatings (as well as technologies of their application) with high physical and mechanical properties of responsible parts of mechanisms and machines is laser application and caking Nano powders, other advanced electro physical methods of coating formation with unique properties it is shown.*

Keywords: *machine parts, coatings, Nano structure materials, Nano dispersion powder, modifier, laser surfacing.*

BIBLIOGRAPHY

1. Afonin, Y.V. Lazernaja svarka Ti s ispolzovaniem nanoporoshkov-inokuliarov [Text]/Y.V.Afonin, A.N. Cherepanov, A.M. Orishich [i dr.]// Issledovanie, razrabotka I priminenie vysokich tehnologij v promyshlennosti. – SPb, 2008. – T.12. – P.322-324;
2. Afonin, Y.V. O primenenii nanoporoshkov tugoplavkich sojedinenij pri lazernoj svarke I obrabotke metallov I splavov [Text]/Y.V. Afonin, A.G. Malikov// Tiazholoe mashinostrojenie. – 2008. - №4. – P.25-26;
3. Baklar, V.Y., Terechov, A.Y., Kuskova, N.I. Nanesenie metallichesкого pokrytija metodom elektricheskogo vzryva provodnikov [Text]/ V.Y. Baklar, A.Y. Terechov, N.I. Kuskova //Elektronnaia obrabotka materialov. – 2011. - 47(6). – P. 29–34;
4. Bobyr, V.V., Tereshenko, A.V. Sozdanie izdelij osobo slozhnoj formy dlja mashinostrojenija na baze kompozitsionnyh nanomaterialov s pomoshju lazernych tehnologij // Progressivnyje tehnologii I sistemy mashinostrojenija. - Donietsk. 2010. - №39, P. 7 – 13;
5. Bushujev, M. N. Technologija proizvodstva turbin [Text] / M. N. Bushujev. – M.: Mashinostrojenie, 1966. – 416 p.;
6. Gadalov, V.N. Materialivedenije: uchebnik/ V.N. Gadalov, S.F. Safonov, D.N. Romanenko, Y.V. Skripkina, T.N. Rozina. – M.: ARGAMAK-MEDIA: INFRA-M,2017. – 272 p.;
7. Goldshtein, Y.E. Modifitsirovanie i mikrolegirovanie chuguna i stali [Text]/ Y.E. Goldshtein, V.G. Mizin. – M.: Metallurgija, 1986. – 271p.;
8. Gonserovskij, F.G. Uprochnenie i remont stalnyh paroturbinnych rabochich lopatok posle erozionnogo iznosa [Text] / F.G. Gonserovskij // Elektricheskie stantsii. – 1998. – № 8. – P. 37–41;
9. Davydov, S.V. Nanomodifikator kak instrument gennoj inzhenerii strukturnogo sostojanija rasplava chuguna [Text]/ S.V. Davydov // Modifitsirovanie kak effektivnyj metod povyshenja kachestva chugunov I stalej. – Cheliabinsk: Cheliab. Dom pečati, 2006. – 40 p.;
10. Deriabin, A.A. Kineticheskaja viazkost relsovoj stali, modifitsirovannoj splavami Fe-Si-Ca, Fe-Si-Ca-Ba [Text]/A.A. Deriabin, V.S. Tsepelev, V.V. Konashko [i dr.]// Izv. vuzov. Chernaja metallurgija. – 2008. - №4. – P.3-6;
11. Eremin, E.N. Primenenie nanochastits tugoplavkich sojedinenij dlja povyshenja kachestva svarnyh sojedinenij iz zharoprochnykh splavov [Text]/E.N. Eremin// Omskij nauchnyj vestnik. – 2009. - №3. – P.63-67;
12. Zharebtsov, S.A. Primenenie nanomaterialov i vysokotemperaturnoj obrabotki nikelchromovykh splavov pri elektroshlakovom lite [Text]/S.A. Zharebtsov /Avtoref. kand. tehn. nauk. – Novokuznetsk, 2006. – 22 p.;
13. Zadiranov, A.N. Teoreticheskie osnovy kristallizatsii metallov i splavov [Text]/ A.N. Zadiranov, A.M. Kats. – M.: Izd-vo RUDN, 2008. – 227 p.;
14. Kartmazov, G.N. Korrozionno-eruzionnostojkie pokrytia dlja rabochich lopatok parovykh turbin [Text] / G.N. Kartmazov, Y.V. Lukirskij, G.V. Kirik, V.G. Marinin, Y.I. Poliakov, A.A. Dejneka // Nauka ta innovatsii. – 2012. – T. 8, № 3. – P. 17–22;
15. Kovalenko, V.S., Kolosovskiy, A.M. Issledovanie sposoba impulsnoj lazernoj naplavki ferroporoshkami v magnitnom pole [Text]/ V.S. Kovalenko, A.M. Kolosovskij /Chimicheskoe mashinostroenie. – Kiev, 1986. – Vyp. 44. – P.58-61;
16. Kolosovskiy, A.M., Marchenko I.F., Kovalenko, V.S. Sposob lazernoj naplavki. A.S.№ 1275851 (USSR);
17. Kolosovskiy, A.M., Marchenko I.F., Kovalenko, V.S. Sposob naplavki. A.S.№ 1307276 (USSR);
18. Kolosovskiy, A.M. Intensifikatsia lazernogo uprochnenja detalej mashin i instrumenta v magnitnom pole [Text]/A.M. Kolosovskiy / Avtoref. disser. kand. techn. nauk – Kievskij politehnicheskij institut - Kiev, 1990. –16 p.;
19. Kuznetsov, P.A., Tereshenko, A.V., Savin, V.I., Bobyr V.V., Yurkov, M.A., Kudriavtseva, I.V. Tehnologii lazernogo sinteza poroshkovykh materialov dlja sozdania, vosstanovlenja i remonta izdelij slozhnoj formy – Minsk: Sbornik dokladov 8-go Mezhdunarodnogo sympoziuma (ch. 2), 2013. – p.117-123;
20. Lahtin, Y.M. Materialovedenie [Text]/Y.M. Lahtin, V.P. Leonteva. – M.: Mashinostroenie, 1990. – 528 p.;
21. Lopuhov, G.A. Tolkovyj metallurgicheskij slovar. Osnovnye terminy [Text]/G.A. Lopuhov, V.A. Tsyrlunikov, V.I. Kumanin [i dr.] Pod red. V.I. Kumanina. – M.: Rus. jaz., 1989. – 446 p.;

22. Materialovedenie i tehnologia materialov: Uchebnoje posobie/Pod red. A.I. Batysheva i A.A. Smolkina. – М.: INFRA-M, 2015. – 288 p.;
23. Mingazhev, A. D. Zashitnoe pokrytie dlia lopatok parovykh turbin [Text] / A.D. Mingazhev, A.V. Novikov, H.K. Krioni, R.R. Bekishev //Elektronnyy nauchnyy zhurnal «Neftegazovoe delo». – 2014. – № 4. – P. 257–278;
24. Mubodzhajan, S.A. Kompleksnyye zashitnye pokrytia turbinnykh lopatok aviatsionnykh GTD [Text] / S.A. Mubodzhajan, V.P. Lesnikov, V.P. Kuznetsov//Ekaterinburg: Izd-vo «Kvist», 2008. – 208 p.;
25. Muhin, V.S. Inzheneria poverhnosti detalej mashin [Text] / V.C. Muhin, A.M. Smyslov // Vestnik UGATU. Mashinostroeniye. – 2009. – T. 12, № 4 (33). – P. 106–112;
26. Novikov, I.I. Povyshenie erozionnoy stoikosti stalej, primeniaemykh v energomashinostroenii [Text] / I.I. Novikov, G.A. Filippov, A.M. Morduhovich, O.A. Krivda, I.A. Shalobasov, B.Y. Ivnikskij // Energomashinostroeniye. – 1989. – № 12. – P. 15–17;
27. Oryshenko, A.S., Kuznetsov, P.A., Bobyr V.V., Savin, V.I., Tereshenko, A.V. Primenenie tehnologii selektivnogo lazernogo spekanija i obemnoj lazernoj naplavki dlia sozdania i vosstanovleniya detalej, ispolzuemykh v mashinostroenii/Progressivni tehnologii i sistemi mashinobuduvannia. Donetsk, 2013. - Vyp. 1, 2 (46). – p.238-244;
28. Pohmurskij, V.I. Razrabotka i issledovanie pokrytij dlia zashity ot fretting-korrozii [Text] / V.I. Pohmurskij, V.M. Matsevityj, A.S. Kalahan, I.B. Kazak, K.V. Vakulenko, S.V. Liashok // Problemy mashinostroeniya – 2010. – T. 13, № 2. – . 61–67;
29. Ryabchikov, V.I. O kachestvennykh harakteristikah modifikatorov [Text]/ V.I. Ryabchikov, A.G. Panov, A.E. Kornienko// Stal. – 2007. - №6. – P.18-23;
30. Selivanov, K.S. Issledovania svojstv vakuumno-plazmennyykh pokrytij metodom sklerometrirovania na ustanovke CSM ScratchTest. Tehnologia mashinostroeniya [Text] / K.S. Selivanov, A. M. Smyslov, A.N. Petuhov// Ufa: Vestnik UGATY. – 2011. – T. 15, № 4 (44). – P. 230–236;
31. Sobol, O.V., Dmitrik, V.V., Pogrebnoj, N.A., Pinchuk, N.B., Mejlehev, A.A. Aprobatsia strukturnogo podhoda dlia optimizatsii rezhimov polucheniya pokrytij, povyshayshih iznosostojkost lopatok turbin/ Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovykh tehnolij. – 2015. - 2/5 (74). – p. 53-58;
32. Sokolov, G.N. Modifitsirovanie struktury naplavlennogo metalla nanodispersnymi karbidami volframa [Text]/G.H. Sokolov, I.V. Lysak, A.S. Troshkov [i dr.]/ FiHOM. – 2009. - №6. – P.41-47;
33. Solonina, O.P. Zharoprochnye titanovye splavy[Text] / O.P. Solonina, S.G. Glazunov. – М.: Metallurgia, 1976. – 447 p.;
34. Tesker, E.I., Taranenko, V.Y., Subbotin, M.A. Nauchno obosnovannyj pohod k problem povysheniya soprotivliaemosti razrusheniyu i iznashivaniyu vysokonagruzhennykh detalej mashinnogo oborudovaniya v neftehimii i gazovoj otrasli/Izvestia VolgGTU, 2016. – p.93-95;
35. Cherepanov, A.N. Lazernaja svarka stali s titanovym splavom s primeneniem promezhutochnykh vstavov i nanoporoshkovykh inokuljatorov[Text]/ A.N. Cherepanov, Y.V. Afonin, A.M. Orishych// Tiazheloe mashinostroeniye. – 2009. - №8. – P.24-26;
36. Shishkovskiy, I.V. Lazernyj sintez funktsionalno-gradientnykh mezostruktur i ob”emnykh izdelij. – М.: FIZMATLIT, 2009. – P.424;
37. Rutherford, K. L. A Micro-Abrasive Wear Test, with Particular Application to Coated Systems [Text] / K. L. Rutherford, I. M. Hutchings // Surface & Coatings Technology. – 1996. – Vol. 79, Issue 1-3. – P. 231–239. doi: 10.1016/0257-8972(95)02461-1;
38. Sobol, O.V. Reproducibility of the single-phase structural state of the multielement high-nb entropy Ti–V–Zr–Nb–Hf system and related superhard nitrides formed by the vacuum-arc method [Text] / O.V. Sobol, A.A. Andreev, V.F. Gorban, N.A. Krapivka, V.A. Stolbovoi, I.V. Serdyuk, V.E. Filchikov // Technical Physics Letters. – 2012. – Vol. 38, Issue 7. – P. 616–619. doi: 10.1134/s1063785012070127.

Kolosovskii Andrei Michailovich

Branch of Naval Academy in Kaliningrad

PhD, Professor of the Department 236026, Kaliningrad, Sovietskiy ave., 82

Ph. (+7921) 617-61-64

E-mail: andrew.kol61@gmail.com

УДК 621.9

DOI: 10.33979/2073-7408-2020-343-5-55-60

Г.В.БАРСУКОВ, А.В. КИРИЧЕК, К.Ф. СЕЛЕМЕНЕВ, Е.М.СЕЛЕМЕНЕВА

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ НА СТОЙКОСТЬ ИНСТРУМЕНТА

Аннотация. В статье рассматриваются проблемы повышения эффективности центробежной обработки с жестким контактом. Показано, что при взаимодействии материалов с разными свойствами энергетически «выгодно» иметь несплошной контакт между взаимодействующими элементами поверхностей инструмента и детали. Установлено, что эпилмирование рабочих поверхностей инструмента существенно изменяет характер сопротивления адгезионному взаимодействию эффективность которого в значительной степени повышается при применении СОТС (смазочно – охлаждающих технологических сред).

Ключевые слова: Центробежная обработка, неоднородность упрочнения, эпиламирование.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. 5-е изд. М.: Наука, 1965.
2. Шишкин Н.И. Влияние импульса метеорита на размеры ударного кратера. - Прикладная механика и техническая физика. - 2011. - Т. 52. - №6.
3. Holsapple K. A., Schmidt R. M. On the scaling of crater dimensions. 2. Impact processes // J. Geophys. Res. 1982. V. 87, N B3. P. 1849–1870.
4. Киричек А.В. Влияние эпиламов (ПАВ) на физико – технические свойства инструментов при низкоскоростной механической обработке [Текст] // А.В.Киричек, М.Ф. Селеменев, О.В. Селеменова «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии» №2 (322), ОГУ имени И.С.Тургенева, 2017г. С.- 85-96
5. Селеменова О.В. Теоретический анализ стойкости эпиламированных покрытий инструмента при поверхностном пластическом деформировании [Текст] // Селеменова О.В., Селеменев М.Ф., Фроленкова Л.Ю., Тарапанов А.С. «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии» 2018, № 1/(327).– ОГУ имени И.С.Тургенева, 2018г. С. 37-42.

Барсуков Геннадий Валерьевич
Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева
доктор технических наук, профессор
Тел: +9103066171
awj@list.com

Киричек Андрей Викторович
Брянский государственный технический университет
доктор технических наук, профессор
Тел: +9192140424
Avk57@yandex.ru

Селеменев Константин Федорович
Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева, аспирант
skf57@yandex.ru

Селеменова Елена Михайловна
Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева, студентка
SelemenevaL@mail.ru

G.V. BARSUKOV, A.V. KIRICHEK, K.F. SELEMENEV, E.M. SELEMENEVA

EXPERIMENTAL STUDIES OF THE INFLUENCE OF THIN-FILM COATINGS ON THE RESISTANCE OF THE TOOL

Abstract. *The article deals with the problems of increasing the efficiency of centrifugal processing with a rigid contact. It is shown that when materials with different properties interact, it is energetically "advantageous" to have a discontinuous contact between interacting elements of the surfaces of the tool and the part. It has been established that epilating the working surfaces of the tool significantly changes the nature of the resistance to adhesive interaction, the effectiveness of which is significantly increased when using cutting fluids (lubricating and cooling technological media).*

Keywords: *Centrifugal processing, heterogeneity of hardening, epilating.*

BIBLIOGRAPHY

1. Sedov L.I. Similarity and Dimensional Methods in Mechanics. 5th ed. Moscow: Nauka, 1965.
2. Shishkin N.I. Influence of the meteorite impulse on the size of the impact crater. - Applied mechanics and technical physics. - 2011. - T. 52. - No. 6.
3. Holsapple K. A., Schmidt R. M. On the scaling of crater dimensions. 2. Impact processes // J. Geophys. Res. 1982. V. 87, No. B3. P. 1849-1870.
4. Kirichek A.V. Influence of epilams (surfactants) on the physical and technical properties of tools at low-speed machining [Text] // A.V. Kirichek, M.F. Selemenev, O. V. Selemenev "Fundamental and applied problems of engineering and technology" No. 2 (322), OSU named after I.S. Turgenev, 2017. S.- 85-96
5. Selemeneva O.V. Theoretical analysis of the resistance of epilamated coatings of the tool under surface plastic deformation [Text] // Selemeneva OV, Selemenev MF, Frolenkova L.Yu., Tarapanov AS. "Fundamental and applied problems of engineering and technology" 2018, No. 1 / (327). - OSU named after I.S. Turgenev, 2018. S. 37-42.

Barsukov Gennady Valerievich
Oryol State University named after I.S. Turgenev
Doctor of Technical Sciences, Professor
Tel: +9103066171
awj@list.com

Kirichek Andrey Viktorovich
Bryansk State Technical University
Doctor of Technical Sciences, Professor
Tel: +9192140424
Avk57@yandex.ru

Selemenov Konstantin Fedorovich
Oryol State University
named after I.S. Turgeneva, postgraduate student
skf57@yandex.ru

Selemenova Elena Mikhailovna
Oryol State University
named after I.S. Turgeneva, student
SelemenovaL@mail.ru

МАШИНОВЕДЕНИЕ И МЕХАТРОНИКА

УДК 629.363

DOI: 10.33979/2073-7408-2020-343-5-61-66

Р.Р. АБЛАЕВ

ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПЕРЕДВИЖНЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ

Аннотация. В статье автором исследован процесс функционирования передвижных механизированных комплексов. Структурно представлены показатели функционирования передвижных механизированных комплексов и укрупненная блок-схема его функционирования. В качестве оптимизирующих функций структуры передвижных механизированных комплексов автором предлагаются две целевые функции: техническая (временная характеристика) и экономическая, в виде снижения расходов на создание и функционирование комплекса.

Ключевые слова: передвижной механизированный комплекс, показатель, оптимизация, целевая функция, функционирование.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аблаев Р. Р. Методика оценки направлений развития производственно-технической базы авторемонтного предприятия для увеличения конкурентоспособности / Р. Р. Аблаев // Известия Тульского государственного университета. Экономические и юридические науки. - 2018. - № 1-1. - С. 88-95
2. Аблаев Р.Р. Перспективы использования передвижных механизированных комплексов как основа расширения рынка услуг по ремонту и техническому обслуживанию машин и сооружений / Р.Р. Аблаев // Вестник молодежной науки. - 2018. - № 1 (13). - С. 5.
3. Аблаев Р.Р., Аблаев А.Р., Харченко А.О. Структурно-компоновочный синтез передвижных механизированных комплексов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - 2019. - №1 (133). - С. 14-21.
4. Аблаев Р.Р., Аблаев А.Р. Постановка задачи оптимальной ресурсоэффективной компоновки механизированных объектов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - 2020. - №1 (339). С. 70-74. DOI: 10.33979/2073-7408-2020-339-1-70-74.
5. Аблаев А.Р. Критерии эффективности оборудования (элементов систем) // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - 2019. - №4-1 (336). - С. 59-65.
6. Палковский А.В. Исследование эффективности оказания технической помощи автомобилям на линии / А.В. Палковский: Дис... канд. техн. наук: 05.22.11. - К., 1977. - 151 с.
7. Технология машиностроения: В 2 т. Т.2. Производство машин: Учебник для вузов / В. М. Бурцев, А. С. Васильев, О. М. Деев и др.; Под ред. Г. Н. Мельникова. - М.: Изд-во МГТУ им Н. Э. Баумана, 2012. - 551 с.
8. Усачев Ю.И. Синтез компоновочных схем механосборочных цехов // Проблемы Науки. 2016. №6 (48). С-39-46
9. Жуков Е.М. Компоновочно-технологическое проектирование автоматизированного механообрабатывающего производства деталей энергетического и горнодобывающего комплекса : дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08. - Белгород, 2006 - 197 с.

Аблаев Ремзи Рустемович

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь
канд. эконом. наук, доцент кафедры «Экономика предприятий», судебный эксперт-автотехник
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33
Тел. 8978-801-91-41
E-mail: ablaev.expert@mail.ru

THE MAIN TASKS OF ENSURING THE EFFECTIVENESS OF MOBILE MECHANIZED COMPLEXES

Abstract. *In the article, the author has studied the process of functioning of mobile mechanized complexes. The structural indicators of the functioning of mobile mechanized complexes and an enlarged block diagram of its functioning are presented. As optimizing functions of the structure of mobile mechanized complexes, the author offers two target functions: technical (temporal characteristics) and economic, in the form of reducing the cost of creating and operating a complex.*

Keywords: *mobile mechanized complex, indicator, optimization, target function, functioning.*

BIBLIOGRAPHY

1. Ablaev R. R. Methodology for evaluating the directions of development of the production and technical base of an automobile repair enterprise to increase competitiveness / R. R. Ablaev // Izvestiya of the Tula state University. Economic and legal Sciences. - 2018. - № 1-1.
2. Ablaev R. R. Prospects for the use of mobile mechanized complexes as the basis for expanding the market of services for repair and maintenance of machines and structures / R. R. Ablaev // Bulletin of youth science. – 2018. – № 1 (13).
3. Ablaev R. R., Ablaev A. R., Kharchenko A. O. Structural and layout synthesis of mobile mechanized complexes // Fundamental and applied problems of engineering and technology. – 2019. – №1 (133).
4. Ablaev R. R., Ablaev A. R. Setting the task of optimal resource-efficient layout of mechanized objects // Fundamental and applied problems of engineering and technology. – 2020. – №1 (339). DOI: 10.33979/2073-7408-2020-339-1-70-74.
5. Ablaev A. R. Criteria for the effectiveness of equipment (system elements) // Fundamental and applied problems of engineering and technology. – 2019. – №4-1 (336).
6. Palkovsky A.V. Research on the effectiveness of technical assistance to cars on the line/ A.V. Palkovsky: Dis ... kand. tehn. science: 05.22.11. - K., 1977. - 151 p.
7. Technology of mechanical engineering: In 2 t. T. 2. Production of machines: Textbook for universities / V. M. Burtsev, A. S. Vasiliev, O. M. Deev, etc.; edited by G. N. Melnikov. - M.: Publishing house of Bauman Moscow state technical University, 2012. - 551 p.
8. Usachev Yu. I. Synthesis of layout schemes of mechanical Assembly shops // Problems Of Science. 2016. №6 (48).
9. Zhukov E. M. Layout and technological design of automated machining production of parts of the energy and mining complex: dis. ... Cand. tech. science: 05.02.08. - Belgorod, 2006.

Ablaev Remzi Rustemovich

Ph.D., Associate Professor

Sevastopol State University, expert

299053, Sevastopol, Universitetskaya Str. 33

Ph.: 8978-801-91-41

E-mail: ablaev.expert@mail.ru

УДК 621.8

DOI: 10.33979/2073-7408-2020-343-5-67-72

М.Ю. КАРЕЛИНА, Н.В. АТАМАНЕНКО, Т.Ю. ЧЕРЕПНИНА

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЧЕРВЯЧНЫХ ПЕРЕДАЧ В КОНСТРУКЦИЯХ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Аннотация. *В статье проанализированы перспективы применения червячных передач в конструкциях автотранспортных средств. Проведен обзор методики расчёта червячной передачи, проанализированы подходы к выбору материалов червяка и червячного колеса. Проведен сравнительный анализ характеристик улучшенных и нормализованных среднеуглеродистых сталей и чугунов. Приведены характеристики материалов, отличающихся наилучшими антифрикционными и антизадириными свойствами, в частности, оловянистых бронз. Рассмотрены методики прогнозирования надёжности червячной пары, а также методы повышения ресурса. Обоснован выбор материала зубчатого венца червячного колеса в зависимости от скорости скольжения. Приведены расчеты для предупреждения отказов в червячной паре: выкрашивание рабочих поверхностей зубьев, излом зуба червячного колеса, заедание и износ, поломка тела червяка, перегрев, заклинивание передачи и другие.*

Ключевые слова: *червячная передача, надёжность, проектирование, выбор материала, износостойкость.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. EvtukovS., Karelina M., Terentyev A. A method for multi-criteria evaluation of the complex safety characteristic of a road vehicle characteristic of a road vehicle//Transportation Research Procedia. -36. -2018. -pp. 149–156.
2. Гриб В.В., Карелина М.Ю., Петрова И.М., Филимонов М.А. Разработка алгоритма прогнозирования и мониторинга ресурса механических систем // Современные проблемы теории машин. — 2013. — № 1. — С. 77-79.
3. Maksimychiev O.I., Ostroukh A.V., Pastukhov D.A., Nuruev Y.E.-O., Karelina M.Y., Zhankaziev S.V. Technology of monitoring and control algorithm design for earth-moving machine // International Journal of Applied Engineering Research. — 2016. — № T. 11. № 9. — С. 6430-6434.
4. Maksimychiev O.I., Ostroukh A.V., Pastukhov D.A., Nuruev Y.E.-O., Karelina M.Y., Zhankaziev S.V. Automated Control System of Road Construction Works // International Journal of Applied Engineering Research. — 2016. — № T. 11. № 9. — С. 6441-6446.
5. Терентьев А.В., Ефименко Д.Б., Карелина М.Ю. Методы районирования как методы оптимизации автотранспортных процессов // Вестник гражданских инженеров. — 2017. — № 6 (65). — С. 291-294.
6. Гадолина И.В., Карелина М.Ю., Петрова И.М. Экспериментально-расчетный метод оценки долговечности узлов машин при многоцикловом нагружении // Автоматизированное проектирование в машиностроении. — 2013. — № 1. — С. 14-18.
7. Терентьев А.В., Ефименко Д.Б., Карелина М.Ю. Система управления качеством эксплуатации автомобиля // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). — 2019. — № 2 (57). — С. 34-42.
8. Гайдар С.М., Карелина М.Ю. Адсорбция фтор-пав и ее влияние на смазку трибосопряжений в условиях граничного и гидродинамического трения // от наноструктур, наноматериалов и нанотехнологий к наноиндустрии. Тезисы докладов Пятой Международной конференции. — Ижевск : Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова (Ижевск), 2015. — С. 44-45.
9. Гайдар С.М., Волков А.А., Карелина М.Ю. Адсорбция фтор-пав и ее влияние на смазку трибосопряжений в условиях граничного и гидродинамического трения // Труды ГОСНИТИ. — 2015. — № Том: 118. — С. 113-124.
10. Карелина М.Ю., Гайдар С.М. Технология повышения износостойкости поверхностей трибосопряжений физико-химическим методом// Грузовик. —2015. —№ 3. —С. 12-16.

Карелина Мария Юрьевна
ФГБОУ ВО «Московский
автомобильно-дорожный
государственный технический
университет (МАДИ)», г.
Москва
Доктор технических наук,
доктор педагогических наук,
профессор, заведующий
кафедрой «Детали машин и
теория механизмов»
125319, г. Москва,
Ленинградский проспект, 64
тел. 8 (985) 776-23-63
E-mail: karelinamu@mail.ru

Черепнина Татьяна Юрьевна
ФГБОУ ВО «Московский
автомобильно-дорожный
государственный технический
университет (МАДИ)», г. Москва
Кандидат исторических наук,
доцент
кафедры «Детали машин и
теория механизмов» 125319, г.
Москва, Ленинградский
проспект, 64
тел. 8 (926) 150-26-15
E-mail: 2783974@gmail.com

Атаманенко Наталья Владимировна
ФГБОУ ВО «Московский
автомобильно-дорожный
государственный технический
университет (МАДИ)», г. Москва
Старший преподаватель кафедры
«Детали машин и теория механизмов»
125319, г. Москва, Ленинградский
проспект, 64
тел. 8 (916) 625-40-20
E-mail: natalia6807@mail.ru

M.Yu. KARELINA, N.V. ATAMANENKO, T.Yu. CHEREPNINA

PROSPECTS FOR THE USE OF WORM GEARS IN VEHICLE DESIGNS

Abstract. *The article analyzes the prospects for the use of worm gears in the construction of vehicles. A review of the method of calculating the worm gear has been carried out, approaches to the selection of materials for the worm itself and the worm wheel have been analyzed. A comparative analysis of the characteristics of improved and normalized medium-carbon steels and cast irons has been carried out. The characteristics of materials characterized by the best antifriction and anti-seize properties, in particular, tin bronzes, are given. The methods for predicting the reliability of a worm pair as well as methods for increasing the resource have been considered. The choice of the material of the worm gear depending on the sliding speed has been justified. Calculations have been given to prevent failures in the worm pair: chipping of the working surfaces of the teeth, kinking of the worm wheel tooth, seizing and wear, breakage of the worm's body, overheating, jamming of the gear and others.*

Keywords: worm gear, reliability, design, material selection, wear resistance.

BIBLIOGRAPHY

1. Evtiukov S., Karelina M., Terentyev A. A method for multi-criteria evaluation of the complex safety characteristic of a road vehicle characteristic of a road vehicle // Transportation Research Procedia. -36. -2018. -pp. 149–156.
2. Grib V.V., Karelina M.Ju., Petrova I.M., Filimonov M.A. Razrabotka algoritma prognozirovaniya i monitoringa resursa mekhanicheskikh sistem // Sovremennyye problemy teorii mashin. — 2013. — № 1. — S. 77-79.
3. Maksimych O.I., Ostroukh A.V., Pastukhov D.A., Nuruev Y.E.-O., Karelina M.Y., Zhankaziev S.V. Technology of monitoring and control algorithm design for earth-moving machine // International Journal of Applied Engineering Research. — 2016. — № T. 11. № 9. — S. 6430-6434.
4. Maksimych O.I., Ostroukh A.V., Pastukhov D.A., Nuruev Y.E.-O., Karelina M.Y., Zhankaziev S.V. Automated Control System of Road Construction Works // International Journal of Applied Engineering Research. — 2016. — № T. 11. № 9. — S. 6441-6446.
5. Terent'ev A.V., Efimenko D.B., Karelina M.Ju. Metody rajonirovaniya kak metody optimizatsii avtotransportnykh processov // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. — 2017. — № 6 (65). — S. 291-294.
6. Gadolina I.V., Karelina M.Ju., Petrova I.M. Jeksperimental'no-raschetnyy metod ocenki dolgovechnosti uzlov mashin pri mnogociklovom nagruzhении // Avtomatizirovannoe proektirovanie v mashinostroenii. — 2013. — № 1. — S. 14-18.
7. Terent'ev A.V., Efimenko D.B., Karelina M.Ju. Sistema upravleniya kachestvom jekspluatatsii avtomobilja // Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta (MADI). — 2019. — № 2 (57). — S. 34-42.
8. Gajdar S.M., Karelina M.Ju. Adsorbtsiya ftor-pav i ee vliyanie na smazku tribosoprjazhenij v usloviyah granichnogo i gidrodinamicheskogo treniya // ot nanostruktur, nanomaterialov i nanotehnologij k nanoindustrii. Tezisy dokladov Pjatoj Mezhdunarodnoj konferencii. — Izhevsk : Izhevskij gosudarstvennyy tehnikeskij universitet imeni M.T. Kalashnikova (Izhevsk), 2015. — S. 44-45.
9. Gajdar S.M., Volkov A.A., Karelina M.Ju. Adsorbtsiya ftor-pav i ee vliyanie na smazku tribosoprjazhenij v usloviyah granichnogo i gidrodinamicheskogo treniya // Trudy GOSNITI. — 2015. — № Tom: 118. — S. 113-124.
10. Karelina M.Ju., Gajdar S.M. Tehnologija povyshenija iznosostojkosti poverhnostej tribosoprjazhenij fiziko-himicheskimi metodami // Gruzovik. — 2015. — № 3. — S. 12-16.

Karelina Maria Yurievna
Moscow Automobile and Road State
Technical University (MADI).
Doctor of Technical Sciences, doctor
of Pedagogical Sciences, professor,
head of department
«Machinery Parts and Theory of
Mechanisms», 125319, Moscow,
Leningradsky Prospekt, 64,
Russian Federation
Ph.: 8 (985) 776-23-63
E-mail: karelinamu@mail.ru

Cherepnina Tatyana Yurievna
Moscow Automobile and Road
State Technical University
(MADI)
Candidate of historical sciences,
assistant professor of department
«Machinery Parts and Theory of
Mechanisms»
125319, Moscow, Leningradsky
Prospekt, 64,
Russian Federation

Atamanenko Natalia Vladimirovna
Moscow Automobile and Road State
Technical University (MADI)
Senior lecturer of department
«Machinery Parts and Theory of
Mechanisms», 125319, Moscow,
Leningradsky Prospekt, 64,
Russian Federation
Ph.: 8 (916) 625-40-20
E-mail: natalia6807@mail.ru

УДК 519.688, 62-79

DOI: 10.33979/2073-7408-2020-343-5-73-79

А.В. КОРНАЕВ, И. Н. СТЕБАКОВ, С.Г. ПОПОВ, Ю.Н. КАЗАКОВ

КЛАСТЕРНЫЙ АНАЛИЗ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ГРУПП ДЕФЕКТОВ РОТОРНО-ОПОРНОЙ СИСТЕМЫ

Аннотация. Кластерный анализ широко применяется в области диагностики и мониторинга состояния машин. В данной статье рассматривается вопрос распознавания состояний роторно-опорных систем с подшипниками жидкостного трения. Был проведен эксперимент для исследования влияния затяжки болтов крепления корпуса роторно-опорной установки к станине, болтов крепления электродвигателя к станине, дисбаланс ротора, а также сочетание этих факторов. Применялся кластерный анализ на основе метода К-средних. В качестве входных данных для обучения использовались показания вихретокового преобразователя горизонтальной ориентации для контроля положения ротора. Анализ результатов позволил выявить две группы дефектов. При тестировании на тестовой выборке точность определения группы составила 100%.

Ключевые слова: система мониторинга, машинное обучение, кластеризация, распознавание дефектов, ротор, подшипники скольжения, метод К-средних.

Работа подготовлена в рамках выполнения гранта Президента РФ №МД-129.2020.8. Авторы выражают благодарность фонду за оказанную поддержку. Также авторы выражают благодарность А.С. Фетисову и А.Ю. Родичеву за помощь в разработке экспериментальной установки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. S.S. Moosavi, A. Kazemi, H. Akbari, A comparison of various open-circuit fault detection methods in the IGBT-based DC/AC inverter used in electric vehicle // Engineering Failure Analysis. 2019. Volume 96. pp. 223-235.
2. Adam Glowacz, Acoustic fault analysis of three commutator motors // Mechanical Systems and Signal Processing. 2019. Volume 133.
3. Juan Jose Saucedo-Dorantes, Miguel Delgado-Prieto, René De Jesús Romero-Troncoso, Roque Alfredo Osornio-Rios, Multiple-fault detection and identification scheme based on hierarchical self-organizing maps applied to an electric machine // Applied Soft Computing. 2019. Volume 81.
4. Adrián Rodríguez-Ramos, Antônio José da Silva Neto, Orestes Llanes-Santiago, An approach to fault diagnosis with online detection of novel faults using fuzzy clustering tools // Expert Systems with Applications. 2018. Volume 113. pp. 200-212.
5. Hongtao Zhang, Huanxin Chen, Yabin Guo, Jiangyu Wang, Guannan Li, Limei Shen, Sensor fault detection and diagnosis for a water source heat pump air-conditioning system based on PCA and preprocessed by combined clustering // Applied Thermal Engineering. 2019. Volume 160.
6. Han Zhang, Xuefeng Chen, Xiaoli Zhang, Benyuan Ye, Xin Wang, Aero-engine bearing fault detection: A clustering low-rank approach // Mechanical Systems and Signal Processing. 2020. Volume 138.
7. pp. Arpaia, U. Cesaro, M. Chadli, H. Coppier, L. De Vito, A. Esposito, F. Gargiulo, M. Pezzetti, Fault detection on fluid machinery using Hidden Markov Models // Measurement. 2020. Volume 151.
8. Yue Liu, Zhiqiang Ge, Weighted random forests for fault classification in industrial processes with hierarchical clustering model selection // Journal of Process Control. 2018. Volume 64. pp. 62-70.
9. Kun Yu, Tian Ran Lin, Ji Wen Tan, A bearing fault diagnosis technique based on singular values of EEMD spatial condition matrix and Gath-Geva clustering // Applied Acoustics. 2017. Volume 121. pp. 33-45.
10. Guannan Li, Yunpeng Hu, Improved sensor fault detection, diagnosis and estimation for screw chillers using density-based clustering and principal component // Energy and Buildings. 2018. Volume 173. pp. 502-515.
11. J. Sokołowski, J. Obuchowski, A. Wyłomańska, pp. Kruczek, R. Zimroz, Multiple local damage detection method based on time-frequency representation and agglomerative hierarchical clustering of temporary spectral content // Applied Acoustics. 2019. Volume 147. pp. 44-55.
12. X.J. Luo, K.F. Fong, Y.J. Sun, M.K.H. Leung, Development of clustering-based sensor fault detection and diagnosis strategy for chilled water system // Energy and Buildings. 2019. Volume 186. pp. 17-36.
13. National Instruments. Официальный сайт. URL: <https://www.ni.com/ru-ru.html> (дата обращения 11.07.2020 г.).
14. Buel&Kjaer. Официальный сайт. URL: <https://www.bksv.com> (дата обращения 11.07.2020 г.).
15. Python. Официальный сайт. URL: <https://www.python.org> (дата обращения 11.07.2020 г.).

Корнаев Алексей Валерьевич

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г Орёл
Доктор технических наук, профессор кафедры мехатроники, механики и робототехники, старший научный сотрудник НОЦ Интеллектуальных технологий мониторинга и диагностики энергогенерирующего оборудования 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел. 8 953 478 15-91
E-mail: rusakor@inbox.ru

Попов Сергей Георгиевич

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г Орёл
Аспирант, младший научный сотрудник НОЦ Интеллектуальных технологий мониторинга и диагностики энергогенерирующего оборудования 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел. 8 906 568 65-01
E-mail: hvunt32@gmail.com

Стебаков Иван Николаевич

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г Орёл
Студент, стажер–исследователь НОЦ Интеллектуальных технологий мониторинга и диагностики энергогенерирующего оборудования 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел. 8 953 618 08-66
E-mail: chester50796@yandex.ru

Казаков Юрий Николаевич

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г Орёл
Студент, стажер–исследователь НОЦ Интеллектуальных технологий мониторинга и диагностики энергогенерирующего оборудования 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел. 8 920 089 47-19
E-mail: kazakyurii@yandex.ru

I.N. STEBAKOV, A.V. KORNAEV, S.G. POPOV, Yu. N. KAZAKOV

CLUSTER ANALYSIS FOR DETECTING GROUPS OF DEFECTS ROTARY SUPPORT SYSTEM

Abstract. Cluster analysis is widely used in the machine diagnostic and monitoring field. This article discusses the issue of recognizing the states of rotary-support systems with fluid-friction bearings. An experiment was carried out to investigate the effect of tightening the bolts that connect rotor-support unit body to the frame; to investigate the effect of tightening the bolts that connect electric motor to the frame; to investigate the rotor imbalance, as well as a combination of these factors. Cluster analysis based on the K-means method was applied. The readings of the eddy-current transducer were used as an input data for training. Analysis of the results revealed two groups of defects. During testing, the accuracy of group identification was 100%.

Keywords: monitoring system, machine learning, clustering, defect recognition, rotor, plain bearings, K-means method.

BIBLIOGRAPHY

1. S.S. Moosavi, A. Kazemi, H. Akbari, A comparison of various open-circuit fault detection methods in the IGBT-based DC/AC inverter used in electric vehicle // *Engineering Failure Analysis*. 2019. Volume 96. pp. 223-235.
2. Adam Glowacz, Acoustic fault analysis of three commutator motors // *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2019. Volume 133.
3. Juan Jose Saucedo-Dorantes, Miguel Delgado-Prieto, René De Jesús Romero-Troncoso, Roque Alfredo Osornio-Rios, Multiple-fault detection and identification scheme based on hierarchical self-organizing maps applied to an electric machine // *Applied Soft Computing*. 2019. Volume 81.
4. Adrián Rodríguez-Ramos, Antônio José da Silva Neto, Orestes Llanes-Santiago, An approach to fault diagnosis with online detection of novel faults using fuzzy clustering tools // *Expert Systems with Applications*. 2018. Volume 113. pp. 200-212.
5. Hongtao Zhang, Huanxin Chen, Yabin Guo, Jiangyu Wang, Guannan Li, Limei Shen, Sensor fault detection and diagnosis for a water source heat pump air-conditioning system based on PCA and preprocessed by combined clustering // *Applied Thermal Engineering*. 2019. Volume 160.
6. Han Zhang, Xuefeng Chen, Xiaoli Zhang, Benyuan Ye, Xin Wang, Aero-engine bearing fault detection: A clustering low-rank approach // *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2020. Volume 138.
7. pp. Arpaia, U. Cesaro, M. Chadli, H. Coppier, L. De Vito, A. Esposito, F. Gargiulo, M. Pezzetti, Fault detection on fluid machinery using Hidden Markov Models // *Measurement*. 2020. Volume 151.
8. Yue Liu, Zhiqiang Ge, Weighted random forests for fault classification in industrial processes with hierarchical clustering model selection // *Journal of Process Control*. 2018. Volume 64. pp. 62-70.
9. Kun Yu, Tian Ran Lin, Ji Wen Tan, A bearing fault diagnosis technique based on singular values of EEMD spatial condition matrix and Gath-Geva clustering // *Applied Acoustics*. 2017. Volume 121. pp. 33-45.
10. Guannan Li, Yunpeng Hu, Improved sensor fault detection, diagnosis and estimation for screw chillers using density-based clustering and principal component analysis // *Energy and Buildings*. 2018. Volume 173. pp. 502-515.
11. J. Sokołowski, J. Obuchowski, A. Wyłomańska, pp. Kruczek, R. Zimroz, Multiple local damage detection method based on time-frequency representation and agglomerative hierarchical clustering of temporary spectral content // *Applied Acoustics*. 2019. Volume 147. pp. 44-55.
12. X.J. Luo, K.F. Fong, Y.J. Sun, M.K.H. Leung, Development of clustering-based sensor fault detection and diagnosis strategy for chilled water system // *Energy and Buildings*. 2019. Volume 186. pp. 17-36.
13. National Instruments. Official site. URL: <https://www.ni.com/ru-ru.html> (accessed July 11, 2020).
14. Buel & Kjaer. Official site. URL: <https://www.bksv.com> (accessed July 11, 2020).
15. Python. Official site. URL: <https://www.python.org> (accessed July 11, 2020).

Kornaev Alexey Valerievich

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel
 Doctor of Sciences in Technology, Professor at the
 Department of Mechatronics, Mechanics, and Robotics,
 Senior Researcher of Scientific Educational Center
 Intelligent technologies for monitoring and diagnostics
 of power generating equipment
 302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
 Ph. 8 953 478 15-91
 E-mail: rusakor@inbox.ru

Popov Sergey Georgievich

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel
 Graduate student, Junior Researcher of Scientific
 Educational Center Intelligent technologies for
 monitoring and diagnostics of power generating
 equipment
 302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
 Ph. 8 906 568 65-01

Stebakov Ivan Nikolaevich

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel
 Student, trainee researcher of Scientific Educational
 Center Intelligent technologies for monitoring and
 diagnostics of power generating equipment
 302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
 Ph. 8 953 618 08-66
 E-mail: chester50796@yandex.ru

Kazakov Yuri Nickolaevich

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel
 Student, Junior Researcher of Scientific Educational
 Center Intelligent technologies for monitoring and
 diagnostics of power generating equipment
 302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
 Ph. 8 920 089 47-19
 E-mail: kazakyurii@yandex.ru

М.Э. БОНДАРЕНКО, Р.Н. ПОЛЯКОВ, И.В. РОДИЧЕВА, М.А. ГРЯДУНОВА

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МНОГООПОРНЫХ ВАЛОПРОВОДОВ

Аннотация. В статье представлен анализ различных типов экспериментального оборудования, моделирующего работу гибких валопроводов энергогенерирующих машин и агрегатов. По результатам анализа представлена экспериментальная установка для исследования динамических характеристик многоопорных роторных систем. Предложена информационно-измерительная система для обеспечения работы динамического стенда на основе программно-аппаратного комплекса фирмы «National Instruments». Приведены полученные результаты экспериментальных исследований многоопорных роторных систем используемых в энергогенерирующем оборудовании.

Ключевые слова: подшипник скольжения, вибрация, испытательная установка, энергогенерирующее оборудование.

Работа подготовлена в рамках выполнения проекта РНФ №16-19-00186 «Планирование оптимальных по расходу энергии траектории движения роторов мехатронных модулей в средах сложной реологии» Авторы выражают благодарность фонду за оказанную поддержку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соломин О.В. Разработка методов инструментальных средств динамического анализа роторных систем с подшипниками жидкостного трения: дис. д-ра техн. наук : 01.02.06 / Соломин Олег Вячеславович. – Орёл, 2007. – 417 с.
2. Позняк, Э.Л. Колебания роторов / Э.Л. Позняк // Вибрации в технике. В 6 т. Том 3. Колебания машин, конструкций и их элементов. – М.: Машиностроение, 1980. – С. 130–189.
3. Пугачев А.О. Динамика переходных режимов работы роторов на радиальных подшипниках скольжения дис. канд. техн. наук : 01.02.06 / Пугачев Александр Олегович. – Орёл, 2004. – 175 с.
4. Савин Л.А. Теоретические основы расчета и динамика подшипников скольжения с парожидкостной смазкой: Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – Орел, 1998. – 352 с.
5. Александров, А.М. Динамика роторов / А.М. Александров, В.В. Филиппов; под ред. А.И. Кобрин. – М.: Изд-во МЭИ, 1995. – 132 с.
6. Антипов, В.А. Влияние силовых факторов на характеристики динамической системы "ротор – корпус" / В.А. Антипов, В.А. Дулецкий, М.В. Комаров, Р.Н. Поляков, О.В. Соломин // Известия Орловского гос. технического университета. Машиностроение. Приборостроение. – 2003, № 3. – С. 6 – 9.
7. Воскресенский, В.А. Расчет и проектирование опор скольжения (жидкостная смазка) / В.А. Воскресенский, В.И. Дьяков. – М.: Машиностроение, 1980. – 224 с.
8. Гаевик, Д.Т. Подшипниковые опоры современных машин / Д.Т. Гаевик. – М.: Машиностроение, 1985. – 248 с.
9. Костюк, А.Г. Динамика и прочность турбомашин / А.Г. Костюк. – М.: Изд-во МЭИ, 2000. – 480 с.
10. Барков, А.В. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации / А.В. Барков, Н.А. Баркова, А.Ю. Азовцев. – СПб.: СПбГМТУ, – 2000. – 169 с.

Бондаренко Максим Эдуардович
ФГБОУ ВО «Орловский государственный
университет имени И.С. Тургенева», г. Орел
младший научный сотрудник НОЦ ИТМиДЭО
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
Тел. +79038819381
E-mail: maxbondarenko22@yandex.ru

Родичева Ирина Владимировна
ФГБОУ ВО «Орловский государственный
университет имени И.С. Тургенева», г. Орел
студент
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
Тел. +79051673322
E-mail: rodfox@yandex.ru

Поляков Роман Николаевич
ФГБОУ ВО «Орловский государственный
университет имени И.С. Тургенева», г. Орел
Доктор. техн. наук, доцент кафедры мехатроники,
механики и робототехники
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
Тел. +79038819381
E-mail: romanpolak@mail.ru

Грядунцова Мария Андреевна
ФГБОУ ВО «Орловский государственный
университет имени И.С. Тургенева», г. Орел
аспирант
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
Тел. +79534702550
E-mail: stalker.20122@yandex.ru

EXPERIMENTAL STUDIES MULTI-SUPPORTED SHAFTING

Abstract. The article presents an analysis of various types of experimental equipment that simulates the operation of flexible shaft lines of power generating machines and units. Based on the analysis results, an experimental setup is presented for investigating the dynamic characteristics of multi-support rotor systems. An information-measuring system is proposed to ensure the operation of a dynamic stand based on a hardware-software complex of the "National Instruments" company. The results of experimental studies of multi-support rotor systems used in power generating equipment are presented.

Keywords: plain bearing, vibration, test rig, power generating equipment.

BIBLIOGRAPHY

1. Solomin O. V. Development of methods of tools for dynamic analysis of rotary systems with liquid friction bearings: dis. Dr. tech. Sciences: 01.02.06 / Oleg V. Solomin. - Orel, 2007. - 417 p.
2. Poznyak, E. L. Vibrations of rotors / E. L. Poznyak // Vibrations in technology. In 6 t. Volume 3. Vibrations of machines, structures and their elements, Moscow: Mashinostroenie, 1980, Pp. 130-189.
3. Pugachev A. O. Dynamics of transient modes of operation of rotors on radial sliding bearings dis. kand. tehn. Sciences: 01.02.06 / Pugachev Alexander Olegovich. - Orel, 2004. - 175 p.
4. Savin L. A. Theoretical bases of calculation and dynamics of sliding bearings with vapor-liquid lubrication: dissertation for the degree of doctor of technical Sciences. – Orel, 1998. – 352 p.
5. Alexandrov, a.m. Dynamics of rotors / a.m. Alexandrov, V. V. Filippov; ed. by A. I. Kobrin, Moscow: MEI publishing House, 1995, 132 p.
6. Antipov, V. A. Influence of force factors on the characteristics of the dynamic system "rotor-housing" / V. A. Antipov, V. A. Duletskiy, M. V. Komarov, R. N. Polyakov, O. V. Solomin // Proceedings of Orel state technical University. Engineering. Instrument making. 2003 2003, no. 3. C. P. 6 □ 9.
7. Voskresensky, V. A. Calculation and design of sliding supports (liquid lubrication) / V. A. Voskresensky, V. I. Dyakov, Moscow: Mashinostroenie, 1980, 224 p.
8. Gaevik, D. T. Bearing supports of modern machines / D. T. Gaevik, Moscow: Mashinostroenie, 1985, 248 p.
9. Kostyuk, A. G. Dynamics and strength of turbomachines / A. G. Kostyuk, Moscow: MEI publishing House, 2000, 480 p.
10. Barkov, A.V. Monitoring and diagnostics of rotary machines by vibration / A.V. Barkov, N. A. Barkova, A. Yu. Azovtsev. Saint Petersburg: Spbgmtu, 2000, 169 p.

Bondarenko Maxim Eduardovich

Orel State University
Trainee-researcher SEC Intelligent technologies for
monitoring and diagnostics of power generating
equipment
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph.: +79538174922
E-mail: maxbondarenko22@yandex.ru

Polyakov Roman Nikolaevich

Orel State University
Doctor of technical Sciences, associate Professor of the
Department mechatronics, mechanics and robotics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph.: +79038819381
E-mail: romanpolak@mail.ru

Rodicheva Irina Vladimirovna

Orel State University named after I.S. Turgenev
student
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph.: +79051673322
E-mail: rodfox@yandex.ru

Griadynova Maria Andreevna

Orel State University named after I.S. Turgenev
student
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph.: +79534702550
E-mail: stalker.20122@yandex.ru

УДК 628.517.4

DOI: 10.33979/2073-7408-2020-343-5-85-90

Р.Н. ПОЛЯКОВ, Н.В. ТОКМАКОВ, А.В. ГОРИН, М.А. ТОКМАКОВА

МЕХАТРОННЫЙ ДИНАМИЧЕСКИЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ АГРЕГАТОВ ЭНЕРГОГЕНЕРИРУЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА

Аннотация. В статье были рассмотрены и проанализированы различные типы экспериментального оборудования энергогенерирующих машин и агрегатов. По результатам анализа представлен динамический стенд для исследования подшипников скольжения. Предложена информационно измерительная система для обеспечения работы динамического стенда на основе программно-аппаратного комплекса фирмы «National Instruments». Приведены полученные результаты экспериментальных исследований подшипников скольжения используемых в энергогенерирующем оборудовании.

Ключевые слова: подшипник скольжения, динамическое воздействие, испытательный стенд, энергогенерирующее оборудование.

Работа подготовлена в рамках выполнения проекта РНФ №16-19-00186 «Планирование оптимальных по расходу энергии траектории движения роторов мехатронных модулей в средах сложной реологии» Авторы выражают благодарность фонду за оказанную поддержку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соломин О.В. Разработка методов инструментальных средств динамического анализа роторных систем с подшипниками жидкостного трения: дис. д-ра техн. наук : 01.02.06 / Соломин Олег Вячеславович. – Орёл, 2007. – 417 с.
2. Позняк, Э.Л. Колебания роторов / Э.Л. Позняк // Вибрации в технике. В 6 т. Том 3. Колебания машин, конструкций и их элементов. – М.: Машиностроение, 1980. – С. 130–189.
3. Пугачев А.О. Динамика переходных режимов работы роторов на радиальных подшипниках скольжения дис. канд. техн. наук : 01.02.06 / Пугачев Александр Олегович. – Орёл, 2004. – 175 с.
4. Савин Л.А. Теоретические основы расчета и динамика подшипников скольжения с парожидкостной смазкой: Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – Орел, 1998. – 352 с.
5. Александров, А.М. Динамика роторов / А.М. Александров, В.В. Филиппов; под ред. А.И. Кобрина. – М.: Изд-во МЭИ, 1995. – 132 с.
6. Антипов, В.А. Влияние силовых факторов на характеристики динамической системы "ротор – корпус" / В.А. Антипов, В.А. Дулецкий, М.В. Комаров, Р.Н. Поляков, О.В. Соломин // Известия Орловского гос. технического университета. Машиностроение. Приборостроение. – 2003, № 3. – С. 6 – 9.
7. Воскресенский, В.А. Расчет и проектирование опор скольжения (жидкостная смазка) / В.А. Воскресенский, В.И. Дьяков. – М.: Машиностроение, 1980. – 224 с.
8. Гаевик, Д.Т. Подшипниковые опоры современных машин / Д.Т. Гаевик. – М.: Машиностроение, 1985. – 248 с.
9. Костюк, А.Г. Динамика и прочность турбомашин / А.Г. Костюк. – М.: Изд-во МЭИ, 2000. – 480 с.
10. Барков, А.В. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации / А.В. Барков, Н.А. Баркова, А.Ю. Азовцев. – СПб.: СПбГМТУ, – 2000. – 169 с.
11. Горин, А.В. Применение гидравлических машин ударного действия для образования скважин в грунтах: монография / А.В. Горин, Д.Н. Ешуткин, М.А. Горина. – Орел: Госуниверситет - УНПК, 2015. – 151 с.
12. Котылев, Ю.Е. Прикладная теория гидравлических машин ударного действия / Ю.Е. Котылев, Д.Н. Ешуткин. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 176с.

Поляков Роман Николаевич

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орел
Доктор. техн. наук, доцент кафедры мехатроники, механики и робототехники
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
Тел. +79038819381
E-mail: romanpolak@mail.ru

Токмаков Никита Владимирович

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орел
студент
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
Тел. +79606489922
E-mail: stalker.20122@yandex.ru

Горин Андрей Владимирович

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орел
канд. техн. наук, доцент кафедры мехатроники, механика и робототехника
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
Тел. +79102600267
E-mail: gorin57@mail.ru

Токмакова Мария Андреевна

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орел
аспирант
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
Тел. +79606489922
E-mail: stalker.20122@yandex.ru

R.N. POLYAKOV, N.V. TOKMAKOV, A.V. GORIN, M.A. TOKMAKOVA

MECHATRONIC DYNAMIC STAND FOR RESEARCH OF PLAIN BEARINGS POWER GENERATING UNITS

Abstract. The article considers and analyzes various types of experimental equipment for power generating machines and aggregates. Based on the results of the analysis, a dynamic stand for the study of plain bearings is presented. An information and measurement system for ensuring the operation of a dynamic stand based on the software and hardware complex of the company "National Instruments" is proposed. The results of experimental studies of plain bearings used in power generating equipment are presented.

Keywords: sliding bearing, dynamic impact, test bench, power generating equipment.

BIBLIOGRAPHY

1. Solomin O. V. Development of methods of tools for dynamic analysis of rotary systems with liquid friction bearings: dis. Dr. tech. Sciences: 01.02.06 / Oleg V. Solomin. - Orel, 2007. - 417 p.
2. Poznyak, E. L. Vibrations of rotors / E. L. Poznyak // Vibrations in technology. In 6 t. Volume 3. Vibrations of machines, structures and their elements, Moscow: Mashinostroenie, 1980, Pp. 130-189.
3. Pugachev A. O. Dynamics of transient modes of operation of rotors on radial sliding bearings dis. kand. tehn. Sciences: 01.02.06 / Pugachev Alexander Olegovich. - Orel, 2004. - 175 p.
4. Savin L. A. Theoretical bases of calculation and dynamics of sliding bearings with vapor-liquid lubrication: dissertation for the degree of doctor of technical Sciences. - Orel, 1998. - 352 p.
5. Alexandrov, a.m. Dynamics of rotors / a.m. Alexandrov, V. V. Filippov; ed. by A. I. Kobrin, Moscow: MEI publishing House, 1995, 132 p.
6. Antipov, V. A. Influence of force factors on the characteristics of the dynamic system "rotor-housing" / V. A. Antipov, V. A. Duletskiy, M. V. Komarov, R. N. Polyakov, O. V. Solomin // Proceedings of Orel state technical University. Engineering. Instrument making. 2003 2003, no. 3. C. P. 6 □ 9.
7. Voskresensky, V. A. Calculation and design of sliding supports (liquid lubrication) / V. A. Voskresensky, V. I. Dyakov, Moscow: Mashinostroenie, 1980, 224 p.
8. Gaevik, D. T. Bearing supports of modern machines / D. T. Gaevik, Moscow: Mashinostroenie, 1985, 248 p.
9. Kostyuk, A. G. Dynamics and strength of turbomachines / A. G. Kostyuk, Moscow: MEI publishing House, 2000, 480 p.
10. Barkov, A.V. Monitoring and diagnostics of rotary machines by vibration / A.V. Barkov, N. A. Barkova, A. Yu. Azovtsev. Saint Petersburg: Spbgmtu, 2000, 169 p.
11. Gorin, A.V. the Use of hydraulic impact machines for the formation of wells in the soil: monograph / A.V. Gorin, D. N. Yeshutkin, M. A. Gorina. Eagle: State University-unpc, 2015, 151 p.
12. Kotylev, Yu. E. Applied theory of hydraulic impact machines / Yu. E. Kotylev, D. N. Yeshutkin. - M.: Mashinostroenie-1, 2007. - 176c.

Polyakov Roman Nikolaevich

Orel State University
Doctor of technical Sciences, associate Professor of the
Department mechatronics, mechanics and robotics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph.: +79038819381
E-mail: romanpolak@mail.ru

Tokmakov Nikita Vladimirovich

Orel State University named after I.S. Turgenev
student
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph.: +79102606508
E-mail: stalker.20122@yandex.ru

Gorin Andrey Vladimirovich

Orel State University
candidate of technical Sciences, associate Professor of
the Department mechatronics, mechanics and robotics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph.: +79102600267
E-mail: gorin57@mail.ru

Tokmakova Maria Andreevna

Orel State University named after I.S. Turgenev
graduate student
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph.: +79102606508
E-mail: stalker.20122@yandex.ru

УДК 621.822.1

DOI:10.33979/2073-7408-2020-343-5-91-97

Е.П. КОРНАЕВА, А.Ю. БАБИН, А.В. КОРНАЕВ, Ю.Н. КАЗАКОВ

УПРАВЛЯЕМЫЙ ЭФФЕКТ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЯЗКОСТНОГО КЛИНА В ПОДШИПНИКАХ ЖИДКОСТНОГО ТРЕНИЯ: РЕЗУЛЬТАТЫ ФИЗИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА

Аннотация. Работа посвящена экспериментальной проверке эффекта температурно-вязкостного клина в подшипниках жидкостного трения при смазке температурно-неоднородной жидкостью. Такой способ смазки позволяет искусственно создать перепад вязкости по направлению движения жидкости, что влечет возникновение дополнительной подъемной силы в смазочном слое. В ходе эксперимента был выявлен диапазон скоростей наилучшего действия исследуемого эффекта и были получены данные о снижении вибраций в роторной машине в условиях действия эффекта температурно-вязкостного клина. Также в статье представлена методика разработки модели цифрового двойника роторной машины. Подобные модели могут быть использованы при машинном обучении интеллектуальных систем управления.

Ключевые слова: роторная машина, подшипник жидкостного трения, эффект вязкостного клина, имитационное моделирование, цифровой двойник.

Работа подготовлена в рамках выполнения гранта Президента РФ №МК3394.2019.8 Авторы выражают благодарность фонду за оказанную поддержку. Также авторы выражают благодарность А.С. Фетисову и А.Ю. Родичеву за помощь в разработке экспериментальной установки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Encyclopedia of tribology / Q.J. Wang, Y.-H. Chung (Eds.). – New York: Springer Science & Business Media, 2013. – 4192 p.
2. Fogg, A. Fluid film lubrication of parallel surface thrust bearings / A. Fogg. – Proc. Inst. Mech. Eng. – 1946. – Vol. 155. – Pp. 49-67.
3. Cope, W.E. The hydrodynamical theory of film lubrication / W.E. Cope. – 1949. – Vol. 197 (1049). – Pp. 201-217.
4. Young, J. Thermal wedge effect in hydrodynamic lubrication / J. Young. – The Engineering Journal. – 1962. – Vol. 45. – Pp. 46-54.
5. Lebeck, A. Parallel sliding load support in the mixed friction regime. Part 2 - Evaluations of the mechanisms / A. Lebeck // Journal of Tribology. – 1987. - Vol. 109. - Pp. 196-205
6. Meng, Xi. On the effect of viscosity wedge in micro-textured parallel surfaces / Xi Meng, M.M. Khonsar // Tribology International. – 2017. - Vol. 107. – Pp. 116 – 124.
7. Kornaeв A.V., Kornaeвa E.P., Savin L.A. Theoretical premises of thermal wedge effect in fluid-film bearings supplied with a non-homogeneous lubricant. // International Journal of Mechanics. - 2017- vol. 11. - pp. 197-203.
8. Корнаева Е. П. Родичев А.Ю. Савин Л. А. Фетисов А.С. Казаков Ю.Н. Устройство для контроля всплывания ротора в смазочном слое. Патент № 198311, 30 июня 2020
9. Friswell M.I. Dynamics of Rotating Machines. Cambridge University Press. 2010
10. Hori Y. Hydrodynamic lubrication. - Yokendo Ltd, Tokyo. Springer Science & Business Media, 2006. – 231 p.

Корнаева Елена Петровна

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г Орёл
Кандидат физико-математических наук, доцент
кафедры информационных систем и цифровых технологий
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел. 8 (4862) 41 98 49
E-mail: lenoks_box@inbox.ru

Корнаев Алексей Валерьевич

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г Орёл
Доктор технических наук, профессор кафедры мехатроники, механики и робототехники, старший научный сотрудник НОЦ Интеллектуальных технологий мониторинга и диагностики энергогенерирующего оборудования
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел. 8 (4862) 41 98 49
E-mail: rusakor@inbox.ru

Казаков Юрий Николаевич

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г Орёл
Студент, стажер–исследователь НОЦ Интеллектуальных технологий мониторинга и диагностики энергогенерирующего оборудования
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел. 8 (4862) 41 98 49
E-mail: kazakyurii@yandex.ru

Бабин Александр Юрьевич

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г Орёл
Младший научный сотрудник НОЦ Интеллектуальных технологий мониторинга и диагностики энергогенерирующего оборудования
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел. 8 (4862) 41 98 49
E-mail: alex.mech.osu@gmail.com

E.P. KORNAEVA, A.Yu. BABIN, A.V. KORNAEV, Yu.N. KAZAKOV

CONTROLLABLE TEMPERATURE AND VISCOSITY WEDGE EFFECT IN FLUID FRICTION BEARINGS: RESULTS OF PHYSICAL EXPERIMENTS AND DESIGN OF A DIGITAL TWIN

Abstract. *The paper considers the use of lubricants with different temperatures and multi-zone supply of liquid for lubrication. The best lubrication combinations were identified, and graphical images of sensors were presented for better analysis. A simulation model of the rotary support system is designed, which also includes models of motion sensors and converters.*

Keywords: *rotating machine, fluid-film bearings, viscosity wedge effect, simulation modeling, digital twin*

BIBLIOGRAPHY

1. Encyclopedia of tribology / Q.J. Wang, Y.-H. Chung (Eds.). – New York: Springer Science & Business Media, 2013. – 4192 p.
2. Fogg, A. Fluid film lubrication of parallel surface thrust bearings / A. Fogg. – Proc. Inst. Mech. Eng. – 1946. – Vol. 155. – Pp. 49-67.
3. Cope, W.E. The hydrodynamical theory of film lubrication / W.E. Cope. – 1949. – Vol. 197 (1049). – Pp. 201-217.
4. Young, J. Thermal wedge effect in hydrodynamic lubrication / J. Young. – The Engineering Journal. – 1962. – Vol. 45. – Pp. 46-54.
5. Lebeck, A. Parallel sliding load support in the mixed friction regime. Part 2 - Evaluations of the mechanisms / A. Lebeck // Journal of Tribology. – 1987. - Vol. 109. - Pp. 196-205

6. Meng, Xi. On the effect of viscosity wedge in micro-textured parallel surfaces / Xi Meng, M.M. Khonsar // Tribology International. – 2017. - Vol. 107. – Pp. 116 – 124.
7. Kornaev A.V., Kornaeva E.P., Savin L.A. Theoretical premises of thermal wedge effect in fluid-film bearings supplied with a non-homogeneous lubricant. // International Journal of Mechanics. - 2017- vol. 11. - pp. 197-203.
8. Kornaeva E. P., Rodichev A. Yu., Savin L. A., Fetisov A. S., Kazakov Yu. N. Device for controlling the ascent of the rotor in the lubricating layer. RU Patent 198311, 30 June 2020
9. Friswell M.I. Dynamics of Rotating Machines. Cambridge University Press. 2010
10. Hori Y. Hydrodynamic lubrication. - Yokendo Ltd, Tokyo. Springer Science & Business Media, 2006. – 231 p.

Kornaeva Elena Petrovna

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel
Candidate of Sciences, Associate Professor at the
Department of Information Systems and Digital
Technologies,
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph. 8 (4862) 41 98 49
E-mail: lenoks_box@mail.ru

Kornaev Alexey Valerievich

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel
Doctor of Sciences, Professor at the Department of
Mechatronics, Mechanics, and Robotics, Senior
Researcher of Scientific Educational Center Intelligent
technologies for monitoring and diagnostics of power
generating equipment
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph. 8 (4862) 41 98 49
E-mail: rusakor@inbox.ru

Kazakov Yuri Nickolaevich

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel
Student, Junior Researcher of Scientific Educational
Center Intelligent technologies for monitoring and
diagnostics of power generating equipment
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph. 8 (4862) 41 98 49
E-mail: kazakyurii@yandex.ru

Babin Alexander Yurievich

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel
Junior Researcher of Scientific Educational Center
Intelligent technologies for monitoring and diagnostics
of power generating equipment
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph. 8 (4862) 41 98 49
E-mail: alex.mech.osu@gmail.com

УДК 62-26

DOI: 10.33979/2073-7408-2020-343-5-98-103

А.С. ФЕТИСОВ

МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКАЯ ОПОРА СКОЛЬЖЕНИЯ: РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Аннотация. В статье представлены результаты экспериментальных исследований влияния мощности тока на электромагнитном актуаторе магнитореологического подшипника скольжения на амплитудно-частотные характеристики роторной системы. Представлено описание экспериментального стенда. Представлено описание информационно-измерительной системы.

Ключевые слова: Магнитореологический смазочный материал, амплитудно-частотная характеристика, экспериментальное исследование, виброперемещения, виброускорения.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90259 «Исследование динамики роторов на подшипниках скольжения при смазке реомагнитными жидкостями»

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савин, Л.А. Моделирование роторных систем с опорами жидкостного трения: монография / Савин Л.А., Соломин О.В. – М.: Машиностроение-1, 2006. – 444 с.
2. Harnoy A (2003) Bearing design in machinery: engineering tribology and lubrication. New York, Marcel Dekker, Inc
3. Braun ED, Buyanovskiy IA, Voronin NA (2008) Modern Tribology: Results and Prospects. Moscow, LKI
4. Tipei N (1982) Theory of lubrication with ferrofluids: application to short bearings. Journal of lubrication 104(4):510 – 515
5. Claracq J, Sarrazin J, Montfort JP (2004) Viscoelastic properties of magnetorheological fluids. Rheologica Acta 43:38–49
6. Omidbeygi F, Hashemabadi SH (2012) Experimental study and CFD simulation of rotational eccentric cylinder in a magnetorheological fluid. Journal of Magnetism and Magnetic Materials 324:2062–2069
7. Dimitrios AB, Pantelis GN (2014) Journal Bearing Stiffness and Damping Coefficients Using Nanomagnetorheological Fluids and Stability Analysis. Journal of Tribology 136(4): 9 p
8. Urreta H, Leicht Z, Sanchez A, Agirre A, Kuzhir P, Magnac G (2009) Hydrodynamic bearing lubricated with magnetic fluids. Journal of Physics: Conference Series 149: 5 p

9. Rao BN (2019) Analysis of Magneto Rheological Fluid Journal Bearing. Applied Mechanics and Materials 895:152-157
10. Laukiavich CA, Braun MJ, Chandy AJ (2014) A comparison between the performance of ferro- and magnetorheological fluids in a hydrodynamic bearing. Journal of engineering tribology. Proc. IMechE 228(6):649–666
11. Wang QJ, Chung YH (2013) Encyclopedia of tribology. New York, Springer Science Business Media
12. Lebeck A (1987) Parallel sliding load support in the mixed friction regime. Journal of Tribology 109(2):196-205
13. Meng Xi, Khonsari MM (2017) On the effect of viscosity wedge in micro-textured parallel surfaces. Tribol. Int 10:116 – 124
14. Fogg A (1946) Fluid film lubrication of parallel surface thrust bearings. Proc.Inst.Mech.Eng 155:49-67
15. Cope WE (1949) The hydrodynamical theory of film lubrication. Proc.Roy.Soc.London 197(1049):201-217.
16. Nikolajsen JL (1999) Viscosity and Density Models for Aerated Oil in Fluid-Film Bearings. Tribology Transactions 42(1):186-191
17. Kicinski J (1983) Effect of the aeration of a lubricating oil film and its space- and time-related compression on the static and dynamic characteristics of journal bearings. Wear 91(1):65-87
18. Savin L, Kornaev A, Kornaeva E (2014) Effect of lubrication of fluid friction bearings with media of complex rheology. Applied mechanics and materials 630:199 – 208.
19. Kornaev AV, Savin LA, Kornaeva EP (2017) Theoretical premises of thermal wedge effect in fluid-film bearings supplied with a non-homogeneous lubricant. International Journal of Mechanics 11:197-203.
20. Fetisov AS, Kornayeva EP, Kornaev AV, Kazakov YuN (2019) Experimental assembly for research of effects of temperature wedge. Izvestiya TulGU 12:320-323

Фетисов Александр Сергеевич

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел

стажёр-исследователь ПНИЛ «Моделирование гидромеханических систем»

E-mail: fetisov57rus@mail.ru

A.S. FETISOV

MAGNETORHEOLOGICAL JOURNAL BEARING: EXPERIMENTAL STUDY RESULTS

Abstract. *The article presents the results of experimental studies of the effect of current power on an electromagnetic actuator of a magnetorheological journal bearing on the amplitude-frequency characteristics of the rotor system. The description of the experimental stand is presented. The description of the information-measuring system is presented.*

Keywords: *Magnetorheological lubricant, amplitude-frequency response, experimental study, vibration displacement, vibration acceleration.*

BIBLIOGRAPHY

1. Savin, L.A. Modelirovaniye rotornykh sistem s oporami zhidkostnogo treniya: monografiya / Savin L.A., Solomin O.V. – М.: Mashinostroyeniye-1, 2006. – 444 с.
2. Harnoy A (2003) Bearing design in machinery: engineering tribology and lubrication. New York, Marcel Dekker, Inc
3. Braun ED, Buyanovskiy IA, Voronin NA (2008) Modern Tribology: Results and Prospects. Moscow, LKI
4. Tipei N (1982) Theory of lubrication with ferrofluids: application to short bearings. Journal of lubrication 104(4):510 – 515
5. Claracq J, Sarrazin J, Montfort JP (2004) Viscoelastic properties of magnetorheological fluids. Rheologica Acta 43:38–49
6. Omidbeygi F, Hashemabadi SH (2012) Experimental study and CFD simulation of rotational eccentric cylinder in a magnetorheological fluid. Journal of Magnetism and Magnetic Materials 324:2062–2069
7. Dimitrios AB, Pantelis GN (2014) Journal Bearing Stiffness and Damping Coefficients Using Nanomagnetorheological Fluids and Stability Analysis. Journal of Tribology 136(4): 9 p
8. Urreta H, Leicht Z, Sanchez A, Agirre A, Kuzhir P, Magnac G (2009) Hydrodynamic bearing lubricated with magnetic fluids. Journal of Physics: Conference Series 149: 5 p
9. Rao BN (2019) Analysis of Magneto Rheological Fluid Journal Bearing. Applied Mechanics and Materials 895:152-157
10. Laukiavich CA, Braun MJ, Chandy AJ (2014) A comparison between the performance of ferro- and magnetorheological fluids in a hydrodynamic bearing. Journal of engineering tribology. Proc. IMechE 228(6):649–666
11. Wang QJ, Chung YH (2013) Encyclopedia of tribology. New York, Springer Science Business Media
12. Lebeck A (1987) Parallel sliding load support in the mixed friction regime. Journal of Tribology 109(2):196-205.
13. Meng Xi, Khonsari MM (2017) On the effect of viscosity wedge in micro-textured parallel surfaces. Tribol. Int 10:116 – 124
14. Fogg A (1946) Fluid film lubrication of parallel surface thrust bearings. Proc.Inst.Mech.Eng 155:49-67
15. Cope WE (1949) The hydrodynamical theory of film lubrication. Proc.Roy.Soc.London 197(1049):201-217.
16. Nikolajsen JL (1999) Viscosity and Density Models for Aerated Oil in Fluid-Film Bearings. Tribology Transactions 42(1):186-191

17. Kicinski J (1983) Effect of the aeration of a lubricating oil film and its space- and time-related compression on the static and dynamic characteristics of journal bearings. *Wear* 91(1):65-87
18. Savin L, Kornaev A, Kornaeva E (2014) Effect of lubrication of fluid friction bearings with media of complex rheology. *Applied mechanics and materials* 630:199 – 208.
19. Kornaev AV, Savin LA, Kornaeva EP (2017) Theoretical premises of thermal wedge effect in fluid-film bearings supplied with a non-homogeneous lubricant. *International Journal of Mechanics* 11:197-203.
20. Fetisov AS, Kornayeva EP, Kornaev AV, Kazakov YuN (2019) Experimental assembly for research of effects of temperature wedge. *Izvestiya TulGU* 12:320-323

Fetisov Alexander Sergeevich

Orel State University,

Trainee-researcher RL "Modeling of hydromechanical systems"

E-mail: fetisov57rus@mail.ru

ПРИБОРЫ, БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 616.12.008.331-073.65.78

DOI: 10.33979/2073-7408-2020-343-5-104-114

А.В. ДУНАЕВ

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ТЕСТ-ОБЪЕКТОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРИБОРОВ МУЛЬТИПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Аннотация. *Оптические методы являются одними из наиболее перспективных неинвазивных технологий диагностики заболеваний микроциркуляторно-тканевых систем организма человека. Однако существует целый ряд ограничений, связанных с их недостаточным метрологическим обеспечением. Данная работа посвящена изучению принципов построения устройств для контроля технического состояния (КТС) приборов мультипараметрической оптической неинвазивной диагностики (ОНД). Подробно рассмотрены устройства КТС для 2-х основных методов мультипараметрической ОНД – лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) и флуоресцентной спектроскопии (ФС). Для данных методов синтезированы схемы классификации принципов построения оптических фантомов (тест-объектов) и предложены варианты их построения.*

Ключевые слова: *оптическая неинвазивная диагностика, метрологическое обеспечение, контроль технического состояния, лазерная доплеровская флоуметрия, флуоресцентная спектроскопия, оптический фантом, тест-объект*

Часть работы выполнена при финансовой поддержке проектов – Минобрнауки РФ (базовая часть государственного задания № 310, проект ГЗ-14/9) и РФФИ (№ 18-02-00669).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тучин, В.В., Оптическая биомедицинская диагностика. В 2 т. / Пер. с англ. Под ред. В.В. Тучина. – М.: ФИЗМАЛИТ, 2007.
2. Zherebtsova, A.I. Multimodal optical diagnostics of the microhaemodynamics in upper and lower limbs / A.I. Zherebtsova, V.V. Dremin, I.N. Makovik, E.A. Zherebtsov, A.V. Dunaev, A. Goltsov, S.G. Sokolovski, E.U. Rafailov // *Front. Physiol.*, 2019 – №10. – P. 416.
3. Кандурова, К.Ю. Методы оптической биопсии и их перспективы применения для интраоперационного анализа тканевого метаболизма и микроциркуляции крови в мининвазивной хирургии / К.Ю. Кандурова, В.В. Дрёмин, Е.А. Жеребцов, А.Л. Альянов, А.В. Мамошин, Е.В. Потапова, А.В. Дунаев, В.Ф. Мурадян, В.В. Сидоров, А.И. Крупаткин // *Регионарное кровообращение и микроциркуляция*, 2018. – №17(3). – С. 71-79.
4. Nilsson, G.E. Evaluation of a laser Doppler flowmeter for measurement of tissue blood flow / G.E. Nilsson, T. Tenland, P.A. Oberg // *IEEE Trans Biomed Eng.* 1980. – V. BME-27. – № 10. – P. 597–604.
5. Obeid, A.N. A critical-review of laser Doppler flowmetry / A.N. Obeid, N.J. Barnett, G. Dougherty, G. Ward // *Journal of Medical Engineering & Technology*, 1990. – №14(5). – P.178-181.
6. Leahy, M.J. Principles and practice of the laser-Doppler perfusion technique / M. J. Leahy, F. F. M. de Mul, G. E. Nilsson, and R. Maniewski // *Technol Health Care*, 1999. – №7(2-3). – P.143-162.
7. Крупаткин, А.И. Функциональная диагностика состояния микроциркуляторно-тканевых систем: колебания, информация, нелинейность: руководство для врачей / А.И. Крупаткин, В.В. Сидоров. – М.: ЛИБРОКОМ, 2013. – 496 с.

8. Подмастерьев, К.В. Метрологическое обеспечение биомедицинских приборов и технологий для функциональной диагностики / К.В. Подмастерьев, А.В. Дунаев, А.В. Козюра, Е.А. Жеребцов // Биотехносфера, 2012. – №5-6. – С. 101-105.
9. Tankanag, A.V. Application of the adaptive wavelet transform for analysis of blood flow oscillations in the human skin / A.V. Tankanag, N.K. Chemeris // Phys. Med. Biol., 2008. – №53(21). – P. 5967-5976.
10. Lakowicz, J.R. Principles of Fluorescence Spectroscopy / J.R. Lakowicz (ed.) // Kluwer Academic Publishers, 3rd ed., Springer, New York, 2006. – 954 P.
11. Жеребцов, Е.А. Флуоресцентная диагностика митохондриальной функции в эпители-альных тканях in vivo: монография / Е.А. Жеребцов, В.В. Дрёмин, А.И. Жеребцова, Е.В. Потапова, А.В. Дунаев. – Орел: ОГУ имени И.С. Тургенева, 2018. – 107 с.
12. Jacques, S.L. Optical properties of biological tissues: a review / S.L. Jacques // Phys. Med. Biol., 2013. – №58(11). – P. R37-R61.
13. Rafailov, I.E. Computational model of bladder tissue based on its measured optical properties / I.E. Rafailov, V.V. Dremine, K.S. Litvinova, A.V. Dunaev, S.G. Sokolovski, E.U. Rafailov // Journal of Biomedical Optics, 2016. – №21(2). – P. 025006.
14. Дрёмин, В.В. Влияние содержания меланина в коже на формирование сигнала флуоресцентной спектроскопии / В.В. Дрёмин, А.В. Дунаев // Оптический журнал, 2016. – №1(83). – С.57-64.
15. Dremine, V.V. The development of attenuation compensation models of fluorescence spectroscopy signals / V.V. Dremine, E.A. Zharebtsov, I.E. Rafailov, A.Y. Vinokurov, I.N. Novikova, A.I. Zharebtsova, K.S. Litvinova, A.V. Dunaev // Proc. SPIE 9917, 2016. – №9917. – P. 99170Y.
16. Дунаев, А.В. Анализ индивидуальной вариабельности параметров в лазерной флуоресцентной диагностике / А.В. Дунаев, В.В. Дрёмин, Е.А. Жеребцов, С.Г. Палмер, С.Г. Соколовский, Э.У. Рафаилов // Биотехносфера, 2013. – №2. – С.39-47.
17. Дунаев, А.В. Анализ физиологического разброса параметров микроциркуляторно-тканевых систем / А.В. Дунаев, И.Н. Новикова, А.И. Жеребцова, А.И. Крупаткин, С.Г. Соколовский, Э.У. Рафаилов // Биотехносфера, 2013. – №5. – С.44-53.
18. Zharebtsov, E.A. Optical non-invasive diagnostics of microcirculatory-tissue systems of the human body: questions of metrological and instrumentation provision / E.A. Zharebtsov, V.V. Dremine, A.I. Zharebtsova, I.N. Makovik, A.V. Dunaev // Journal of Biomedical Photonics & Engineering, 2016. – №2(4). – P. 040305.
19. Жеребцов, Е.А. Программно-аппаратный комплекс и методики для контроля технического состояния приборов лазерной доплеровской флоуметрии / Е.А. Жеребцов, А.В. Дунаев // Биомедицинская радиоэлектроника, 2014. – №11. – С.56-64.
20. Козлов, И.О. Новые принципы построения устройств для контроля технического состояния приборов лазерной доплеровской флоуметрии / И.О. Козлов, Е.А. Жеребцов, А.В. Дунаев, К.В. Подмастерьев // Биотехносфера, 2015. – №2(38). – С. 10-14.
21. Binzoni, T. Translational and Brownian motion in laser-Doppler flowmetry of large tissue volumes / T. Binzoni, T.S. Leung, M.L. Seghier, D.T. Delpy // Physics in Medicine and Biology, 2004. – №49(24). – P. 5445-5458.
22. Fredriksson, I. Improved calibration procedure for laser Doppler perfusion monitors / I. Fredriksson, M. Larsson, F. Salomonsson, T. Strömberg, // Proc. SPIE 7906, 2011. – №7906. – P. 790602.
23. Жеребцов, Е.А. Метод и устройство метрологического контроля приборов лазерной доплеровской флоуметрии / Е.А. Жеребцов, А.И. Жеребцова, А.В. Дунаев, К.В. Подмастерьев // Медицинская техника, 2014. – №4. – С.18-21.
24. Dunaev, A.V. Novel measure for the calibration of laser Doppler flowmetry devices / A.V. Dunaev, E.A. Zharebtsov, D.A. Rogatkin, N.A. Stewart, S.G. Sokolovski, E.U. Rafailov // Proc. SPIE 8936, 2014. – №8936. – P. 89360D.
25. Потапова, Е.В. Разработка жидкого оптического фантома для флуоресцентных спектроскопических исследований / Е.В. Потапова, В.В. Дрёмин, Е.А. Жеребцов, К.В. Подмастерьев, А.В. Дунаев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, 2018. – № 6 (332). – С. 105-114.
26. Shupletsov, V. Fluorescence imaging system for biological tissues diagnosis: phantom and animal studies / V. Shupletsov, K. Kandurova, V. Dremine, E. Potapova, M. Apanaykin, U. Legchenko, A. Dunaev // Journal of Biomedical Photonics & Engineering, 2020. – №6(1). – P. 010303.

Дунаев Андрей Валерьевич

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орёл, Россия

Кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник научно-технологического центра биомедицинской фотоники

302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29

Тел.: +7-4862-41-98-06

E-mail: dunaev@bmecenter.ru

PRINCIPLES OF CONSTRUCTING TEST-OBJECTS FOR TECHNICAL CONDITION CONTROL OF MULTIPARAMETER OPTICAL DIAGNOSTICS DEVICES

Abstract. *Optical methods are one of the most promising non-invasive technologies for diagnosing diseases of human microcirculatory tissue systems. However, there are several limitations caused by their insufficient metrological support. This work is devoted to the study of the principles for developing the devices for technical condition control (TCC) of multiparameter optical non-invasive diagnostic (OND) devices. TCC devices for two main methods of multiparameter OND (laser Doppler flowmetry and fluorescence spectroscopy) are considered in detail. Classification schemes for optical phantoms (test-objects) construction principles are synthesized for these methods and versions of their construction are proposed.*

Keywords: *optical non-invasive diagnostics, metrological support, technical condition control, laser Doppler flowmetry, fluorescence spectroscopy, optical phantom, test-object*

BIBLIOGRAPHY

1. Tuchin, V.V. *Opticheskaya biomedicinskaya diagnostika: v 2–h t.: uchebnoe izdanie* / V.V. Tuchin. – M.: FIZMATLIT, 2007. – 559 s.
2. Zherebtsova, A.I. Multimodal optical diagnostics of the microhaemodynamics in upper and lower limbs / A.I. Zherebtsova, V.V. Dremin, I.N. Makovik, E.A. Zherebtsov, A.V. Dunaev, A. Goltsov, S.G. Sokolovski, E.U. Rafailov // *Front. Physiol.*, 2019 – №10. – P. 416.
3. Kandurova, K.Y. Optical biopsy methods and their prospects of application for intraoperative analysis of tissue metabolism and blood microcirculation in minimally invasive surgery / K. Y. Kandurova, V. V. Dremin, E. A. Zherebtsov, A. L. Alyanov, A. V. Mamoshin, E. V. Potapova, A. V. Dunaev, V. F. Muradyan, V. V. Sidorov, A. I. Krupatkin // *Regional blood circulation and microcirculation*, 2018. – №17(3). – P. 71-79.
4. Nilsson, G.E. Evaluation of a laser Doppler flowmeter for measurement of tissue blood flow / G.E. Nilsson, T. Tenland, P.A. Oberg // *IEEE Trans Biomed Eng*, 1980. – V. BME-27. – № 10. – P. 597–604.
5. Obeid, A.N. A critical-review of laser Doppler flowmetry / A.N. Obeid, N.J. Barnett, G. Dougherty, G. Ward // *Journal of Medical Engineering & Technology*, 1990. – №14(5). – P.178-181.
6. Leahy, M.J. Principles and practice of the laser-Doppler perfusion technique / M. J. Leahy, F. F. M. de Mul, G. E. Nilsson, and R. Maniewski // *Technol Health Care*, 1999. – №7(2-3). – P.143-162.
7. Krupatkin, A.I. Functional diagnostics of the state of microcirculatory-tissue systems: oscillations, information, nonlinearity: a guide for doctors / A.I. Krupatkin, V.V. Sidorov. – M.: LIBROCOM, 2013. – 496 p.
8. Podmaster'ev, K.V. Metrological assurance of biomedical instrumentation and technologies for functional diagnosis / K.V. Podmaster'ev, A.V. Dunaev, A.V. Kozjura, E.A. Zherebtsov // *Biotekhnosfera*, 2012. – №5-6. – P. 101-105.
9. Tankanag, A.V. Application of the adaptive wavelet transform for analysis of blood flow oscillations in the human skin / A.V. Tankanag, N.K. Chemeris // *Phys. Med. Biol.*, 2008. – №53(21). – P. 5967-5976.
10. Lakowicz, J.R. Principles of Fluorescence Spectroscopy / J.R. Lakowicz (ed.) // Kluwer Academic Publishers, 3rd ed., Springer, New York, 2006. – 954 P.
11. Zherebtsov, E.A. Fluorescence diagnostics of mitochondrial function in epithelial tissues in vivo: monograph / E.A. Zherebtsov, V.V. Dremin, A.I. Zherebtsova, E.V. Potapova, A.V. Dunaev. – Orel: OSU named after I.S. Turgenev, 2018. – 107 p.
12. Jacques, S.L. Optical properties of biological tissues: a review / S.L. Jacques // *Phys. Med. Biol.*, 2013. – №58(11). – P. R37-R61.
13. Rafailov, I.E. Computational model of bladder tissue based on its measured optical properties / I.E. Rafailov, V.V. Dremin, K.S. Litvinova, A.V. Dunaev, S.G. Sokolovski, E.U. Rafailov // *Journal of Biomedical Optics*, 2016. – №21(2). – P. 025006.
14. Dremin, V.V. How the melanin concentration in the skin affects the fluorescence spectroscopy signal formation / V.V. Dremin, A.V. Dunaev // *Journal of Optical Technology*, 2016. – № 83(1). – P. 43-48.
15. Dremin, V.V. The development of attenuation compensation models of fluorescence spectroscopy signals / V.V. Dremin, E.A. Zherebtsov, I.E. Rafailov, A.Y. Vinokurov, I.N. Novikova, A.I. Zherebtsova, K.S. Litvinova, A.V. Dunaev // *Proc. SPIE 9917*, 2016. – №9917. – P. 99170Y.
16. Dunaev, A.V. Analysis individual variability of parameters of laser fluorescence diagnostics / A.V. Dunaev, V.V. Dremin, E.A. Zherebtsov, S.G. Palmer, S.G. Sokolovski, E.U. Rafailov // *Biotekhnosfera*, 2013. – №2. – P. 39-47.
17. Dunaev, A.V. Analysis of the physiological scatter of parameters of microcirculatory-tissue systems / A.V. Dunaev, I.N. Novikova, A.I. Zherebtsova, S.G. Sokolovski, E.U. Rafailov // *Biotekhnosfera*, 2013. – №5. – S.44-53.
18. Zherebtsov, E.A. Optical non-invasive diagnostics of microcirculatory-tissue systems of the human body: questions of metrological and instrumentation provision / E.A. Zherebtsov, V.V. Dremin, A.I. Zherebtsova, I.N. Makovik, A.V. Dunaev // *Journal of Biomedical Photonics & Engineering*, 2016. – №2(4). – P. 040305.
19. Zherebtsov, E. A. Method and device for metrological control of laser Doppler flowmetry devices / E.A. Zherebtsov, A.I. Zherebtsova, A.V. Dunaev, K.V. Podmaster'ev // *Biomedical Engineering*. – 2014. – № 48(4). – P. 191-195.

20. Kozlov, I.O. New principles of construction devices for control of technical state of laser doppler flowmetry monitors / I.O Kozlov, E.A. Zharebtsov, A.V. Dunaev, K.V. Podmaster'ev // Biotekhnosfera, 2015. – №2(38). – S. 10-14.
21. Binzoni, T. Translational and Brownian motion in laser-Doppler flowmetry of large tissue volumes / T. Binzoni, T.S. Leung, M.L. Seghier, D.T. Delpy // Physics in Medicine and Biology, 2004. – №49(24). – P. 5445-5458.
22. Fredriksson, I. Improved calibration procedure for laser Doppler perfusion monitors / I. Fredriksson, M. Larsson, F. Salomonsson, T. Strömberg, // Proc. SPIE 7906, 2011. – №7906. – P. 790602.
23. Zharebtsov, E.A. Method and device for metrological control of laser Doppler flowmetry devices / E.A. Zharebtsov, A.I. Zharebtsova, A.V. Dunaev, K.V. Podmaster'ev // Biomedical Engineering. – 2014. – № 48(4). – P. 191-195.
24. Dunaev, A.V. Novel measure for the calibration of laser Doppler flowmetry devices / A.V. Dunaev, E.A. Zharebtsov, D.A. Rogatkin, N.A. Stewart, S.G. Sokolovski, E.U. Rafailov // Proc. SPIE 8936, 2014. – №8936. – P. 89360D.
25. Potapova, E.V. Liquid optical phantom for fluorescence spectroscopy / E.V. Potapova, V.V. Dremin, E.A. Zharebtsov, K.V. Podmaster'ev, A.V. Dunaev // Fundamentalnye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii, 2018. – № 6 (332). – S. 105-114.
26. Shupletsov, V. Fluorescence imaging system for biological tissues diagnosis: phantom and animal studies / V. Shupletsov, K. Kandurova, V. Dremin, E. Potapova, M. Apanaykin, U. Legchenko, A. Dunaev // Journal of Biomedical Photonics & Engineering, 2020. – №6(1). – P. 010303.

Dunaev Andrey Valerievich

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia
Ph.D., Leading Researcher of Research and Development Center of Biomedical Photonics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Phone: +7-4862-41-98-06
E-mail: dunaev@bmecenter.ru

УДК 53.082.531:57.085.1

DOI: 10.33979/2073-7408-2020-343-5-115-121

Л.А. БОНДАРЕВА, М.В. СУХАНОВА, Л.Д. КУЗНЕЦОВА

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ЗЕРКАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ОТРАЖЕННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В КОСМЕТОЛОГИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ КОЖИ ЛИЦА

Аннотация. В статье проанализирована возможность применения метода измерения зеркальной составляющей отраженного излучения для оценки функционального состояния кожи лица человека. Представлено теоретическое обоснование процесса формирования зеркального отражения от биологической ткани и результаты экспериментального исследования на добровольцах.

Ключевые слова: смешанное отражение, зеркальная составляющая, зеркальное отражение, кожа человека, экспериментальное исследование.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Норлен Л. Новые взгляды на формирование, структуру и функционирование кожного барьера // Косметика и Медицина. – 2002. – № 5 – С. 8-17.
2. Зильберберг Н.В., Бриль Ю.А. Старение кожи лица: вопросы и ответы. механизмы возрастных изменений кожи и возможности их коррекции посредством пероральных контрацептивов, содержащих хлормадинона ацетат // StatusPraesens. Гинекология, акушерство, бесплодный брак. – 2015. – № 2 (25). – С. 112-118.
3. Коргунова Р.В. Изучение механизма физиологического старения кожи лица на основании морфологического и tape-stripped методов // Вестник дерматологии и венерологии. – 2005. – № 6. – С. 65-70.
4. Dolotov L.E., Sinichkin Yu.P., Tuchin V.V., Utz S.R., Altshuler G.B., I.V. Yaroslavsky. Design and Evaluation of a Novel Portable Erythema-Melanin-Meter // Lasers in Surgery and Medicine. – 2004. – V. 34. – P. 127-135.
5. Бондарева Л.А. Оценка функционального состояния растений по наличию зеркальной составляющей в отраженном световом потоке от их листьев / Л.А. Бондарева, М.В. Суханова // Биотехнические, медицинские, экологические системы и робототехнические комплексы – Биомедсистемы-2018 [текст]: сб. тр. XXXI Всерос. науч.-техн. конф. студ., мол. ученых и спец., 4-6 декабря 2018 г. / Под общ. ред. В.И. Жулева. – Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2018. – 520 с., ил. – С. 35-37.

6. Пат. Российская Федерация №2710009 МПК G01B 11/30, A01G 25/16. Устройство для определения влагообеспеченности листовых растений / Л.А. Бондарева, М.В. Суханова. – №2019115575; заявл. 21.05.2019; опубл. 23.12.2019, Бюл. №36.

Бондарева Людмила Александровна
ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени Тургенева», г. Орел
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Приборостроение, метрология и сертификация»
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Телефон: +7 (4862) 41-98-76.
E-mail: 270174@mail.ru

Суханова Марина Владимировна
ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени Тургенева», г. Орел
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Телефон: +7-911-385-78-18.
E-mail: Suhanova.M.V@yandex.ru

Кузнецова Людмила Дмитриевна
ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени Тургенева», г. Орел
Магистрант первого курса направления подготовки «Биотехнические системы и технологии»
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Телефон: +7-920-821-10-33.
E-mail: kuzay16@mail.ru

L.A. BONDAREVA, M.V. SUKHANOVA, L.D. KUZNETSOVA

USING THE METHOD OF MEASURING THE MIRROR COMPONENT OF REFLECTED RADIATION IN COSMETOLOGY TO ASSESS THE FUNCTIONAL STATE OF THE FACE SKIN

Abstract. *The article analyzes the possibility of using the method of measuring the mirror component of reflected radiation to assess the functional state of the human face skin. The theoretical justification of the process of forming a mirror component from biological tissue and the results of an experimental study on volunteers are presented.*

Keywords: *mixed reflection, mirror component, mirror reflection, human skin, experimental study.*

BIBLIOGRAPHY

1. Norlen L. Novye vzglyady na formirovanie, strukturu i funkcionirovanie kozhnogo barera // Kosmetika i Medicina. – 2002. – № 5 – S. 8-17.
2. Zilberberg N.V., Bril YU.A. Starenie kozhi lica: voprosy i otvety. mekhanizmy vozrastnykh izmenenij kozhi i vozmozhnosti ih korrektsii posredstvom peroralnykh kontraceptivov, soderzhashchih hlormadinona acetat // StatusPraesens. Ginekologiya, akusherstvo, besplodnyj brak. – 2015. – № 2 (25). – S. 112-118.
3. Korgunova R.V. Izuchenie mekhanizma fiziologicheskogo stareniya kozhi lica na osnovanii morfologicheskogo i tape-stripped metodov // Vestnik dermatologii i venerologii. – 2005. – № 6. – S. 65-70.
4. Dolotov L.E., Sinichkin Yu.P., Tuchin V.V., Utz S.R., Altshuler G.B., I.V. Yaroslavsky. Design and Evaluation of a Novel Portable Erythema-Melanin-Meter // Lasers in Surgery and Medicine. – 2004. – V. 34. – P. 127-135.
5. Bondareva L.A. Ocenka funktsionalnogo sostoyaniya rastenij po nalichiyu zerkalnoj sostavlyayushchej v otrazhenom svetovom potoke ot ih listev / L.A. Bondareva, M.V. Suhanova // Biotekhnicheskie, medicinskie, ekologicheskie sistemy i robototekhnicheskie komplekсы – Biomedistemy-2018 [tekst]: sb. tr. XXXI Vseros. nauch.-tekhn. konf. stud., mol. uchenykh i spec., 4-6 dekabrya 2018 g. / Pod obshch. red. V.I. ZHuleva. – Ryazan: IP Konyahin A.V. (Book Jet), 2018. – 520 s., il. – S. 35-37.
6. Пат. Rossijskaya Federaciya №2710009 МПК G01B 11/30, A01G 25/16. Ustrojstvo dlya opredeleniya vlagoobespechennosti listvennykh rastenij / L.A. Bondareva, M.V. Suhanova. – №2019115575; zyavl. 21.05.2019; opubl. 23.12.2019, Byul. №36.

Bondareva Lyudmila Alexandrovna
Oryol State University named after I.S. Turgenev, Oryol
PhD. (Tech. Sciences), Associate Professor of the Department «Instrumentation, metrology and certification»,
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Phone: +7 (4862) 41-98-76.
E-mail: 270174@mail.ru

Sukhanova Marina Vladimirovna
Oryol State University named after I.S. Turgenev, Oryol
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Phone: +7-911-385-78-18.
E-mail: Suhanova.M.V@yandex.ru

Kuznetsova Lyudmila Dmitrievna
Oryol State University named after I.S. Turgenev, Oryol
Undergraduate of the Department «Instrumentation, metrology and certification»
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Phone: +7-920-821-10-33.
E-mail: kuzay16@mail.ru

С.И. МАТЮХИН, Д.О. МАЛЫЙ, А.С. ВИШНЯКОВ, Е.Ю. ОРЛОВ, В.И. КАЗАКОВ

**ТЕПЛОВОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ СИЛОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ
МОДУЛЕЙ ПАЯНОЙ КОНСТРУКЦИИ**

Аннотация. Методами компьютерного моделирования в программной среде Comsol Multiphysics исследованы процессы теплопереноса в силовых полупроводниковых модулях паяной конструкции. Решена задача о тепловом сопротивлении таких модулей. Изучены факторы, оказывающие определяющее действие на это сопротивление. Разработана математическая модель, позволяющая производить инженерные расчеты теплового сопротивления модулей.

Ключевые слова: силовой полупроводниковый модуль, паяная конструкция, теплоперенос, тепловое сопротивление, компьютерное моделирование, Comsol Multiphysics.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Флоренцев, С.Н. Современное состояние и прогноз развития приборов силовой электроники / С.Н. Флоренцев // Современные технологии автоматизации. – 2004. – №2. – С.20-30.
2. Евсеев, Ю.А. Состояние и перспективы развития российской полупроводниковой элементной базы силовой электроники / Ю.А. Евсеев, В.Д. Ковалев, А.М. Сурма // Электро. – 2005. – №5. – С.2-14.
3. Minato, T. Future Trend of Si Power Device / T. Minato, K. Sato // IEICE Electronics Express. – 2014. – V.11. – №3. – P.1-17.
4. Vobecky, J. The Current Status of Power Semiconductors / J. Vobecky // Facta Universitatis. Series: Electronics and Energetics. – 2015. – V.28. – №2. – P.193-203.
5. Флоренцев, С.Н. Силовые IGBT-модули – основа современного преобразовательного оборудования / С.Н. Флоренцев // Электронные компоненты. – 2002. – №6. – С.11-17.
6. Исламгазина, Л. Технологические методы повышения надежности силовых модулей / Л. Исламгазина // Технологии в электронной промышленности. – 2005. – №2. – С.58-60.
7. Bouarroudj, M. Degradation behavior of 600 V–200 A IGBT modules under power cycling and high temperature environment conditions / M. Bouarroudj, Z. Khatir, J.P. Ousten, F. Badel, L. Dupont, S. Lefebvre // Microelectronics Reliability. – 2007. – V.47. – P.1719-1724.
8. Morozumi, A. Reliability of Power Cycling for IGBT Power Semiconductor Modules / A. Morozumi, K. Yamada, T. Miyasaka, S. Sumi, Y. Seki // IEEE Transactions on Industry Applications. – 2003. – V.39. – No.3. – P.665-671.
9. Ciappa, M. Selected failure mechanisms of modern power modules / M. Ciappa // Microelectronics Reliability. – 2002. – V.42. – P.653–667.
10. Lu, H. Design for reliability of power electronics modules / H. Lu, C. Bailey, C. Yin // Microelectronics Reliability. – 2009. – V.49. – P.1250–1255.
11. Busca, C. Modeling lifetime of high power IGBTs in wind power applications - An overview / C. Busca // IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE). – 2011. – P.1408-1413.
12. Матюхин, С.И. Компьютерное моделирование деформаций, возникающих при производстве силовых полупроводниковых модулей паяной конструкции / С.И. Матюхин, Д.О. Малый, А.С. Вишняков // Сб. трудов III Междунар. научно-практической конф. «Современные проблемы физико-математических наук». – Орёл: ОГУ им. И.С. Тургенева. – 2017. – С.246-249.
13. Матюхин, С.И. Компьютерное моделирование термомеханических деформаций, возникающих при производстве и эксплуатации силовых полупроводниковых модулей паяной конструкции / С.И. Матюхин, К.Ю. Фроленков, Д.О. Малый, А.С. Вишняков, Е.Ю. Орлов, М.Д. Санников // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2019. №4-1 (336). С.35-41.
14. Матюхин, С.И. Современное программное обеспечение для моделирования в электронике / С.И. Матюхин, Г.Р. Макулевский, О.В. Деев // Информационные системы и технологии. – 2014. – №2 (82). – С.58-71.
15. Comsol Multiphysics User's Guide, - Comsol. – 2012. – 1292 p.
16. Матюхин, С.И. Компьютерное моделирование теплопереноса в силовых IGBT-модулях паяной конструкции / С.И. Матюхин, Д.О. Малый, А.С. Вишняков, Е.А. Заночкин, А.Д. Петрухин // Сб. трудов III Междунар. научно-практической конф. «Современные проблемы физико-математических наук», - Орёл: ОГУ им. И.С. Тургенева, 2017. С.242-245.
17. Матюхин, С.И. Компьютерное моделирование переходного теплового сопротивления IGBT-модулей паяной конструкции / С.И. Матюхин, Д.О. Малый, А.С. Вишняков // Сб. трудов IV Междунар. научно-практической конф. «Современные проблемы физико-математических наук», - Орёл: ОГУ им. И.С. Тургенева, 2018. С.270-273.

18. Давидов, П.Д. Анализ и расчет тепловых режимов полупроводниковых приборов / П.Д. Давидов, - М.: Энергия, 1967. – 144 с.
19. Lostetter, A.B. An overview to integrated power module design for high power electronics packaging / A.B. Lostetter, F. Barlow, A. Elshabini // Microelectronics Reliability. 2000. V.40. P.365-379.
20. Xu, Y. Misconception of Thermal Spreading Angle and Misapplication to IGBT Power Modules / Y. Xu, D.C. Hopkins // IEEE Applied Power Electronics Conf., Ft. Worth, TX, March 16-20, 2014.

Матюхин Сергей Иванович

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
Доктор физико-математических наук, заведующий
кафедрой технической физики и математики
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел. (4862) 41-98-02
E-mail: sim1@mail.ru

Малый Денис Олегович

АО «Протон-Электротекс», г. Орел
Инженер-конструктор
302040, г. Орел, ул. Лескова, 19
Тел. (4862) 44-04-11
E-mail: d.malyy@proton-electrotex.com

Вишняков Александр Сергеевич

АО «Протон-Электротекс», г. Орел
Инженер-конструктор
302040, г. Орел, ул. Лескова, 19
Тел. (4862) 44-04-11
E-mail: a.vishnyakov@proton-electrotex.com

Орлов Евгений Юрьевич

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
Аспирант
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел. (4862) 41-98-02
E-mail: sim1@mail.ru

Казakov Вениамин Игоревич

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
Студент
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел. (4862) 41-98-02
E-mail: sim1@mail.ru

S.I. MATYUKHIN, D.O. MALYI, A.S. VISHNYAKOV, E.Yu. ORLOV, V.I. KAZAKOV

THERMAL RESISTANCE OF POWER SEMICONDUCTOR MODULES OF SOLDERED CONSTRUCTION

Abstract. *The heat transfer processes in power semiconductor modules of soldered construction are studied using the methods of computer simulation in Comsol Multiphysics software. The problem of the thermal resistance of such modules is solved. The factors showing the main effect on the thermal resistance of the modules are studied. A mathematical model allowing engineering calculations of this resistance is developed.*

Keywords: *power semiconductor module, soldered construction, heat transfer, thermal resistance, computer simulation, Comsol Multiphysics.*

BIBLIOGRAPHY

1. Florentsev, S.N. Sovremennoye sostoyaniye i prognoz razvitiya priborov silovoy elektroniki / S.N. Florentsev // Sovremennyye tekhnologii avtomatizatsii. – 2004. – №2. – S.20-30.
2. Yevseyev, YU.A. Sostoyaniye i perspektivy razvitiya rossiyskoy poluprovodnikovoy elementnoy bazy silovoy elektroniki / YU.A. Yevseyev, V.D. Kovalev, A.M. Surma // Elektro. – 2005. – №5. – S.2-14.
3. Minato, T. Future Trend of Si Power Device / T. Minato, K. Sato // IEICE Electronics Express. – 2014. – V.11. – №3. – P.1-17.
4. Vobecky, J. The Current Status of Power Semiconductors / J. Vobecky // Facta Universitatis. Series: Electronics and Energetics. – 2015. – V.28. – №2. – P.193-203.
5. Florentsev, S.N. Silovyye IGBT-moduli – osnova sovremennogo preobrazovatel'nogo oborudovaniya / S.N. Florentsev // Elektronnyye komponenty. – 2002. – №6. – S.11-17.
6. Islamgazina, L. Tekhnologicheskiye metody povysheniya nadezhnosti silovykh moduley / L. Islamgazi-na // Tekhnologii v elektronnoy promyshlennosti. – 2005. – №2. – S.58-60.
7. Bouarroudj, M. Degradation behavior of 600 V–200 A IGBT modules under power cycling and high temperature environment conditions / M. Bouarroudj, Z. Khatir, J.P. Ousten, F. Badel, L. Dupont, S. Lefebvre // Microelectronics Reliability. – 2007. – V.47. – P.1719-1724.

8. Morozumi, A. Reliability of Power Cycling for IGBT Power Semiconductor Modules / A. Morozumi, K. Yamada, T. Miyasaka, S. Sumi, Y. Seki // IEEE Transactions on Industry Applications. – 2003. – V.39. – No.3. – P.665-671.
9. Ciappa, M. Selected failure mechanisms of modern power modules / M. Ciappa // Microelectronics Reliability. – 2002. – V.42. – P.653–667.
10. Lu, H. Design for reliability of power electronics modules / H. Lu, C. Bailey, C. Yin // Microelectronics Reliability. – 2009. – V.49. – P.1250–1255.
11. Busca, C. Modeling lifetime of high power IGBTs in wind power applications - An overview / C. Busca // IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE). – 2011. – P.1408-1413.
12. Matyukhin, S.I. Komp'yuternoye modelirovaniye deformatsiy, voznikayushchikh pri proizvodstve silo-vykh poluprovodnikovyykh moduley payanoy konstruktсии / S.I. Matyukhin, D.O. Malyi, A.S. Vishnyakov // Sb. trudov III Mezhdunar. nauchno-prakticheskoy konf. «Sovremennyye problemy fiziko-matematicheskikh nauk». – Orel: OGU im. I.S. Turgeneva. – 2017. – S.246-249.
13. Matyukhin, S.I. Komp'yuternoye modelirovaniye termomehanicheskikh deformatsiy, voznikayushchikh pri proizvodstve i ekspluatatsii silovykh poluprovodnikovyykh moduley payanoy konstruktсии / S.I. Matyukhin, K.Yu. Frolenkov, D.O. Malyi, A.S. Vishnyakov, E.Yu. Orlov, M.D. Sannikov // Fundamentalnye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. – 2019. – №4-1 (336). – S.35-41.
14. Matyukhin, S.I. Sovremennoye programmnoye obespecheniye dlya modelirovaniya v elektronike / S.I. Matyukhin, G.R. Makulevskiy, O.V. Deyev // Informatsionnyye sistemy i tekhnologii. – 2014. – №2 (82). – S.58-71.
15. Comsol Multiphysics User's Guide, - Comsol. – 2012. – 1292 p.
16. Matyukhin, S.I. Komp'yuternoye modelirovaniye teploperenosa v silovykh IGBT-moduleyakh payanoy konstruktсии / S.I. Matyukhin, D.O. Malyi, A.S. Vishnyakov, E.A. Zanozhkin, A.D. Petruhin // Sb. trudov III Mezhdunar. nauchno-prakticheskoy konf. «Sovremennyye problemy fiziko-matematicheskikh nauk». – Orel: OGU im. I.S. Turgeneva. – 2017. – S.242-245.
17. Matyukhin, S.I. Komp'yuternoye modelirovaniye perehodnogo teplovogo soprotivleniya IGBT-moduleyakh payanoy konstruktсии / S.I. Matyukhin, D.O. Malyi, A.S. Vishnyakov // Sb. trudov IV Mezhdunar. nauchno-prakticheskoy konf. «Sovremennyye problemy fiziko-matematicheskikh nauk». – Orel: OGU im. I.S. Turgeneva. – 2018. – S.270-273.
18. Davidov, P.D. Analiz i raschet teplovykh rezhimov poluprovodnikovyykh priborov / P.D. Davidov, - M.: Energiya, 1967. – 144 S.
19. Lostetter, A.B. An overview to integrated power module design for high power electronics packaging / A.B. Lostetter, F. Barlow, A. Elshabini // Microelectronics Reliability. 2000. V.40. P.365-379.
20. Xu, Y. Misconception of Thermal Spreading Angle and Misapplication to IGBT Power Modules / Y. Xu, D.C. Hopkins // IEEE Applied Power Electronics Conf., Ft. Worth, TX, March 16-20, 2014.

Matyukhin Sergey Ivanovich

Orel State University, Orel
DSc, Head of the Department of Technical Physics and Mathematics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph. (4862) 41-98-02
E-mail: sim1@mail.ru

Malyi Denis Olegovich

Proton-Electrotex Inc., Orel
Design Engineer
302040, Orel, Leskov's str., 19
Ph. (4862) 44-04-11
E-mail: d.malyi@proton-electrotex.com

Vishnyakov Aleksandr Sergeyevich

Proton-Electrotex Inc., Orel
Design Engineer
302040, Orel, Leskov's str., 19
Ph. (4862) 44-04-11
E-mail: a.vishnyakov@proton-electrotex.com

Orlov Evgeniy Yur'yevich

Orel State University, Orel
Postgraduate
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph. (4862) 41-98-02
E-mail: sim1@mail.ru

Kazakov Veniamin Igorevich

Orel State University, Orel
Student
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph. (4862) 41-98-02
E-mail: sim1@mail.ru

СТЕНД ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП

Аннотация. Представлено описание стенда для эксплуатационных испытаний светодиодных ламп. Приведены результаты эксплуатационных испытаний светодиодных ламп. Испытания проведены в реальных условиях эксплуатации. Установлен факт ухудшения технических характеристик ламп. Одной из причин ухудшения технических характеристик признано выделение лампой большого количества теплоты. Предложены варианты конструкции светодиодной лампы, содержащие элементы системы охлаждения. Показаны перспективы развития систем освещения, построенных на основе светодиодных сеток.

Ключевые слова: сбережение электрической энергии; светодиодная лампа; эксплуатационные испытания; теплота; система охлаждения; радиатор; светодиодная сетка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Гончарова, Ю.С. Ускоренные испытания полупроводниковых источников света на долговечность / Ю.С. Гончарова, И.Ф. Гарипов, В.С. Солдаткин // Доклады ТУСУРа. – 2013. – № 2 (28). – С. 51–53.
- 2 Светодиоды-долгожители: правда или мистификация? Журнал «Магазин свет»: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.rlocman.ru/review/article.html?di=76013>
- 3 ГОСТ Р 56231-2014/IEC/PAS 62722-2-1:2011 «Светильники. Часть 2-1. Частные требования к характеристикам светильников со светодиодными источниками света».
- 4 Бернат, С.В. Сравнительный анализ энергетических характеристик источников освещения / С.В. Бернат, В.В. Марков // Современные технологии в задачах управления, автоматики и обработки информации. XX международный научно-технический семинар. Тезисы докладов. – Украина, Крым, г. Алушта, 18-24 сентября 2011 г. – С. 94-96.
- 5 Ковалёв, А.И. Особенности тепловых процессов в матрицах светодиодных энергосберегающих ламп / А.И. Ковалёв, В.В. Марков // Современные технологии в задачах управления, автоматики и обработки информации. XX международный научно-технический семинар. Тезисы докладов. – Украина, Крым, г. Алушта, 18-24 сентября 2011 г. – С. 112-113.
- 6 Марков, В.В. Результаты комплексной оценки эффективности применения энергосберегающих ламп для освещения жилых и производственных помещений / В.В. Марков, А.В. Сметанников // В сборнике: Перспективы инновационного развития угольных регионов России Сборник трудов IV Международная научно-практическая конференция. Редакционная коллегия: Пудов Е.Ю. (ответственный редактор), Клаус О.А. (ответственный редактор), Бершполец С.И., Конопля А.А.. 2014. С. 415-417.
- 7 Марков, В.В. Результаты оценки эффективности применения энергосберегающих люминесцентных ламп в жилищно-коммунальном хозяйстве / В.В. Марков, И.А. Малых, Н.А. Екимова // В сборнике: Юность и знания – гарантия успеха Сборник научных трудов Международной научно-технической конференции. Ответственный редактор: Разумов М.С.. 2014. С. 238-242.
- 8 Марков, В.В. Изменение светотехнических характеристик энергосберегающих люминесцентных ламп после их длительной эксплуатации / В.В. Марков, Е.Е. Николаева, О.В. Еракова // В сборнике: Юность и знания – гарантия успеха Сборник научных трудов Международной научно-технической конференции. Ответственный редактор: Разумов М.С.. 2014. С. 242-246.

Ванькин Дмитрий Александрович
ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева», г. Орёл
Магистрант первого года обучения по направлению 12.04.01 «Приборостроение»
Т
E-mail: pms35vm@yandex.ru
л

Марков Владимир Владимирович
ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева», г. Орёл
К.т.н., доцент, и.о. заведующего кафедрой приборостроения, метрологии и сертификации
Тел. (4862)41-98-76;
E-mail: pms35vm@yandex.ru

Подмастерьев Константин Валентинович
ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева»,
доктор технических наук, профессор,
директор института приборостроения,
автоматизации и информационных технологий.
302026, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95,
тел. +79536232263,
E-mail: asms-orel@mail.ru

Abstract. *The description of the stand for operational testing of led lamps is presented. The results of operational tests of led lamps are presented. The tests were carried out under real operating conditions. The fact of deterioration of technical characteristics of lamps is established. One of the reasons for the deterioration of technical characteristics is recognized as the release of a large amount of heat by the lamp. Variants of the led lamp design containing elements of the cooling system are proposed. The prospects for the development of lighting systems based on led grids are shown.*

Keywords: *electric energy saving; led lamp; performance tests; heat; cooling system; radiator; led grid.*

BIBLIOGRAPHY

- 1 Goncharova Yu. S. Accelerated tests of semiconductor light sources for durability / Yu. S. Goncharova, I. F. Garipov, V. S. Soldatkin // TUSUR Reports. – 2013. – № 2 (28). – Pp. 51-53.
- 2 long-lived LEDs: truth or hoax? Magazine "Shop light": [Electronic resource]. Mode of access: <https://www.rlocman.ru/review/article.html?di=76013>
- 3 GOST R 56231-2014/IEC/PAS 62722-2-1: 2011 " Lamps. Part 2-1. Special requirements for the characteristics of lamps with led light sources".
- 4 Bernat, S. V. Comparative analysis of energy characteristics of radiation sources / S. V. Bernat, V. V. Markov // Modern technologies in the tasks of management, automation and information processing. XX international scientific and technical seminar. Thesis of reports. - Ukraine, Crimea, Alushta, September 18-24, 2011-P. 94-96.
- 5 Kovalev, A. I. Features of thermal processes in the matrices of led energy-saving lamps / A. I. Kovalev, V. V. Markov // Modern technologies in the tasks of control, automation and information processing. XX international scientific and technical Congress. Thesis of reports. - Ukraine, Crimea, Alushta, September 18-24, 2011-P. 112-113.
- 6 Markov, V. V. Results of a comprehensive assessment of the effectiveness of energy-saving lamps for lighting residential and industrial premises / V. V. Markov, A.V. Smetannikov // In the collection: Prospects for innovative development of coal regions of Russia Proceedings of the IV international scientific and practical conference. Editorial Board: Pudov E. Yu. (responsible editor), Klaus O. A. (responsible editor), Bershpolets S. I., Konoplya A. A. 2014. Pp. 415-417.
- 7 Markov, V. V. Results of evaluating the effectiveness of energy-saving fluorescent lamps in housing and communal services / V. V. Markov, I. A. Malykh, N. A. Ekimova // In the collection: Youth and knowledge-a guarantee of success Collection of scientific papers of the International scientific and technical conference. Responsible editor: Razumov M. S. . 2014. Pp. 238-242.
- 8 Markov, V. V. Change of lighting characteristics of energy-saving fluorescent lamps after their long-term operation / V. V. Markov, E. E. Nikolaeva, O. V. Erakova // In the collection: Youth and knowledge-a guarantee of success Collection of scientific papers of the International scientific and technical conference. Responsible editor: Razumov M. S. . 2014. Pp. 242-246.

Vankin Dmitry Alexandrovich
OSU named after I.S. Turgenev
Oryol
First-year master's student in the
direction of 12.04.01
"instrument Engineering"
Phone. (4862)41-98-76;
E-mail: : pms35vm@yandex.ru

Markov Vladimir Vladimirovich
OSU named after I.S. Turgenev,
Oryol
Ph.D., Associate Professor, Acting
head of department
instrument engineering, metrology
and certification
Phone (4862)41-98-76;
E-mail: pms35vm@yandex.ru

Podmasteryev Konstantin Valentinovich
FGBOU VO «Orlovskiy gosudarstvennyy
universitet im. I.S. Turgeneva»,
doktor tekhnicheskikh nauk, professor,
direktor instituta «Priborostroyeniye,
avtomatizatsiya i informatsionnyye
tekhnologii»
302026, g. Orel, ul. Komsomolskaya, d. 95,
tel. +79536232263,
E-mail: asms-orel@mail.ru

УДК 681.58: 697.3

DOI: 10.33979/2073-7408-2020-343-5-138-143

С.П. ПЕТРОВ, К.В. ПОДМАСТЕРЬЕВ, А.В. ПИЛИПЕНКО, Н.И. МАРКИН,
О.С. НИКИТЕНКО, Ю.Н. БАРАНОВ

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫМ И ГИДРАВЛИЧЕСКИМ РЕЖИМАМИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Аннотация. *Рассматриваются вопросы влияния повышения качества управления тепловым и гидравлическим режимами на эффективность комбинированной системы централизованного теплоснабжения.*

Ключевые слова: *качество, управление, эффективность, теплоснабжение.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петров, С.П. Исследование режимов работы абонентского ввода комбинированной системы теплоснабжения // Справочник. Инженерный журнал, 2007. № 1. – С. 50 - 56.

2. Соколов, Е. Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов. - 7-е изд., стереот. – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 472 с.
3. Петров, С.П., Определение граничных условий при параметрическом синтезе системы управления температурным режимом здания [Текст] / С.П. Петров, К.В. Подмастерьев, А.В. Пилипенко, К.Д. Шорин / Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии / 2017 - № 5, – С. 184-190.
4. Петров, С.П., Контроль и оптимизация режимов работы абонентского ввода комбинированной системы теплоснабжения [Текст] / С.П. Петров, К.В. Подмастерьев, О.С. Никитенко, М.И. Конищев, В.И. Коробко / Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии / 2019 - № 3, – С. 142-150.
5. Подмастерьев, К.В. Устройство контроля и регулирования температуры воздуха для помещений, оборудованных однотрубной системой отопления [Текст]: / К.В. Подмастерьев К.В., О.С. Петрова // Контроль. Диагностика, 2010. № 5. – С. 45-57.
6. Маркин, Н.И., Качественно-количественное управление температурным режимом зданий [Текст] / С.П. Петров, А.В. Пилипенко, Н.И. Маркин, О.С. Никитенко, А.Ю. Пилипенко, Н.К. Шарифов. Информационные системы и технологии / 2019 - № 4, – С. 56- 66.
7. Подмастерьев, К.В. Датчик температуры воздуха в однотрубных системах отопления [Текст]: / К.В. Подмастерьев К.В., О.С. Петрова // Мир измерений, 2010. № 1. – С. 36-41.
8. Петров, С. П. Зависимость динамических характеристик объекта управления и параметров регулятора в функционально завершенной САУ когенерационной системы теплоснабжения [Текст] // Справочник. Инженерный журнал. - 2006. - № 5. - С. 53-57.
9. Подмастерьев, К.В. Экспериментальные исследования статической характеристики датчика температуры устройства контроля и регулирования температуры воздуха в помещении лечебно-профилактического учреждения [Текст]: / К.В. Подмастерьев К.В., О.С. Петрова // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, 2008. № 2. – С. 71-75.
10. Подмастерьев, К.В. Устройство регулирования температуры воздуха в помещениях [Текст]: / К.В. Подмастерьев К.В., О.С. Петрова // Датчики и системы, 2008. - № 6. – С. 14-18.

Петров Сергей Петрович

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева»,
доктор технических наук, профессор кафедры
«Автоматизированных систем управления и кибернетики»
302026, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95,
тел. +79536155931,
E-mail: nayka.ya@yandex.ru

Пилипенко Александр Витальевич

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева», кандидат технических наук, доцент кафедры
«Автоматизированных систем управления и кибернетики»
302026, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95,
тел. +79058566699,
E-mail: a@pilipenko.info

Никитенко Ольга Сергеевна

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева», ведущий научный сотрудник «НОЦ».
302026, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95,
тел. +79192600776,
E-mail: lavanda777@bk.ru

Подмастерьев Константин Валентинович

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева»,
доктор технических наук, профессор, директор института «Приборостроение, автоматизация и информационные технологии»
302026, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95,
тел. +7-953-623-22-63,
E-mail: asms-orel@mail.ru

Маркин Николай Иванович

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева», и. о. зав. кафедрой
«Автоматизированных систем управления и кибернетики». 302026, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95,
тел. +79202880801,
E-mail: nim2009@inbox.ru

Баранов Юрий Николаевич

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева»,
доктор технических наук, профессор кафедры
«Автоматизированных систем управления и кибернетики»
302026, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95,
тел. +79208019718
E-mail: bar20062@yandex.ru

S.P. PETROV, K.V. PODMASTERYEV, A.V. PILIPENKO, N.I. MARKIN,
O.S. NIKITENKO, Yu.N. BARANOV

ASSESSING THE IMPACT OF IMPROVING MANAGEMENT QUALITY THERMAL AND HYDRAULIC MODES ON THE EFFICIENCY OF THE COMBINED SYSTEM DISTRICT HEATING

Absrtact. The questions of influence of thermal and hydraulic regime management quality in cogenerated system of centralized heat supply on its effectiveness are observed.

Keywords. quality, management, efficiency, heat supply.

BIBLIOGRAPHY

1. Petrov, S.P. Issledovaniye rezhimov raboty abonentskogo vvoda kombinirovannoy sistemy teplosnabzheniya // Spravochnik. Inzhenernyy zhurnal, 2007. № 1. – S. 50 - 56.
2. Sokolov, Ye. YA. Teplofikatsiya i teplovyye seti: Uchebnik dlya vuzov.- 7-ye izd., stereot. – M.: Izdatelstvo MEI, 2001. – 472 s.
3. Petrov, S.P., Opredeleniye granichnykh usloviy pri parametricheskom sinteze sistemy upravleniya temperaturnym rezhimom zdaniya [Tekst] / S.P. Petrov, K.V. Podmasteryev, A.V. Pilipenko, K.D. Shorin / Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii / 2017 - № 5 , – S. 184-190.
4. Petrov, S.P., Kontrol i optimizatsiya rezhimov raboty abonentskogo vvoda kombinirovannoy sistemy teplosnabzheniya [Tekst] / S.P. Petrov, K.V. Podmasteryev, O.S. Nikitenko, M.I. Konishchev, V.I. Korobko / Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii / 2019 - № 3 , – S. 142-150.
5. Podmasteryev, K.V. Ustroystvo kontrolya i regulirovaniya temperatury vozdukha dlya pomeshcheniy, oborudovannykh odnotrubnoy sistemoy otopleniya [Tekst]: / K.V. Podmasteryev K.V., O.S. Petrova // Kontrol. Diagnostika, 2010. № 5. – S. 45-57.
6. Markin, N.I., Kachestvenno-kolichestvennoye upravleniye temperaturnym rezhimom zdaniy [Tekst] / S.P. Petrov, A.V. Pilipenko, N.I. Markin, O.S. Nikitenko, A.YU. Pilipenko, N.K. Sharifov. Informatsionnyye sistemy i tekhnologii / 2019 - № 4 , – S. 56- 66.
7. Podmasteryev, K.V. Datchik temperatury vozdukha v odnotrubnykh sistemakh otopleniya [Tekst]: / K.V. Podmasteryev K.V., O.S. Petrova // Mir izmereniy, 2010. № 1. – S. 36-41.
8. Petrov, S. P. Zavisimost dinamicheskikh kharakteristik ob"yekta upravleniya i parametrov regulatora v funktsionalno zavershennoy SAU kogeneratsionnoy sistemy teplosnabzheniya [Tekst] // Spravochnik. Inzhenernyy zhurnal. - 2006. - № 5. - S. 53-57.
9. Podmasteryev, K.V. Eksperimentalnyye issledovaniya staticheskoy kharakteristiki datchika temperatury ustroystva kontrolya i regulirovaniya temperatury vozdukha v pomeshchenii lecheno-profilakticheskogo uchrezhdeniya [Tekst]: / K.V. Podmasteryev K.V., O.S. Petrova // Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii, 2008. № 2. – S. 71-75.
10. Podmasteryev, K.V. Ustroystvo regulirovaniya temperatury vozdukha v pomeshcheniyakh [Tekst]: / K.V. Podmasteryev K.V., O.S. Petrova // Datchiki i sistemy, 2008. - № 6. – S. 14-18.

Petrov Sergey Petrovich

FGBOU VO «Orlovskiy gosudarstvennyy universitet im. I.S. Turgeneva»,
doctor of technical Sciences, Professor of the Department
of "Automated control systems and Cybernetics".
302026, Orel, Komsomolskaya str., 95,
tel. + 79536155931,
E-mail: nayka55@mail.ru

Pilipenko Alexander Vitalievich

FSBEI "Orenburg state University. I. S. Turgeneva",
candidate technical. Sciences, Director, Center for
interdisciplinary engineering»
302026, Orel, Komsomolskaya str., 95,
tel. 89058566699,
E-mail: a@pilipenko.info

Nikitenko Olga Sergeevna

FGBOU VO «Orlovskiy gosudarstvennyy universitet im. I.S. Turgeneva»,
vedushchiy nauchnyy sotrudnik «NOTS».
302026, g. Orel, ul. Komsomolskaya, d. 95,
tel.+79192600776,
E-mail: lavanda777@bk.ru

Podmaster'ev Konstantin Valentinovich

FGBOU VO «Orlovskiy gosudarstvennyy universitet im. I.S. Turgeneva»,
doktor tekhnicheskikh nauk, professor, direktor instituta
«Priborostroyeniye, avtomatizatsiya i informatsionnyye tekhnologii»
302026, g. Orel, ul. Komsomolskaya, d. 95,
tel. +7-953-615-59-31,
E-mail: asms-orel@mail.ru

Markin Nikolay Ivanovich

FGBOU VO «Orlovskiy gosudarstvennyy universitet im. I.S. Turgeneva »,
i. o. zav. kafedra «Avtomatizirovannykh sistem upravleniya i kibernetiki».
302026, g. Orel, ul. Komsomolskaya, d. 95,
tel. +79202880801,
E-mail: nim2009@inbox.ru

Baranov Urv Nikolaevich

FGBOU VO «Orlovskiy gosudarstvennyy universitet im. I.S. Turgeneva»,
doctor of technical Sciences, Professor of the Department
of "Automated control systems and Cybernetics".
302026, Orel, Komsomolskaya str., 95,
tel. +79208019718
E-mail: bar20062@yandex.ru

УДК 620.178.15

DOI: 10.33979/2073-7408-2020-343-5-144-152

И.А. КАШАПОВА, А.В. ФЕДОРОВ, Р.А. ЕГОРОВ

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ МЕТОДА ДИНАМИЧЕСКОГО ИНДЕНТИФИКАЦИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТВЕРДОСТИ МАТЕРИАЛОВ ПОКРЫТИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ЖИДКОСТНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Аннотация. Показана важность контроля механических характеристик покрытий ответственных изделий. Приводятся расчетные формулы для определения динамической твердости и указываются ограничения для контроля покрытий. В статье рассматриваются особенности метода динамического инденитирования и

обоснование его применимости для оценки твердости материалов покрытий элементов жидкостного ракетного двигателя. На основе анализа механики контактного взаимодействия жесткой сферы с упругопластичным двухслойным полупространством для оценки динамической твердости покрытия предложено использовать смесевую модель, при которой измеренная твердость представляет собой композиционную твердость, интегрирующую в разной степени твердость материала покрытия и материала основания. По результатам исследований получена регрессионная зависимость в виде полинома второй степени, позволяющая производить оценку твердости гальванического никелевого покрытия. Проведена оценка точности уравнения регрессии.

Ключевые слова: твердость, гальванические никелевые покрытия, метод динамического индентирования, ракетно-космическая техника.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.И. Потапов, В.А. Сясько, К.В. Гоголинский, А.А. Никазов. Обеспечение единства измерений твердости динамическим методом в Российской Федерации // Контроль. Диагностика. – 2016. – № 4. С. 44–49.
2. Рудницкий В.А., Дякович В.В. Оценка модуля упругости металлических материалов методом динамического вдавливания индентора // Заводская лаборатория. 1995. № 11. С. 59–61.
3. Рудницкий, В.А., Рабцевич А.В. Метод динамического индентирования для оценки механических характеристик металлических материалов – Дефектоскопия. – 1997. – № 4. – С. 79–86., А.В. Рабцевич. Измерение модуля упругости металла методом динамического индентирования // Весці НАН Беларусі. Серыя фізіка-тэхнічных навук. 1999, №3, с. 118–122
4. ГОСТ Р 56474-2015 Системы космические. Контроль неразрушающий физико-механических свойств материалов и покрытий космической техники методом динамического индентирования. Общие требования
5. Козловский А.Э. Расчёт элементов конструкций на растяжение и сжатие: учеб.-метод. пособие / А.Э.Козловский; Иван. гос. хим.-технол. ун-т. – Иваново, 2015. – 80 с. Модуль юнга
6. ГОСТ 9012-59 Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю
7. Puchi-Caberra E. S., Berrios L. A., and Teer D. G. On the computation of the absolute hardness of thin solid films // Surface and Coatings Technology. — 2002 (157), nos. 2—3, 185—196
8. Jonsson B. and Hogmark S. Hardness measurement of thin films // Thin Solid Films. — 1984 (114), 257—269.
9. Chicot D. and Lesage J. Absolute hardness of films and coatings // Thin Solid Films. — 1995 (254), 123—130.
10. Korsunsky A. M., McGurk M. R., Bull S. J., and Page T. F. On the hardness of coating systems // Surface and Coatings Technology. — 1998 (99), 171—183.
11. Пономарев С.Д., Бидерман В.Л., Лихарев К.К. и др. Расчеты на прочность в машиностроении. – М.: Машгиз, 1958. – 976 с.
12. Барсуков В.Г., Хвисевич В.М., Чикова Т.С., Барсуков В.В. Расчетная оценка параметров стесненного упругопластического деформирования материала при индентировании // Вестник Брестского государственного технического университета. 2012. №4. С. 31–34

Кашапова Ирина Альфировна
Университет ИТМО
Аспирант факультета систем
управления и робототехники
197101, г.Санкт-Петербург,
Кронверский проспект, д.49
Тел. +79315365585
E-mail:
kaschapova.irina@gmail.com

Фёдоров Алексей Владимирович
Университет ИТМО
Доктор технических наук, доцент
факультета систем управления и
робототехники
197101, г.Санкт-Петербург,
Кронверский проспект, д.49
Тел. +7(812)6406948
E-mail: afedor62@yandex.ru

Егоров Роман Александрович
Университет ИТМО
Аспирант факультета систем
управления и робототехники
197101, г.Санкт-Петербург,
Кронверский проспект, д.49
Тел. +7(905)2841859
E-mail: roman1465@yandex.ru

I.A. KASHAPOVA, A.V. FEDOROV, R.A. EGOROV

JUSTIFICATION APPLICABILITY OF THE DYNAMIC INDENTATION METHOD FOR CONTROL HARDNESS COATING MATERIALS OF ELEMENTS LIQUID ROCKET ENGINES

Abstract. The importance of controlling the mechanical characteristics of coatings of critical products is shown. Calculation formulas for determining the dynamic hardness are given and restrictions for the control of coatings are indicated. The article discusses the features of the dynamic identification method and the substantiation of its applicability to assess the hardness of coating materials for elements of a liquid-propellant rocket engine. Based on the analysis of the mechanics of the contact interaction of a rigid sphere with an elastoplastic two-layer half-space, to assess the dynamic hardness of the coating, it is proposed to use a mixture model, in which the measured hardness is a composite hardness that integrates the hardness of the coating material and the base material to different degrees. According to the research results, a regression dependence in the form of a polynomial of the second degree was obtained, which makes it possible to assess the hardness of a galvanic nickel coating. The accuracy of the regression equation is estimated.

Keywords: hardness, galvanic nickel coatings, dynamic indentation method, rocket and space technology.

BIBLIOGRAPHY

1. A.I. Potapov, V.A. Syasko, K.V. Gogolinsky, A.A. Nikazov. Ensuring the uniformity of hardness measurements by the dynamic method in the Russian Federation // Control. Diagnostics. - 2016. - No. 4. P. 44–49.
2. Rudnitskiy V.A., Dyakovich V.V. Estimation of the modulus of elasticity of metallic materials by the method of dynamic indentation of an indenter // Zavodskaya laboratory. 1995. No. 11. S. 59-61.
3. Rudnitskiy, V.A., Rabtsevich A.V. Dynamic indentation method for evaluating the mechanical characteristics of metallic materials - Flaw detection. - 1997. - No. 4. - P. 79–86., A.V. Rabtsevich. Measurement of the modulus of elasticity of metal by the dynamic indentation method // Vesti NAS Belarus. Gray physical navuk. 1999, No. 3, p. 118-122.
4. GOST R 56474-2015 Space systems. Non-destructive control of physical and mechanical properties of materials and coatings of space technology by the method of dynamic indentation. General requirements
5. Kozlovsky A.E. Calculation of structural elements in tension and compression: study guide. allowance / A.E. Kozlovsky; Ivan. state chemical-technol. un-t. - Ivanovo, 2015. -- 80 pp. Young's module
6. GOST 9012-59 Metals. Brinell hardness test method
7. Puchi-Caberra E. S., Berrios L. A., and Teer D. G. On the computation of the absolute hardness of thin solid films // Surface and Coatings Technology. - 2002 (157), nos. 2-3, 185-196
8. Jonsson B. and Hogmark S. Hardness measurement of thin films // Thin Solid Films. - 1984 (114), 257-269
9. Chicot D. and Lesage J. Absolute hardness of films and coatings // Thin Solid Films. - 1995 (254), 123-130
10. Korsunsky A. M., McGurk M. R., Bull S. J., and Page T. F. On the hardness of coating systems // Surface and Coatings Technology. - 1998 (99), 171-183.
11. Ponomarev S.D., Biderman V.L., Likharev K.K. and other Calculations for strength in mechanical engineering. - M.: Mashgiz, 1958. -- 976 p.
12. Barsukov V.G., Khvisevich V.M., Chikova T.S., Barsukov V.V. Estimation of the parameters of constrained elastoplastic deformation of the material during indentation // Bulletin of the Brest State Technical University. 2012. No. 4. S. 31-34

Kashapova Irina Alfirovna
ITMO University
Post-Graduate Student of Faculty of
Control Systems and Robotics
197101, Saint Petersburg,
Kronverksky prospect, 49
Tel. +79315365585
E-mail:
kaschapova.irina@gmail.com

Fedorov Alexey Vladimirovich
ITMO University
Doctor of technical sciences
associate professor of Faculty of
Control Systems and Robotics
197101, Saint Petersburg,
Kronverksky prospect, 49
Tel.+7(812)6406948
E-mail: afedor62@yandex.ru

Egorov Roman Alexandrovich
ITMO University
Post-Graduate Student of Faculty of
Control Systems and Robotics
197101, Saint Petersburg,
Kronverksky prospect, 49
Tel.+7(905)2841859
E-mail: roman1465@yandex.ru

УДК 551.463.21

DOI: 10.33979/2073-7408-2020-343-5-153-164

Е.О. САВКОВА, О.В. ЧЕНГАРЬ, В.И. ШЕВЧЕНКО

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ВОДНОЙ СРЕДЫ

Аннотация. В статье рассмотрены функции, выполняемые системой мониторинга тонкой структуры гидрофизических полей водной среды, начиная с инициализации параметров системы до визуализации полученной информации. В результате детального анализа выделенных функций, состоящего в определении входных информационных потоков, их представления и преобразования была разработана функциональная схема измерительной системы мониторинга тонкой структуры гидрофизических полей водной среды, которая позволяет на основе выбранной стратегии зондирования с использованием базы данных промоделированных параметров турбулизированных слоев, снизить затраты на проведение зондирования и обеспечить необходимую точность измерений.

Ключевые слова: неоднородности гидрофизических полей, структурно-алгоритмический анализ, вертикальное зондирование, функциональная схема

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и города Севастополь в рамках научного проекта № 18-47-920005\20.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волкова В.Н., Денисов А.А. Теория систем. / Учебное пособие М.: Высшая школа, 2006. — 511 с.
2. Димов Ю.В. Метрология, стандартизация и сертификация. Учебник для вузов. СПб.: Питер, 2007
3. Mernifield M.A. Structure and variability of semidiurnal internal tides in Mamala Bay Hawaii / M.A. Mernifield, M.L. Eich, M.H. Alford // Geoph. Res. 2004. V. 109. C05010, doi:10.1029/2003jc002049.

4. Бельшев А.П. Вероятностный анализ морских течений / А.П. Бельшев, В.А. Рожков, Ю.П. Клеванцов. – Л.: Гидрометиздат, 1983. – 264 с.
5. Котельников В. А. О пропускной способности эфира и проволоки в электросвязи — Всесоюзный энергетический комитет. // Материалы к I Всесоюзному съезду по вопросам технической реконструкции дела связи и развития слаботочной промышленности, 1933. Репринт статьи в журнале УФН, 176:7 (2006), 762—770.
6. Savkova E., Chengar O. Research of small-scale turbulence's parameters distribution / Proceedings of 2019 International Science and Technology Conference "EastConf", 1-2 March 2019, Vladivostok, Russia, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 272, 2. Section one, 022014,- 2019.
7. Savkova E., Chengar O., Shevchenko V. Determination of the Computerized Monitoring System Structure of the Small-Scale Turbulence of the Water Environment Hydrophysical Fields/ Published 1 April 2020 Published under licence by IOP Publishing Ltd. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 459, Chapter 4. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 459 052053
8. Зори А.А. Методы, средства, системы измерения и контроля параметров водных сред / А.А. Зори, В.Д. Корнев, М.Г. Хламов. – Донецк: РИА ДонГТУ, 2000. – 388с.
9. Беляев В.И. Обработка и теоретический анализ океанографических наблюдений / В.И. Беляев. – К.: Наукова думка, 1973. – 295 с.

Савкова Елена Осиповна
ГВУЗ «Донецкий национальный
технический университет»,
кафедра автоматизированных
систем управления
83084, Донецк, ул. Артёма, 58
Тел.: +38(071) 310-0508
E-mail: helen-
savkova@rambler.ru

Шевченко Виктория Игоревна
ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет»,
кафедра информационных
технологий и компьютерных систем,
299053, Россия, Севастополь, ул.
Университетская, 33
Тел.: +7(8692) 435-173
E-mail: vishevchenko@sevsu.ru

Ченгарь Ольга Васильевна
ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет»,
кафедра информационных
технологий и компьютерных
систем,
299053, Россия, Севастополь, ул.
Университетская, 33
Тел.: +7(8692) 435-173
E-mail: ovchengar@sevsu.ru

E.O. SAVKOVA, O.V. CHENGAR, V.I. SHEVCHENKO

THE MONITORING SYSTEM OF THE WATER ENVIRONMENT HYDROPHYSICAL FIELDS

Abstract. *The article considers the functions performed by the system for monitoring the fine structure of the water environment hydrophysical fields, starting from initialization the system parameters to visualization the received information. As a result of a detailed analysis the selected functions, which consists in determining the input information flows, their representation and transformation, a functional diagram of the measuring system for monitoring the fine structure of the water environment hydrophysical fields was developed, which allows reducing the cost of conducting sounding and ensuring the necessary measurement accuracy, thanks to the chosen sensing strategy and the use of a database of simulated parameters of turbulated layers .*

Keyword. *heterogeneities of hydrophysical fields, structural and algorithmic analysis, vertical sounding, functional scheme*

BIBLIOGRAPHY

1. Volkova V. N., Denisov A. A. System theory. / Textbook Moscow: Higher school, 2006. - 511 p.
2. Dimov Yu. V. Metrology, standardization and certification. Textbook for universities. Saint Petersburg: Peter, 2007
3. Mernifield M.A. Structure and variability of semidiurnal internal tides in Mamala Bay Hawaii / M.A. Mernifield, M.L. Eich, M.H. Alford // Geoph. Res. 2004. V. 109. C05010, doi:10.1029/2003jc002049.
4. Belyshev A. p. Probabilistic analysis of sea currents / A. p. Belyshev, V. A. Rozhkov, Yu. P. Klevantsov. - L.: Gidrometizdat, 1983. - 264 p.
5. Kotelnikov V. A. About the bandwidth of ether and wire in telecommunications — all-Union energy Committee. // Materials for the first all-Union Congress on technical reconstruction of communications and development of low-current industry, 1933. Reprint of an article in the UFN magazine, 176:7 (2006), 762-770.

6. Savkova E., Chengar O. Research of small-scale turbulence's parameters distribution / Proceedings of 2019 International Science and Technology Conference "EastConf", 1-2 March 2019, Vladivostok, Russia, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 272, 2. Section one, 022014,- 2019.

7. Savkova E., Chengar O., Shevchenko V. Determination of the Computerized Monitoring System Structure of the Small-Scale Turbulence of the Water Environment Hydrophysical Fields/ Published 1 April 2020 Published under licence by IOP Publishing Ltd. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 459, Chapter 4. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 459 052053

8. Zori A. A. Methods, means, systems of measurement and control of parameters of water environments / A. A. Zori, V. D. Korenev, M. G. Khlamov. - Donetsk: RIA DonGTU, 2000. – 388P.

9. Belyaev V. I. Processing and theoretical analysis of Oceanographic observations / V. I. Belyaev. - K.: Naukova Dumka, 1973. - 295 p.

Savkova Elena Osipovna

Donetsk National Technical
University, Department of
Automated Control Systems,
83084, Donetsk, st. Artyoma, 58
Phone: +38(071) 310-0508
E-mail: helen-
savkova@rambler.ru

Shevchenko Viktoriya Igorevna

Sevastopol State University,
Department of Information Technology
and computer systems,
299053, Russia, Sevastopol, University
str., 33
Ph.: +7(8692) 435-173
E-mail: vishevchenko@sevsu.ru

Chengar Olga Vasilyevna

Sevastopol State University,
Department of Information
Technology and computer systems,
299053, Russia, Sevastopol,
University str., 33
Ph.: +7(8692) 435-173
E-mail: ovchengar@sevsu.ru

Адрес издателя:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95
Тел. (4862) 75–13–18
<http://oreluniver.ru>
E-mail: info@oreluniver.ru

Адрес редакции:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
302030, г. Орел, ул. Московская, 34
+7(920)2806645, +7(906)6639898

<http://oreluniver.ru>
E-mail: radsu@rambler.ru

Право использования произведений предоставлено авторами на основании
п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации

Технический редактор Тюхта А.В.
Компьютерная верстка Тюхта А.В.

Подписано в печать 22.10.2020 г.
Дата выхода в свет
Формат 60х88 1/8. Усл. печ. л. 10,3125
Цена свободная. Тираж 600 экз.
Заказ _____

Отпечатано с готового оригинал-макета
на полиграфической базе ОГУ имени И.С. Тургенева
302026, г. Орёл, ул. Комсомольская, д. 95