

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 редколлегии:

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)

Мирсаилов В.М. д-р физ.-мат. наук, проф.

(Азербайджан)

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

Осадчий 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:

Тюхта 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, 2021

Содержание

Теоретическая механика и ее приложения

Попов И.П. Резонансы и антирезонансы сил и скоростей.....	3
Матвеев В.Т., Дологлоня А.В., Очеретяный В.А. Гибкие когенерационные технологии на базе газотурбинных двигателей с промежуточным подогревом газа перед силовой турбиной.....	14
Дологлоня А.В., Стребков Д.С., Матвеев В.Т., Стаценко И.Н. Использование местных климатических ресурсов холода в комбинированных циклах вакуумных микрогазотурбинных установок теплоэлектроснабжения локальных объектов.....	20

Механика деформируемого твердого тела, динамика и прочность

Леонтьев В.В., Кондратова Е.В., Коломийченко В.П. Напряженно - деформированное состояние ненагруженного заклепочного соединения, полученного горячим способом.....	28
--	----

Машиностроительные технологии и оборудование

Неменко А.В., Никитин М.М. Оптимизация временных характеристик процессов финишной обработки.....	34
Неменко А.В., Никитин М.М. Прогнозная оценка технического состояния сложной механической системы.....	39
Сафронов Е.В., Носко А.Л., Беленчук Р.Л. Точность линейных размеров при гибке листового металла.....	45
Колосовский А.М., Тристанова Е.Б., Черкашина Е.Ф. Анализ современных лазерных методов упрочнения деталей машин и инструмента.....	53
Макаров В.Ф., Сединин И.Н. Расчёт значимости переменных факторов математической модели отклонения от плоскостности при торцевом фрезеровании высокоуглеродистой закалённой стали.....	60

Машиноведение и мехатроника

Рыженко П.И., Поляков Р.Н. Математическое моделирование ветряного колеса с адаптивно изменяемым моментом инерции.....	68
Фетисов А.С. Магнитореологическая опора скольжения: результаты экспериментальных исследований.....	77
Корнаева Е.П., Корнаев А.В., Стебаков И.Н., Попов С.Г., Ставец Д.Д., Дремин В.В. Концепция мехатронной установки для исследования реологических свойств физиологических жидкостей.....	83
Грядунова Е.Н., Родичев А.Ю., Токмакова М.А. Оценка качества пленочного антифрикционного покрытия при помощи регрессионной модели.....	96
Горин А.В., Усикова И.Г., Токмаков Н.В., Родичева И.В. Диагностика фронтальных конструкций на основе мехатронных систем.....	102
Хвостов А.А., Журавлев А.А., Татаренков Е.А., Ткачев О.А. Алгоритм оптимизации параметров нефтепроводов при проектировании оборудования нефтехимической промышленности.....	108
Корнаев А.В., Корнаева Е.П., Казаков Ю.Н., Бабин А.Ю. Управление температурно-вязкостным клином в подшипнике жидкостного трения на основе алгоритма глубокого обучения с подкреплением.....	119

Приборы, биотехнические системы и технологии

Арефьев А.В., Гулиев Р.Б., Дагаев А.В., Майоров Е.Е., Писарева Е.А., Хохлова М.В. Экспериментальное исследование разработанного колометрического датчика для измерения цветности стекла.....	131
--	-----

Контроль, диагностика, испытания и управление качеством

Осипов К.Н. Построение и анализ прогнозирующих моделей опасных технических состояний машиностроительных изделий.....	138
Петров С.П., Подмастерьев К.В., Маркин Н.И., Марков В.В., Никитенко О.С. Оценка влияния повышения качества управления тепловым и гидравлическим режимами на эффективность комбинированной системы централизованного теплоснабжения.....	146
Шкатов П.Н., Кузуб И.Г., Ермолаев А.А. Особенности электропотенциальных измерений глубины поверхностных трещин на переменном токе в немагнитных объектах.....	152
Рыжкова Е.Н., Младзиевский Е.П. Оценка ущерба от теплового старения изоляции при однофазных замыканиях на землю.....	164

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 Shengbo. 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)

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

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

Starovoitov A.L. 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, 2021

Contents

Theoretical mechanics and its applications

Popov I.P. Resonances and anti-resonances of forces and velocities	3
Matviienko V.T., Dologlonyan A.V., Ocheretyanyi V.A. Flexible cogeneration technologies based on gas turbine engines with reheating of gas before the power turbine	14
Dologlonyan A.V., Strebkov D.S., Matviienko V.T., Stacenko I.N. Use of local climate resources of cold in combined cycles of vacuum micro-gas turbine plants for heat and electrical supply of local objects.....	20

Mechanics of deformable solids, dynamics and strength

Leontyev V.V., Kondratova E.V., Kolomiychenko V.P. Stress-strain state of an unloaded rivet joint obtained by the hot method	28
--	----

Machine-building technologies and equipment

Nemenko A.V., Nikitin M.M. Analysis of complex detail finishing temporary characteristics	34
Nemenko A.V., Nikitin M.M. Forecast evaluation of a complex mechanical system technical state	39
Safronov E.V., Nosko A.L., Belenchuk R.L. Accuracy of linear dimensions in sheet metal bending	45
Kolosovskiy A.M., Tristanova E.B., Cherkashina E.F. The modern laser methods of machine and tool parts hardening analysis.....	53
Makarov V.F., Sedinin I.N. Calculation of the variability of the variable factors of the mathematical model of flatness deviation in face milling of high-carbon hardened steel.....	60

Machine Science and Mechatronics

Ryzhenko P.I., Polyakov R.N. Wind wheel mathematical modeling with adaptively variable moment of inertia	68
Fetisov A.S. Magnetorheological journal bearing: experimental study results	77
Kornaeva E.P., Kornaev A.V., Stebakov I.N., Popov S.G., Stavtsev D.D., Dremine V.V. Concept of a mechatronic installation for researching the rheological properties of physiological fluids.....	83
Gryadunova E.N., Rodichev A.Yu., Tokmakova M.A. Estimation of the quality of film antifriction coating using a regression model.....	96
Gorin A.V., Usikova I.G., Tokmakov N.V., Rodicheva I.V. Diagnostics of frontal structures based on mechatronic systems.....	102
Khvostov A.A., Zhuravlev A.A., Tatarenkov E.A., Tkachev O.A. Algorithm for optimizing the parameters of oil pipelines when designing petrochemical industry equipment	108
Kornaev A.V., Kornaeva E.P., Kazakov Yu.N., Babin A.Yu. Temperature-viscosity wedge control in a fluid friction bearing based on a deep reinforcement learning algorithm	119

Devices, biotechnical systems and technologies

Arefyev A.V., Guliyev R.B., Dagaev A.V., Maiorov E.E., Pisareva E.A., Khokhlova M.V. Experimental study of the developed colorimetric sensor for measuring the color of glass.....	131
--	-----

Monitoring, Diagnostics, Testing and Quality Management

Osipov K.N. Design and analysis of predictive models of dangerous technical state of machine-building products.....	138
Petrov S.P., Podmasteryev K.V., Markin N.I., Markov V.V., Nikitenko O.S. Assessment of the impact of improving the quality of management thermal and hydraulic modes on the efficiency of combined system district heating system	146
Shkatov P.N., Kuzub I.G., Ermolaev A.A. Features of measuring the depth of surface cracks by the electropotential method on an alternating current in non-magnetic objects.....	152
Ryzhkova Ye.N., Mladzievskiy E.P. Estimation of damage from thermal aging of insulation in single-phase earth faults.....	164

И.П. ПОПОВ

РЕЗОНАНСЫ И АНТИРЕЗОНАНСЫ СИЛ И СКОРОСТЕЙ

Аннотация. Для исследования резонансных и околорезонансных явлений использован символический (комплексный) метод, позволяющий существенно повысить продуктивность, упростить и формализовать математические преобразования. Рассмотрены параллельное и последовательное соединения элементов механической системы с источником силы, либо источником скорости в качестве источника внешнего механического гармонического воздействия. Описаны четыре режима – резонансы и антирезонансы сил и скоростей. Использование символического (комплексного) метода существенно упростило исследование резонансных и околорезонансных явлений, в частности, позволило глубоко унифицировать и формализовать рассмотрение различных механических систем. Громоздкие и трудоемкие операции, связанные с составлением и решением дифференциальных уравнений, заменены простыми алгебраическими преобразованиями. В основе метода лежит механический аналог закона Ома в комплексном представлении и понятие о механических реактансе, резистансе, импедансе, сассептансе, кондактансе и адмитансе.

Ключевые слова: реактанс, резистанс, импеданс, сассептанс, кондактанс, адмитанс.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов И.П. Импедансы и адмитансы механических систем // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2020. № 5 (343). С. 3–11. DOI: 10.33979/2073-7408-2020-343-5-3-11
2. Попов И.П. Алгебраические методы расчета разветвленных механических систем при вынужденных колебаниях // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2020. № 5 (343). С. 12–20. DOI: 10.33979/2073-7408-2020-343-5-12-20
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. Попов И.П. «Ортогональные» мощности при механических колебаниях // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2019. № 6 (338). С. 12–15.
11. Яворский Б.М. Справочник по физике / Б.М. Яворский, А.А. Детлаф. – М.: Наука. 1980. – 512 с.

Попов Игорь Павлович

Курганский государственный университет

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

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

8-905-85-28-121

E-mail: ip.porow@yandex.ru

RESONANCES AND ANTI-RESONANCES OF FORCES AND VELOCITIES

Abstract. *To study resonance and near-resonance phenomena, a symbolic (complex) method was used, which makes it possible to significantly increase productivity, simplify and formalize mathematical transformations. Parallel and sequential connections of elements of a mechanical system with a source of force or a source of speed as a source of external mechanical harmonic action are considered. Four modes are described - resonances and antiresonances of forces and velocities. The use of the symbolic (complex) method has significantly simplified the study of resonance and near-resonance phenomena, in particular, it has made it possible to deeply unify and formalize the consideration of various mechanical systems. The cumbersome and time-consuming operations associated with the preparation and solution of differential equations have been replaced by simple algebraic transformations. The method is based on the mechanical analogue of Ohm's law in a complex representation and the concept of mechanical reactance, resistance, impedance, susceptance, conductance and admittance.*

Keywords: *reactance, resistivity, impedance, susceptance, conductance, admittance.*

BIBLIOGRAPHY

1. Popov, I.P. Impedances and admittances of mechanical systems / I.P. Popov // *Fundamental'nyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii*. 2020. № 5 (343). S. 3–110. DOI: 10.33979/2073-7408-2020-343-5-3-11
2. Popov, I.P. Algebraic methods for calculating branched mechanical systems with forced vibrations / I.P. Popov // *Fundamental'nyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii*. 2020. № 5 (343). S. 12–20. DOI: 10.33979/2073-7408-2020-343-5-12-20
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. Lopa, I.V., Priblizhennoye resheniye zadachi o prodol'nykh volnakh napryazheniy v uprugoy vyazkoplachesticheskikh sterzhnyakh / I.V. Lopa // *Fundamental'nyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii*. 2019. № 2(334). S. 14–17.
9. Leonenko, D.V. Kolebaniya trekhsloynnoy 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.
10. Popov, I.P. "Orthogonal" power with mechanical vibrations / I.P. Popov // *Fundamental'nyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii*. 2019. № 6 (338). S. 12–15.
11. Yavorskiy B.M. Spravochnik po fizike / B.M. Yavorskiy, A.A. Detlaf. – M.: Nauka. 1980. – 512 s.

Popov Igor Pavlovich

Kurgan State University

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

640002, Kurgan, Tomina str., 106-52

8-905-85-28-121

E-mail: ip.popov@yandex.ru

УДК 621.438

DOI: 10.33979/2073-7408-2021-345-1-14-19

В.Т. МАТВЕЕНКО, А.В. ДОЛОГЛОНЯН, В.А. ОЧЕРЕТЯНЫЙ

ГИБКИЕ КОГЕНЕРАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА БАЗЕ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМ ПОДОГРЕВОМ ГАЗА ПЕРЕД СИЛОВОЙ ТУРБИНОЙ

Аннотация. *Представлены результаты исследования когенерационного ГТД с промежуточным подогревом газа перед силовой турбиной и турбокомпрессорным утилизатором (ТКУ). Показано, что*

применение турбины перерасширения в составе ТКУ с промподогревом газа увеличивает удельную мощность более, чем 1,5 раза, при этом КПД растет относительно на 10...15%. За счет регулирования температуры газа за камерами сгорания на переменных режимах осуществляется управление потоками энергии вырабатываемыми когенерационной газотурбинной установкой.

Ключевые слова: когенерация, газотурбинный двигатель, турбина перерасширения, турбокомпрессорный утилизатор, промподгрев газа, переменный режим.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и города Севастополя в рамках научного проекта № 18-48-920005.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эффективные технологии производства электрической и тепловой энергии с использованием органического топлива / О.Н. Фаворский, А.И. Леонтьев, В.А. Федоров, О.О. Мильман. – М.: Изд-во МЭИ, 2001. – 16 с.
2. Никитин В.А. Создание ГТУ для модернизации ТЭЦ – актуальная задача газотурбостроения / В.А. Никитин, Л.И. Пешков, И.Н. Рыжинский, Л.П. Шелудько, В.Г. Федорченко//Газотурбинные технологии. – № 6 (57). – 2007. – С. 26-29.
3. Матвеев В.Т. Математическая модель для определения параметров циклов газотурбинных двигателей с промежуточным подогревом газа перед силовой турбиной/ В.Т. Матвеев // Сборник научных трудов СевНТУ. – Севастополь. – Вып. 38, 2002. – с.54-56.
4. Matviienko V., Ocheretianyi V. Variable regimes operation of cogenerative gas-turbine engines with overexpansion turbine// Proceedings of ASME Turbo Expo 2010: Power of Land, Sea and Air GT 2010, June 14-18, 2010, Glasgow, UK, GT 2010-22029.
5. Матвеев В.Т. Результаты исследования характеристик циклов газотурбинных двигателей с промежуточным подогревом газа / В.Т. Матвеев, В.А. Очеретяный, А.Г. Андриец // Авиационно-космическая техника и технология: Сб. науч. трудов. – Харьков: НАУ ХАИ. – 2006, Вып. 7/33. – С. 72-74.
6. Matviienko V., Andriets O., Ocheretianyi V. Ship gas-turbine engine with intermediate gas reheating before the power overexpansion turbine // Proceedings of ASME Turbo Expo 2012: June 11-15, 2012, Copenhagen, Denmark, GT 2012-68059.

7. Матвеев В.Т. Работа когенерационного ГТД с промподогревом газа перед силовой турбиной перерасширения при переменном режиме/ В.Т. Матвеев, В.А. Очеретяный, // Авиационно-космическая техника и технология: Сб. науч. трудов. – Харьков: НАУ ХАИ. – 2007, Вып. 7/43. – С. 59-62.

Матвеев Валерий Тимофеевич
ФГБНУ «Институт природно-технических систем», 299011, Россия, Севастополь, ул. Ленина, д. 28
Доктор технических наук, профессор
E-mail: mvt3900@mail.ru

Дологлонян Андрей Варгазарович
ФГБНУ «Институт природно-технических систем», 299011, Россия, Севастополь, ул. Ленина, д. 28
Кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией Экоэнергетики
E-mail: dologlonyan@hotmail.com

Очеретяный Владимир Анатольевич
ФГАОУВО «Севастопольский государственный университет», 299053, Россия, Севастополь, Университетская ул., д. 33
Кандидат технических наук, доцент кафедры Энергоустановок морских судов и сооружений
E-mail: ocheret-1961@rambler.ru

V.T. MATVIENKO, A.V. DOLOGLONYAN, V.A. OCHERETYANYI

FLEXIBLE COGENERATION TECHNOLOGIES BASED ON GAS TURBINE ENGINES WITH REHEATING OF GAS BEFORE THE POWER TURBINE

Abstract. *Presents results of a study of the cogeneration gas turbine with reheating of gas before power turbine and turbo-compressor utilizer (TCU). It is shown that the use of an overexpansion turbine in the composition of TCU with reheating of gas increases the specific power by more than 1.5 times, while the efficiency increases by 10...15%. By controlling the temperature of the gas behind the combustion chambers in variable modes, the energy flows produced by the cogeneration gas-turbine are controlled.*

Keywords: *cogeneration, gas turbine engine, overexpansion turbine, turbocompressor utilizer, reheating of gas, variable mode.*

BIBLIOGRAPHY

1. Effektivnye tekhnologii proizvodstva elektricheskoy i teplovoj energii s ispol'zovaniem organicheskogo topliva / O.N. Favorskij, A.I. Leont'ev, V.A. Fedorov, O.O. Mil'man. – М.: Izd-vo MEI, 2001. – 16 s.
2. Nikitin V.A. Sozдание GTU dlya modernizacii TEC – aktual'naya zadacha gazoturbostroeniya / V.A. Nikitin, L.I. Peshkov, I.N. Ryzhinskij, L.P. SHelud'ko, V.G. Fedorchenko//Gazoturbinnye tekhnologii. – № 6 (57). – 2007. – s.26-29.
3. Matveenko V.T. Matematicheskaya model' dlya opredeleniya parametrov ciklov gazoturbinnih dvigatelej s promezhutochnym podogrevom gaza pered silovoj turbinoj/ V.T. Matveenko // Sbornik nauchnyh trudov SevNTU. – Sevastopol'. – Vyp. 38, 2002. – S. 54-56.
4. Matviienko V., Ocheretianyi V. Variable regimes operation of cogenerative gas-turbine engines with

overexpansion turbine// Proceedings of ASME Turbo Expo 2010: Power of Land, Sea and Air GT 2010, June 14-18, 2010, Glasgow, UK, GT 2010-22029.

5. Matveenko V.T. Rezul'taty issledovaniya harakteristik ciklov gazoturbinnih dvigatelej s promezhutochnym podogrevom gaza / V.T. Matveenko, V.A. Ocheretyanyj, A.G. Andriec // Aviacionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya: Sb. nauch. trudov. – Har'kov: NAU HAI. – 2006, Vyp. 7/33. – S.72-74.

6. Matviienko V., Andriets O., Ocheretianyi V. Ship gas-turbine engine with intermediate gas reheating before the power overexpansion turbine // Proceedings of ASME Turbo Expo 2012: June 11-15, 2012, Copenhagen, Denmark, GT 2012-68059.

7. Matveenko V.T. Rabota kogeneracionnogo GTD s prompodogrevom gaza pered silovoj turbinoj pererashhireniya pri peremennom rezhime/ V.T. Matveenko, V.A. Ocheretyanyj, // Aviacionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya: Sb. nauch. trudov. – Har'kov: NAU HAI. – 2007, Vyp. 7/43. – S.59-62.

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

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

Ocheretyanyi Vladimir Anatolyevich
Sevastopol state University, Sevastopol
Candidate of Technical Sciences,
Professor Assistant
E-mail: ocheret-1961@rambler.ru

УДК 621.438

DOI: 10.33979/2073-7408-2021-345-1-20-27

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

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕСТНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ХОЛОДА В КОМБИНИРОВАННЫХ ЦИКЛАХ ВАКУУМНЫХ МИКРОГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК ТЕПЛОЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

Аннотация. Предметом рассмотрения в статье являются методы усложнения циклов вакуумных микрогазотурбинных установок (ВМГТУ) с целью дальнейшего повышения их экономичности. Выбрано направление более глубокой утилизации теплоты выхлопных газов ВМГТУ преобразовав ее в работу в установке органического цикла Ренкина (ОЦР), а также использование местных климатических ресурсов холода. Установлено, что применение дополнительной паровой турбины в составе установки ОЦР комбинированной ВМГТУ позволяет поднять ее эффективный КПД с октября по март на 1...5 % в зависимости от конфигурации базовой ВМГТУ, что обеспечивает прирост среднегодового эффективного КПД на 0,5...2 %. Показано, что установка ОЦР на R-134a не позволяет полностью использовать температурный потенциал газов ВМГТУ на базе газотурбинного двигателя (ГТД) простого цикла (ПЦ), поскольку температура разложения рабочего тела ниже температуры газов базовой ВМГТУ, поэтому эффективный КПД комбинированных ВМГТУ на базе ГТД ПЦ с использованием R-134a ниже аналогичных с использованием аммиака на 5...6 %.

Ключевые слова: вакуумная микрогазотурбинная установка, регенерация теплоты, турбина перерасширения, турбокомпрессорный утилизатор, органический цикл Ренкина, дополнительная турбина, рабочее тело, климатический ресурс холода.

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.

2. Дологлонян А.В. Использование местных климатических ресурсов холода в комбинированных циклах 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. – № 4-2 (342). – С. 124-135.

3. Дологлонян А.В. Термодинамические характеристики комбинированных циклов вакуумных микрогазотурбинных установок 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. – № 5 (344). – С. 42-48.

4. 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.

5. 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 Мб.

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

7. [Электронный ресурс]. – 2020. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Климат_Якутска (дата обращения 11.05.20).

8. A Novel Concept for Reducing Water Usage and Increasing Efficiency in Power Generation. Final Report U.S. Department of Energy. National Energy Technology Laboratory. Pittsburgh, PA. March 2004 DOE Award No.: DE-FG26-02NT41544.

9. Дологлонян А.В. Выбор рабочего тела и оптимизация параметров органического цикла Ренкина / А.В. Дологлонян, В.Т. Матвеевко // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – Орел: ОГУ им. И.С. Тургенева, 2019. – № 5 (337). – С. 139-151.

10. [Электронный ресурс]. – 2020. – URL: http://neochemical.ru/File/DOWTHERM_A_TDS_Russian.pdf (дата обращения 11.05.20).

11. [Электронный ресурс]. – 2020. – URL: <https://webbook.nist.gov/chemistry/fluid/> (дата обращения 11.05.20).

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

Матвеевко 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. MATVIENKO, I.N. STACENKO

USE OF LOCAL CLIMATE RESOURCES OF COLD IN COMBINED CYCLES OF VACUUM MICRO-GAS TURBINE PLANTS FOR HEAT AND ELECTRICAL SUPPLY OF LOCAL OBJECTS

Abstract. *The subject of consideration in the article are methods of complicating the cycles of vacuum micro-gas turbine plants (VMGTP) in order to further increase their efficiency. The direction of deeper utilization of the heat of exhaust gases of VMGTP was chosen, transforming it into work in the organic Rankine cycle (ORC) plant, as well as the use of local climatic resources of cold. It has been established that the use of an additional steam turbine as part of the ORC unit of the combined VMGTP allows to increase its efficiency from October to March by 1... 5%, depending on the configuration of the basic VMGTP, which ensures an increase in the average annual efficiency by 0.5... 2%. It is shown that the ORC plant on R-134a does not allow full use of the temperature potential of the VMGTP gases based on a gas turbine engine (GTE) of a simple cycle (SC), since the decomposition temperature of the working fluid is lower than the temperature of the gases of the base VMGTP, therefore, the efficiency of combined VMGTP based on GTE SC with the use of R-134a is lower than similar ones with the use of ammonia by 5... 6%.*

Keywords: *vacuum micro-gas turbine plant, heat recovery, over-expansion turbine, turbocompressor utilizer, organic Rankine cycle, additional turbine, working fluid, climatic cold resource.*

BIBLIOGRAPHY

1. Dologlonyan A.V. Ispol'zovanie vakuurnykh mikrogaзoturbinnyykh ustanovok dlya teploelectrosnabzheniya lokal'nykh 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.

2. Dologlonyan A.V. Ispol'zovanie mestnykh klimaticheskikh resursov holoda v kombinirovannykh tsiklah mikrogaзoturbinnyykh dvigatelej dlya raspredelennoy energetiki / A.V. Dologlonyan, V.T. Matveenko // Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. – Орел: ОГУ им. И.С. Тургенева, 2020. – № 4-2 (342). – С. 124-135.

3. Dologlonyan A.V. Termodinamicheskie harakteristiki kombinirovannykh tsiklov vakuurnykh mikrogaзoturbinnyykh ustanovok teploelectrosnabzheniya lokal'nykh 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. – № 5 (344). – С. 42-48.

4. Matveenko V.T. Glubokaya utilizatsiya teploty v gaзoturbinnyykh dvigatelyah s turbinoj pererasshire-niya / V.T. Matveenko // Promyshlennaya teplotekhnika. – 1997. – Т. 19. – № 4-5. – С. 81-85.

5. Aronson K.E. Teploobmenniki energeticheskikh ustanovok / K.E. Aronson, S.N. Blinkov, V.I. Brezgin i dr. // Ekaterinburg: Izdatel'stvo UrFU, 2015. – Elektronnyj format: html. Ob'em: 733 Mb.
6. Dologlonyan A.V. Optimizaciya stepeni regeneracii dlya ciklov mikrokozoturbinnih ustanovok / A.V. Dologlonyan, V.T. Matveenko // Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. – Orel: OGU im. I.S. Turgeneva, 2020. – № 3 (341). – S. 59-66.
7. [Electronic resource]. - 2020. - URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Klimat_Yakutsk (accessed 11.05.20).
8. A Novel Concept for Reducing Water Usage and Increasing Efficiency in Power Generation. Final Report U.S. Department of Energy. National Energy Technology Laboratory. Pittsburgh, PA. March 2004 DOE Award No.: DE-FG26-02NT41544.
9. Dologlonyan A.V. Vybora rabocheho tela i optimizaciya parametrov organicheskogo cikla Renkina / A.V. Dologlonyan, V.T. Matveenko // Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. – Orel: OGU im. I.S. Turgeneva, 2019. – № 5 (337). – S. 139-151.
10. [Elektronnyj resurs]. – 2019. – URL: http://neochemical.ru/File/DOWTHERM_A_TDS_Russian.pdf/ (data obrashcheniya 31.05.19).
11. [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: 10.33979/2073-7408-2021-345-1-28-33

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

НАПРЯЖЕННО - ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ НЕНАГРУЖЕННОГО ЗАКЛЕПОЧНОГО СОЕДИНЕНИЯ, ПОЛУЧЕННОГО ГОРЯЧИМ СПОСОБОМ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ткачева А. В., Соснин А. А. Математическое моделирование горячей посадки заклепки в отверстия // Фундаментальная механика в качестве основы совершенствования промышленных технологий, технических устройств и конструкций: материалы II Дальневосточной школы-семинара, Комсомольск-на-Амуре, 11-15 сент. 2017 г. / редкол.: А. И. Евстигнеев (отв. ред.) и др. Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КнАГТУ», 2017. С. 79–81.
2. Дац Е. П., Ткачева А. В. Технологические температурные напряжения в процессах горячей посадки цилиндрических тел при учете пластических течений // ПМТФ. 2016. Т. 57. №3. С. 208–216.
3. Буренин А. А., Ткачева А. В., Щербатюк Г. А. К расчету неустановившихся температурных напряжений в упругопластических телах // Вычислительная механика сплошных сред. 2017. Т. 10. №5. С. 245–259.
4. Леонтьев В.В., Кондратова Е.В., Коломийченко В.П. Исследование напряженного состояния заклепочного соединения методом конечных элементов // Строительные материалы и изделия. 2019. Т.2. №1. С.32-36.
5. Гузенков П.Г. Детали машин: Учеб. для студ. высш. техн. учеб. заведений. - 5-е изд., перераб. - М.: Высш. шк., 1991. - 383 с.
6. 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>
7. 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>

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

STRESS-STRAIN STATE OF AN UNLOADED RIVET JOINT OBTAINED BY THE HOT METHOD

Abstract. A method for creating a rivet connection using hot riveting is considered. A rivet heated to a temperature of 900° C is placed in a cylindrical hole in the plates at room temperature. When cooled to room temperature, the rivet is subjected to thermal compression and creates a tight fit. The elastic-plastic contact heat-strength problem for such a compound in the COMSOL MULTIPHYSICS software package was solved using the finite element method. The problem is solved in a three-dimensional statement. The first stage is the temperature distribution in the rivet-sheet system. The resulting temperature field is used as a parameter at the second stage when solving the strength problem. The fields of residual stresses in the connection parts are obtained. It is shown that the equivalent stresses are close to the ultimate strength of the material of these parts. The analysis of axial stresses confirms the possibility of creating a tight connection by hot riveting. Recommendations for calculating the strength of such compounds are given.

Keywords: finite element method, rivet connection, thermal-stress contact problem, stress, strain.

BIBLIOGRAPHY

1. Tkacheva A. V., Sosnin A. A. Matematicheskoe modelirovanie goryachej posadki zaklepki v otverstiya // Fundamental'naya mekhanika v kachestve osnovy sovershenstvovaniya promyshlennyh tekhnologij, tekhnicheskikh ustrojstv i konstrukcij: materialy II Dal'nevostochnoj shkoly-seminara, Komsomol'sk-na-Amure, 11-15 sent. 2017 g. / redkol.: A. I. Evstigneev (otv. red.) i dr. Komsomol'sk-na-Amure: FGBOU VO «KnAGTU», 2017. S. 79–81.
2. Dac E. P., Tkacheva A. V. Tekhnologicheskie temperaturnye napryazheniya v processah goryachej posadki cilindricheskikh tel pri uchete plasticheskikh techenij // PMTF. 2016. T. 57. №3. С. 208–216.
3. Burenin A. A., Tkacheva A. V., SHCHerbatyuk G. A. K raschetu neustanovivshihsysya temperaturnyh napryazhenij v uprugoplasticheskikh telah // Vychislitel'naya mekhanika sploshnyh sred. 2017. T. 10. №5. С. 245–259.
4. Leont'ev V.V., Kondratova E.V., Kolomijchenko V.P. Issledovanie napryazhennogo sostoyaniya zaklepochnogo soedineniya metodom konechnyh elementov // Stroitel'nye materialy i izdeliya. 2019. T.2. №1. S.32-36.
5. Guzenkov P.G. Detali mashin: Ucheb. dlya stud. vyssh. tekhn. ucheb. zavedenij.- 5-e izd., pererab. - M.: Vyssh. shk., 1991. - 383 s.
6. Gulia, N.V. Detali mashin [Elektronnyj resurs]: uchebnyk / N.V. Gulia, V.G. Klovov, S.A. YUrkov. — Elektron. dan. — Sankt-Peterburg: Lan', 2013. — 416 s. — Rezhim dostupa: <https://e.lanbook.com/book/5705>
7. 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>
8. Chemezov D.A., Bayakina A.V. Sostoyanie nagruzhennyh detalej zaklepochnogo soedineniya // Theoretical & Applied Science. 2015. № 9 (29). S. 17-20

Leontyev Vyacheslav Vladimirovich
Sevastopol State University, Sevastopol
Ph.D., Associate Professor
Department of Technical mechanics
and machine science
299053, Sevastopol, Universitetskaya
st., 33

Kolomiychenko Viktoriya Pavlovna
P.S. Nakhimov Higher Naval
School, Sevastopol
Lecturer, Department of Physics
and General technical disciplines
299028, Sevastopol, Dybenko st.,
1a

Kondratova Elena Vasilievna
P.S. Nakhimov Higher Naval
School, Sevastopol
Associate Professor, Department of
Physics and General technical
disciplines

Ph.: 8(978) 821-18-34
E-mail: vvleontyev@sevsu.ru

Ph.: 8(978) 791-77-25
E-mail: mantulova@yandex.ru

299028, Sevastopol, Dybenko st.,
1a
Ph.: 8(978) 975-43-26
E-mail: leonardo1967@yandex.ru

МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ

УДК 621.787

DOI: 10.33979/2073-7408-2021-345-1-34-38

А.В. НЕМЕНКО, М.М. НИКИТИН

ОПТИМИЗАЦИЯ ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССОВ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ

Аннотация. Рассмотрено планирование процесса обработки изделия с целью сокращения общего времени изготовления изделия при сохранении его заданных характеристик.

Ключевые слова: финишная обработка, среднее время операции, среднее время перенастройки, стационарный коэффициент готовности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Байхельт Ф. Надёжность и техническое обслуживание. Математический подход/Ф. Байхельт, П. Франкен – М.: Радио и связь, 1988 – 392 с.
2. Beichelt F. Reliability and Maintenance. Networks and Systems/F. Beichelt, P. Tittman – CRC Press, 2012. – 340 p.
3. Корлат А.Н. Полумарковские модели восстанавливаемых систем и систем массового обслуживания / А. Н. Корлат, В. Н. Кузнецов, М. М. Новиков, А. Ф. Турбин; Отв. ред. Г. К. Мишкой; АН Респ. Молдова, Ин-т математики с ВЦ. - Кишинев: Штиинца, 1991. – 275 с
4. Неменко А.В. Прикладные вопросы оценки технического состояния судовых механических систем/А.В. Неменко, М.М. Никитин - М.: Инфра-М, 2017 – 172 с.
5. Ross, S.M. Introduction to Probability Models, Ninth Edition – Elsevier Academic Press, 2006. – 800 p.

Неменко Александра Васильевна
ФГАОУ «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь
Кандидат технических наук, доцент кафедры
«Техническая механика и машиноведение»
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33
Тел. +79788330519
E-mail: valesan@list.ru

Никитин Михаил Михайлович
ФГАОУ «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь
Преподаватель кафедры «Высшая математика»
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33
Тел. +79788150316
E-mail: m.nikitin.1979@gmail.com

A.V. NEMENKO, M.M. NIKITIN

ANALYSIS OF COMPLEX DETAIL FINISHING TEMPORARY CHARACTERISTICS

Abstract. Estimation of the time characteristics of the process of finishing a complex product is considered: the average time for an operation and the average time for reconfiguring according to the characteristics of their elements. For this, the work uses the mathematical apparatus of the theory of reliability. It is shown that the results obtained, based on the use of distribution functions, tend in the limit to the results of semi-Markov models using average values.

Keywords: finishing, average operation time, average changeover time, stationary availability factor.

BIBLIOGRAPHY

1. Beichelt F. Nadjozhnost' i tehniicheskoe obsluzhivanie. Matematicheskij podhod/F. Beichelt, P. Franken – М.: Radio i svjaz', 1988 – 392 s.
2. Beichelt F. Reliability and Maintenance. Networks and Systems/F. Beichelt, P. Tittman – CRC Press, 2012. – 340 p
3. Nemenko A.V. Prikladnye voprosy ocenki tehniicheskogo sostojanija sudovyh mehanicheskikh sistem/A.V. Nemenko, M.M. Nikitin - M.: Infra-M, 2017 – 172 s.

p

7. A.N. Korlat, V.N. Kuznetsov, M.M. Novikov, A.F. Turbin, Semi-Markov Models of Recoverable Systems and Queuing Systems. Chisinau: Stiinta, 1991 – 275p.

5.Ross, S.M. Introduction to Probability Models, Ninth Edition – Elsevier Academic Press, 2006. – 800 p.

Nemenko Alexandra Vasilevna

FSAEI HE Sevastopol State University, Sevastopol
Ph.D. in Tech Science, assistant professor of chair
«Technical Mechanics and Machine Science»
Universitetskaya st, 33, Sevastopol, Russian Federation,
299053
Phone. +79788330519
E–mail: valesan@list.ru

Nikitin Michael Mikhailovich

FSAEI HE Sevastopol State University, Sevastopol
Teacher of chair «Higher Mathematics »
Universitetskaya st, 33, Sevastopol, Russian Federation,
299053
Phone +79788150316
E–mail: m.nikitin.1979@gmail.com

УДК 620.178.3

DOI:10.33979/2073-7408-2021-345-1-39-44

A.V. НЕМЕНКО, М.М. НИКИТИН

ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СЛОЖНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Аннотация. Рассмотрено прогнозирование технического состояния механической системы с помощью поиска в ней критических элементов и оценки вероятностей исходов их технической эксплуатации. Способ применим как для последовательно-параллельных систем, так и для общего случая соединения элементов по полному графу, частными случаями которого могут быть представлены все остальные способы схемы анализа надёжности.

Ключевые слова: механическая система, дальний прогноз, принятие решений, упреждающее восстановление, оценка выносливости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nicholas T. High cycle fatigue. A mechanics of materials perspective/T. Nicholas – Elsevier, 2006. – 656 p.
2. Школьник Л.М. Методика усталостных испытаний. Справочник / Л.М. Школьник. – М.: Металлургия, 1978. – 301с.
3. Lee Y.-L. Fatigue testing and analysis. Theory and practice./Y.-L. Lee, J. Pan, R. Hathaway, M. Barkey – Elsevier, 2004. – 416 p.
4. Неменко А.В. Экстраполяция кривой выносливости за пределы диапазона измерений/ А.В. Неменко, М.М. Никитин // Вестник СевНТУ. Сер. Механика, энергетика, экология: сб. науч. тр. – Севастополь, 2010. – вып. 110 – с. 288 – 290.
5. Неменко А.В. Прикладные вопросы оценки технического состояния судовых механических систем/А.В. Неменко, М.М. Никитин - М.: Инфра-М, 2017 – 172 с.
6. Неменко А.В. Управление финишной обработкой криволинейной поверхности по критерию геометрического соответствия/ А.В. Неменко, М.М. Никитин // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии 2019, №4-1(336),С.191 – 196.
- 7.Троценко В.Т. Сопротивление усталости металлов и сплавов. Справочник. Часть 1./В.Т. Троценко, Л.А.Сосновский//К.: Наукова Думка, 1987 – 346 с.
8. Иванова В. С. Природа усталости металлов/ В.С. Иванова, В.Ф. Терентьев//М.: Металлургия, 1975. – 456 с.
9. Байхельт Ф. Надёжность и техническое обслуживание. Математический подход/Ф. Байхельт, П. Франкен – М.: Радио и связь, 1988 – 392 с.
10. Beichelt F. Reliability and Maintenance. Networks and Systems/F. Beichelt, P. Tittman – CRC Press, 2012. – 340 p.

Неменко Александра Васильевна

ФГАОУ «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь
Кандидат технических наук, доцент кафедры
«Техническая механика и машиноведение»
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33
Тел. +79788330519
E–mail: valesan@list.ru

Никитин Михаил Михайлович

ФГАОУ «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь
Преподаватель кафедры «Высшая математика»
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33
Тел. +79788150316
E–mail: m.nikitin.1979@gmail.com

FORECAST EVALUATION OF A COMPLEX MECHANICAL SYSTEM TECHNICAL STATE

Abstract. A method is proposed for estimating of a mechanical system technical state by its element that requires priority replacement at a selected future point in time, in the case of specifying quantitative indicators of reliability in the form of a time series. The method is applicable both for serial-parallel systems and for the general case of connecting elements along a complete graph, the special cases of which can be represented by all other methods of the reliability analysis scheme. To predict the state of each element, an approximation is used.

Keywords: mechanical system, long-range forecasting, decision making, preemptive recovery, reliability evaluation.

BIBLIOGRAPHY

1. Nicholas T. High cycle fatigue. A mechanics of materials perspective/T. Nicholas – Elsevier, 2006. – 656 p.
2. Shkol'nik L.M. Metodika ustalostnyh ispytaniy. Spravochnik / L.M. Shkol'nik. – M.: Metallurgija, 1978. – 301s.
3. Lee Y.-L. Fatigue testing and analysis. Theory and practice./Y.-L. Lee, J. Pan, R. Hathaway, M. Barkey – Elsevier, 2004. – 416 p.
4. Nemenko A.V. Jekstrapoljacija krivoj vynoslivosti za predely diapazona izmerenij/ A.V. Nemenko, M.M. Nikitin // Vestnik SevNTU. Ser. Mehanika, jenergetika, jekologija: sb. nauch. tr. – Sevastopol', 2010. – vyp. 110 – s. 288 – 290.
5. Nemenko A.V. Prikladnye voprosy ocenki tehničeskogo sostojanija sudovyh mehanicheskih sistem/A.V. Nemenko, M.M. Nikitin - M.: Infra-M, 2017 – 172 s.
6. Nemenko A.V. Management of finishing treatment of a curved surface according to the criterion of geometric conformity / A.V. Nemenko, M.M. Nikitin // Fundamental and applied problems of engineering and technology 2019, No. 4-1 (336), pp. 191 - 196.
7. Troshhenko V.T. Soprotivlenie ustalosti metallov i splavov. Spravochnik. Chast' 1./V.T. Troshhenko, L.A. Sosnovskij//K.: Naukova Dumka, 1987 – 346 s.
8. Ivanova V. S. Priroda ustalosti metallov/ V.S. Ivanova, V.F. Terent'ev//M.: Metallurgija, 1975. – 456 s.
9. Beihelt F. Nadjozhnost' i tehničeskoe obsluzhivanie. Matematičeskij podhod/F. Beihelt, P. Franken – M.: Radio i svjaz', 1988 – 392 s.
10. Beichelt F. Reliability and Maintenance. Networks and Systems/F. Beichelt, P. Tittman – CRC Press, 2012. – 340 p.

Nemenko Alexandra Vasilevna

FSAEI HE Sevastopol State University, Sevastopol
Ph.D. in Tech Science, assistant professor of chair
«Technical Mechanics and Machine Science»
Universitetskaya st, 33, Sevastopol, Russian Federation,
299053
Phone. +79788330519
E-mail: valesan@list.ru

Nikitin Michael Mikhailovich

FSAEI HE Sevastopol State University, Sevastopol
Teacher of chair «Higher Mathematics »
Universitetskaya st, 33, Sevastopol, Russian Federation,
299053
Phone +79788150316
E-mail: m.nikitin.1979@gmail.com

УДК 621.98, 621.98.01

DOI: 10.33979/2073-7408-2021-345-1-45-52

Е.В. САФРОНОВ, А.Л. НОСКО, Р.Л. БЕЛЕНЧУК

ТОЧНОСТЬ ЛИНЕЙНЫХ РАЗМЕРОВ ПРИ ГИБКЕ ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА

Аннотация. Статья посвящена проблеме обеспечения точности изготовления деталей из листового проката методом одноугловой гибки. Показан пример использования одноугловой гибки при изготовлении детали роликового конвейера. Погрешности при изготовлении появляются из-за отклонения толщины листа от его номинального значения. Приведена методика определения максимальной погрешности линейных размеровгиба в зависимости от предельного отклонения по толщине листа, основанная на разнице длины развертки заготовки при номинальном и фактическом значениях толщины листа. Приведен расчет погрешности линейных размеровгиба для холоднокатаных листов нормальной точности БТ и горячекатаных листов обычной точности Б шириной от 1 до 1,5 м и толщиной от 1 до 15 мм. Показано, что точность каждогогиба для

холоднокатаных листов находятся в пределах $\pm 0,18... \pm 0,38$ мм; точность горячекатанных листов $\pm 0,35... +1,32/-0,58$ мм.

Ключевые слова: одноугольная гибка, листовая штамповка, предельные отклонения по толщине, коэффициент положения нейтральной линии, погрешность гибки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Носко А., Сафронов Е. Преимущества использования типовых паллетных интралогистических решений при проектировании и эксплуатации складов // Логистика. 2016. № 5. С. 16-21
2. Носко А.Л., Сафронов Е.В., Потапов В.А. Система паллетных модулей для складской интралогистики // Вестник машиностроения. 2016. №8. С. 10-12
3. Коротков Д.А., Сафронов Е.В., Шарденков Д.А., Носко А.Л. Новые лифты для городского хозяйства - важный шаг на пути импортозамещения // Подъемно-транспортное дело. 2015. №4-5. С. 29-31
4. ГОСТ 19903-2015. Прокат листовой горячекатаный. Сортамент. М.: Стандартинформ, 2016. 12 с.
5. ГОСТ ГОСТ 19904-90. Прокат листовой холоднокатаный. Сортамент. М.: ИПК Издательство стандартов, 1999. 6 с.
6. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. Л.: Машиностроение, 1971.
7. Сторожев М.В., Попов Е.А. Теория обработки металлов давлением: учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1977.
8. Рудман Л.И. Справочник конструктора штампов: листовая штамповка / Л.И. Рудман, А.И. Зайчук, В.Л. Марченко. Москва: Машиностроение, 1988. 496 с.
9. Шинкин В.Н. Кривизна листа при предварительной правке на четырехроликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 5-3. С. 137-146.
10. РТМ 34-65 Штампы для холодной листовой штамповки. Расчеты и конструирование. М.: Издательство стандартов, 1966
11. DIN 6935-2011. Cold bending of flat rolled steel. 2011. 13 P.
12. Navajyoti Panda, Dr. R. S. Pawar, G. D. Belurkar Factors Affecting on Springback in Sheet Metal Bending: A Review // Journal of Product Design, Quality Engineering and System Technology. 2018. Volume 3 Issue 1
13. Ma, R., Wang, C., Zhai, R. et al. An Iterative Compensation Algorithm for Springback Control in Plane Deformation and Its Application. Chin. J. Mech. Eng. 32, 28 (2019). <https://doi.org/10.1186/s10033-019-0339-5>
14. Рабочие поверхности для лазерного станка // URL: <https://ventario.ru/blog/lazery/rabochie-poverkhnosti/> (дата обращения: 8.12.2020)

Сафронов Евгений Викторович
МГТУ имени Н.Э. Баумана, г.
Москва
Кандидат технических наук,
доцент
кафедры «Подъемно-
транспортные системы»,
105005, г. Москва, 2-я Бауманская
ул., д. 5, стр. 1
Тел. +7(499) 263-65-92
E-mail: safronov@bmstu.ru

Носко Андрей Леонидович
МГТУ имени Н.Э.Баумана,
г.Москва
Доктор технических наук,
профессор кафедры «Подъемно-
транспортные системы»,
105005, г. Москва, 2-я Бауманская
ул., д. 5, стр. 1
Тел.+7(499) 263-65-92
E-mail: nosko@bmstu.ru

Беленчук Родион Леонидович
МГТУ имени Н.Э. Баумана, г.
Москва
Магистрант кафедры «Подъемно-
транспортные системы», 105005, г.
Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5,
стр. 1
Тел.+7(966)363-65-54
E-mail: r.belen4uk@yandex.ru

E.V. SAFRONOV, A.L. NOSKO, R.L. BELENCHUK

ACCURACY OF LINEAR DIMENSIONS IN SHEET METAL BENDING

Abstract. *The article is devoted to the problem of ensuring the accuracy of manufacturing parts by sheet metal V-bending. An example of using bending in the manufacture of a roller conveyor part is shown. Manufacturing inaccuracy occur due to the deviation of the sheet thickness from its nominal value. A method for determining the maximum inaccuracy of the linear dimensions of the bend depending on the maximum deviation in the thickness of the sheet, based on the difference in the length of the plain workpiece at the nominal and actual values of the sheet thickness, is given. The calculation of the inaccuracy of linear bending dimensions for cold-rolled sheets of normal accuracy BT and hot-rolled sheets of normal accuracy B with a width of 1 to 1.5 m and a thickness of 1 to 15 mm is given. It is shown that the accuracy of each bend for cold-rolled sheets is within $\pm 0,18... \pm 0,38$ mm; the accuracy of hot-rolled sheets is $\pm 0,35... +1,32/-0,58$ mm.*

Keywords: V-bending, sheet metal, sheet thickness, K-factor, bend accuracy.

BIBLIOGRAPHY

1. Nosko A., Safronov E. Preimushchestva ispol'zovaniya tipovykh palletnykh intralogisticheskikh resheniy pri proyektirovani i ekspluatatsii skladov // Logistika. 2016. № 5. P. 16-21

2. Nosko A.L., Safronov E.V., Potapov V.A. Sistema palletnykh moduley dlya sklads koy intralogistiki // Vestnik mashinostroyeniya. 2016. №8. P. 10-12
3. Korotkov D.A., Safronov E.V., Shardenkov D.A., Nosko A.L.. Novyye lifty dlya gorodskogo khozyaystva - vazhnyy shag na puti importozameshcheniya // Pod"yemno-transportnoye delo. 2015. №4-5. P. 29-31
4. GOST 19903-2015. Prokat listovoy goryachekatany. Sortiment. M.: Standartinform, 2016. 12 p.
5. GOST GOST 19904-90. Prokat listovoy kholodnokatany. Sortiment. M.: IPK Izdatel'stvo standartov, 1999. 6 p.
6. Romanovskiy V.P. Spravochnik po kholodnoy shtampovke. L.: Mashinostroyeniye, 1971.
7. Storozhev M.V., Popov E.A. Teoriya obrabotki metallov davleniyem: uchebnyk dlya vuzov. 4-ye izd., pererab. i dop. M.: Mashinostroyeniye, 1977.
8. Rudman L.I. Spravochnik konstruktora shtampov: listovaya shtampovka / L.I. Rudman, A.I. Zaychuk, V.L. Marchenko. Moskva: Mashinostroyeniye, 1988. 496 p.
9. Shinkin V.N. Krivizna lista pri predvaritel'noy pravke na chetyrekhrolikovoy mashine // Sovremennyye tendentsii razvitiya nauki i tekhnologiy. 2016. № 5-3. P. 137-146.
10. RTM 34-65 Shtampyy dlya kholodnoy listovoy shtampovki. Raschety i konstruirovaniye. M.: Izdatel'stvo standartov, 1966
11. DIN 6935-2011. Cold bending of flat rolled steel. 2011. 13 P.
12. Navajyoti Panda, Dr. R. S. Pawar, G. D. Belurkar Factors Affecting on Springback in Sheet Metal Bending: A Review // Journal of Product Design, Quality Engineering and System Technology. 2018. Volume 3 Issue 1
13. Ma, R., Wang, C., Zhai, R. et al. An Iterative Compensation Algorithm for Springback Control in Plane Deformation and Its Application. Chin. J. Mech. Eng. 32, 28 (2019). <https://doi.org/10.1186/s10033-019-0339-5>
14. Rabochiye poverkhnosti dlya lazernogo stanka // URL: <https://ventario.ru/blog/lazery/rabochiye-poverkhnosti/> (data obrashcheniya: 8.12.2020)

Safronov Evgeniy Viktorovich
Bauman Moscow State Technical University, Moscow
PhD, Associate Professor at the Department of «Lifting and Transport Systems» кафедры «Подъемно-транспортные системы»,
Ph. +7(499) 263-65-92
E-mail: safronov@bmstu.ru

Nosko Andrey Leonidovich
Bauman Moscow State Technical University, Moscow
Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department «Lifting and Transport Systems»
105005, Moscow, 2-ya Baumanskaya ul., 5, str. 1
Ph.: +7(499) 263-65-92
E-mail: nosko@bmstu.ru

Belenchuk Rodion Leonidovich
Bauman Moscow State Technical University, Moscow
Doctor of Technical Sciences, Master student of the Department «Lifting and Transport Systems»
105005, Moscow, 2-ya Baumanskaya ul., 5, str. 1,
Ph.+7(966)363-65-54
E-mail: r.belen4uk@yandex.ru

УДК 621.78-978,791/.792,791.725

DOI: 10.33979/2073-7408-2021-345-1-53-59

А.М. КОЛОСОВСКИЙ, Е.Б. ТРИСТАНОВА, Е.Ф. ЧЕРКАШИНА

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ЛАЗЕРНЫХ МЕТОДОВ УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И ИНСТРУМЕНТА

Аннотация. В статье предложен анализ развития лазерных и комбинированных на основе использования лазерного излучения методов упрочнения ответственных деталей машин и инструмента. Показано, что актуальным и многообещающим направлением в сфере повышения эксплуатационных характеристик контактных поверхностных слоев деталей машин, создания высокоэффективных покрытий (как и технологий их нанесения) с высокими физико-механическими свойствами ответственных деталей является комбинирование лазерного излучения и других передовых технологических методов формирования контактных поверхностей деталей машин и инструмента с уникальными физико-механическими и эксплуатационными свойствами.

Ключевые слова: детали машин, инструмент, покрытие, упрочнение, поверхность, присадочные материалы, модифицирование, лазерная наплавка, комбинированные методы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.С. СССР №1611983 А1. Лахтин Ю.М., Коган Я.Д., Чудина О.В., Терентьев В.Ф., Бочвар А. Г., Лебедев Г.Д./Способ низкотемпературного азотирования сталей/Номер заявки: 4620997. Дата регистрации: 16.12.1988. Дата публикации: 07.12.1990. МПК С23С 8/26. Заявитель: МАДИ;
2. Берtrand Ф., Мовчан И., Самодурова М.Н., Джигун Н.С. Лазерная наплавка как перспективный метод упрочнения штамповой оснастки// Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2016. Т. 14. № 2. С. 44-52;
3. Бирюков В. П., Фишков А.А., Татаркин Д.Ю., Хриптович Е.В. Возможности лазерных технологий//Strengthening Technologies and Coatings/ - 2016- №11 (143), ноябрь. С.8-12/ URL: <https://ritm-magazine.ru/ru/public/lazernoe-uprochnenie-i-naplavka-detaley-mashin;>

4. Верещагин М.Н., Целуева С.Н., Целуев М.Ю. Теплофизический анализ модифицирования поверхности заготовки лазерным излучением/ Foundry production and metallurgy, Гомель, № 2, 2019. С.92-98;
5. Григорьянц А. Г., Мисюров А. И. Возможности и перспективы применения лазерной наплавки // Технология машиностроения. 2005. № 10. С. 32–56;
6. Григорьянц А. Г., Мисюров А. И., Третьяков Р. С., Ставертий А. Я. Исследование влияния режима генерации лазерного излучения на структуру и свойства инструментальной стали при газопорошковой наплавке/Наука и образование. № 07, июль 2012. - С.11-19; URL: <http://technomag.edu.ru/doc/418604.html>;
7. Забелин А. М., Шиганов И. Н., Чирков А. М. и др. Гибридные технологии лазерной наплавки. М.: изд-во МГОУ, 2007. 126 с.;
8. Ковш И. Б. Фотоника в России: состояние и задачи / Лазер Информ. 2019. № 4 (643). С. 1–16;
9. Колосовский А.М. Пути повышения надежности и долговечности ответственных деталей на основе перспективных материалов и технологий/ Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – ОГУ им. И.С. Тургенева. 2020. №5(343). – с.46-54; URL: <https://www.elibrary.ru/contents.asp?id=42193234>;
10. Логинова И.С. Исследование формирования структуры в процессе лазерной обработки алюминиевых сплавов, предназначенных для аддитивных технологий//Автореф. дисс. канд. техн. наук, М.: МИСИС, 2019. – 29 с.;
11. Пастухов А.Г., Шарая О.А., Минасян А.Г., Водолазская Н.В. /Технология лазерного микролегирования углеродистых сталей для упрочнения деталей сельскохозяйственных машин/ Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2016. № 2 (10). С. 34-46;
12. Погодаев Л. И., Ежов Ю. Е. Повышение долговечности рабочих устройств судов технического флота износостойкими наплавками//Проблемы машиностроения и надежности машин. 2014. № 6. С. 82–87;
13. Способ лазерного упрочнения поверхности из титана и его сплавов. Патент на изобретение РФ. Заявка 2000116229/02. Оpubл. 20.06.2020. Авторы: Рыбин В.В., Горынин В.И., Попов В.О., Хомов С.Н., Кулик В.П., Пукшанский А.Л./ RU⁽¹¹⁾ 2 183 692⁽¹³⁾ С2. МПК⁷ С 22 F 1/18, С 23 С 8/16;
14. Сравнительный анализ технологий лазерного и индукционного упрочнения деталей режущих аппаратов сельскохозяйственных машин. Технический отчет:/ <http://rula.su/articles/lazernaya-zakalka/statuya-sravnenie-tehnologiy-uprochneniya>, 2020;
15. Шастин В.И. Восстановление поверхности зубчатых передач тяговых приводов локомотива на основе лазерного модифицирования/ Вестник ИжГТУ. 2011. № 2(50), с.63-67;
16. What goes up ... Annual Laser Market Review & Forecast 2019/G. Overton, A. Nogee, D. Belforte, J. Wallace, B. Gefvert //Laser Focus World, January 2019. P. 40–45, 47, 49–54, 56–58, 60–61, 64–65.

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

Тристанова Елена Борисовна
 Филиал ФГКВОУ ВПО ВУНЦ
 «Военно-морская академия
 имени Адмирала Флота
 Советского Союза Н.Г.
 Кузнецова» в г. Калининграде
 Преподаватель кафедры
 236026, г. Калининград,
 Советский проспект, 82
 Тел. (+7-905)-241-47-40
 E-mail: pakt16@yandex.ru

Черкашина Елена Федоровна
 Филиал ФГКВОУ ВПО ВУНЦ
 «Военно-морская академия
 имени Адмирала Флота
 Советского Союза Н.Г. Кузнецова»
 в г. Калининграде
 Старший преподаватель кафедры
 236026, г. Калининград, Советский
 проспект, 82
 Тел. (+7981)-461-17-69
 E-mail: elena_cherk29@mail.ru

A.M. KOLOSOVSKIY, E.B. TRISTANOVA, E.F. CHERKASHINA

THE MODERN LASER METHODS OF MACHINE AND TOOL PARTS HARDENING ANALYSIS

Abstract. *The article offers a retrospective analysis of the development of laser and combined lasers based on the use of laser radiation methods of hardening the responsible parts of machines and tools. It is shown that the combination of laser radiation and other advanced technological methods creates contact surface layers of machine with unique physical-mechanical and operational properties forming is the current and promising direction in an improving technologies for their application with high physical and mechanical properties of responsible parts.*

Keywords: *machine parts, tool, coating, hardening, surface, additive materials, modification, laser surfacing, combined methods.*

BIBLIOGRAPHY

1. A.S. USSR, Nr. 1611983 A1. Lahtin Y.M, Kogan Ja.D., Tchudina O.V., Terent'ev V.F, Bochvar A.G., Lebedev G.D./Sposob nizkotemperaturnogo azotirovaniya stalei /Zayavka: 4620997. Data registratsii: 16.12.1988. Data publikatsii: 07.12.1990. MPK C23C 8/26. Zayavitel': MADI;
2. Bertrand F., Movchan I., Samodurova M.N., Dzhygun N.S. Lasernaia naplavka kak perspektivnyi metod uprochneniya shtampovoi osnastki// Vestnik Magnitogorskogo GTU im. G.I. Nosova. 2016. T. 14. № 2. P. 44-52;
3. Biriukov V. P., Fishkov A.A., Tatarin D.Y., Hriptovich E.V. Vozmozhnosti lazernykh tekhnologiy// <https://ritm-magazine.ru/ru/public/lazernoe-uprochnenie-i-naplavka-detaley-mashin>;
4. Vere'shagin M.N., Tselueva S.N., Tseluev M.Y. Teplofizicheskiy analiz modifitsirovaniya poverhnosti zagotovki lazernym izlucheniem/ Foundry production and metallurgy, Gomel, Nr.2, 2019. P.92-98;
5. Grigor'iants A.G., Misiurov A.I. Vozmozhnosti i perspektivy primeneniya lazernoy naplavki // Tehnologiya mashinostroeniya. 2005. Nr. 10. P. 32–56;
6. Grigor'iants A.G., Misiurov A.I., Tret'iakov R.S., Stavertiy A.Y. Vlianie rezhima generatsii lazernogo izlucheniya na strukturu i svoystva instrumentalnoi stali pri gazoporoshkovoi naplavke/Nauka i obrazovanie. Nr. 07, july 2012. - P.11-19; URL: <http://technomag.edu.ru/doc/418604.html>;
7. Zabelin A.M., Shiganov I.N., Chirkov A.M. i dr. Gibridnye tekhnologii lazernoy naplavki. M.: Izd-vo MGOU, 2007. 126 p.;
8. Kovsh I.B. Fotonika v Rossii: sostoianie i zadachi / Laser Inform. 2019. № 4 (643). P. 1–16;
9. Kolosovskii A.M. Puti povysheniya nadezhnosti i dolgovechnosti otvetstvennykh detalei na osnove perspektivnykh materialov i tekhnologiy/ Fundamental'nye i prikladnye problem tekhniki i tekhnologii. –OGU im. I.S. Turgeneva. 2020. №5(343). P. 46-54; URL: <https://www.elibrary.ru/contents.asp?id=42193234>;
10. Loginova I.S. Issledovanie formirovaniya struktury v protsesse lazernoi obrabotki aliuminievykh splavov, prednaznachennykh dlia additivnykh tekhnologiy//Avtoref. diss. kand. nauk, M.:MISIS, 2019. – 29 p.;
11. Pastuhov A.G., Sharaia O.A., Minasian A.G., Vodolazskaia N.V./Tehnologia lazernogo mikrolegirovaniya uglerodistykh stalei dlia uprochneniya datalei selskokoziastvennykh mashin/Innovatsii v APK 2016. Nr. 2 (10). P. 34-46;
12. Pogodaev L.I., Ezhov Y.E. Povyshenie dolgovechnosti rabochnykh ustroystv sudov tekhnicheskogo flota iznosostoikimi naplavkami//Problemy mashinostroeniya i nadezhnosti mashin. 2014. Nr. 6. P. 82–87;
13. Sposob lazernogo uprochneniya poverhnosti iz titana i ego splavov. Patent na izobretenie RF. Zaiavka 2000116229/02. Opubl. 20.06.2020. Avtory: Rybin V.V., Gorynin V.I., Popov V.O., Homov S.N., Kulik V.P., Pukshanskiy A.L./ RU⁽¹¹⁾ 2 183 692⁽¹³⁾ C2. MPK⁷ C 22 F 1/18, C 23 C 8/16;
14. Sravnitelnyi analiz tekhnologii lazernogo i induktsionnogo uprochneniya datalei rezhushih apparatov selskokoziastvennykh mashyn. Tekhnicheskii otchet:// <http://rula.su/articles/lazernaya-zakalka/statya-sravnenie-tekhnologiy-uprochneniya, 2020>;
15. Shastin V.I. Bosstanovlenie poverhnosti zubchatykh perdach tiagovykh privodov lokomotiva na osnove lazernogo modifitsirovaniya/ Vestnik IzhGTU. 2011. Nr. 2(50), p.63-67;
16. What goes up ... Annual Laser Market Review & Forecast 2019/G. Overton, A. Nogee, D. Belforte, J. Wallace, B. Gefvert //Laser Focus World, January 2019. P. 40–45, 47, 49–54, 56–58, 60–61, 64–65.

Kolosovskiy Andrei Michailovich
Branch of Naval Academy in
Kaliningrad
236026, Kaliningrad, Sovietskiy ave.,
82
PhD, Professor of the Department
Ph. (+7921) 617-61-64
E-mail: andrew.kol61@gmail.com

Tristanova Elena Borisovna
Branch of Naval Academy in
Kaliningrad
236026, Kaliningrad, Sovietskiy ave.,
82
Teacher of the Department
Ph. (+7-905)-241-47-40
E-mail: pakt16@yandex.ru

Cherkashina Elena Fedorovna
Branch of Naval Academy in
Kaliningrad
236026, Kaliningrad, Sovietskiy ave.,
82
Senior Teacher of the Department
Ph. (+7981)-461-17-69
E-mail: elena_cherk29@mail.ru

УДК 621.914

DOI: 10.33979/2073-7408-2021-345-1-60-67

В.Ф. МАКАРОВ, И.Н. СЕДИНИН

**РАСЧЁТ ЗНАЧИМОСТИ ПЕРЕМЕННЫХ ФАКТОРОВ
МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОТКЛОНЕНИЯ
ОТ ПЛОСКОСТНОСТИ ПРИ ТОРЦЕВОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ
ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ ЗАКАЛЁННОЙ СТАЛИ**

Аннотация. На предприятии проведены теоретические и экспериментальные исследования торцевого фрезерования закалённой стали методом планирования эксперимента. Одной из задач являлось определение отклонения от плоскостности обработанной поверхности образцов и построение графиков и поверхностей функции математической модели. Для испытаний задействованы фрезерный станок и измерительное оборудование повышенной точности, а также режущий инструмент с пластинами из твёрдого сплава. В результате проведён полный факторный эксперимент, а в качестве независимых переменных приняты: скорость резания, подача на зуб и глубина резания. При определении коэффициентов полиномиального уравнения использован центральный композиционный ортогональный план второго порядка. С помощью программ Microsoft Excel, Wolfram Alpha и Statistica выполнен регрессионный анализ и найдена математическая модель отклонения от плоскостности, а результаты расчётов занесены в итоговую таблицу. На основе математической модели, в программах Microsoft Excel и Mathcad, построены графики и гиперповерхности функции при различных взаимодействиях переменных. Рассчитаны значимые переменные при однофакторном и двухфакторном влиянии на функцию отклика.

Ключевые слова: торцевое фрезерование, закалённая сталь, твёрдый сплав, отклонение от плоскостности, планирование эксперимента, функция отклика, независимые переменные, полный факторный эксперимент, регрессионный анализ, математическая модель, график функции, гиперповерхность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зубченко А.С. Марочник сталей и сплавов. 2-е изд. – М.: Машиностроение, 2003. – С. 273.
2. Каталог: Вращающиеся инструменты. Фрезерование. Sandvik Coromant / Россия ООО «Сандвик», 2017. – 515 с.
3. Иванов Д.В. Векторное моделирование процесса циклоидального формообразования при цилиндрическом фрезеровании плоскости / Д.В. Иванов, В.С. Иванов // Технология машиностроения: сб. науч. тр. – М., 2016. – Вып. 5. – С. 56-61.
4. Никифоров В.И. Торцевое фрезерование закаленных сталей: дис.... канд. техн. наук: 05.00.00 / Никифоров Валерий Иванович. – Ленинград, 1971. – 178 с.
5. Кирюшин И.Е. Обеспечение качества поверхностного слоя деталей при высокоскоростном торцевом фрезеровании закалённых сталей: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / Кирюшин Игорь Евгеньевич. – Саратов, 2007. – 205 с.
6. Макаров В.Ф. Выбор и назначение оптимальных условий протягивания заготовок из труднообрабатываемых материалов. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. – 396 с.
7. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. – М.: Машиностроение, 1981. – 184 с.
8. Пепельшев А.В. Технологическое обеспечение параметров точности и шероховатости плоских поверхностей глубоких пазов методом растрового фрезерования на станках с ЧПУ: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / Пепельшев Александр Владимирович. – Пермь, 2016. – 159 с.
9. Макаров Е.Г. Инженерные расчёты в Mathcad 15: учебный курс. – СПб.: Питер, 2011. – 400 с.
10. Тимофеев, В. С. Обнаружение и использование закономерностей в исходных данных при построении регрессионных моделей и планировании эксперимента: дис. ... докт. техн. наук: 05.13.17 / Тимофеев Владимир Семенович. – Новосибирск, 2011. – 344 с.
11. Боярников А.В. Повышение эффективности чистового точения на основе моделирования процессов стружкообразования, трения, изнашивания инструмента и образования обработанной поверхности: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.04 / Боярников Алексей Викторович. – Омск, 2000. – 201 с.
12. Некрасов В.Н. Управление качеством деталей путем прогнозирования топографии обработанной поверхности с использованием имитационного моделирования на примере торцевого фрезерования: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / Некрасов Вячеслав Николаевич. – Барнаул, 2007. – 136 с.
13. Кирющенко Е.В. Технологическое обеспечение точности торцевого фрезерования крупногабаритных деталей: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.07 / Кирющенко Евгений Владимирович. – Воронеж, 2012. – 150 с.
14. Бургонова О.Ю. Интенсификация обработки плоскостей с учетом технологических требований на основе моделирования процесса фрезерования: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / Бургонова Оксана Юрьевна. – Омск, 2012. – 161 с.
15. Минько А.А. Статистический анализ в MS Excel. – М.: Вильямс, 2004. – 437 с.
16. Емельянов А.М., Гуров А.М. Элементы математической обработки и планирования инженерного эксперимента. Методические указания. – Благовещенск: БСХИ, 1984. – 63 с.
17. Джашеев К.А.-М, Джашеева З.А.-М. Монограммный метод анализа результатов многофакторного эксперимента // Успехи современного естествознания. – 2008. – №8 – С. 19-28.
18. Мезенцев М.О. Повышение эффективности обработки деталей ГТД концевыми фрезами с наноструктурированными износостойкими покрытиями: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.07 / Мезенцев Максим Олегович. – Рыбинск, 2013. – 158 с.

Макаров Владимир Федорович
ФГБОУ ВО «Пермский национальный
исследовательский политехнический университет»

Сединин Игорь Николаевич
ФГБОУ ВО «Пермский национальный
исследовательский политехнический университет»
Аспирант
614990, г. Пермь, Комсомольский проспект, 29

Доктор технических наук, профессор, заместитель
заведующего кафедрой «Инновационные технологии
машиностроения»
614990, г. Пермь, Комсомольский проспект, 29
Тел.: +7 (342) 2-198-221
E-mail: makarovv@pstu.ru

Тел.: +7 (992) -220-20-53
АО «ОДК-СТАР»
Инженер-технолог
614033, г. Пермь, ул. Куйбышева, 140а/1
Тел.: +7 (342) 2-420-646
E-mail: sedininigor@rambler.ru

V.F. MAKAROV, I.N. SEDININ

CALCULATION OF THE VARIABILITY OF THE VARIABLE FACTORS OF THE MATHEMATICAL MODEL OF FLATNESS DEVIATION IN FACE MILLING OF HIGH-CARBON HARDENED STEEL

Abstract. *The enterprise carried out theoretical and experimental studies of face milling of hardened steel by the method of experiment planning. One of the tasks was to determine the deviation from the flatness of the processed surface of the samples and the construction of graphs and surfaces of the function of the mathematical model. For the tests, a milling machine and measuring equipment of increased accuracy, as well as a cutting tool with carbide plates, were used. As a result, a full factorial experiment was carried out, as independent variables were taken: cutting speed, feed per tooth and depth of cut. When determining the coefficients of the polynomial equation, a central compositional orthogonal design of the second order was used. Regression analysis was performed using Microsoft Excel, Wolfram Alpha and Statistica programs and a mathematical model of deviation from flatness was found, and the results of calculations were entered into the final table. On the basis of a mathematical model, in Microsoft Excel and Mathcad programs, graphs and hypersurfaces of a function are built for various interactions of variables. Significant variables were calculated for one-factorial and two-factorial influence on the response function.*

Keywords: *face milling, hardened steel, hard alloy, deviation from flatness, experiment planning, response functions, independent variables, full factorial experiment, regression analysis, mathematical model, function graph, hypersurface.*

BIBLIOGRAPHY

1. Zubchenko, A.S. Brand of steels and alloys. 2nd ed. – M.: Mechanical Engineering, 2003. – p. 273.
2. Catalog: Rotating tools. Milling. Sandvik Coromant / Russia Sandvik LLC, 2017. – 515 p.
3. Ivanov D.V. Vector modeling of the process of cycloidal shaping during cylindrical milling of a plane [Text] / D.V. Ivanov, V.S. Ivanov // Mechanical engineering technology: collection of scientific. pap. – M., 2016. – Issue. 5. – P. 56-61.
4. Nikiforov, V.I. Face milling of hardened steels: dis.... Cand. tech. Sciences: 05.00.00 / Nikiforov Valeriy Ivanovich. – Leningrad, 1971. – 178 p.
5. Kiryushin, I.E. Quality assurance of the surface layer of parts in high-speed face milling of hardened steels: dis.... Cand. tech. Sciences: 05.02.08 / Kiryushin Igor Evgenievich. – Saratov, 2007. – 205 p.
6. Makarov, V.F. Selection and appointment of optimal conditions for broaching workpieces from difficult-to-machine materials. – Perm: Publishing house of Perm. state tech. University, 2008. – 396 p.
7. Spiridonov, A.A. Planning an experiment in the study of technological processes. – M.: Mechanical Engineering, 1981. – 184 p.
8. Pepelyshev A.V. Technological support of parameters of accuracy and roughness of flat surfaces of deep grooves by raster milling on CNC machines: dis.... Cand. tech. Sciences: 05.02.08 / Pepelyshev Aleksandr Vladimirovich. – Perm, 2016. – 159 p.
9. Makarov E.G. Engineering Calculations in Mathcad 15: A Training Course. – SPb.: Peter, 2011. – 400 p.
10. Timofeev, VS Detection and use of patterns in the initial data when building regression models and planning an experiment: dis.... doct. tech. Sciences: 05.13.17 / Timofeev Vladimir Semenovich. – Novosibirsk, 2011. – 344 p.
11. Boyarnikov A.V. Improving the efficiency of finishing turning on the basis of modeling the processes of chip formation, friction, tool wear and the formation of a processed surface: dis.... Cand. tech. Sciences: 05.02.04 / Boyarnikov Aleksey Viktorovich. – Omsk, 2000. – 201 p.
12. Nekrasov V.N. Quality control of parts by predicting the topography of the processed surface using simulation on the example of face milling: dis.... Cand. tech. Sciences: 05.03.01 / Nekrasov Vyacheslav Nikolaevich. – Barnaul, 2007. – 136 p.
13. Kiryushchenko E.V. Technological support for the accuracy of face milling of large-sized parts: dis.... Cand. tech. Sciences: 05.02.07 / Kiryushchenko Evgeniy Vladimirovich. – Voronezh, 2012. – 150 p.
14. Burgonova O.Yu. Intensification of plane machining taking into account technological requirements based on modeling of the milling process: dis.... Cand. tech. Sciences: 05.02.08 / Burgonova Oksana Yurevna. – Omsk, 2012. – 161 p.
15. Minko A.A. Statistical analysis in MS Excel. – M.: Williams, 2004. – 437 p.
16. Emelyanov A.M., Gurov A.M. Elements of mathematical processing and planning an engineering experiment. Methodical instructions. – Blagoveshchensk: BSKHI, 1984. – 63 p.

17. Dzhashev K.A.-M, Dzhasheva Z.A.-M. Monogram method for analyzing the results of a multifactor experiment // Successes of modern natural science. – 2008. - No. 8 – P. 19-28.

18. Mezentsev M.O. Increasing the efficiency of processing GTE parts with end mills with nanostructured wear-resistant coatings: dis.... Cand. tech. Sciences: 05.02.07 / Mezentsev Maksim Olegovich. – Rybinsk, 2013. – 158 p.

Makarov Vladimir Fedorovich

FSBEI HE “Perm National Research Polytechnic University”

Doctor of technical sciences, professor, deputy head. department “Innovative engineering technologies” 614990, Perm, Komsomolsky prospect, 29

Ph.: +7 (342) 2-198-221

E-mail: makarovv@pstu.ru

Sedinin Igor Nikolaevich

FSBEI HE “Perm National Research Polytechnic University”

Post-graduate Student

614990, Perm, Komsomolsky prospect, 29

Ph.: +7 (992) -220-20-53

JSC “ODK-STAR”

Process engineer

614033, Perm, Kuibyshev street, 140a/1

Ph.: +7 (342) 2-420-646

E-mail: sedininigor@rambler.ru

МАШИНОВЕДЕНИЕ И МЕХАТРОНИКА

УДК 621.311.24

DOI: 10.33979/2073-7408-2021-345-1-68-76

П.И. РЫЖЕНКО, Р.Н. ПОЛЯКОВ

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕТРЯНОГО КОЛЕСА С АДАПТИВНО ИЗМЕНЯЕМЫМ МОМЕНТОМ ИНЕРЦИИ

Аннотация. В статье рассматривается математическая модель ветряного колеса, разработанная для проведения качественных исследований динамики вращения ветряного колеса с адаптивно изменяемым моментом инерции (АИМИ). Лопастей ветряного колеса оснащены внутренними грузами, изменяющими инерцию ветряного колеса. Инерция этой системы саморегулируется, изменением положения грузов, т.е. от центра оси вращения к кончику лопастей. Составлена система уравнений вращения ветряного колеса с АИМИ. Моделирование различных сценариев демонстрирует работу саморегулируемой системы. Разработанная адаптивная система повышает энергоэффективность ветроэлектрической установки (ВЭУ) на 10-20%, за счет компенсации потерь кинетической энергии ветра, путем изменения инерции ветряного колеса и его способности минимизировать колебания мощности, а также работать в режиме маховика.

Ключевые слова: возобновляемая энергетика, математическая модель, ветряное колесо, адаптивный момент инерции, регулировка мощности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Britannica; The New Encyclopedia Britannica. 1st. Chicago: Encyclopedia Britannica, Inc., 2005.
2. IEA; Renewables – Global Energy Review 2020 – Analysis; The impacts of the Covid-19 crisis on global energy demand and CO2 emissions; Flagship report — April 2020.
3. US Department of Energy. History of Wind Energy. n.d. 25 Apr. 2014. information resource: <http://energy.gov/eere/wind/history-wind-energy>.
4. Cetin, N.S., et al. "Assesment of optimum tip speed ratio of wind turbines." Math Comput Appl; 10.1 (2005): 147-154.
5. Поляков Р.Н., Рыженко П.И. Энергоэффективный ветрогенератор с адаптивно изменяющимся моментом инерции. – Журнал: Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2018. №5. 74 с.
6. Erlich I, Wilch M. Primary frequency control by wind turbines. IEEE Power and Energy Society General Meeting, 2010 Minneapolis, USA.
7. Ma HT, Chowdhury BH. Working towards frequency regulation with wind plants: combined control approaches. IET Renewable Power Generation 2010; 4(4):308.

Рыженко Павел Игоревич

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

Аспирант

302028, г. Орёл, ул. Бульвар Победы, д. 5, кв. 37

Тел.: 89536173365

E-mail: wesstnik@yandex.ru

Поляков Роман Николаевич

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

Доктор технических наук, доцент кафедры

«Мехатроника, механика и робототехника»

302009, г. Орёл, ул. Гайдара, д. 48, кв. 152

Тел.: 89038819381

E-mail: romanpolak@mail.ru

P.I. RYZHENKO, R.N. POLYAKOV

WIND WHEEL MATHEMATICAL MODELING WITH ADAPTIVELY VARIABLE MOMENT OF INERTIA

Abstract. *The article discusses a mathematical model of a wind wheel, developed to conduct qualitative research on the dynamics of rotation of a wind wheel with an adaptively variable moment of inertia (AVMI). The blades of the wind wheel are equipped with internal weights that change the inertia of the wind wheel. The inertia of this system self-regulates by changing the position of the weights, i.e. from the center of the axis of rotation to the tip of the blades. The system of equations of the AVMI system has been compiled. Simulation of various scenarios demonstrates how this self-regulating system works. The developed adaptive system of the wind wheel increases the energy efficiency of the wind power plant (WPP) by 10-20%, by compensating for the losses of kinetic energy of the wind, by changing the inertia of the wind wheel and its ability to minimize power fluctuations, and also operate in the flywheel mode.*

Keywords: *renewable energy, mathematical model, wind wheel, adaptive moment of inertia, power regulation.*

BIBLIOGRAPHY

1. Britannica; The New Encyclopedia Britannica. 1st. Chicago: Encyclopedia Britannica, Inc., 2005.
2. IEA; Renewables – Global Energy Review 2020 – Analysis; The impacts of the Covid-19 crisis on global energy demand and CO2 emissions; Flagship report — April 2020.
3. US Department of Energy. History of Wind Energy. n.d. 25 Apr. 2014. information resource: <http://energy.gov/eere/wind/history-wind-energy>.
4. Cetin, N.S., et al. "Assesment of optimum tip speed ratio of wind turbines." Math Comput Appl; 10.1 (2005): 147-154.
5. Polyakov R.N., Ryzhenko P.I. Energy efficient wind turbine with adaptively changing moment of inertia. - Journal: Fundamental and applied problems of engineering and technology. - 2018. №5. 74 p.
6. Erlich I, Wilch M. Primary frequency control by wind turbines. IEEE Power and Energy Society General Meeting, 2010 Minneapolis, USA.
7. Ma HT, Chowdhury BH. Working towards frequency regulation with wind plants: combined control approaches. IET Renewable Power Generation 2010; 4(4):308.

Ryzhenko Pavel Igorevich

FGBOU VO «OGU named after I.S.Turgenev», Orel
PhD student
302028, Orel, Bulvar Pobedy st., 5-37
Tel.: 89536173365
E-mail: wesstnik@yandex.ru

Polyakov Roman Nikolaevich

FGBOU VO «OGU named after I.S.Turgenev», Orel
Doctor of technical Sciences, associate Professor of
«Mechatronics, mechanics and robotics»
302009, Orel, Gaydara st., 48-152
Tel.: 89038819381
E-mail: romanpolak@mail.ru

УДК 62-26

DOI: 10.33979/2073-7408-2021-345-1-77-82

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 Bearing design in machinery: engineering tribology and lubrication / Harnoy, A. - New York, Marcel Dekker, Inc, 2003.
3. Braun, ED Modern Tribology: Results and Prospects / Braun, ED, Buyanovskiy IA, Voronin NA. - Moscow, LKI, 2008.
4. Tipei, N Theory of lubrication with ferrofluids: application to short bearings / Tipei N // Journal of lubrication. – 1982. – №104(4). – С. 510 – 515.
5. Claracq, J properties of magnetorheological fluids / Claracq J, Sarrazin J, Montfort JP // Rheologica Acta. – 2004. – № 43. – С.38–49.
6. Omidbeygi, F Experimental study and CFD simulation of rotational eccentric cylinder in a magnetorheological fluid/ Omidbeygi F, Hashemabadi SH // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2012. - № 324. – С. 2062–2069.
7. Dimitrios, AB Journal Bearing Stiffness and Damping Coefficients Using Nanomagnetorheological Fluids and Stability Analysis/ Dimitrios AB, Pantelis GN// Journal of Tribology. – 2014. - № 136(4). - 9 с.
8. Urreta, H (2009) Hydrodynamic bearing lubricated with magnetic fluids / Urreta H, Leicht Z, Sanchez A, Agirre A, Kuzhir P, Magnac G // Journal of Physics: Conference Series. – 2009. -№ 149. - 5 с.
9. Rao, BN Analysis of Magneto Rheological Fluid Journal Bearing/ Rao BN // Applied Mechanics and Materials. – 2019. -№ 895. – С.152-157.
10. Laukiavich, CA A comparison between the performance of ferro- and magnetorheological fluids in a hydrodynamic bearing / Laukiavich CA, Braun MJ, Chandy AJ // Journal of engineering tribology. Proc. IMechE. – 2014. - № 228(6). - С.649–666.
11. Wang, QJ Encyclopedia of tribology / Wang QJ, Chung YH. - New York, Springer Science Business Media, 2013.
12. Lebeck, A Parallel sliding load support in the mixed friction regime / Lebeck, A // Journal of Tribology, 1987. - № 109(2). – С. 196-205.
13. Meng, Xi On the effect of viscosity wedge in micro-textured parallel surfaces / Meng Xi, Khonsari MM // Tribol. Int. – 2017. - №10. - С.116 – 124.
14. Fogg, A Fluid film lubrication of parallel surface thrust bearings/ Fogg, A // Proc.Inst.Mech.Eng. – 1946. - № 155. – С.49-67.
15. Cope, WE The hydrodynamical theory of film lubrication Cope WE // Proc.Roy.Soc.London. – 1949. - № 197(1049). – С.201-217.
16. Nikolajsen, JL Viscosity and Density Models for Aerated Oil in Fluid-Film Bearings / Nikolajsen JL // Tribology Transactions. – 1999. - № 42(1). – С.186-191.
17. Kicinski, J 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 / Kicinski J// Wear. – 1983. - №91(1). – С.65-87.
18. Savin, L Effect of lubrication of fluid friction bearings with media of complex rheology / Savin L, Kornaev A, Kornaeva E // Applied mechanics and materials. – 2014. - № 630. – С.199 – 208.
19. Kornaev, AV Theoretical premises of thermal wedge effect in fluid-film bearings supplied with a non-homogeneous lubricant/ Kornaev AV, Savin LA, Kornaeva EP // International Journal of Mechanics. – 2017. - № 11. – С.197-203.
20. Fetisov, AS Experimental assembly for research of effects of temperature wedge / Fetisov AS, Kornayeva EP, Kornaev AV, Kazakov YuN // Известия ТулГУ. – 2019. - № 12. – С.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 Bearing design in machinery: engineering tribology and lubrication / Harnoy, A. - New York, Marcel Dekker, Inc, 2003.
3. Braun, ED Modern Tribology: Results and Prospects / Braun, ED, Buyanovskiy IA, Voronin NA. - Moscow, LKI, 2008.
4. Tipei, N Theory of lubrication with ferrofluids: application to short bearings / Tipei N // Journal of lubrication. – 1982. – №104(4). – С. 510 – 515.

5. Claracq, J properties of magnetorheological fluids / Claracq J, Sarrazin J, Montfort JP // Rheologica Acta. – 2004. – № 43. – S.38–49.
6. Omidbeygi, F Experimental study and CFD simulation of rotational eccentric cylinder in a magnetorheological fluid/ Omidbeygi F, Hashemabadi SH // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2012. - № 324. – S. 2062–2069.
7. Dimitrios, AB Journal Bearing Stiffness and Damping Coefficients Using Nanomagnetorheological Fluids and Stability Analysis/ Dimitrios AB, Pantelis GN// Journal of Tribology. – 2014. - № 136(4). - 9 s.
8. Urreta, H (2009) Hydrodynamic bearing lubricated with magnetic fluids / Urreta H, Leicht Z, Sanchez A, Agirre A, Kuzhir P, Magnac G // Journal of Physics: Conference Series. – 2009. -№ 149. - 5 s.
9. Rao, BN Analysis of Magneto Rheological Fluid Journal Bearing/ Rao BN //Applied Mechanics and Materials. – 2019. –№ 895. – S.152-157.
10. Laukiavich, CA A comparison between the performance of ferro- and magnetorheological fluids in a hydrodynamic bearing / Laukiavich CA, Braun MJ, Chandy AJ // Journal of engineering tribology. Proc. IMechE. – 2014. - № 228(6). - S.649–666.
11. Wang, QJ Encyclopædia of tribology / Wang QJ, Chung YH. - New York, Springer Science Business Media, 2013.
12. Lebeck, A Parallel sliding load support in the mixed friction regime / Lebeck, A // Journal of Tribology, 1987. - № 109(2). – S. 196-205.
13. Meng, Xi On the effect of viscosity wedge in micro-textured parallel surfaces / Meng Xi, Khonsari MM //Tribol. Int. – 2017. - №10. - S.116 – 124.
14. Fogg, A Fluid film lubrication of parallel surface thrust bearings/ Fogg, A // Proc.Inst.Mech.Eng. – 1946. - № 155. – S.49-67.
15. Cope, WE The hydrodynamical theory of film lubrication Cope WE // Proc.Roy.Soc.London. – 1949. - № 197(1049). – S.201-217.
16. Nikolajsen, JL Viscosity and Density Models for Aerated Oil in Fluid-Film Bearings / Nikolajsen JL // Tribology Transactions. – 1999. - № 42(1). – S.186-191.
17. Kicinski, J 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 / Kicinski J// Wear. – 1983. - №91(1). – S.65-87.
18. Savin, L Effect of lubrication of fluid friction bearings with media of complex rheology / Savin L, Kornaev A, Kornaeva E // Applied mechanics and materials. – 2014. - № 630. – S.199 – 208.
19. Kornaev, AV Theoretical premises of thermal wedge effect in fluid-film bearings supplied with a non-homogeneous lubricant/ Kornaev AV, Savin LA, Kornaeva EP // International Journal of Mechanics. – 2017. - № 11. – S.197-203.
20. Fetisov, AS Experimental assembly for research of effects of temperature wedge / Fetisov AS, Kornayeva EP, Kornaev AV, Kazakov YuN // Известия ТулГУ. – 2019. - № 12. – S.320-323

Fetisov Alexander Sergeevich

Orel State University,

Trainee-researcher RL "Modeling of hydromechanical systems"

E-mail: fetisov57rus@mail.ru

УДК 612.15

DOI: 10.33979/2073-7408-2021-345-1-83-95

Е.П. КОРНАЕВА, А.В. КОРНАЕВ, И.Н. СТЕБАКОВ, С.Г. ПОПОВ,
Д.Д. СТАВЦЕВ, В.В. ДРЕМИН

КОНЦЕПЦИЯ МЕХАТРОННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ

***Аннотация.** Свойства физиологических жидкостей, прежде всего крови, содержат важную информацию о состоянии организма. В данной статье рассматриваются вопросы разработки нового портативного устройства инерционного типа для измерения вязкости физиологических жидкостей. На основании анализа математических и имитационных моделей течений вязких сред в капиллярах сформулированы рекомендации по выбору конструктивных параметров вискозиметра и режимов его функционирования. Обработка данных лазерной спекл-контрастной визуализации течения интралипида в условиях, приближенных к условиям измерения вязкости крови, показала возможность применения данного метода для определения профиля скорости по толщине канала. Полученные результаты создали достаточные основания для проектирования мехатронной установки и ее информационно-измерительной системы.*

Ключевые слова: кровь, гидродинамика, реология, математическое моделирование, численные методы, лазерная спекл-контрастная визуализация.

Работа подготовлена в рамках выполнения проекта РФФ №20-79-00332 «Математические модели и инструментальные средства анализа свойств физиологических жидкостей». Авторы выражают благодарность фонду за оказанную поддержку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Xu J. Phase-field model of vascular tumor growth: Three-dimensional geometry of the vascular network and integration with imaging data / J. Xu, G. Vilanova, H. Gomez // *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.* - Vol. 359. – 2020. – P. 1 – 19.
2. Semenov A. N. Applying Methods of Diffuse Light Scattering and Optical Trapping for Assessing Blood Rheological Parameters: Erythrocytes Aggregation in Diabetes Mellitus / Semenov A. N., Lugovtsov A. E., Lee K., Fabrichnova A. A., Kovaleva Yu. A., Priezhev A. V. // *Izv. Saratov Univ. (N.S.), Ser. Physics.* – 2017. – Vol. 17. - Iss. 2. - P. 85–97 (in Russian). DOI: 10.18500/1817-3020-2017-17-2-85-97.
3. Yeow N. Atomic force microscopy: From red blood cells to immunohaematology / N. Yeow, R. Tabor, G. Garnier // *Advances in Colloid and Interface Science.* - 2017. Vol. 249. - P. 149–162. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cis.2017.05.011>
4. Ya A., Malkin A., Isayev I. *Rheology: Concepts, Methods, and Applications.* – 2013. - 528p.
5. Harris M. J. Dissecting cellular mechanics: Implications for aging, cancer, and immunity / M. J. Harris, D. Wirtz, P. Wu // *Seminars in Cell & Developmental Biology.* – 2018. – P. 1 – 10. <https://doi.org/10.1016/j.semcdb.2018.10.008>
6. Ставцев Д.Д. Совместное применение оптических методов для исследования параметров микрогемодинамики при ревматических заболеваниях / Д.Д. Ставцев, М.В. Волков, Н.Б. Маргарянц, А.В. Потёмкин, В.В. Дрёмин и др. // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии.* – 2019. – № 3. – С. 102 – 110.
7. Потапова Е.В. Лазерная спекл-контрастная визуализация микроциркуляции крови в тканях поджелудочной железы при лапароскопических вмешательствах / Е.В.Потапова, Е.С.Серёгина, В.В.Дрёмин, Д.Д.Ставцев, И.О.Козлов // *Квантовая электроника.* – 2020. - № 1. - С. 33-40.
8. Kornaeva, E. Theoretical premises of a vibro-inertial method of viscosity measurement / E. Kornaeva, A. Kornaev, L. Savin, A. Galichev, A. Babin // *Vibroengineering Procedia.* – 2016. – Vol. 8. – Pp. 440 – 445.
9. *Encyclopedia of tribology* / Q.J. Wang, Y.-H. Chung (Eds.). – New York: Springer Science & Business Media, 2013. – 4192 p.
10. Кучеряев, Б. В. *Механика сплошных сред (Теоретические основы обработки давлением композитных металлов): учебник для вузов* / Б.В. Кучеряев. - М.: МИСиС, 2000. – 320с.
11. Yamamoto H. Measurement of human blood viscosity a using Falling Needle Rheometer and the correlation to the Modified Herschel-Bulkley model equation / H. Yamamoto, T. Yabuta, Y. Negi, D. Horikawa, K. Kawamura // *Heliyon.* – 2020. – Vol. 6. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04792>
12. <https://www.mathworks.com/help/matlab/help-and-support.html>
13. Milne-Thomson, L.M. *Theoretical hydrodynamics* / L.M. Milne-Thomson. - Fours edition. - London: Macmilan and Co LTD, 1960. – 660 p.
14. Hori Y. *Hydrodynamic lubrication.* - Yokendo Ltd, Tokyo. Springer Science & Business Mediaю - 2006. – 231p.
15. Слезкин Н.А. *Динамика вязкой несжимаемой жидкости.* – М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы. - 1955. – 521 с.
16. Korn, G. A. and Korn, T. M. *Mathematical Handbook for Scientists and Engineers.* New York: McGraw-Hill, 1968. – 277p.
17. Patankar, S.V. *Numerical heat transfer and fluid flow* / S.V. Patankar. – New York: Hemisphere Publishing Corporation, 1980. – 148 p.

Корнаева Елена Петровна

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
Кандидат физико-математических наук, доцент
кафедры информационных систем и цифровых технологий
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 40
Т
E-mail: lenoks_box@mail.ru

Корнаев Алексей Валерьевич

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
Доктор технических наук, профессор кафедры
мехатроники, механики и робототехники
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Т
E-mail: rusakor@inbox.ru
л

Стебаков Иван Николаевич

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
Аспирант
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел.: +7 (4862) 41-98-49
E-mail: chester50796@yandex.ru

Попов Сергей Геннадьевич

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
Аспирант
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел.: +7 (4862) 41-98-49
E-mail: hvunt32@gmail.com

Ставец Дмитрий Дмитриевич
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орёл
Ассистент кафедры приборостроения, метрологии и
сертификации
302020, Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел.: +7-953-611-80-23
E-mail: stavtsev.dmitry@gmail.com

Дрёмин Виктор Владимирович
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орёл
Кандидат технических наук, научный сотрудник
научно-технологического центра биомедицинской
фотоники
302020, Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел.: +7-953-612-77-13
E-mail: dremin_viktor@mail.ru

E.P. KORNAEVA, A.V. KORNAEV, I.N. STEBAKOV, S.G. POPOV,
D.D. STAVTSEV, V.V. DREMIN

CONCEPT OF A MECHATRONIC INSTALLATION FOR RESEARCHING THE RHEOLOGICAL PROPERTIES OF PHYSIOLOGICAL FLUIDS

Abstract. *The properties of physiological fluids, blood primarily, contain important information about the state of a body. This article deals with the development of a new portable device of inertial viscometer for the physiological fluids. Based on the analysis of mathematical and simulation models of viscous media flows in capillaries, recommendations for the choice of design parameters are formulated. Processing the data of a video capillaroscopy for the intralipid flow under conditions close to the conditions for measuring blood viscosity showed the possibility of using the laser speckle contrast imaging method to determine the velocity profile over the channel thickness. The results obtained have created sufficient grounds for the design of a mechatronic test rig and its information-measuring system.*

Keywords: *blood, hydrodynamics, rheology, mathematical modeling, numerical methods, laser speckle contrast imaging.*

BIBLIOGRAPHY

1. Xu J. Phase-field model of vascular tumor growth: Three-dimensional geometry of the vascular network and integration with imaging data / J. Xu, G. Vilanova, H. Gomez // *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.* - Vol. 359. – 2020. – P. 1 – 19.
2. Semenov A. N. Applying Methods of Diffuse Light Scattering and Optical Trapping for Assessing Blood Rheological Parameters: Erythrocytes Aggregation in Diabetes Mellitus / Semenov A. N., Lugovtsov A. E., Lee K., Fabrichnova A. A., Kovaleva Yu. A., Priezzhev A. V. // *Izv. Saratov Univ. (N.S.), Ser. Physics.* – 2017. - Vol. 17. - Iss. 2. - P. 85–97 (in Russian). DOI: 10.18500/1817-3020-2017-17-2-85-97.
3. Yeow N. Atomic force microscopy: From red blood cells to immunohaematology / N. Yeow, R. Tabor, G. Garnier // *Advances in Colloid and Interface Science.* - 2017. Vol. 249. - P. 149–162. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cis.2017.05.011>
4. Ya A., Malkin A., Isayev I. *Rheology: Concepts, Methods, and Applications.* – 2013. - 528p.
5. Harris M. J. Dissecting cellular mechanics: Implications for aging, cancer, and immunity / M. J. Harris, D. Wirtz, P. Wu // *Seminars in Cell & Developmental Biology.* – 2018. – P. 1 – 10. <https://doi.org/10.1016/j.semcdb.2018.10.008>
6. Stavtsev D.D. Joint application of optical methods for the study of microhemodynamic parameters in rheumatic diseases / D.D. Stavtsev, M.V. Volkov, N.B. Margaryants, A.V. Potemkin, V.V. Dryomin et al. // *Fundamental and applied problems of engineering and technology.* - 2019. - No. 3. - P. 102 – 110 (in Russian).
7. Potapova E.V. Potapova E.V., Seregina E.S., Dryomin V.V., Stavtsev D.D., Kozlov I.O. // *Quantum Electronics.* - 2020. No. 1. P. 33-40 (in Russian).
8. Kornaeva, E. Theoretical premises of a vibro-inertial method of viscosity measurement / E. Kornaeva, A. Kornaev, L. Savin, A. Galichev, A. Babin // *Vibroengineering Procedia.* – 2016. – Vol. 8. – Pp. 440 – 445.
9. *Encyclopedia of tribology* / Q.J. Wang, Y.-H. Chung (Eds.). – New York: Springer Science & Business Media, 2013. – 4192 p.
10. Kucheryaev, BV *Continuum Mechanics (Theoretical Foundations of Composite Metals Pressure Treatment): a textbook for universities* / BV. Kucheryaev. M.: MISiS, 2000.—320p (in Russian).
11. Yamamoto H. Measurement of human blood viscosity a using Falling Needle Rheometer and the correlation to the Modified Herschel-Bulkley model equation / H. Yamamoto, T. Yabuta, Y. Negi, D. Horikawa, K. Kawamura // *Heliyon.* – 2020. – Vol. 6. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04792>
12. <https://www.mathworks.com/help/matlab/help-and-support.html>
13. Milne-Thomson, L.M. *Theoretical hydrodynamics* / L.M. Milne-Thomson. - Fours edition. - London: Macmilan and Co LTD, 1960. – 660 p.
14. Hori Y. *Hydrodynamic lubrication.* - Yokendo Ltd, Tokyo. Springer Science & Business Media - 2006. – 231p.

15. Slezkin N.A. Dynamics of a viscous incompressible fluid. - M.: State publishing house of technical and theoretical literature. - 1955. - 521 p. (in Russian).

16. Korn, G. A. and Korn, T. M. Mathematical Handbook for Scientists and Engineers. New York: McGraw-Hill, 1968. – 277p.

17. Patankar, S.V. Numerical heat transfer and fluid flow / S.V. Patankar. – New York: Hemisphere Publishing Corporation, 1980. – 148 p.

Kornaeva Elena Petrovna

Orel State University named after I.S. Turgenev
candidate of physical and mathematical sciences, docent
of the department of information systems
302020, Orel, Naugorskoe shosse, 40
Тел.: +7 (4862) 41-98-49
E-mail: lenoks_box@mail.ru

Kornaev Alexey Valerievich

Orel State University named after I.S. Turgenev
doctor of technical sciences, senior researcher of the
Modeling of Hydro and Mechanical Systems Research
Laboratory
302020, Orel, Naugorskoe shosse, 29
Тел.: +7 (4862) 41-98-49
E-mail: rusakor@inbox.ru

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

Popov Sergey Gennadevich

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
E-mail: hvunt32@gmail.com

Stavtsev Dmitry Dmitrievich

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel
Assistant of the Department of Instrumentation,
Metrology and Certification
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph.: +7-953-611-80-23
E-mail: stavtsev.dmitry@gmail.com

Dremin Viktor Vladimirovich

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel
Ph.D., researcher of Research and Development Center of
Biomedical Photonics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph.: +7-953-612-77-13
E-mail: dremin_viktor@mail.ru

УДК 621.7.01

DOI: 10.33979/2073-7408-2021-345-1-96-101

Е.Н. ГРЯДУНОВА, А.Ю. РОДИЧЕВ, М.А. ТОКМАКОВА

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПЛЕНОЧНОГО АНТИФРИКЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ ПРИ ПОМОЩИ РЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ

Аннотация. В статье представлены результаты обработки экспериментальных исследований качества пленочного антифрикционного покрытия наносимого на подшипник скольжения. Показана схема действующих сил на частицу пленочного при нанесении антифрикционного покрытия. Описан метод обработки экспериментальных данных, основанный на регрессионном анализе. Выявлены несколько независимых факторов влияющих на качество пленочного антифрикционного покрытия. Даны рекомендации по рациональному изменению расстояния от сопла до поверхности детали, угла напыления и скорости вращения детали влияющих, на сцепления пленочного антифрикционного покрытия с обрабатываемой деталью.

Ключевые слова: качество, сцепление, пленочное антифрикционное покрытие, полнофакторный эксперимент, дисперсия, регрессионный анализ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Родичев, А.Ю. Теоретические основы расчета сил инерции при нанесении покрытия на внешнюю поверхность тел вращения [Текст] // Родичев А.Ю., Грядунова Е.Н., Паничкин А.В., Токмакова М.А. Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии № 2 (340), 2020 – С. 109-114.

2. Rodichev A.Y., Gorin A.V., Tokmakov N.V. Formation of film antifriction coatings on the friction surfaces of machine parts, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering ICMTMTE 2019, 2020, Volume 709, Issue 1, 709 022053.

3. Виноградов, С.С. Защита от коррозии углеродистых сталей [Текст] // Виноградов, С.С, Никифиров А.А., Демин С.А. Чесноков Д.В. Авиационные материалы и технологии. 2017, №5, С.242-263.

4. Алхимов, А.П. Особенности деформирования микрочастиц при ударе о твердую преграду [Текст] // Алхимов А.П., Гулидов А.И., Косарев В.Ф., Нестерович Н.И. Прикладная механика и техническая физика. 2002. Т41, С.204-209.

5. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика [Текст]: учеб. пособие для вузов. – 10-е изд., стер.– М.: Высшая школа, 2004 – 479с.

6. Гмурман В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике [Текст]: учеб. пособие. – 9-е изд., стер. – М.: Высшая школа, 2004 – 405с.

Грядунова Елена Николаевна

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»

кандю. техн. наук, доцент кафедры мехатроники,
механики и робототехники

302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29

Тел. +79192046050

E-mail: gryadunova6565@mail.ru

Родичев Алексей Юрьевич

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»

канд. техн. наук, доцент кафедры сервиса
и ремонта машин

302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29

Тел. +79102600267

E-mail: rodfox@yandex.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

E.N. GRYADUNOVA, A.Yu. RODICHEV, M.A. TOKMAKOVA

**ESTIMATION OF THE QUALITY OF FILM ANTIFRICTION COATING
USING A REGRESSION MODEL**

Abstract. *The article presents the results of processing experimental studies of the quality of a film antifriction coating applied to a sliding bearing. A diagram of the forces acting on a film particle during the application of an antifriction coating is shown. A method for processing experimental data based on regression analysis is described. Several independent factors have been identified that affect the quality of the film antifriction coating. Recommendations are given for the rational change of the distance from the nozzle to the surface of the part, the angle of spraying and the rotation speed of the part that influenced the adhesion of the film antifriction coating to the workpiece.*

Keywords: *quality, adhesion, film antifriction coating, full-factor experiment, variance, regression analysis.*

BIBLIOGRAPHY

1. Rodichev, A.Yu. Theoretical foundations for calculating inertia forces when coating the outer surface of bodies of revolution [Text] // Rodichev A.Yu., Gryadunova E.N., Panichkin A.V., Tokmakova M.A. Fundamental and applied problems of engineering and technology No. 2 (340), 2020 - pp. 109-114.

2. Rodichev A.Y., Gorin A.V., Tokmakov N.V. Formation of film antifriction coatings on the friction surfaces of machine parts, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering ICMTMTE 2019, 2020, Volume 709, Issue 1, 709 022053.

3. Vinogradov, S.S. Corrosion protection of carbon steels [Text] // Vinogradov S.S., Nikifirov A.A., Demin S.A. D.V. Chesnokov Aviation materials and technologies. 2017, No. 5, P.242-263.

4. Alkhimov, A.P. Features of deformation of microparticles upon impact on a solid obstacle [Text] // Alkhimov A.P., Gulidov A.I., Kosarev V.F., Nesterovich N.I. Applied Mechanics and Technical Physics. 2002. T41, S.204-209.

5. Gmurman V.E. Probability theory and mathematical statistics [Text]: textbook. manual for universities. - 10th ed., P. - М.: Higher school, 2004 - 479s.

6. Gmurman V.E. Guide to solving problems in probability theory and mathematical statistics [Text]: textbook. allowance. - 9th ed., Erased. - М.: Higher school, 2004 - 405s.

Orel State University
candidate of technical Sciences, associate Professor of
the Department mechatronics, mechanics and robotics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph.: +79192046050
E-mail: gryadunova6565@mail.ru

Orel State University
candidate of technical Sciences, associate Professor of the
Department service and repair of cars
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph.: +79102600267
E-mail: rodfox@yandex.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 62-52

DOI:10.33979/2073-7408-2021-345-1-102-107

А.В. ГОРИН, И.Г. УСИКОВА, Н.В. ТОКМАКОВ, И.В. РОДИЧЕВА

ДИАГНОСТИКА ФРОНТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ

Аннотация. В статье рассмотрено применение мехатронной системы контроля и диагностики фронтальных конструкций зданий. Представлена структурно-функциональная схема мехатронной системы контроля и диагностики фронтальной конструкции. Рассмотрен расчет элемента фронтальной конструкции, основанный на методе конечных элементов. Представлены результаты теоретического расчёта теплового потока фронтальной конструкции. Даны рекомендации по применению метода конечных элементов для расчета фронтальных конструкций по различным параметрам.

Ключевые слова: система диагностики, мехатроника, фронтальные конструкции, структурная схема, метод конечных элементов, тепловой поток.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральная служба государственной статистики (Росстат) [Электронный ресурс] // Социально-экономическое положение России: [электронный документ]. [2019]. URL: http://www.gks.ru/free_doc/doc_2019/social/osn-12-2019.pdf (дата обращения: 11.01.2021).
2. Федеральная служба государственной статистики (Росстат) [Электронный ресурс] // Социально-экономическое положение России: [электронный документ]. [2020]. URL: http://www.gks.ru/free_doc/doc_2020/social/osn-12-2020.pdf (дата обращения: 11.01.2021).
3. Усикова, И.Г. Мехатронные технологии в системе «Умный дом» // Сборник материалов Всероссийской научно-методической конференции - Орел: ОГУ имени И.С.Тургенева, 2017. – 31-32 с.
4. Усикова, И.Г. Единая мехатронная система безопасности на базе конструкции «Умный дом» // сборник трудов Региональной научно-технической конференции молодых ученых «Мехатроника и робототехника» («МиР-2017»), Всероссийского молодежного научного семинара «Робототехника и мехатроника» и Регионального молодежного научного семинара «Моделирование гидромеханических систем» / Под редакцией д-ра техн. наук, проф. Л.А. Савина. – Орел: ОГУ им. И.С. Тургенева, 2017. – 337-340 с.
5. Кадырова, Л.Ш. «Умный» дом: идеология и технология // Международный научно – исследовательский журнал – 2013.
6. Зенкевич, О. Метод конечных элементов в технике — М.: Мир, 1975.
7. Корнаев А.В., Стебаков И.Н., Попов С.Г., Казаков Ю.Н. Программно-аппаратный комплекс для мониторинга и диагностики роторно-опорных систем // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии – Орел: Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, № 3 2020. с. 67-75.
8. Поляков Р.Н., Горин А.В., Зарецкий Р.К., Токмаков Н.В. Активная виброзащита на основе мехатронной системы // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии – Орел: Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, № 3, 2020. с.76-82.
9. Корнаев А.В., Зарецкий Р.К. Применение методов машинного обучения для управления траекториями движения роторов с лепестковыми подшипниками при смазке маловязкими жидкостями // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии – Орел: Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, № 6, 2019. с.80-87.
10. Сагдеева, Ю.А., Копысов С.П., Новиков А.К. Введение в метод конечных элементов: методическое пособие – Ижевск: Изд – во «Удмуртский университет». 2011. – 44с.

11. Галлагер, Р. Метод конечных элементов. Основы: Пер. с англ. — М.: Мир, 1984
12. Краков, М.С. Компьютерные технологии решения инженерных задач в Matlab: методическое пособие – Минск. 2012.-103с.
13. Белкин, А. Расчёт пластин методом конечных элементов // Учебное пособие – М.:МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2008, - с. 232.
14. Голованов А.И., Песошин А.В., Тюленева О.Н. Современные конечно-элементные модели и методы исследования тонкостенных конструкций. Казань, Казанский государственный университет, 2005. – с. 440

Горин Андрей Владимирович

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

Усикова Ирина Геннадьевна

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»
студент
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
Тел. +79103014198
E-mail: irkin93@mail.ru

Токмаков Никита Владимирович

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

Родичева Ирина Владимировна

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»
студент
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
Тел. +79534145257
E-mail: rodfox@yandex.ru

A.V. GORIN, I.G. USIKOVA, N.V. TOKMAKOV, I.V. RODICHEVA

DIAGNOSTICS OF FRONTAL STRUCTURES BASED ON MECHATRONIC SYSTEMS

Abstract. *The article considers the use of a mechatronic system for monitoring and diagnostics of frontal structures of buildings. Structural and functional diagram of the mechatronic control and diagnostics system of the frontal structure is presented. Calculation of frontal structure element based on finite element method is considered. The results of the theoretical calculation of the thermal flow of the frontal structure are presented. Recommendations are given on the use of the finite element method for calculating frontal structures according to various parameters.*

Keywords: *diagnostic system, mechatronics, frontal structures, structural diagram, finite element method, heat flow.*

BIBLIOGRAPHY

1. Federal State Statistics Service (Rosstat) [Electronic resource] // Socio-economic situation of Russia: [electronic document]. [2019]. URL: http://www.gks.ru/free_doc/doc_2019/social/osn-12-2019.pdf (accessed: 11.01.2021).
2. Federal State Statistics Service (Rosstat) [Electronic resource] // Socio-economic situation of Russia: [electronic document]. [2020]. URL: http://www.gks.ru/free_doc/doc_2020/social/osn-12-2020.pdf (date accessed: 11.01.2021).
3. Usikova, I. G. Mechatronic technologies in the "Smart Home" system // Collection of materials of the All-Russian scientific and methodological conference-Orel: OSU named after I. S. Turgenev, 2017. - 31-32 p.
4. Usikova, I. G. Unified mechatronic security system based on the "Smart Home" design // Proceedings of the Regional Scientific and Technical Conference of young scientists "Mechatronics and robotics" ("mir-2017"), the All-Russian youth scientific seminar "Robotics and Mechatronics" and the Regional youth scientific seminar "Modeling of hydromechanical systems" / Edited by Dr. of Technical Sciences, prof. - Eagle: OSU named after I. S. Turgenev, 2017 -- 337-340 p.
5. Kadyrova, L. S. "Smart" house: ideology and technology // International Scientific Research Journal-2013.
6. Zenkevich O. finite element Method in engineering — М.: Mir, 1975.
7. The Kornai, A. V., Tabakov I. N., Popov S. G., Kazakov Yu. N. Hardware-software complex for monitoring and diagnostics of rotor-bearing systems // Fundamental and applied problems of technics and technology – Orel: Orel state University named after I. S. Turgenev, No. 3 2020. S. 67-75.
8. Polyakov, R. N., Gorin A.V., Zaretskaya, R. K., Tokmak N. In. Active protection based on megatonnage system // Fundamental and applied problems of technics and technology – Orel: Orel state University named after I. S. Turgenev, No. 3, 2020. p. 76-82.

9. The Kornai, A. V., Zaretsky, R. K. Application of machine learning methods to control the trajectory of the rotor blade bearings when grease low-viscosity liquids // Fundamental and applied problems of technics and technology – Orel: Orel state University named after I. S. Turgenev, No. 6, 2019. S. 80-87.
10. Sagdeeva, Yu. A., Kopysov S. P., Novikov A. K. Introduction to the finite element method: a methodological guide-Izhevsk: Publishing House "Udmurt University". 2011. - 44s.
11. Gallagher, R. The finite element method. Fundamentals: Trans. from English-M.: Mir, 1984
12. Krakow, M. S. Computer technologies for solving engineering problems in Matlab: a methodological guide-Minsk. 2012. - 103с.
13. Belkin, A. Calculation of plates by the finite element method // Textbook-Moscow: Bauman Moscow State Technical University. 2008, - p. 232.
14. Golovanov A. I., Pesoshin A.V., Tyuleneva O. N. Modern finite element models and methods for studying thin-walled structures. Kazan, Kazan State University, 2005. - p. 440

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

Usikova Irina Gennadievna

Orel State University named after I.S. Turgenev
 student
 302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
 Ph.: +79103014198
 E-mail: irkin93@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

Rodicheva Irina Vladimirovna

Orel State University named after I.S. Turgenev
 student
 302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
 Ph.: +79534145257
 E-mail: rodfox@yandex.ru

УДК 51-74

DOI: 10.33979/2073-7408-2021-345-1-108-118

A.A. ХВОСТОВ, А.А. ЖУРАВЛЕВ, Е.А. ТАТАРЕНКОВ, О.А. ТКАЧЕВ

АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ НЕФТЕПРОВОДОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОБОРУДОВАНИЯ НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Аннотация. Рассмотрена постановка и аналитическое решение задачи технико-экономической оптимизации параметров трубопровода для транспортирования нефтепродуктов, проявляющих аномалию вязкости. В качестве критерия оптимальности предложены суммарные годовые затраты для создания и эксплуатации трубопровода, что позволяет учесть текущие цены и тарифы на трубопровод и электроэнергию, топологию трубопровода, временные условия его эксплуатации, а также аномально-вязкие свойства транспортируемой среды. Исходя из условия минимизации критерия оптимальности аналитически получены расчетные соотношения для определения оптимального диаметра трубопровода и давления, необходимого для транспортирования нефтепродуктов в ламинарном, установившемся, изотермическом режиме.

Ключевые слова: трубопровод, реологическое уравнение, степенная жидкость, уравнение Оствальда-Де Вилля, аномалия вязкости, технико-экономическая оптимизация, критерий оптимизации, гидравлический расчет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коршак, А.А. Нефтебазы и АЗС: учебное пособие / А.А. Коршак, Г.Е. Коробков, Е.М. Муфтахов. – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2006. – 416.
2. Кафаров, В.В. Проектирование и расчет оптимальных систем технологических трубопроводов / В.В. Кафаров, В.П. Мешалкин. – М.: Химия, 1991. – 368 с.
3. Миркин, А.З. Трубопроводные системы: Расчет и автоматизированное проектирование: Справочник / А.З. Миркин, В.В. Усиньш. – М.: Химия, 1991. – 256 с.
4. Шалай, В.В. Проектирование и эксплуатация нефтебаз и АЗС: учебное пособие / В.В. Шалай, Ю.П. Макушев. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2010. – 296 с.
5. Пшенин, В.В. Выбор оптимальной температуры подогрева при «горячей» перекачке нефти и нефтепродуктов / В.В. Пшенин, В.И. Клишко // Горный информационно-аналитический бюллетень. –2013. –№8 – С. 338 – 342.

6. Назмеев, Ю.Г. Мазутные хозяйства ТЭС/ Ю.Г. Назмеев. – М.: Издательство МЭИ, 2002. – 612 с.
7. Василенко, А.И. Техничко-экономическая оптимизация воздухопроводов / А.И. Василенко, А.А. Федосенко. – Текст: электронный// Инженерный вестник Дона: [сайт]. – 2018. №1. – URL: <https://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/nly2018/4674>.
8. Самарин, О.Д. Техничко-экономическая оптимизация диаметров теплопроводов систем водяного отопления / О.Д. Самарин // Новости теплоснабжения. – 2011. – № 5 – С. 42 – 44.
9. Савастиненко, А.Я. Оптимизация трубопроводных инженерных сетей гидравлического расчета // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2006. – № 4 – С. 67 – 72.
10. Шабанов, В.А. Целевые функции и критерии оптимизации перекачки нефти по нефтепроводам при частотно-регулируемом электроприводе магистральных насосов / В.А. Шабанов, О.В. Бондаренко // Нефтегазовое дело. – 2012. – №4 – С. 10 – 17.
11. Зайцев, А.В. Оптимизация криогенного трубопровода / А.В. Зайцев, Е.В. Логвиненко // Омский научный вестник. Серия «Приборы, машины и технологии». – 2014. – №3 (133) – С. 164 – 168.
12. Хвостов, А.А. Оптимизация параметров технологического трубопровода по технико-экономическим показателям / А.А. Хвостов, М.Г. Магомедов, А.А. Журавлев, Е.А. Шипилова, О.А. Семенихин, А.А. Никитченко // Вестник ВГУИТ. – 2020. Т. 82. – № 1 – С. 34 – 46.
13. Кирсанов, Е.А. Неньютоновское поведение структурированных систем / Е.А. Кирсанов, В.Н. Матвеев. – М.: ТЕХНОСФЕРА, 2016. – 384 с.
14. Матвеева, Ю.Г. Исследование реологических свойств вязкой нефти при различных параметрах ее транспортирования / Ю.Г. Матвеева, Н.А. Зарипова, А.К. Николаев // Деловой журнал Neftegaz.ru. – 2020. – №2 (98) – С. 102 – 105.
15. Арет, В. А. Физико-механические свойства сырья и готовой продукции / В.А. Арет, Б.Л. Николаев, Л.К. Николаев. – СПб.: ГИОРД, 2009. – 448 с.

Хвостов Анатолий Анатольевич

ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»
доктор технических наук, профессор, кафедра 206 математики
394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54а
Тел. (473) 244-78-30
E-mail: Khvtol1974@yandex.ru

Журавлев Алексей Александрович

ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»
кандидат технических наук, доцент, кафедра 206 математики
394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54а Тел.
(473) 244-78-30
E-mail: zhuraa1@rambler.ru

Татаренков Евгений Анатольевич,

ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»
кандидат технических наук, преподаватель,
кафедра 208 общепрофессиональных дисциплин
394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54а
Тел. (473) 244-78-30
E-mail: tea_86@mail.ru

Ткачев Олег Александрович,

ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»
кандидат технических наук, преподаватель, кафедра 208 общепрофессиональных дисциплин
394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54а Тел.
(473) 244-78-30
E-mail: tkachinyan@bk.ru

A.A. KHVOSTOV, A.A. ZHURAVLEV, E.A. TATARENKOV, O.A. TKACHEV

ALGORITHM FOR OPTIMIZING THE PARAMETERS OF OIL PIPELINES WHEN DESIGNING PETROCHEMICAL INDUSTRY EQUIPMENT

Abstract. *The problem of technical and economic optimization of pipeline parameters for transportation of petroleum products exhibiting a viscosity anomaly is considered. The relations for determination of optimal pipeline diameter and pressure, providing pumping of the medium in the laminar, steady, isothermal regime on the pipeline from the condition of minimizing the total annual cost of its development and operation based on current prices and tariffs for the pipeline and energy topology of the pipeline, its working conditions, as well as anomalies of the viscosity of the transported medium.*

Keywords: *pipeline, rheological equation, power fluid, Ostwald-De Ville equation, viscosity anomaly, technical and economic optimization, optimization criterion, hydraulic calculation.*

1. Korshak, A.A. Tank Farms and Gas Stations / A.A. Korshak, G.T. Korobkov, E.M. Muftahov. – Ufa.: DisighnPolygraphService, 2006. – 416 p.
2. Kapharov, V.V. Design and calculation of optimal process piping systems / V.V. Kapharov, V.P. Meshalkin. – M.: Chemistry, 1991. – 386 p.
3. Mirkin, A.Z. Piping systems: Calculation and computer-aided design: HandBook / A.Z. Mirkin, V.V. Usin'sh. – M.: Chemistry, 1991. – 256 p.
4. Shalay V.V. Design and operation of tank farms and gas stations: a tutorial / V.V. Shalay, Yu.P. Makushev. – Omsk.: Omsk State Technical University Publishing, 2010. – 296 p.
5. Pshenin, V.V. Selection of the optimal heating temperature for "hot" pumping of oil and oil products / V.V. Pshenin, V.I. Klimko // Mining informational and analytical bulletin. – 2013. – №8 – p. 338 – 342.
6. Nazmeev, Yu.G. Fuel oil facilities of thermal power plants / Yu.G. Nazmeev. – M.: MPEI Publishing, 2002. – 612 p.
7. Vasilenko, A.I. Technical and economic optimization of air ducts / A.I. Vasilenko, A.A. Fedosenko // Don's Engineering Bulletin. – 2018. №1. – URL: <https://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/nly2018/4674>
8. Samarin, O.D. Technical and economic optimization of the diameters of heat pipes of hot water heating systems / Heat supply news. – 2011. – № 5 – C. 42 – 44.
9. Sevastienok, A. Ya. Optimization of pipeline engineering networks of hydraulic calculation / Energy. News of higher educational institutions and energy associations of the CIS. – 2006. – № 4 – p. 67 – 72.
10. Shabanov, V.A. Objective functions and optimization criteria for oil pumping through oil pipelines with a privately-controlled electric drive of main pumps / V.A. Shabanov, O.V. Bondarenko // Oil and Gas Engineering. – 2012. – №4 – p. 10 – 17.
11. Zaycev, A.V. Cryogenic pipeline optimization / A.V. Zaycev, E.V. Logvinenko // Omsk Scientific Bulletin. Series "Devices, machines and technologies". – 2014. – №3 (133) – p. 164 – 168.
12. Khvostov, A.A. Optimization of technological pipeline parameters according to technical and economic indicators / A.A. Khvostov, M.G. Magomedov, A.A. Zhuravlev etc. // VSUET Bulletin. – 2020. T. 82. – № 1 – p. 34 – 46.
13. Kirsanov, E.A. Non-Newtonian behavior of structured systems / E.A. Kirsanov, V.N. Matveenko. M.: Technosphaera, 2016. – 384 p.
14. Matveeva Yu.G. Investigation of the rheological properties of viscous oil at various parameters of its transportation / Yu.G. Matveeva, N.A. Zaripova, A.K. Nikolaev // Business magazine Neftegaz.ru. – 2020. – №2 (98) – p. 102 – 105.
15. Aret, V.A. Physical and mechanical properties of raw materials and finished products / V.A. Aret, B.L. Nikolaev, L.K. Nikolaev. – SPb.: GIORD, 2009. 448 p.

Khvostov Anatoly Anatolievich

Military Training and Research Center of the Air Force
 «Air Force Academy ft. Professor N.E. Zhukovsky and
 Y.A. Gagarin»
 Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of
 Math
 394064, Voronezh, Saryh Bol'shevikov Street, 54a
 Phone: (473) 244-78-30
 E-mail: Khvtol1974@yandex.ru

Tatarenkov Evgeny Anatolievich,

Military Training and Research Center of the Air Force
 «Air Force Academy ft. Professor N.E. Zhukovsky and
 Y.A. Gagarin»
 Candidate of Engineering Sciences, teacher, Department
 of General Professional Disciplines
 394064, Voronezh, Saryh Bol'shevikov Street, 54a
 Phone: (473) 244-78-30
 E-mail: tea_86@mail.ru

Zhuravlev Alexey Alexandrovich

Military Training and Research Center of the Air Force
 «Air Force Academy ft. Professor N.E. Zhukovsky and
 Y.A. Gagarin»
 Candidate of Engineering Sciences, assistant professor,
 Department of Math
 394064, Voronezh, Saryh Bol'shevikov Street, 54a
 Phone: (473) 244-78-30
 E-mail: zhuraa1@rambler.ru

Tkachev Oleg Alexandrovich,

Military Training and Research Center of the Air Force
 «Air Force Academy ft. Professor N.E. Zhukovsky and
 Y.A. Gagarin»
 Candidate of Engineering Sciences, teacher, Department
 of General Professional Disciplines
 394064, Voronezh, Saryh Bol'shevikov Street, 54a
 Phone: (473) 244-78-30
 E-mail: tkachinyan@bk.ru

УДК 532.5

DOI: 10.33979/2073-7408-2021-345-1-119-130

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

УПРАВЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЯЗКОСТНЫМ КЛИНОМ

В ПОДШИПНИКЕ ЖИДКОСТНОГО ТРЕНИЯ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ

Аннотация. В данной работе рассмотрена возможность применения интеллектуальных систем на основе обучения с подкреплением и глубоких нейронных сетей для управления системой смазки мехатронного подшипника жидкостного трения. Обучение агента системы управления производилось на имитационной модели роторной машины, целью обучения было снижение потерь энергии на трение и снижение уровня вибраций в условиях случайного внешнего силового воздействия периодического характера со случайной частотой. Возможность переключения режимами позволила снизить негативное действие явления резонанса. Результаты обучения продемонстрировали эффективность применения подобных интеллектуальных систем для разработанной мехатронной подшипниковой опоры.

Ключевые слова: многозонная подача, интеллектуальное управление, температура, вязкость, несущая способность, обучение с подкреплением

Работа подготовлена в рамках выполнения гранта Президента РФ №МК-3394.2019.8. 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. Sheng ZHANG, Toshiyuki ASAKURA, Xiaoli XU, Baojie XU Fault Diagnosis System for Rotary Machine Based on Fuzzy Neural Networks / Sheng ZHANG, Toshiyuki ASAKURA, Xiaoli XU, Baojie XU // JSME International Journal Series C Mechanical Systems, Machine Elements and Manufacturing 2003, N. 3, pp. 1035-1041.
2. Adrian Stetco, Fateme Dinmohammadi, Xingyu Zhao, Valentin Robu, David Flynn, Mike Barnes, John Keane, Goran Nenadic Machine learning methods for wind turbine condition monitoring: A review / Adrian Stetco, Fateme Dinmohammadi, Xingyu Zhao, Valentin Robu, David Flynn, Mike Barnes, John Keane, Goran Nenadic // Renewable Energy, 2019, N. 133, pp. 620-635
3. J.P.Patel, S.H.Upadhyay Comparison between Artificial Neural Network and Support Vector Method for a Fault Diagnostics in Rolling Element Bearings / J.P.Patel, S.H.Upadhyay // Procedia Engineering, 2016, V. 144, pp. 390-397
4. Muhammad Sohaib, Cheol-Hong Kim, Jong-Myon Kim A Hybrid Feature Model and Deep-Learning-Based Bearing Fault Diagnosis / Muhammad Sohaib, Cheol-Hong Kim, Jong-Myon Kim // Sensors, 2017, V. 17, 2876
5. Zhuyun Chen, Konstantinos Gryllias, Weihua Li Mechanical fault diagnosis using Convolutional Neural Networks and Extreme Learning Machine / Zhuyun Chen, Konstantinos Gryllias, Weihua Li // Mechanical Systems and Signal Processing, 1 November 2019, V. 133, 106272
6. Hui-fu Zhang, Wei Kang Design of the Data Acquisition System Based on STM32 / Hui-fu Zhang, Wei Kang // Procedia Computer Science. – 2013. - N. 17, pp. 222 – 228
7. Ashanira Mat Deris, Azlan Mohd Zain, and Roselina Sallehuddin Overview of Support Vector Machine in Modeling Machining Performances / Ashanira Mat Deris, Azlan Mohd Zain, and Roselina Sallehuddin // Procedia Engineering. – 2011.-vol. 24, pp. 308–312,.
8. Soo Jeon, Hyeong-Joon Ahn, Dong-Chul Han Model Validation and Controller Design for Vibration Suppression of Flexible Rotor Using AMB / Soo Jeon, Hyeong-Joon Ahn, Dong-Chul Han // KSME International Journal. -2002. - Vol 16, No. 12. pp. 1583- 1593
- A. Behal, B.T. Costic, D.M. Dawson and Y. Fang Nonlinear Control of Magnetic Bearing in the Presence of Sinusoidal Disturbance / A. Behal, B.T. Costic, D.M. Dawson and Y. Fang // Proceedings of the American Control Conference Arlington.- 2001. VA June 25-27
9. Eugenio Brusa Semi-active and active magnetic stabilization of supercritical rotor dynamics by contra-rotating damping / Eugenio Brusa // Mechatronics.- 2014.- № 24. pp 500–510
10. Yuanhong Tang, Weihao Hu, Jian Xiao, Zhengdong Lu, Zhou Liu, Zhe Chen, Frede Blaabjerg A Deep Q-Network based optimized modulation scheme for Dual-Active-Bridge converter to reduce the RMS current / Yuanhong Tang, Weihao Hu, Jian Xiao, Zhengdong Lu, Zhou Liu, Zhe Chen, Frede Blaabjerg // Energy Reports. Vol. 6, Supplement 9, December 2020, Pages 1192-1198. 7th International Conference on Power and Energy Systems Engineering (CPESSE 2020), 26–29 September 2020, Fukuoka, Japan
11. Seokyoun Hong, Kyojin Jang, Jiheon Lee, Hyungjoon Yoon, Hyungtae Cho, Il Moon Optimal Evacuation Route Prediction in FpsO Based on Deep Q-Network / Seokyoun Hong, Kyojin Jang, Jiheon Lee, Hyungjoon Yoon, Hyungtae Cho, Il Moon // Computer Aided Chemical Engineering. – 2020. – Vol. 48. pp. 1867-1872

12. Wang QL, Chung Y–H at all. Encyclopedia of tribology. New York: Springer Science + Business Media. – 2013. – 4192 p.
13. Корнаева Е.П., Корнаев А.В., Савин Л.А. Моделирование неизотермического течения вязкой жидкости в конфузторных каналах в условиях многозонной подачи смазочного материала // Известия Юго–Западного государственного университета». – Курск: Изд–во ЮЗГУ. – 2018. – №5. – С. 117–126.
14. Корнаева Е.П., Корнаев А.В. Численные модели для исследования реологических и тепловых эффектов в подшипниках жидкостного трения // Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Современные проблемы физико-математических наук». – 2020. – С. 351–358.
15. Кочин Н.Е. Векторное исчисление и начала тензорного исчисления. – М.: Наука, 1965. – 424 с.
16. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Дрофа. - 2003. - 870 с.
17. 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 // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологий. – 2020. – №5. – С. 91 – 97.
18. Hori Y. Hydrodynamic lubrication. - Yokendo Ltd, Tokyo. Springer Science & Business Media. -2006. – 231 p.
19. Murphy, Kevin P. Machine learning: a probabilistic perspective. - Massachusetts Institute of Technology, USA. – 2012. – 1067 p.
20. <https://www.mathworks.com/help/matlab/help-and-support.html>
21. Volodymyr Mnih, Koray Kavukcuoglu, David Silver, Alex Graves, Ioannis Antonoglou, Daan Wierstra, Martin Riedmiller. Playing Atari with Deep Reinforcement Learning // ARXIV.org [сайт] – URL <https://arxiv.org/pdf/1312.5602.pdf>

Корнаев Алексей Валерьевич

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

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

Казаков Юрий Николаевич

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г Орёл
Студент кафедры мехатроники, механики и робототехники
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
Кандидат технических наук, магистр кафедры мехатроники, механики и робототехники
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел. 8 (4862) 41 98 49
E-mail: alex.mech.osu@gmail.com

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

**TEMPERATURE-VISCOSITY WEDGE CONTROL
IN A FLUID FRICTION BEARING BASED
ON A DEEP REINFORCEMENT LEARNING ALGORITHM**

Abstract. *This paper discusses the possibility of using intelligent systems based on reinforcement learning and deep neural networks to control the lubrication system of a mechatronic fluid friction bearing. The training of the agent of the control system was carried out on a simulation model of a rotary machine, the purpose of training was to reduce energy losses for friction and reduce the level of vibrations under conditions of a random external force action of a periodic nature with a random frequency. The ability to switch modes has reduced the negative effect of the resonance phenomenon. The results of the training demonstrated the effectiveness of using such intelligent systems for the developed mechatronic bearing arrangement.*

Keywords: *mixed lubricant supply, intelligent control, temperature, viscosity, load-bearing capacity, reinforcement learning.*

BIBLIOGRAPHY

1. Sheng ZHANG, Toshiyuki ASAKURA, Xiaoli XU, Baojie XU Fault Diagnosis System for Rotary Machine Based on Fuzzy Neural Networks / Sheng ZHANG, Toshiyuki ASAKURA, Xiaoli XU, Baojie XU // JSME International Journal Series C Mechanical Systems, Machine Elements and Manufacturing 2003, N. 3, pp. 1035-1041.
2. Adrian Stetco, Fateme Dinmohammadi, Xingyu Zhao, Valentin Robu, David Flynn, Mike Barnes, John Keane, Goran Nenadic Machine learning methods for wind turbine condition monitoring: A review / Adrian Stetco, Fateme Dinmohammadi, Xingyu Zhao, Valentin Robu, David Flynn, Mike Barnes, John Keane, Goran Nenadic // Renewable Energy, 2019, N. 133, pp. 620-635
3. J.P.Patel, S.H.Upadhyay Comparison between Artificial Neural Network and Support Vector Method for a Fault Diagnostics in Rolling Element Bearings / J.P.Patel, S.H.Upadhyay // Procedia Engineering, 2016, V. 144, pp. 390-397.
4. Muhammad Sohaib, Cheol-Hong Kim, Jong-Myon Kim A Hybrid Feature Model and Deep-Learning-Based Bearing Fault Diagnosis / Muhammad Sohaib, Cheol-Hong Kim, Jong-Myon Kim // Sensors, 2017, V. 17, 2876
5. Zhuyun Chen, Konstantinos Gryllias, Weihua Li Mechanical fault diagnosis using Convolutional Neural Networks and Extreme Learning Machine / Zhuyun Chen, Konstantinos Gryllias, Weihua Li // Mechanical Systems and Signal Processing, 1 November 2019, V. 133, 106272
6. Hui-fu Zhang, Wei Kang Design of the Data Acquisition System Based on STM32 / Hui-fu Zhang, Wei Kang // Procedia Computer Science. – 2013. - N. 17, pp. 222 – 228
7. Ashanira Mat Deris, Azlan Mohd Zain, and Roselina Sallehuddin Overview of Support Vector Machine in Modeling Machining Performances / Ashanira Mat Deris, Azlan Mohd Zain, and Roselina Sallehuddin // Procedia Engineering. – 2011.-vol. 24, pp. 308–312,.
8. Soo Jeon, Hyeong-Joon Ahn, Dong-Chul Han Model Validation and Controller Design for Vibration Suppression of Flexible Rotor Using AMB / Soo Jeon, Hyeong-Joon Ahn, Dong-Chul Han // KSME International Journal. -2002. - VoL 16, No. 12. pp. 1583- 1593
9. Behal, B.T. Costic, D.M. Dawson and Y. Fang Nonlinear Control of Magnetic Bearing in the Presence of Sinusoidal Disturbance / A. Behal, B.T. Costic, D.M. Dawson and Y. Fang // Proceedings of the American Control Conference Arlington.- 2001. VA June 25-27
10. Eugenio Brusa Semi-active and active magnetic stabilization of supercritical rotor dynamics by contra-rotating damping / Eugenio Brusa // Mechatronics.- 2014.- № 24. pp 500–510
11. Yuanhong Tang, Weihao Hu, Jian Xiao, Zhengdong Lu, Zhou Liu, Zhe Chen, Frede Blaabjerg A Deep Q-Network based optimized modulation scheme for Dual-Active-Bridge converter to reduce the RMS current / Yuanhong Tang, Weihao Hu, Jian Xiao, Zhengdong Lu, Zhou Liu, Zhe Chen, Frede Blaabjerg // Energy Reports. Vol. 6, Supplement 9, December 2020, Pages 1192-1198. 7th International Conference on Power and Energy Systems Engineering (CPESE 2020), 26–29 September 2020, Fukuoka, Japan
12. Seokyoung Hong, Kyojin Jang, Jiheon Lee, Hyungjoon Yoon, Hyungtae Cho, Il Moon Optimal Evacuation Route Prediction in Fpso Based on Deep Q-Network / Seokyoung Hong, Kyojin Jang, Jiheon Lee, Hyungjoon Yoon, Hyungtae Cho, Il Moon // Computer Aided Chemical Engineering. – 2020. – Vol. 48. pp. 1867-1872
13. Wang QL, Chung Y–H at all. Encyclopedia of tribology. New York: Springer Science + Business Media. – 2013. – 4192 p.
14. Kornaeva E.P., Kornaev A.V., Savin L.A. Modeling of nonisothermal flow of a viscous fluid in confuser channels under conditions of multi-zone lubricant supply. Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. - Kursk: YuZGU Publishing House. - 2018. - No. 5. - S. 117-126. (in Russian)
15. Kornaeva E.P., Kornaev A.V. Numerical models for the study of rheological and thermal effects in bearings of fluid friction // Materials of the VI All-Russian scientific-practical conference with international participation "Modern problems of physical and mathematical sciences." - 2020. - P. 351-358. (in Russian)
16. Kochin N.Ye. Vector calculus and the beginnings of tensor calculus. - M.: Nauka, 1965.-- 424 p. (in Russian)
17. Loytsyansky L.G. Mechanics of liquid and gas. M.: Bustard. 2003. - 870 p. (in Russian)
18. Kornaeva E.P., Babin A.Yu., Kornaev A.V., Kazakov Yu.N. Controlled effect of temperature-viscous wedge in fluid friction bearings: results of physical experiments and development of a digital twin // Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology. - 2020. - No. 5. - P. 91 - 97. (in Russian)
19. Hori Y. Hydrodynamic lubrication. - Yokendo Ltd, Tokyo. Springer Science & Business Media. - 2006. – 231 p.
20. Murphy, Kevin P. Machine learning: a probabilistic perspective. - Massachusetts Institute of Technology, USA. – 2012. – 1067 p.
21. <https://www.mathworks.com/help/matlab/help-and-support.html>
22. Volodymyr Mnih, Koray Kavukcuoglu, David Silver, Alex Graves, Ioannis Antonoglou, Daan Wierstra, Martin Riedmiller. Playing Atari with Deep Reinforcement Learning // ARXIV.org [сайт] – URL <https://arxiv.org/pdf/1312.5602.pdf>

Kornaev Alexey Valerievich

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel
Doctor of Sciences, Professor at the Department of

Kornaeva Elena Petrovna

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel
Candidate of Sciences, Associate Professor at the

Mechatronics, Mechanics, and Robotics
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 at the Department of Mechatronics, Mechanics,
and Robotics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph. 8 (4862) 41 98 49
E-mail: kazakyurii@yandex.ru

Department of Information Systems and Digital
Technologies
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph. 8 (4862) 41 98 49
E-mail: lenoks_box@mail.ru

Babin Alexander Yurievich

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel
Candidate of Sciences, master student at the Department
of Mechatronics, Mechanics, and Robotics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph. 8 (4862) 41 98 49
E-mail: alex.mech.osu@gmail.com

ПРИБОРЫ, БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 535.6.08

DOI: 10.33979/2073-7408-2021-345-1-131-137

А.В. АРЕФЬЕВ, Р.Б. ГУЛИЕВ, А.В. ДАГАЕВ, Е.Е. МАЙОРОВ,
Е.А. ПИСАРЕВА, М.В. ХОХЛОВА

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРАБОТАННОГО КОЛОМЕТРИЧЕСКОГО ДАТЧИКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЦВЕТНОСТИ СТЕКЛА

Аннотация. Настоящая статья посвящена исследованию колориметрического датчика для измерения параметров цвета прозрачных и диффузно отражающих объектов. В данной работе приведен колориметрический датчик, в котором используется трехэлементный RGB-фотодиод. Показана структурная схема и внешний вид разработанного датчика. Описана работа колориметра, а также получена спектральная чувствительность RGB-фотодиода. Представлено специально разработанное программное обеспечение для получения измерений в цифровом и графическом виде. Исследовались метрологические возможности колориметрического датчика сопоставлением полученных результатов измерений с независимыми данными. Для калибровки были использованы стекла оптические цветные марок: КС-11; ЖЗС-17; СС-2; ЗС-4; ЖС-12; ПС-7; ОС-13 координаты цветности которых располагались внутри цветового треугольника. Результаты калибровки колориметра и тестовых измерений координат цветности исследуемых образцов приведены на цветовом треугольнике. В исследованиях разработанный колориметрический датчик обеспечивал измерение параметров цветности прозрачных объектов с размахом показаний, характеризующий случайную погрешность, не более 0,3 %.

Ключевые слова: фотодиод, оптический канал, спектральная чувствительность, колориметр, цветные стекла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю. Б. Айзенберга. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 472 с.
2. Гуревич М. М. Цвет и его измерение. – М.-Л.: Изд-во Академии наук СССР, 1950. – 268 с.
3. Цвет в науке и технике / Д. Джадд, Г. Вышецкий. – М.: Мир, 1978. – 592 с.
4. Петровский Г.Т. Цветное оптическое стекло и особые стекла: каталог. – М.: Дом оптики, 1990. – 228 с.
5. Майоров Е.Е. Исследование спектров диффузного отражения образцов белой бумаги автоматизированным RGB колориметром / Л.И. Шаламай, А.В. Дагаев, А.С. Ушакова, Р.Б. Гулиев, М. В. Хохлова, Г.А. Цыганкова, Е.А. Писарева // Приборы и системы. управление, контроль, диагностика. 2019. № 12. – С. 14-22.
6. Лютов В. П. Цветоведение и основы колориметрии: учебник и практикум для среднего профессионального образования / В. П. Лютов, П. А. Четверкин, Г. Ю. Головастики. – 3-е изд., перераб. И доп. – М.: Изд-во Юрайт, 2019 – 224 с.
7. Thielert R. Visual impression of whiteness and its colorimetric definition / R. Thielert, G. Schliemann / J. of Opt. Soc. Am. 1973. Vol. 63. – Pp. 1607.
8. Юстова Е. Н. Цветовые измерения (Колориметрия). – СПб: Издательство СПбГУ, 2000. – 397 с.

9. Malacara-Hernandez D. Color vision and colorimetry: theory and applications / D. Malacara-Hernandez / Proc. of SPIE. 2002. – Pp.176.

10. Майоров Е.Е. Возможность использования колориметра с RGB-компонентами для исследований фотооптического отбеливания, тонирования и окрашивания бумаги / Е.Е. Майоров, А.Ч. Машек, Г.А. Цыганкова, М.В. Хохлова, А.В. Курлов, Т.А. Черняк, А.В. Дагаев, А.О. Фадеев // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2017. № 3. – С. 22-29.

11. Майоров Е.Е. Разработка колориметрического датчика с RGB-элементом и двухполосной оптоэлектронной интегрирующей сферой для контроля диффузно отражающих объектов / Е.Е. Майоров, А.Ч. Машек, Г.А. Цыганкова, В.К. Абрамян, Ю.Е. Зайцев, А.Г. Хайдаров, Г.Г. Хайдаров А.В. Дагаев, С.Е. Пономарев // Приборы. 2017. № 6. – С. 25-28.

12. Прокопенко В.Т. Исследование in vivo зубной эмали человека колориметрическим прибором / В.Т. Прокопенко, Е.Е. Майоров, Л.И. Шаламай, Н.Э. Попова, Т.А. Черняк, А.В. Курлов, А.В. Дагаев, Г.А. Цыганкова // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2019. Т. 62. № 4. – С. 373-379.

Арефьев Александр Владимирович
АНО ВО «Университет при МПА ЕврАзЭС», г. Санкт-Петербург, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры математики и информационных технологий. 194044, СЭФО, г. Санкт-Петербург, ул. Смолячкова д.14/1
Тел. +7 (812) 542-38-80
E-mail: aaref@yandex.ru

Гулиев Рамиз Балахан оглы
АНО ВО «Университет при МПА ЕврАзЭС», г. Санкт-Петербург, кандидат технических наук, доцент кафедры математики и информационных технологий. 194044, СЭФО, г. Санкт-Петербург, ул. Смолячкова д.14/1
Тел. +7 (812) 542-38-80
E-mail: ramiz63@yandex.ru

Дагаев Александр Владимирович
Ивангородский гуманитарно - технический институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» (ИФ ГУАП), г. Ивангород, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной математики, информатики и информационных таможенных технологий. 188491, Ленинградская область, г. Ивангород, ул. Котовского д.1.
Тел. +7 (81375) 51-204
E-mail: adagev@list.ru

Майоров Евгений Евгеньевич
АНО ВО «Университет при МПА ЕврАзЭС», г. Санкт-Петербург, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой математики и информационных технологий. 194044, СЭФО, г. Санкт-Петербург, ул. Смолячкова д.14/1
Тел. +7 (812) 542-38-80
E-mail: majorov_ee@mail.ru

Писарева Елена Алексеевна
ФГКВБОУ ВПО «Михайловская военная артиллерийская академия» преподаватель кафедры математических, естественнонаучных и общепрофессиональных дисциплин. 195009, г. Санкт-Петербург, ул. Комсомола, д. 22
Тел. +7 (812) 292-14-05
E-mail: pisareva@icloud.com

Хохлова Марина Владимировна
ФГБВБОУ ВПО «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского», кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры физики. 197198, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13
Тел. +7 (812) 347-95-39
E-mail: mvxoh@mail.ru

A. V. AREFYEV, R. B. GULIYEV, A. V. DAGAEV, E. E. MAIOROV,
E. A. PISAREVA, M. V. KHOKHLOVA

EXPERIMENTAL STUDY OF THE DEVELOPED COLOMETRIC SENSOR FOR MEASURING THE COLOR OF GLASS

Abstract. *This article to the study of a colorimetric sensor for measuring the color parameters of transparent and diffusely reflecting objects is devoted. This paper a colorimetric sensor that uses a three-element RGB photodiode is presented. The block diagram and appearance of the developed sensor are shown. The operation of the colorimeter is described, and the spectral sensitivity of the RGB photodiode is obtained. Specially developed software for obtaining measurements in digital and graphical form is presented. The metrological capabilities of the colorimetric sensor by comparing the obtained measurement results with independent data were investigated. Optical color glasses of the following brands were used for calibration: KS-11; ZHYS-17; SS-2; ZS-4; ZHS-12; PS-7; OS-13, the color coordinates*

of which were located inside the color triangle. The results of calibration of the colorimeter and test measurements of the chromaticity coordinates of the samples on the color triangle were shown. In research, the developed colorimetric sensor measurement of the color parameters of transparent objects with a range of readings that characterizes a random error of no more than 0,3 % was provided.

Keywords: photodiode, optical channel, spectral sensitivity, colorimeter, colored glasses

BIBLIOGRAPHY

1. Reference book on lighting engineering / Edited by Yu. B. Aizenberg, Moscow: Energoatomizdat, 1983, 472 p.
2. Gurevich M. M. Color and its measurement. - M.-L.: Publishing house of The Academy of Sciences of the USSR, 1950. - 268 p.
3. Color in science and technology / D. Judd, G. Vyshtsky. - Moscow: Mir, 1978. - 592 p.
4. Petrovsky G. T. Color optical glass and special glasses: catalog. - M.: House of optics, 1990. - 228 p.
5. Maiorov E. E. Investigation of diffuse reflection spectra of white paper samples with an automated RGB colorimeter / E. E. Maiorov, L. I. Shalamay, A.V. Dagaev, A. S. Ushakova, R. B. Guliyev, M. V. Khokhlova, G. A. Tsygankova, E. A. Pisareva / Devices and systems. management, control, diagnostics. 2019. no. 12. – C. 14-22.
6. Lyutov V. P. Color science and the basics of colorimetry: textbook and practice for secondary professional education / V. P. Lyutov, P. A. Chetverkin, G. Yu. Golovastikov. - 3rd ed., reprint. And additional – M: publishing house of Yurayt, 2019 – 224 p.
7. Thielert R. Visual impression of whiteness and its colorimetric definition / R. Thielert, G. Schliemann / J. of Opt. Soc. Am. 1973. – Vol. 63. – Pp. 1607.
8. Justova E. N. Color measurements (Colorimetry). - Saint Petersburg: SPBU Publishing house, 2000. - 397 p.
9. Malacara-Hernandez D. Color vision and colorimetry: theory and applications / D. Malacara-Hernandez / Proc. of SPIE. 2002. – Pp.176.
10. Maiorov E. E. the Possibility of using a colorimeter with RGB components for studies of photo-optical bleaching, tinting and coloring of paper / E. E. Maiorov, A. CH. Mashek, G. A. Tsygankova, M. V. Khokhlova, A.V. Kurlov, T. A. Chernyak, A. V. Dagaev, A. O. Fadeev / Devices and systems. Management, monitoring, diagnostics. 2017. No. 3. – Pp. 22-29.
11. Maiorov E. E. Development of a colorimetric sensor with an RGB element and a two-band optoelectronic integrating sphere for monitoring diffusely reflecting objects / E. E. Maiorov, A. CH. Mashek, G. A. Tsygankova, V. K. Abramyan, Yu. E. Zaitsev, A. G. Khaydarov, G. G. Khaydarov A.V. Dagaev, S.E. Ponomarev / Instruments. 2017. No. 6. – Pp. 25-28.
12. Prokopenko V. T. In vivo study of human dental enamel with a colorimetric device / V. T. Prokopenko, E. E. Maiorov, L. I. Shalamay, N. E. Popova, T. A. Chernyak, A. V. Kurlov, A. V. Dagaev, G. A. Tsygankova / Journal of Instrument Engineering. 2019. – Vol. 62. No. 4. – Pp. 373-379.

Arefiev Aleksandr Vladimirovich
ANO VO "University under the IPA EurAsEC", Saint Petersburg, candidate of physical and mathematical Sciences, associate Professor of the Department of mathematics and information technologies Sciences, associate Professor of the Department of mathematics and information technologies, 194044, SEFO, Saint Petersburg, Smolyachkova str. 14 / 1. Tel. +7 (812) 542-38-80
E-mail: aaref@yandex.ru

Guliyev Ramiz Balakhan ogly
ANO VO "University under the IPA EurAsEC", Saint Petersburg, candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department of mathematics and information technologies, 194044, SEFO, Saint Petersburg, Smolyachkova str. 14 / 1. Tel. +7 (812) 542-38-80
E-mail: ramiz63@yandex.ru

Dagaev Alexander Vladimirovich
Ivangorod humanitarian and technical Institute (branch) of the Federal state Autonomous educational institution of higher education "Saint Petersburg state University of aerospace instrumentation" (if GUAP), Ivangorod, candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department of applied mathematics, computer science and information customs technologies. 188491, Leningrad region, Ivangorod, Kotovskiy str. 1. Tel. +7 (81375) 51-204
E-mail: adagaev@list.ru

Maiorov Evgeny Evgenievich
ANO VO "University under the IPA EurAsEC", Saint Petersburg, candidate of technical Sciences, associate Professor, head of the Department of mathematics and information technologies., 194044, SEFO, Saint Petersburg, Smolyachkova str. 14 / 1.

Pisareva Elena Alekseevna
Mikhailovskaya military artillery Academy teacher of the Department of mathematical, natural science and General professional disciplines. 195009, Saint Petersburg, Komsomolskaya str., 22. Tel. +7 (812) 292-14-05
E-mail: episareva@icloud.com

Khokhlova Marina Vladimirovna
A. F. Mozhaisky Military space Academy, candidate of pedagogical Sciences, associate Professor, associate Professor of the Department of physics. 197198, Saint Petersburg, Zhdanovskaya str., 13. Tel. +7 (812) 347-95-39

КОНТРОЛЬ, ДИАГНОСТИКА, ИСПЫТАНИЯ **И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ**

УДК: 004.04+ 621.432

DOI: 10.33979/2073-7408-2021-345-1-138-145

К.Н. ОСИПОВ

ПОСТРОЕНИЕ И АНАЛИЗ ПРОГНОЗИРУЮЩИХ МОДЕЛЕЙ ОПАСНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

***Аннотация.** Предлагается подход к построению адаптивных эмпирических многомерных прогнозирующих моделей по результатам измерений, используемых для оценки риска перехода технически сложных изделий общего машиностроительного назначения в опасное техническое состояние в ходе производственных (приемосдаточных и контрольных) испытаний. Рассматриваются вопросы верификации и оценки скорости адаптации предлагаемых моделей к изменяемым условиям и целям испытаний. В качестве примера рассматривается процесс моделирования и прогнозирования изменения технических состояний быстроходных двигателей внутреннего сгорания с принудительным искровым воспламенением.*

Ключевые слова: диагностика, испытания, моделирование.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов О. В. Контроль и прогнозирование технического состояния систем ответственного назначения / О. В. Абрамов // Надежность и качество сложных систем. – 2018. – № 4 (24). – С. 108–115. – DOI 10.21685/2307-4205-2018-4-12.
2. Новиков В.В., Новикова М.В., Прогнозирование опасного состояния сложных технических систем. Журнал «Военная мысль» №5 - 2017. Стр.50-54.
3. Григорьев С.Н. [и др.]. Диагностика автоматизированного производства [Электронный ресурс]: монография. — Электрон. дан. — Москва: Машиностроение, 2011. — 600 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/2020>.
4. Голикова В.В. Идентификация стохастических объектов и процессов в автоматизированной системе производственных приемосдаточных испытаний двигателей внутреннего сгорания. дис. канд. тех. наук по специальности 05.13.07. – Севастополь: СевНТУ – 2008 г. – 205 с.
5. Голикова В.В., Первухина Е.Л., Сопин П.К. Моделирование измерительных последовательностей диагностических параметров ДВС. Двигатели внутреннего сгорания – №2 – 2012 г. С 114 – 117.
6. Первухина Е.Л., Осипов К.Н., Рапацкий Ю.Л. Совершенствование методики приемосдаточных испытаний двигателей внутреннего сгорания после сборки на основе зависимостей между диагностическими параметрами. Проблемы машиностроения и надежности машин, РАН, Россия. – 2011. – № 2. – С. 93-99.
7. Осипов К.Н. Выбор параметров для оценки технического состояния ДВС. Сборка в машиностроении, приборостроении – 2011. – №2 С. 19 – 26.
8. Первухина Е.Л., Сопин П.К., Голикова В.В. Оценка состояния машиностроительных изделий в ходе производственных испытаний после сборки. Сборка в машиностроении, приборостроении. 2009. №10.
9. Engle R.E., Granger C.W.J. Cointegration and Error Correction: Representation, Estimation and Testing // Econometrica, 1987. – Vol. 55. – P. 251-276.p.

Осипов Константин Николаевич

ФГАОУ ВО Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, кандидат технических наук, доцент кафедры «Приборные системы и автоматизация технологических процессов». 299053, г. Севастополь, ул. Университетская 33. Тел. +7(8692)-55-00-77
Email: assistenttmm@mail.ru

DESIGN AND ANALYSIS OF PREDICTIVE MODELS OF DANGEROUS TECHNICAL STATE OF MACHINE-BUILDING PRODUCTS

Abstract. *An approach to the design of adaptive empirical multidimensional mathematical predictive models based on the results of measurements used to assess the risk of transition of technically complex products to a dangerous technical condition during production (acceptance and control) tests is proposed. The issues of verification and evaluation of the speed of adaptation of the proposed models to changing conditions and test goals are considered. As an example, we consider the process of modeling and forecasting changes in the technical conditions of high-speed internal combustion engines with forced spark ignition.*

Keywords: *diagnostics, testing, modeling.*

BIBLIOGRAPHY

1. Abramov O. V. Control and forecasting of the technical condition of responsible systems / O. V. Abramov // Reliability and quality of complex systems. – 2018. – № 4 (24). – P. 108-115 – - DOI 10.21685/2307-4205-2018-4-12.
2. Novikov V. V., Novikova M. V., forecasting the dangerous state of complex technical systems. Military thought magazine #5-2017. Pages 50-54.
3. Grigoriev S. N. [et al.]. Diagnostics of automated production [Electronic resource]: monograph. - Electron. Dan. - Moscow: Mashinostroenie, 2011. - 600 p. - access Mode: <https://e.lanbook.com/book/2020>
4. Golikova V. V. Identification of stochastic objects and processes in the automated system of production acceptance tests of internal combustion engines. dis. candidate of technical Sciences in the specialty 05.13.07. - Sevastopol: SevNTU-2008-205 p.
5. Golikova V. V., Pervukhina E. L., Sopin P. K. Modeling of measurement sequences of diagnostic parameters of internal combustion engines. Internal combustion engines-No. 2-2012 From 114-117.
6. Pervukhina E. L., Osipov K. N., Rapatsky Yu. L. Improvement of methods of acceptance tests of internal combustion engines after Assembly based on dependencies between diagnostic parameters. Problems of mechanical engineering and machine reliability, RAS, Russia. - 2011. - No. 2. - Pp. 93-99.
7. Osipov K. N. Selection of parameters for assessing the technical condition of the internal combustion engine. Assembly in machine-building, instrument-making-2011. - no. 2 P. 19-26. 8
. Pervukhina E. L., Sopin P. K., Golikova V. V. Assessment of the state of machine-building products during production tests after Assembly. Assembly in mechanical engineering, instrument making. 2009. №10.
9. Engle R.E., Granger C.W.J. Cointegration and Error Correction: Representation, Estimation and Testing // Econometrica, 1987. – Vol. 55. – P. 251-276.p.

Osipov Konstantin Nikolaevich

Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation, PhD, Docent (Associate Professor), Department of Instrument systems and Automation of Technological Processes 299053, Sevastopol, Universytetskay st. 33.
Тел. +7(8692)-55-00-77,
Email: assistenttmm@mail.ru

УДК 681.58: 697.3

DOI: 10.33979/2073-7408-2021-345-1-146-151

С.П. ПЕТРОВ, К.В. ПОДМАСТЕРЬЕВ, Н.И. МАРКИН,
В.В. МАРКОВ, О.С. НИКИТЕНКО

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

Аннотация. *Рассматриваются вопросы оценки 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 / 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 / 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 / К.В. Подмастерьев, О.С. Петрова // Контроль. Диагностика, 2010. – № 5. – С. 45-57.

6. Подмастерьев, К.В. Устройство регулирования температуры воздуха в помещениях / К.В. Подмастерьев, О.С. Петрова // Датчики и системы, 2008. - № 6. – С. 14-18.

7. Маркин, Н.И., Качественно-количественное управление температурным режимом зданий / 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.

8. Подмастерьев, К.В. Датчик температуры воздуха в однотрубных системах отопления // К.В. Подмастерьев, О.С. Петрова // Мир Измерений, 2010. - № 1. – С. 36-41.

9. Петров, С. П. Зависимость динамических характеристик объекта управления и параметров регулятора в функционально завершенной САУ когенерационной системы теплоснабжения / С.П. Петров // Справочник. Инженерный журнал, 2006. - № 5. - С. 53-57.

10. Подмастерьев, К.В. Экспериментальные исследования статической характеристики датчика температуры устройства контроля и регулирования температуры воздуха в помещении лечебно-профилактического учреждения / К.В. Подмастерьев, О.С. Петрова // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, 2008. – № 2. – С. 71-75.

Петров Сергей Петрович

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

Марков Владимир Владимирович

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева», кандидат технических наук, доцент, и. о. зав. кафедрой «Приборостроение, метрология и сертификация». 302026, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95, тел. +79202880801,
E-mail: E-mail: pms35vm@yandex.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. +7-953-615-59-31,
E-mail: asms-orel@mail.ru

Никитенко Ольга Сергеевна

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева», кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизированные системы управления и кибернетика», 302026, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95,
тел.+79192600776,
E-mail: lavanda777@bk.ru

Маркин Николай Иванович

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

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

Abstract. *The issues of assessing the impact of improving the quality of thermal and hydraulic control on the efficiency of a combined district heating system are considered.*

Keywords: *quality, management, efficiency, heat supply.*

BIBLIOGRAPHY

1. Petrov S.P. Issledovanie rezhimov raboty abonentskogo vvoda kombinirovannoj sistemy teplo-snabzheniya // Spravochnik. Inzhenernyj zhurnal, 2007. – № 1. – S. 50 - 56.
2. Sokolov E. YA. Teplofikaciya i teplovyje seti: Uchebnik dlya vuzov. - 7-e izd., stereot. – M.: Izdatel'-stvo MEHI, 2001. – 472 s.
3. Petrov, S.P. Opredelenie granichnykh uslovij pri parametricheskom sinteze sistemy upravleniya temperaturnym rezhimom zdaniya [Tekst] / S.P. Petrov, K.V. Podmaster'ev, A.V. Pilipenko, K.D. Shorin // Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii, 2017. - № 5. – S. 184-190.
4. Petrov, S.P., Kontrol' i optimizaciya rezhimov raboty abonentskogo vvoda kombinirovannoj sistemy teplosnabzheniya [Tekst] / S.P. Petrov, K.V. Podmaster'ev, O.S. Nikitenko, M.I. Konishchev, V.I. Korobko // Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii, 2019. - № 3. – S. 142-150.
5. Podmaster'ev, K.V. Ustrojstvo kontrolya i regulirovaniya temperatury vozdukha dlya pomeshchenij, oborudovannykh odnotrubnoj sistemoy otopeniya [Tekst] / K.V. Podmaster'ev, O.S. Petrova // Kontrol'. Dia-gnostika, 2010. – № 5. – S. 45-57.
6. Podmaster'ev, K.V. Ustrojstvo regulirovaniya temperatury vozdukha v pomeshcheniyakh [Tekst] / K.V. Podmaster'ev, O.S. Petrova // Datchiki i sistemy, 2008. - № 6. – S. 14-18.
7. Markin, N.I., Kachestvenno-kolichestvennoe upravlenie temperaturnym rezhimom zdaniy [Tekst] / S.P. Petrov, A.V. Pilipenko, N.I. Markin, O.S. Nikitenko, A.YU. Pilipenko, N.K. Sharifov // Informacion-nye sistemy i tekhnologii, 2019. – № 4. – S. 56- 66.
8. Podmaster'ev, K.V. Datchik temperatury vozdukha v odnotrubnykh sistemakh otopeniya [Tekst] // K.V. Podmaster'ev, O.S. Petrova // Mir Izmerenij, 2010. - № 1. – S. 36-41.
9. Petrov, S. P. Zavisimost' dinamicheskikh kharakteristik ob"ekta upravleniya i parametrov regula-tora v funkcional'no zavershennoj SAU kogeneracionnoj sistemy teplosnabzheniya [Tekst] / S.P. Petrov // Spravochnik. Inzhenernyj zhurnal, 2006. - № 5. - S. 53-57.
10. Podmaster'ev, K.V. Ehksperimental'nye issledovaniya staticheskoy kharakteristiki datchika tempe-ratury ustrojstva kontrolya i regulirovaniya temperatury vozdukha v pomeshchenii lechebno-profilakticheskogo uchrezhdeniya [Tekst] / K.V. Podmaster'ev, O.S. Petrova // Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii, 2008. – № 2. – S. 71-75.

Petrov Sergey Petrovich.

Orel State University named after I. S. Turgenev, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Automated Control Systems and Cybernetics, 95 Komsomolskaya str., Orel, 302026, tel. +79536155931, E-mail: nayka.ya@yandex.ru

Podmaster'ev Konstantin Valentinovich.

Orel State University named after I. S. Turgenev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the Institute of Instrument Engineering, Automation and Information Technologies, 95 Komsomolskaya str., Orel, 302026, tel. +7-953-615-59-31, E-mail: asms-orel@mail.ru

Markin Nikolay Ivanovich.

Orel State University named after I. S. Turgenev, Candidate of Technical Sciences, Acting Head of the Department "Automated Control Systems and Cybernetics". 95 Komsomolskaya str., Orel, 302026, tel. +79202880801, E-mail: E-mail: nim2009@inbox.ru

Markov Vladimir Vladimirovich.

Orel State University named after I. S. Turgenev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Acting Head of the Department of Instrument Engineering, Metrology and Certification. 95 Komsomolskaya str., Orel, 302026, tel. +79202880801, E-mail: E-mail: pms35vm@yandex.ru

Nikitenko Olga Sergeevna.

Orel State University named after I. S. Turgenev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Automated Control Systems and Cybernetics, 95 Komsomolskaya str., Orel, 302026, tel.+79192600776, E-mail: lavanda777@bk.ru

П.Н. ШКАТОВ, И.Г. КУЗУБ, А.А. ЕРМОЛАЕВ

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ГЛУБИНЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТРЕЩИН НА ПЕРЕМЕННОМ ТОКЕ В НЕМАГНИТНЫХ ОБЪЕКТАХ

Аннотация. В работе приведены результаты исследования электропотенциальных сигналов при измерениях глубины поверхностных трещин на переменном токе в магнитных и немагнитных объектах. Электропотенциальные сигналы в диапазоне частот приведены в виде годографов начального и вносимого трещиной комплексов напряжений, а также в виде градуировочных характеристик. Показаны особенности измерений в неферромагнитных объектах. Проведен анализ влияния удельной электрической проводимости и частоты тока при измерении глубины трещин в неферромагнитных объектах.

Ключевые слова: электропотенциальный метод, переменный ток, измерение глубины поверхностных трещин, ферромагнитные и немагнитные объекты контроля.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания в сфере науки - проект № 0706-2020-0024.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неразрушающий контроль. Вавилов В.П., Подмастерьев К.В., Соснин Ф.Р., Корндорф С.Ф., Ногачева Т.И., Пахолкин Е.В., Бондарева Л.А., Мужичкий В.Ф. Справочник в 8 томах / Под общей редакцией В.В. Клюева. М., 2006. Том 5 Книга 1 Тепловой контроль. Книга 2 Электрический контроль (2-е издание, исправленное).
2. G. Sposito, P. Cawley, and P. V. Nagy. Potential drop data inversion for crack depth profiling. In D. O. Thompson and D. E. Chimenti, editors, Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation, vol. 27A, pp. 618 - 624. American Institute of Physics, Melville, NY, 2008.
3. Manoj K Raja, S Mahadevan, B P C Rao, S P Behera, T Jayakumar and Baldev Raj Influence of crack length on crack depth measurement by an alternating current potential drop technique// Measurement Science and Technology.- vol. 21.- № 10.- 2010.
4. Шкатов П.Н., Мякушев К.В., Малиновский А.К., Измерение глубины трещин электропотенциальным методом с учетом нескольких параметров, влияющих на регистрируемые напряжения// Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии.- № 4 (306).- 2014.- 133-138.
5. Okada H., Zhao W., Atluria S. N. Computational approach to determining the depth of surface flaws by the technique // Engineering Fracture Mechanics Vol. 43, No. 6, pp. 911-921, 1992.
6. Шкатов П.Н., Черненко П.И. Теоретическое исследование выходных характеристик электропотенциального преобразователя при его взаимодействии с наклонными трещинами конечной длины // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – № 6 (293). – 2012.– С. 48-52.
7. Shkatov P.N. Estimation of methodical and instrumental errors at measurement of crack depth with electric-potential method// Defektoskopiya. -1993.- № 8. -С. 72-77.
8. Шкатов П.Н., Елисов А.А. Измерение глубины поверхностных трещин на сложнопрофильных участках электропотенциальным методом // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - 2013. - № 1 (297). - С. 133-137.
9. Шкатов П.Н., Лисицина И.О. Сравнительное исследование дефектометрических электропотенциальных преобразователей с различным размещением электродов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - 2016. - № 1 (315). - С. 105-110.
10. Шкатов П.Н., Кузуб И.Г., Ермолаев А.А. Компьютерное моделирование взаимодействия электропотенциального преобразователя с поверхностной трещиной при использовании переменного тока// Приборы. – 2019.–№5 (227). – С. 49-55.
11. Corcoran J., Nagy P. V. Compensation of the Skin Effect in Low-Frequency Potential Drop Measurements // Nondestructive Evaluation (2016) 35, 58 (2016). <https://doi.org/10.1007/s10921-016-0374-4>
12. Corcoran J., Davies C. M., Cawley P., Nagy B. A Quasi-DC Potential Drop Measurement System for Material Testing // IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT, VOL. 69, № 4, April 2020.- pp. 1313 – 1326.
13. Шкатов П. Н., Сандуляк А.А., Кузуб И. Г., Ермолаев А. А. Исследование сигнала, питаемого переменным током электропотенциального преобразователя при изменении параметров ферромагнитных объектов с трещиной // Приборы. 2020. № 6(240). С. 22 – 31.
14. Lu Y.; Bowler J. R., Zhang C., Bowler N., Edge effects in four point direct current potential drop measurement (2008). Center for Nondestructive Evaluation Conference Papers, Posters and Presentations. 88. https://lib.dr.iastate.edu/cnde_conf/88
15. Bowler J. R. and Bowler N. Theory of four-point alternating current potential drop measurements on conductive plates // Proceedings the Royal of Society A (2007) 463, pp. 817-836.

16. Saguy H, Rittel D. Bridging thin and thick skin solutions for alternating currents in crack conductors. Appl Phys Lett J 2005; 87: 84103–84103/3
17. Saguy H., Rittel D. Flaw detection in metals by the ACPD technique: Theory and experiments. - NDT&E International 2007. – Vol. 40, Issue 7.- pp. 505-509.
18. Corcoran J., Davies C. M., Cawley P., Nagy P. B., A Quasi-DC Potential Drop Measurement System for Material Testing // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement 2020. – Vol. 69.- Issue 4.- pp. 1313 – 1326.
19. Трещиномер электропотенциальный 281М. Руководство по эксплуатации.- НПО «Машпроект», г. Санкт – Петербург.
20. Cost H., Deutsch V., Ettl P., Platte M. Crack Depth Measurement - Modern Measuring Technique for a Well-known Method// NDTnet – June.- 1996.- Vol. 1.- № 6.
21. Шкатов П. Н., Кузуб И. Г., Ермолаев А. А. Оценка погрешности измерения глубины поверхностных трещин электропотенциальным методом на переменном токе // Контроль. Диагностика. 2020. Т. 23, № 11. С. 36 – 46. DOI 10.14489/td.2020.11.pp.036-046
22. RMG – 4015 Crack Depth Gauge Brochure // <https://content.ndtupply.com/assets/product-files/RMG-4015-Crack-Depth-Gauge-Brochure.pdf?clientId=482602879.1609342447>.
23. RMG – 4015 Crack Depth Gauge Technical Data Sheet // <https://content.ndtupply.com/assets/product-files/RMG-4015-Crack-Depth-Gauge-Technical-Data-Sheet.pdf?clientId=482602879.1609342447>.
24. Utrata D., Enyart D. Effect of Varying Inspection Parameters in Crack Depth Measurements Using Potential Drop Method // Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation, eds. D. E. Chimenti and L. J. Bond (American Institute of Physics 1650, Melville, NY) 34, 353–360 (2015).
25. K.M. Tarnowski, D.W. Dean, K.M. Nikbin, C.M. Davies, Predicting the influence of strain on crack length measurements performed using the potential drop method // Engineering Fracture Mechanics, Vol. 182, 2017, pp. 635-657.

Шкатов Пётр Николаевич
 ФГБОУ МИРЭА - Российский
 технологический университет, г.
 Москва
 д.т.н., профессор,
 профессор кафедры «Физики и химии
 материалов им. Б.А. Догадкина»
 107996, г. Москва, ул. Стромьнка,
 д.20
 тел. +7 (499) 681-33-56
 e-mail - petr_shkatov@mail.ru

Кузуб Ирина Георгиевна
 ФГБОУ МИРЭА -
 Российский
 технологический
 университет, г. Москва
 аспирантка кафедры
 «Электротехнических
 систем»
 107996, г. Москва, ул.
 Стромьнка, д.20
 тел. +7 (499) 681-33-56
 e-mail - kuzubi@mail.ru

Ермолаев Алексей Александрович
 ФГБОУ МИРЭА - Российский
 технологический университет, г.
 Москва
 аспирант кафедры
 «Электротехнических систем»
 107996, г. Москва, ул. Стромьнка,
 д.20
 тел. +7 (499) 681-33-56
 e-mail - konig834@mail.ru

P.N. SHKATOV, I.G. KUZUB, A.A. ERMOLAEV

FEATURES OF MEASURING THE DEPTH OF SURFACE CRACKS BY THE ELECTROPOTENTIAL METHOD ON AN ALTERNATING CURRENT IN NON-MAGNETIC OBJECTS

Abstract. *The paper presents the results of the study of electropotential signals when measuring surface cracks on alternating current in magnetic and non-magnetic objects. Electropotential signals in the frequency range in the form of hodographs of the initial and fractured stress complexes, as well as in the form of calibration characteristics. Problems of measurement features in non-ferromagnetic objects. The analysis of the influence of specific electrical conductivity and current frequency when measuring the depth of cracks in non-ferromagnetic objects*

Keywords: *electropotential method, alternating current, measurement of the depth of surface cracks, ferromagnetic and non-magnetic objects of control.*

BIBLIOGRAPHY

1. Nerazrushayushchiy kontrol. Vavilov V.P., Podmasteryev K.V., Sosnin F.R., Korndorf S.F., Nogacheva T.I., Pakholkin E.V., Bondareva L.A., Muzhitskiy V.F. Spravochnik v 8 tomakh / Pod obshchey redaktsiyey V.V. Klyuyeva. M.. 2006. Tom 5 Kniga 1 Teplovoy kontrol. Kniga 2 Elektricheskiy kontrol (2-e izda-niye. ispravlennoye).
2. G. Sposito, P. Cawley, and P. B. Nagy. Potential drop data inversion for crack depth profiling. In D. O. Thompson and D. E. Chimenti, editors, Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation, vol. 27A, pp. 618 - 624. American Institute of Physics, Melville, NY, 2008.
3. Manoj K Raja, S Mahadevan, B P C Rao, S P Behera, T Jayakumar and Baldev Raj Influence of crack length on crack depth measurement by an alternating current potential drop technique// Measurement Science and Technology.- vol. 21.- № 10.- 2010.

4. Shkatov P. N., Myakushev K. V., Malinovskiy A. K. Measurement of the crack depth by the electro-potential method, taking into account several parameters that affect the recorded stresses // *Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii.* – 2014. – № 4 (306), pp. 133 – 138. [in Russian language]
5. Okada H., Zhao W., Atluria S. N. Computational approach to determining the depth of surface flaws by the technique // *Engineering Fracture Mechanics.* – 1992. – Vol. 43, №. 6, pp. 911-921.
6. Shkatov P.N., Chernenko P.I. Theoretical study of the output characteristics of an electro-potential probe during its interaction with inclined cracks of finite length // *Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii.* – № 6 (293). – 2012. – pp. 48-52.
7. Shkatov P.N. Estimation of methodical and instrumental errors at measurement of crack depth with electric-potential method// *Defektoskopiya.* –1993. – № 8. – pp. 72-77.
8. Shkatov P.N., Elisov A.A. Measurement of the depth of surface cracks in complex-profile areas using the electro-potential method // *Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii.* – 2013. – № 1 (297). – pp. 133-137. [in Russian language]
9. Shkatov P.N., Lisitsina I.O. Comparative study of defectometric electro-potential probes with different placement of electrodes // *Fundamental and applied problems of engineering and technology.* - 2016. - № 1 (315). - pp. 105-110. [in Russian language]
10. Shkatov P. N., Kuzub I. G., Ermolaev A. A. (2019). Computer simulation of the interaction of an electro-potential probe with a surface crack when using alternating current // *Pribory,* № 5 (227).– pp. 49 – 55. [in Russian language]
11. Corcoran J., Nagy P. B. Compensation of the Skin Effect in Low-Frequency Potential Drop Measurements // *Nondestructive Evaluation* (2016) 35, 58 (2016). <https://doi.org/10.1007/s10921-016-0374-4>
12. Corcoran J., Davies C. M., Cawley P., Nagy B. A Quasi-DC Potential Drop Measurement System for Material Testing // *IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT,* VOL. 69, № 4, April 2020.- pp. 1313 – 1326.
13. Shkatov P.N., Sandulyak A.A., Kuzub I.G., Ermolaev A.A. Investigation of a signal supplied by an alternating current to an electro-potential probe when the parameters of ferromagnetic objects with a crack change // *Pribory.* –2020. –№ 6 (240). pp. 22 - 31. [in Russian language]
14. Lu Y.; Bowler J. R., Zhang C., Bowler N., Edge effects in four point direct current potential drop measurement (2008). Center for Nondestructive Evaluation Conference Papers, Posters and Presentations. 88. https://lib.dr.iastate.edu/cnde_conf/88
15. Bowler J. R. and Bowler N. Theory of four-point alternating current potential drop measurements on conductive plates // *Proceedings the Royal of Society A* (2007) 463, pp. 817-836.
16. Saguy H, Rittel D. Bridging thin and thick skin solutions for alternating currents in crack conductors. *Appl Phys Lett J* 2005; 87: 84103–84103/3
17. Saguy H., Rittel D. Flaw detection in metals by the ACPD technique: Theory and experiments. - *NDT&E International* 2007. – Vol. 40, Issue 7.- pp. 505-509.
18. Corcoran J., Davies C. M., Cawley P., Nagy P. B., A Quasi-DC Potential Drop Measurement System for Material Testing // *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* 2020. – Vol. 69.- Issue 4.- pp. 1313 – 1326.
19. Electro-potential crack gauge 281M. Operation manual. - NPO "Mashproekt", St. Petersburg.
20. Cost H., Deutsch V., Ettl P., Platte M. Crack Depth Measurement - Modern Measuring Technique for a Well-known Method// *NDTnet* – June.- 1996.- Vol. 1.- № 6.
21. Shkatov P. N., Kuzub I. G., Ermolaev A. A. (2020). Estimation of the error in measuring the depth of surface cracks by the electro-potential method on alternating current. *Kontrol'. Diagnostika,* Vol. 23, (11), pp. 36 – 46. DOI 10.14489/td.2020.11.pp.036-046. [in Russian language]
22. RMG – 4015 Crack Depth Gauge Brochure // <https://content.ndtupply.com/assets/product-files/RMG-4015-Crack-Depth-Gauge-Brochure.pdf?clientId=482602879.1609342447>.
23. RMG – 4015 Crack Depth Gauge Technical Data Sheet // <https://content.ndtupply.com/assets/product-files/RMG-4015-Crack-Depth-Gauge-Technical-Data-Sheet.pdf?clientId=482602879.1609342447>
24. Utrata D., Enyart D. Effect of Varying Inspection Parameters in Crack Depth Measurements Using Potential Drop Method // *Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation,* eds. D. E. Chimenti and L. J. Bond (American Institute of Physics 1650, Melville, NY) 34, 353–360 (2015).
25. K.M. Tarnowski, D.W. Dean, K.M. Nikbin, C.M. Davies, Predicting the influence of strain on crack length measurements performed using the potential drop method // *Engineering Fracture Mechanics,* Vol. 182, 2017, pp. 635-657.

Shkatov Petr Nikolaevich

Dr. Sc., professor
professor of the Chemistry of Materials
named after B.A. Dogadkin of Moscow
technological university,
107996, Moscow, Stromynka st.,20
Ph.: +7 (499) 681-33-56
E-mail: petr_shkatov@mail.ru

Kuzub Irina Giorgievna

Postgraduate Student,
Department of Electrical
Systems of Moscow
technological university,
107996, Moscow, Stromynka
st.,20
Ph.: +7 (499) 681-33-56
E-mail: kuzubi@mail.ru

Ermolaev Aleksey Aleksandrovich

Postgraduate Student,
Department of Electrical Systems of
Moscow technological university,
107996, Moscow, Stromynka st.,20
Ph.: +7 (499) 681-33-56
E-mail: konig834@mail.ru

Е.Н. РЫЖКОВА, Е.П. МЛАДЗИЕВСКИЙ

ОЦЕНКА УЩЕРБА ОТ ТЕПЛООВОГО СТАРЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ПРИ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЯХ НА ЗЕМЛЮ

Аннотация. Предложена методика расчета составляющей суммарного ущерба от однополюсных замыканий, связанного с интенсивным тепловым старением изоляции сетей от протекания токов высших гармоник. Убытки, вызванные сокращением срока службы изоляции оборудования, зависят от технического состояния нейтрали сети. На основе теории надежности показано, что оптимальным решением с точки зрения подавления высших гармоник и улучшения условий работы изоляции является режим высокоомного резистивного заземления. Разработанная методика может быть использована как на стадии проектирования при решении вопроса о режиме нейтрали, так и при анализе показателей эффективности эксплуатируемых сетей.

Ключевые слова: гармонические составляющие тока однофазного замыкания, тепловое старение изоляции, режим нейтрали.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лихачев, Ф.А. Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией емкостных токов. – М.: Энергия, 1971. – 152 с.
2. Ryzhkova, Y.N., Tsyruk, S.A. Ferroresonance suppression in distribution networks //2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM) Year: 2016 Pages: 1 - 4:
3. Фёдоров, М.М., Лужнев, А.И., Боев, А.Е. Оценка сроков службы изоляции электрических машин // Научные труды Донецкого национального технического университета. 2011. – № 10 (180). – С. 200 – 203.
4. Бернштейн, Л. М. Изоляция электрических машин общего назначения. – М.: Энергоиздат, 1981. – 376 с.
5. Долингер, С.Ю., Лютаревич, А.Г., Горюнов В.Н., Сафонов Д.Г., Черемисин В.Т. Оценка дополнительных потерь мощности от снижения качества электрической энергии в элементах систем электроснабжения // Омский научный вестник. 2013. № 2 (120). С. 178-183.
6. Младзиевский, Е.П., Рыжкова, Е.Н. Сравнительный анализ аварийности распределительных сетей в условиях однофазного замыкания на землю // Энерго- и ресурсосбережение – XXI век.: материалы XVII международной научно-практической интернет-конференции, 2 – 4 декабря 2019 г. – Орёл: ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева», 2019
7. РД 34.20.574. Указания по применению показателей надежности элементов энергосистем и работы энергоблоков с паротурбинными установками
8. Винокурова, Т.Ю., Шагурина, Е.С., Шуин, В.А. Математическая модель для оценки минимального уровня высших гармоник в токе однофазного замыкания на землю в компенсированных сетях 6–10 кВ // Вестник ИГЭУ. – 2013. – № 6. – С.35 – 41.
9. Ильиных, М.В., Ширковец, А.И., Кузьмин, А.А., Волокитин, И.Е. Исследование процессов при металлических и дуговых ОЗЗ в условиях резистивно-заземлённой и изолированной нейтрали в сети 6 кВ ПС «Карьерная-2» ОАО «Разрез Тугнуйский» // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2011. С. 344 – 360.
10. Рыжкова, Е. Н. О некоторых аспектах применения резистивного заземления нейтрали // Промышленная энергетика. - 2016. - № 10. –С. 54 – 61.
11. Козлов, В.Н., Булычев, А.В., Соловьев, И.В. Комплекс оборудования для управляемого заземления нейтрали в сетях 6–35 кВ // Энергетика. - 2017.- № 2. – С.18-20.
12. Шалин, А.И. Замыкания на землю в сетях 6–35 кВ. Достоинства и недостатки различных защит // Новости ЭлектроТехники. – 2005. – № 3 (33). – С.15-19.
13. Волков, Н.Г., Сивков, А.А., Сайгаш, А.С. Надежность электроснабжения: учебное пособие / Томский политехнический университет. – 2-е изд., доп. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 160 с.

Рыжкова Елена Николаевна
ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ» г. Москва
профессор кафедры ЭППЭ
11250, Москва ул. Красноказарменная, 14
Тел.: 89251895152
E-mail: RyzhkovaYN@mpei.ru

Младзиевский Евгений Павлович, ФГБОУ ВО
НИУ «МЭИ» г. Москва
аспирант кафедры ЭППЭ
11250, Москва, ул. Красноказарменная, 14
Тел.: 89778075497
E-mail: ev.mladzievskiy@gmail.com

Ye.N. RYZHKOVA, E.P. MLADZIEVSKIY

ESTIMATION OF DAMAGE FROM THERMAL AGING OF INSULATION IN SINGLE-PHASE EARTH FAULTS

Abstract. A method is proposed for calculating the component of the total damage from single-pole short-circuits associated with intense thermal aging of the network insulation from the flow of higher harmonic currents. Losses caused by reduced service life of equipment insulation are directly related to the neutral condition of the network. Based on the theory of reliability, it is shown that the optimal solution from the point of view of suppressing higher harmonics and improving the operating conditions of insulation is the high-resistance resistive grounding mode. The developed methodology can be used both at the design stage when deciding on the neutral mode, and when analyzing the efficiency indicators of operating networks.

Keywords: harmonic components of a single-phase fault current, thermal aging of insulation, neutral mode.

BIBLIOGRAPHY

1. Likhachev, F.A. Zamykaniya na zemlyu v setyakh s izolirovannoy neytral'yu i s kompensatsiyey yemkostnykh tokov. – M.: Energiya, 1971. – 152 s.
2. Ryzhkova, Y.N., Tsyruk, S.A. Ferroresonance suppression in distribution networks //2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM) Year: 2016 Pages: 1 - 4:
3. Fodorov, M.M., Luzhnev, A.I., Boyev, A.Ye. Otsenka srokov sluzhby izolyatsii elektricheskikh mashin // Nauchnyye trudy Donetskogo natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta. 2011. – № 10 (180). – S. 200 – 203.
4. Bernshteyn, L. M. Izolyatsiya elektricheskikh mashin obshchego naznacheniya. – M.: Energoizdat, 1981. – 376 s.
5. Dolinger, S.YU., Lyutarevich, A.G., Goryunov V.N., Safonov D.G., Cheremisin V.T. Otsenka dopolnitel'nykh poter' moshchnosti ot snizheniya kachestva elektricheskoy energii v elementakh sistem elektrosnabzheniya // Omskiy nauchnyy vestnik. 2013. № 2 (120). S. 178-183.
6. Mladziyevskiy, Ye.P., Ryzhkova, Ye.N. Sravnitel'nyy analiz avariynosti raspredelitel'nykh setey v usloviyakh odnofaznogo zamykaniya na zemlyu // Energo- i resursosberezhniye – XXI vek.: materialy XVII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy internet-konferentsii, 2 – 4 dekabrya 2019 g. – Orol: FGBOU VO «OGU im. I.S. Turgeneva», 2019.
7. RD 34.20.574. Ukazaniya po primeneniyu pokazateley nadezhnosti elementov energosistem i raboty energoblokov s paroturbinnymi ustanovkami
8. Vinokurova, T.YU., Shagurina, Ye.S., Shuin, V.A. Matematicheskaya model' dlya otsenki minimal'nogo urovnya vysshikh garmonik v toke odnofaznogo zamykaniya na zemlyu v kompensirovannykh setyakh 6–10 kV // Vestnik IGEU. – 2013. – № 6. – S.35 – 41.
9. Il'nykh, M.V., Shirkovets, A.I., Kuz'min, A.A., Volokitin, I.Ye. Issledovaniye protsessov pri metallicheskih i dugovykh OZZ v usloviyakh rezistivno-zazemlonnoy i izolirovannoy neytrali v seti 6 kV PS «Kar'yernaya-2» OAO «Razrez Tugnuyskiy» // Gornyy informatsionno-analiticheskii byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal). 2011. S. 344 – 360.
10. Ryzhkova, Ye. N. O nekotorykh aspektakh primeneniya rezistivnogo zazemleniya neytrali // Promyshlennaya energetika. - 2016. - № 10. –S. 54 – 61.
11. Kozlov, V.N., Bulychev, A.V., Solov'yev, I.V. Kompleks oborudovaniya dlya upravlyayemogo zazemleniya neytrali v setyakh 6–35 kV // Energetika. - 2017.- № 2. – S.18-20.
12. Shalin, A.I. Zamykaniya na zemlyu v setyakh 6–35 kV. Dostoinstva i nedostatki razlichnykh zashchit // Novosti ElektroTekhniki. – 2005. – № 3 (33). – S.15-19.
13. Volkov, N.G., Sivkov, A.A., Saygash, A.S. Nadezhnost' elektrosnabzheniya: uchebnoye posobiye / Tomskiy politekhnicheskii universitet. – 2-ye izd., dop. – Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2011. – 160 s.

Ryzhkova Elena Nikolaevna

Moscow Power Engineering Institute National Research University, Moscow
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Power Supply of Industrial Enterprises and Electrical Technologies
11250, Moscow, st. Krasnokazarmennaya, 14
Ph: 89251895152
E-mail:RyzhkovaYN@mpei.ru

Mladzievskiy Evgeny Pavlovich

Moscow Power Engineering Institute National Research University, Moscow
graduate student of Department of Power Supply of Industrial Enterprises and Electrical Technologies
11250, Moscow, st. Krasnokazarmennaya, 14
Ph: 89778075497
E-mail:ev.mladzievskiy@gmail.com

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 19.02.2021 г.
Дата выхода в свет
Формат 60x88 1/8. Усл. печ. л. 10,625
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