

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)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Сухоруков А.Л. Использование рифленых поверхностей для улучшения гидродинамических, кавитационных и акустических характеристик крыльев и лопастных систем движителей (обзор).....	3
Попов И.П. Дифференциальные уравнения трогания поезда с упругими связями.....	18

Механика деформируемого твердого тела, динамика и прочность

Поддубный А.А., Гордон В.А., Потураева Т.В. Динамическое догружение стержня при внезапном изменении структуры упругого основания.....	27
---	----

Машиностроительные технологии и оборудование

Неменко А.В., Никитин М.М. Построение оптимального технического обслуживания технологической линии.....	42
Неменко А.В., Никитин М.М. Оценка нагрузочной способности слабого звена сложной механической системы.....	51
Крупеня Е.Ю., Черепенько А.А., Минаева Е.М., Симушкин А.В., Моргунов Л.В. Активация поверхности металла при вибрационной механохимической обработке.....	58
Звягина Е.А., Мальцев А.Ю., Данильченко С.Г., Петрухин А.В., Титов Д.И. Разработка модели обкатывания оболочек роликами в Deform-3D.....	64
Пешехонов К.Ю., Тарапанов А.С. Разработка метода прогнозирования точности спиридных колес.....	71
Колосовский А.М., Вихтевский В.И., Тристанова Е.Б., Черкашина Е.Ф. Анализ развития комбинированных электрофизических методов упрочнения деталей машин и инструмента.....	77
Кожус О.Г., Барсуков Г.В., Шоркин В.С., Фроленкова Л.Ю. Особенности нанесения полимера на поверхность абразивного зерна для повышения эффективности гидроабразивного резания.....	86
Харченко А.О., Харченко А.А. Анализ и исследование переналаживаемости оборудования для внутренней мелкоразмерной резьбообработки.....	93
Головин В.И., Радченко С.Ю. Модель прогнозирования осевой силы резания при сверлении одноплазменных углепластиков с учетом износа режущего инструмента.....	100

Машиноведение и мехатроника

Ахвердиев К.С., Болгова Е.А., Лагунова Е.О., Куманин С.В. Гидродинамический расчет клиновидной системы «ползун - направляющая», работающей на сжимаемом смазочном материале в условиях наличия расплава на поверхности направляющей.....	109
Дорофеев О.В., Воробьев В.И., Борзенков М.И., Измеров О.В., Злобин С.Н. Тяговый привод локомотивов с высокомоментным коллекторным тяговым электродвигателем.....	118
Поляков А.М., Пахалюк В.И. Модель смазки сжатой пленкой в парах трения.....	130
Фетисов А.С., Корнаев А.В. Опора скольжения с изменяемыми динамическими характеристиками: результаты моделирования и верификация полученных результатов.....	140
Родичев А.Ю., Токмакова М.А., Паничкин А.В., Токмаков Н.В. Концепция мехатронного конического подшипника качения.....	146
Сытин А.В., Киричек А.А., Иванов О.А., Внуков С.С. Расчет динамических характеристик радиальных лепестковых подшипников микротурбин систем распределенной энергетики.....	150
Горин А.В., Поляков Р.Н., Грядунова М.А., Родичева И.В. Исследование динамики импульсных гидравлических механизмов с пневматической камерой рабочего хода.....	159

Приборы, биотехнические системы и технологии

Качанов А.Н., Качанов Н.А., Королева Т.Г., Алехина А.С. Анализ электромагнитных и тепловых полей в рабочем зазоре индуктора для нагрева металлических изделий в поперечном электромагнитном поле.....	166
Беляев А.В., Поляков Р.Н. Анализ надежного состояния силовой электроники путем контроля теплоэлектрических параметров.....	172

Контроль, диагностика, испытания и управление качеством

Хетчиков Д.М., Панков Б.Б., Малькута А.В. Методика юстировки радиолокационной станции по эталонным данным международной службы лазерной локации.....	178
--	-----

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)

Smolenzev 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

- Sukhorukov A.L. Use of grooved surfaces to improve hydrodynamic, cavitation and acoustic characteristics of wings and elements of vane propulsion systems (review)..... 3
Popov I.P. Differential equations for train starting with elastic connections..... 18

Mechanics of deformable solids, dynamics and strength

- Poddubny A.A., Gordon V.A., Poturaeva T.V. Dynamic loading of the rod in case of a sudden change in the structure of the elastic base..... 27

Machine-building technologies and equipment

- Nemenko A.V., Nikitin M.M. Construction of technology line optimum maintenance..... 42
Nemenko A.V., Nikitin M.M. Estimation of loading capacity of a detail subjected to cyclic load..... 51
Krupenya E.Yu., Cherepenko A.A., Minaeva E.M., Simushkin A.V., Morgunov L.V. Activation of the metal surface during vibration mechanochemical treatment..... 58
Zvyagina E.A., Maltsev A.Yu., Danilchenko S.G., Petrukhin A.V., Titov D.I. Development of a roller wrapping model in Deform-3D..... 64
Peshekhonov K.Yu., Tarapanov A.S. Development of a method for predicting the accuracy of spiroid wheels..... 71
Kolosovskii A.M., Vichtevskii V.I., Cherkashina E.F., Tristanova E.B. The development of combined electrophysical methods of machine and instrument parts hardening analysis..... 77
Kozhus O.G., Barsukov G.V., Shorkin V.S., Frolenkova L.Yu. Features of applying the polymer to the surface of the abrasive grain to improve the efficiency of waterjet cutting..... 86
Kharchenko A.O., Kharchenko A.A. Analysis and research of adjustability of equipment for internal small-sized threading..... 93
Golovin V.I., Radchenko S.Yu. Thrust force prediction model for drilling unidirectional carbon plastics with wear of the cutting tool..... 100

Machine Science and Mechatronics

- Akhverdiev K.S., Bolgova E.A., Lagunova E.O., Kumanin S.V. Hydrodynamic calculation of a wedge-shaped system «slider – guide» operating on a compressible lubricant in the presence of melt on the surface of the guide..... 109
Dorofeev O.V., Vorobyev V.I., Borzenkov M.I., Izmerov O.V., Zlobin S.N. Traction drive of locomotives with high momentum collector traction electric motor..... 118
Poliakov A.M., Pakhaliuk V.I. Squeeze-film lubrication in friction pairs..... 130
Fetisov A.S., Kornae A.V. Journal bearing with variable dynamic characteristics: simulation results and verification..... 140
Rodichev A.Yu., Tokmakov N.V., Griadunova M.A., Ivanov A.O. Concept of mechatronic conical rolling bearing..... 146
Sytn A.V., Kirichek A.A., Ivanov O.A., Vnuykov S.S. The calculation of dynamic characteristics of bearings radial petal micro-turbines distributed power systems..... 150
Gorin A.V., Polyakov R.N., Gryadunova M.A., Rodicheva I.V. Study of the dynamics of pulse hydraulic mechanisms with pneumatic stroke chamber..... 159

Devices, biotechnical systems and technologies

- Kachanov A.N., Kachanov N.A., Koroleva T.G., Alyokhina A.S. Analysis of electromagnetic and thermal fields in the working gap of the inductor for heating metal products in a transverse electromagnetic field..... 166
Belyaev A.V., Polyakov R.N. Analysis of the reliable state of power electronics by control of thermal electric parameters..... 172

Monitoring, Diagnostics, Testing and Quality Management

- Khetchikov D.M., Pankov B.B., Bulichev S.N., Malkuta A.V. A method of radar station alignment based on reference data of the international laser location service..... 178

А.Л. СУХОРУКОВ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РИФЛЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ, КАВИТАЦИОННЫХ И АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КРЫЛЬЕВ И ЛОПАСТНЫХ СИСТЕМ ДВИЖИТЕЛЕЙ (ОБЗОР)

Аннотация. В работе проведен обзор использования рифленых поверхностей и пилообразных (шевроновых) кромок для управления параметрами потока у крыльев, лопастей винтов и элементов лопастных систем двигателей, работающих как в газообразной, так и в жидкой среде. Особое внимание уделено физическим механизмам улучшения гидродинамических, кавитационных и акустических характеристик под влиянием рифленой поверхности. Эти механизмы связаны с изменением структуры потока в области ламинарно-турбулентного перехода, особенностями возникновения кавитации и акустического излучения в области выходящих кромок. Приведены результаты верификации расчетных моделей, описывающих поведение потока с учетом ламинарно-турбулентного перехода, применение которых необходимо для исследования течений вблизи рифленой поверхности.

Ключевые слова: рифленая поверхность, пилообразная кромка, гидродинамические характеристики, водометный движитель, лопастная система, кавитация, акустические характеристики, ламинарно-турбулентный переход.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Егоров, Ю.А. Применение пилообразной выходящей кромки лопасти движителя для снижения уровней высокочастотного шума судна / Ю.А. Егоров, А.А. Коваль // Труды Крыловского научного центра. 2019. Т.4, №390, С. 137-150.
2. Williams, J. Aerodynamic sound generation by turbulent flow in the vicinity of a scattering half plane / J. Williams, L. Hall // Journal of Fluid Mechanics. 1970. Vol. 40, № 4. P. 657–670.
3. Howe, M.S. A review of the theory of trailing edge noise / M.S. Howe // Journal of Sound and Vibration. 1978. Vol. 61, № 3. P. 437–465.
4. Ning, Z. An experimental study on the aerodynamics and aeroacoustic characteristics of small propellers of UAV / Z. Ning, H. Hu // Proc. of the 2016 AIAA Science and Technology Forum and Exposition (SciTech2016). New York: Red Hook, 2016. P. AIAA 2016–1785, P. 1–17.
5. Lyu, B. Prediction of noise from serrated trailing-edges / B. Lyu, M. Azarpeyvand, S. Sinayoko // Journal of Fluid Mechanics. 2016. № 793. P. 556–588.
6. Тимошевский, М.В. Кавитация на рифленом двумерном крыле при малом угле атаки / М.В. Тимошевский, К.С. Первунин, Д.М. Маркович // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2018. Т. 329. № 11. С. 25–36.
7. Зверков, И. Д. Перспективы исследований в области малоразмерных летательных аппаратов (обзор) / И.Д. Зверков, А.В. Крюков, Г.Р. Грек // Вестн. Новосиб. гос. ун-та. Серия: Физика. 2014. Т. 9, вып. 2. С. 95–115.
8. Зверков, И. Д. Особенности обтекания прямого и скользящего крыла конечного размаха с гладкой и волнистой поверхностью в области критических углов атаки / И.Д. Зверков, В.В. Козлов, А.В. Крюков // Вестн. Новосиб. гос. ун-та. Серия: Физика. 2012. Т. 7, вып. 4. С. 57–67.
9. Зверков, И.Д. Улучшение аэродинамических характеристик крыла малоразмерного летательного аппарата / И.Д. Зверков, В.В. Козлов, А.В. Крюков // ДАН. Механика. 2011. Т. 441. №4. С. 472–475.
10. Зверков, И.Д. Влияние волнистости поверхности на структуру пограничного слоя и аэродинамические характеристики крыла конечного размаха / И.Д. Зверков, В.В. Козлов, А.В. Крюков // Вестн. Новосиб. гос. ун-та. Серия: Физика. 2011. Т. 6, вып. 2. С. 28–42.
11. Зверков, И.Д. Определение параметров волнистости поверхности для крыла малоразмерного летательного аппарата / И.Д. Зверков, А.В. Крюков, Г.Р. Грек, И.С. Коновалов, Г.Ю. Евтушок // Вестн. Новосиб. гос. ун-та. Серия: Физика. 2015. Т. 10, вып. 3. С. 5–18.
12. Панов, Д.О. Моделирование ламинарно-турбулентного перехода в задаче численного определения кривых действия гребного винта / Д.О. Панов, Е.М. Смирнов, А.Е. Таранов, М.П. Лобачев // Труды ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова. 2013. №78 (362), С. 29-42.
13. Menter, F.R. Correlation-based transition model using local variables. Part 1: Model formulation / F.R. Menter, R.B. Langtry, S.R. Likki, Y.B. Suzen, P.G. Huang, S.A. Völker // ASME J. Turbomachinery. 2006. V. 128. № 3. P. 413–422.
14. Langtry, R.B. Correlation-based transition modeling for unstructured parallelized computational fluid dynamics codes / R.B. Langtry, F.R. Menter // AIAA Journal. 2009. V. 47. № 12. P. 2894–2906.
15. Вожаев, В.В. Численное моделирование положения ламинарно-турбулентного перехода на крыле с ламинаризованным профилем LV6 / В.В. Вожаев, А.Ф. Киселев, Д.С. Сбоев, Л.Л. Теперин, С.В. Чернышев // Ученые записки ЦАГИ. 2013. Т. XLIV, № 1, С. 43 – 51.

16. Вождаев, В.В. Сравнение результатов расчета положения ламинарно-турбулентного перехода на крыле при разных моделях турбулентности / В.В. Вождаев, А.Ф. Киселев, Д.С. Сбоев, Л.Л. Теперин, С.В. Чернышев // Ученые записки ЦАГИ. 2014. Т. XLV, № 3, С. 3 – 11.

17. Вождаев, В.В. Моделирование ламинарно-турбулентного перехода на стреловидном и прямом крыльях на основе численных решений уравнений Навье-Стокса / В.В. Вождаев, А.Ф. Киселев, Д.С. Сбоев, Л.Л. Теперин, С.В. Чернышев // Ученые записки ЦАГИ. 2015. Т. XLVI, № 4, С. 3 – 12.

18. Вождаев, В.В. Моделирование ламинарно-турбулентного перехода на основе численных решений нестационарных уравнений Навье-Стокса / В.В. Вождаев, А.Ф. Киселев, Д.С. Сбоев, Л.Л. Теперин, С.В. Чернышев // Ученые записки ЦАГИ. 2016. Т. XLVII, № 3, С. 38 – 46.

19. Тунио, И.А. Исследование влияния переменной по размаху крыла волнистости на его аэродинамические характеристики / И.А. Тунио, Д. Кумар, Т. Хуссейн, М. Джатой, Сафиулла // Известия РАН. Механика жидкости и газа. 2020. №5, С. 83 – 96.

20. Сухоруков, А.Л. Определение характеристик водометного движителя и параметров гидродинамического следа за подводным объектом на основе методов вычислительной гидродинамики / А.Л. Сухоруков, И.А. Чернышев // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2020. Т.13, №1, С. 56 – 72.

21. Котов, В.С. Опыт применения аддитивных технологий в мировом судостроении / В.С. Котов // Судостроение. 2020. №6, С.34 – 37.

Сухоруков Андрей Львович

АО «ЦКБ МТ «Рубин», г. Санкт-Петербург
Доктор технических наук, заместитель начальника отдела
191119, г. Санкт-Петербург, ул. Марата, 90
Тел. (812) 494-19-40
E-mail: su_andr@yahoo.com

A.L. SUKHORUKOV

**USE OF GROOVED SURFACES TO IMPROVE HYDRODYNAMIC,
CAVITATION AND ACOUSTIC CHARACTERISTICS OF WINGS
AND ELEMENTS OF VANE PROPULSION SYSTEMS (REVIEW)**

Abstract. *The paper reviews the use of grooved surfaces and sawtooth (chevron) edges to control the flow parameters of the wings, propeller blades and elements of vane propulsion systems operating in both gaseous and liquid media. Particular attention is paid to the physical mechanisms of improving the hydrodynamic, cavitation and acoustic characteristics under the influence of a grooved surface. These mechanisms are associated with a change in the flow structure in the region of the laminar-turbulent transition, the peculiarities of the occurrence of cavitation and acoustic radiation in the region of the outgoing edges. The results of the verification of computational models describing the behavior of the flow taking into account the laminar-turbulent transition, the use of which is necessary for studying flows near a grooved surface, are presented.*

Keywords: *grooved surface, sawtooth edge, hydrodynamic characteristics, water jet propulsion, blade system, cavitation, acoustic characteristics, laminar-turbulent transition.*

BIBLIOGRAPHY

1. Egorov, U.A. Primenenie piloobraznoy vikhodiachei kromki lopasti dvijitelja dlja snijeniya yrovney visokochastotnogo shuma sudna/ U.A. Egorov, A.A. Koval // Trudi Krilovskogo nauchnogo chentra. 2019. T.4, №390, S. 137-150.

2. Williams, J. Aerodynamic sound generation by turbulent flow in the vicinity of a scattering half plane / J. Williams, L. Hall // Journal of Fluid Mechanics. 1970. Vol. 40, № 4. P. 657–670.

3. Howe, M.S. A review of the theory of trailing edge noise / M.S. Howe // Journal of Sound and Vibration. 1978. Vol. 61, № 3. P. 437–465.

4. Ning, Z. An experimental study on the aerodynamics and aeroacoustic characteristics of small propellers of UAV / Z. Ning, H. Hu // Proc. of the 2016 AIAA Science and Technology Forum and Exposition (SciTech2016). New York: Red Hook, 2016. P. AIAA 2016–1785, P. 1–17.

5. Lyu, B. Prediction of noise from serrated trailing-edges / B. Lyu, M. Azarpeyvand, S. Sinayoko // Journal of Fluid Mechanics. 2016. № 793. P. 556–588.

6. Timoshevskij, M.V. Kavitchiya na riflenom dvumernom krile pri malom ugle ataki / M.V. Timoshevskij, K.S. Pervunin, D.M. Markovich // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Engineering georesursov. 2018. T. 329. № 11. S. 25–36.

7. Zverkov, I. D. Perspektivi issledovaniy v oblasti malirazmernikh letatelnykh apparatov (obzor)/ I.D. Zverkov, A.V. Krukov, G.R. Grek // Vestn. Novosib. gos. universiteta. Seriya: Fizika. 2014. T. 9, vip. 2. S. 95–115.

8. Zverkov, I. D. Osobennosti obtekaniya priamogo i skolzaschego krila konechnogo razmakha s gladkoy i volnistoy poverkhnostiu v oblasti kriticheskikh uglov ataki/ I. D. Zverkov, V.V. Kozlov, A.V. Krukov // Vestn. Novosib. gos. universiteta. Seriya: Fizika. 2012. T. 7, vip. 4. S. 57–67.

9. Zverkov, I.D. Uluchsheniye aerodinamicheskikh kharakteristik krila malorazmernogo letatel'nogo apparata / I.D. Zverkov, V.V. Kozlov, A.V. Krukov // DAN. Mekhanika. 2011. T. 441. №4. S. 472–475.

10. Zverkov, I.D. Vliyaniye volnistosti poverkhnosti na strukturu pogranichnogo sloya I aerodinamicheskiye kharakteristiki krila konechnogo razmakha / I.D. Zverkov, V.V. Kozlov, A.V. Krukov // Vestn. Novosib. gos. universiteta. Seriya: Fizika. 2011. T. 6, vip. 2. S. 28–42.
11. Zverkov, I.D. Opredeleniye parametrov volnistosti poverkhnosti dlja krila malorazmernogo letatel'nogo apparata / I.D. Zverkov, A.V. Krukov, G.R. Grek, I.S. Konovalov, G.U. Evtushok // Vestn. Novosib. gos. universiteta. Seriya: Fizika. 2015. T. 10, vip. 3. S. 5–18.
12. Panov, D.O. Modelirovaniye laminarno-turbulentnogo perekhoda v zadache chislennogo opredeleniya krivikh deistviya grebnogo vinta/ D.O. Panov, G.M. Smirnov, A.G. Taranov, M.P. Lobachev // Trudi CHNII im. akad. A.N. Krylova. 2013. №78 (362), C. 29–42.
13. Menter, F.R. Correlation-based transition model using local variables. Part 1: Model formulation / F.R. Menter, R.B. Langtry, S.R. Likki, Y.B. Suzen, P.G. Huang, S.A. Völker // ASME J. Turbomachinery. 2006. V. 128. № 3. P. 413–422.
14. Langtry, R.B. Correlation-based transition modeling for unstructured parallelized computational fluid dynamics codes / R.B. Langtry, F.R. Menter // AIAA Journal. 2009. V. 47. № 12. P. 2894–2906.
15. Vojdaev, V.V. Chislennoye modelirovaniye polojeniya laminarno-turbulentnogo perekhoda na krile s laminarizovannim profilom LV6/ V.V. Vojdaev, A.F. Kisilev, D.S. Sboev, L.L. Teperin, S.V. Chernishev // Ucheniye zapiski CHAGI. 2013. T. XLIV, № 1, S. 43 – 51.
16. Vojdaev, V.V. Sravneniye rezultatov rascheta polojeniya laminarno-turbulentnogo perekhoda na krile pri raznikh modeliakh turbulentnosti / V.V. Vojdaev, A.F. Kisilev, D.S. Sboev, L.L. Teperin, S.V. Chernishev // Ucheniye zapiski CHAGI. 2014. T. XLV, № 3, S. 3 – 11.
17. Vojdaev, V.V. Modelirovaniye laminarno-turbulentnogo perekhoda na strelovidnom I priamom kriliyakh na osnove chislennikh resheniy uravneniy Navie-Stoksa / V.V. Vojdaev, A.F. Kisilev, D.S. Sboev, L.L. Teperin, S.V. Chernishev // Ucheniye zapiski CHAGI. 2015. T. XLVI, № 4, S. 3 – 12.
18. Vojdaev, V.V. Modelirovaniye laminarno-turbulentnogo perekhoda na osnove chislennikh resheniy nestacionarnikh uravneniy Navie-Stoksa / V.V. Vojdaev, A.F. Kisilev, D.S. Sboev, L.L. Teperin, S.V. Chernishev // Ucheniye zapiski CHAGI. 2016. T. XLVII, № 3, S. 38 – 46.
19. Tunio, I.A. Issedovaniye vliyaniya peremennoy po razmakhu krila volnistosti na ego aerodinamicheskiye kharakteristiki / I.A. Tunio, D. Kumar, T. Khussein, M. Jatoy, Safiulla // Izvestiya RAN. Mekhanika jidkosti I gaza. 2020. №5, S. 83 – 96.
20. Sukhorukov, A.L. Opredeleniye kharakteristik vodometnogo dvijitelya i parametrov gidrodinamicheskogo sleda za podvodnim ob'ektom na osnove metodov vichislitel'noy gidrodinamiki / A.L. Sukhorukov, I.A. Chernishev // Fundamental'naya i prikladnaya gidrofizika. 2020. T.13, №1, S. 56 – 72.
21. Kotov, V.S. Opit primineniya additivnykh tekhnologiy v mirovom sudostroenii / V.S. Kotov // Sudostroeniye. 2020. №6, S.34 – 37.

Sukhorukov Andrei Lvovich

Central Design Bureau for Marine Engineering “Rubin”, St. Petersburg
Doctor of Engineering Sciences, Deputy Head of
Department
191119, St. Petersburg, 90 Marata str.
Ph.: (812) 494–19–40
E-mail: su_andr@yahoo.com

УДК 531.391

DOI: 10.33979/2073-7408-2021-346-2-18-26

И.П. ПОПОВ

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ ТРОГАНИЯ ПОЕЗДА С УПРУГИМИ СВЯЗЯМИ

Аннотация. Режим трогания для поезда является наиболее тяжелым. Эффективным способом трогания является выбор зазоров в сцепках. При этом вагоны приводятся в движение последовательно и инертная масса, а также сила трения покоя непосредственно в момент трогания минимальны. Этот способ имеет два существенных недостатка – малую фиксированную величину зазоров в сцепках и ударный характер передачи импульса. Указанных недостатков можно избежать, если использовать упруго деформируемые сцепки. Целью работы является построение математической модели «легкого» трогания поезда с упругими сцепками. Смягчение режима трогания состава по существу обуславливается заменой одновременного трогания секций на поочередное. Для исключения продольных колебаний состава после достижения максимального растяжения сцепки следует механически блокировать возможность ее гармонического сжатия.

Ключевые слова: ускорение, энергия, масса, секция, локомотив, вагон, колебания, демпфер.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аблаев Р.Р. Основные задачи обеспечения эффективности функционирования передвижных механизированных комплексов // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2020. № 5 (343). С. 61–66. DOI: 10.33979/2073-7408-2020-343-5-61-66
2. Дорофеев О.В. Применение объектной модели для устройств предотвращения буксования локомотива / О.В. Дорофеев, В.И. Воробьев, М.И. Борзенков, С.Н. Злобин, С.О. Копылов // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2020. № 5 (343). С. 33–40. DOI: 10.33979/2073-7408-2020-343-5-33-40
3. Лагутина А.А. Проектирование оптимальных конструкций кузовов вагонов с учетом начальных несовершенств / А.А. Лагутина, М.В. Мануева, Д.Я. Антипин, М.И. Борзенков // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2019. № 6 (338). С. 16–21.
4. Неменко А.В. Прогнозная оценка эксплуатационной выносливости механических агрегатов / А.В. Неменко, М.М. Никитин // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2020. № 4 (342). С. 181–185. DOI: 10.33979/2073-7408-2020-342-4-1-181-185
5. Аблаев Р.Р. Структурно-компоновочный синтез передвижных механизированных комплексов / Р.Р. Аблаев, А.Р. Аблаев, А.О. Харченко // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2019. № 1 (333). С. 14–21.
6. Сливинский Е.В. Исследование пространственных колебаний двухзвенного автопоезда / Е.В. Сливинский, С.Ю. Радин, И.Н. Гридчина // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2018. № 2 (328). С. 83–92.
7. Попов И.П. Резонансы и антирезонансы сил и скоростей // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2021. № 1 (345). С. 3–13. DOI: 10.33979/2073-7408-2021-345-1-3-13
8. 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
9. Попов И.П. «Ортогональные» мощности при механических колебаниях // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2019. № 6 (338). С. 12–15.
10. Хромов Е.В. Методика экспериментального определения демпфирующих характеристик механической системы в случае нелинейной комбинированной функции трения / Е.В. Хромов, И.Н. Морева // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2020. № 1 (339). С. 3–7. DOI: 10.33979/2073-7408-2020-339-1-3-7

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.popow@yandex.ru

I.P. POPOV

DIFFERENTIAL EQUATIONS FOR TRAIN STARTING WITH ELASTIC CONNECTIONS

Abstract. *The starting mode for the train is the most difficult. An effective method of pulling is the selection of coupling clearances. In this case, the cars are set in motion sequentially and the inert mass, as well as the static friction force immediately at the moment of starting, are minimal. This method has two significant drawbacks - a small fixed value of the gaps in the couplings and the shock nature of the impulse transfer. These disadvantages can be avoided by using elastically deformable couplings. The aim of this work is to construct a mathematical model of "easy" starting of a train with elastic couplings. The softening of the train start-off mode is essentially due to the replacement of the simultaneous start-off of the sections with alternate ones. To exclude longitudinal vibrations of the composition, after reaching the maximum tension of the coupling, the possibility of its harmonic compression should be mechanically blocked.*

Keywords: *acceleration, energy, mass, section, locomotive, carriage, vibrations, damper.*

BIBLIOGRAPHY

1. Ablav R.R. The main tasks of ensuring the efficiency of the functioning of mobile mechanized complexes // *Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii*. 2020. № 5 (343). S. 61–66. DOI: 10.33979/2073-7408-2020-343-5-61-66
2. Dorofeev O.V. Application of the object model for devices to prevent skidding of a locomotive / O.V. Dorofeev and V.I. Vorobiev, M.I. Borzenkov, S.N. Zlobin, S.O. Kopylov // *Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii*. 2020. № 5 (343). S. 33–40. DOI: 10.33979/2073-7408-2020-343-5-33-40
3. Lagutina A.A. Designing optimal structures of car bodies taking into account initial imperfections / A.A. Lagutina, M.V. Manueva, D. Ya. Antipin, M.I. Borzenkov // *Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii*. 2019. № 6 (338). S. 16–21.

4. Nemenko A.V. Predictive assessment of the operational endurance of mechanical units / A.V. Nemenko, M.M. Nikitin // *Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii*. 2020. № 4 (342). S. 181–185. DOI: 10.33979/2073-7408-2020-342-4-1-181-185
5. Ablaev R.R. Structural and layout synthesis of mobile mechanized complexes / R.R. Ablaev, A.R. Ablaev, A.O. Kharchenko // *Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii*. 2019. № 1 (333). S. 14–21.
6. Slivinsky E.V. Study of spatial oscillations of a two-link road train / E.V. Slivinsky, S.Yu. Radin, I.N. Gridchina // *Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii*. 2018. № 2 (328). S. 83–92.
7. Popov I.P. Resonances and antiresonances of forces and speeds // *Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii*. 2021. № 1 (345). S. 3–13. DOI: 10.33979/2073-7408-2021-345-1-3-13
8. Popov I.P. Impedances and admittances of mechanical systems // *Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii*. 2020. № 5 (343). S. 3–11. DOI: 10.33979/2073-7408-2020-343-5-3-11
9. Popov I.P. "Orthogonal" power with mechanical vibrations // *Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii*. 2019. № 6 (338). S. 12–15.
10. Khromov E.V. Method of experimental determination of the damping characteristics of a mechanical system in the case of a nonlinear combined friction function / E.V. Khromov, I.N. Moreva // *Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii*. 2020. № 1 (339). S. 3–7. DOI: 10.33979/2073-7408-2020-339-1-3-7

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.popow@yandex.ru

МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА, ДИНАМИКА И ПРОЧНОСТЬ

УДК 539.3

DOI: 10.33979/2073-7408-2021-346-2-27-41

А.А. ПОДДУБНЫЙ, В.А. ГОРДОН, Т.В. ПОТУРАЕВА

ДИНАМИЧЕСКОЕ ДОГРУЖЕНИЕ СТЕРЖНЯ ПРИ ВНЕЗАПНОМ ИЗМЕНЕНИИ СТРУКТУРЫ УПРУГОГО ОСНОВАНИЯ

Аннотация. Построена математическая модель динамического процесса в нагруженной постоянной равномерно распределенной нагрузкой конструктивно – нелинейной системе «балка – двухпараметрическое основание», возникающего в результате внезапного изменения физико-механических свойств основания, приводящего к обнулению его сдвиговой жесткости. Решение статической задачи изгиба балки, опертой на основание Пастернака, служит начальным условием задачи о вынужденных колебаниях балки на основании Винклера, возникших после внезапного образования дефекта. Решения статической и динамической задач строятся методом начальных параметров с привлечением векторов состояний сечений балки и матриц влияния начальных параметров на состояние произвольных сечений. При анализе вынужденных колебаний применяется разложение нагрузки и прогибов исходного статического состояния в ряды по формам собственных колебаний нового состояния.

Ключевые слова: консольная балка, упругое основание, коэффициент Пастернака, внезапное обнуление, колебания, прогибы, изгибающие моменты, коэффициент динамичности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Winkler, E. (1867) Die Lehre von Elastizität und Festigkeit (on Elasticity and Fixity). Dominicus, Prague.
2. Цвей, А. Ю. Балки и плиты на упругом основании. Лекции с примерами расчёта по спецкурсу строительной механики: учебное пособие – М.: МАДИ, 2014. – 96 с.
3. Клепиков, С. Н. Расчёт конструкций на упругом основании. – Киев: Будивельник, 1967, 185 с.
4. Пастернак, П.Л. Основы нового метода расчёта фундаментов на упругом основании при помощи двух коэффициентов постели. – М.: Госстройиздат, 1954. – 56 с.
5. Datta, S.C., Roy, R. (2002) A critical review on idealization and modeling for interaction among soil – foundation - structure system. *Computers and structures*, 80(2-21), 1579-1594, doi:10.1016/s0045-7949(02) 0011 5-3.
6. Wang, Y.H., Tham, L.G., Cheung, Y.K. (2005) Beams and plates on elastic foundations: a review. *Progress in Structural Engineering and Materials*, 7(4), 174–182, doi:10.1002/pse.202.
7. Balabušić, M., Folić, B. and Ćorić, S. (2019) Bending the Foundation Beam on Elastic Base by Two Reaction Coefficient of Winklers Subgrade. *Open Journal of Civil Engineering*, 9, 123 – 134. doi.org/10.4236/ojce.2019.92009.

8. Tivari, K., Kuppa, R. (2014) Overview of Methods of Analysis of Beams on Elastic Foundation. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering, vol.11, issue 5, pp. 22–29.
9. Gordon, V., Pilipenko, O. (2015) Vibration of loaded beam initiated by fully or partially destruction. Proc. 22nd International Congress on Sound and Vibration, Florence, Italy.
10. Gordon V., Pilipenko O., Gasimov T. (2016) Beam dynamical stresses increments after partial deconstruction of foundation. Proc. 7th European Congress on Computational Methods in Applied Science and Engineering, vol.3:5533 – 5549, Crete, Greece, doi: 10.7712/100016.2200.7958.
11. Travush, V.I., Gordon, V.A., Colchunov, V.I., Leontiev E.V. (2018) The response of the system “beam – foundation” on sudden changes of boundary conditions. IOP Conference Series Materials Science and Engineering 456(1):012130
12. Gordon, V.A., Pilipenko, O.V., Trifonov, V.A. (2018) Dynamic effects at sudden structural rebuilding of the «beam-foundation» system Proc. of ISMA 2018 International Conference on Noise and Vibration Engineering and USD 2018 – International Conference on Uncertainty in Structural Dynamics, 1645 – 1654, Leuven, Belgium.
13. Gordon, V.A., Pilipenko, O.V., Trifonov, V.A. (2018) THE REACTIONS of the «BEAM – FOUNDATION» SYSTEM to the SUDDEN CHANGE of the BOUNDARY CONDITIONS. MATEC WEB OF CONFERENCES Том. 188. Article 03008, 5th International Conference of Engineering Against Failure, Chios, Greece.
14. Fwa, T. F., Shi, X. P., & Tan, S. A. (1996). Use of Pasternak Foundation Model in Concrete Pavement Analysis. Journal of Transportation Engineering, 122(4), 323–328. Doi 10.1061/(asce)0733-947x (1996)122:4(323).
15. Teodoru, I.B., Musat, V. and Vrabie, M. (2006) A Finite Element Study of the Bending Behavior of Beams Resting on Two-Parameter Elastic Foundation. Bulletin of the Polytechnic Institute of Iasi, 65, 7-20.
16. Elhuni H, Basu D. Dynamic Response of Simply Supported Beams on Two-parameter Foundations. Proceedings of the 19th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Seoul 2017, 72– 732.
17. Chiwanga, M., & Valsangkar, A. J. (1988). Generalized Beam Element on Two-Parameter Elastic Foundation. Journal of Structural Engineering, 114(6), 1414–1430. doi:10.1061/(asce)0733-9445(1988)114:6(1414).
18. Uzzal, R. U. A., Bhat, R. B., & Ahmed, W. (2012). Dynamic Response of a Beam Subjected to Moving Load and Moving Mass Supported by Pasternak Foundation. Shock and Vibration, 19(2), 205–220. doi:10.1155/2012/919512.
19. Onu, G. (2000). Shear Effect in Beam Finite Element on Two-Parameter Elastic Foundation. Journal of Structural Engineering, 126(9), 1104–1107. doi:10.1061/(asce)0733-9445(2000)126:9(1104).
20. Valsangkar, A. J., & Pradhanang, R. (1988). Vibrations of beam-columns on two-parameter elastic foundations. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 16(2), 217–225. doi:10.1002/eqe.4290160205.
21. Gordon, V., Morrev, P., Pilipenko, O. (2020). A transient dynamic process in a structural nonlinear system «beam-two-parameter foundation». MATEC WEB OF CONFERENCES Том. 310. Article 00007, doi: 10.1051/mateconf/202031000007.
22. Poddubny, A. A. Methodology for calculating the critical force of a compressed rod immersed in an elastic base/A. A. Poddubny, V. A. Gordon//Bulletin of the Belarusian State University of Transport: Science and Transport. – 2019. – No. 1 (38). - S. 49–52.

Поддубный Алексей Алексеевич
Белорусский государственный
университет транспорта, г.
Гомель
Кандидат физико-
математических наук, доцент,
начальник факультета
246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34
Тел. 8-10-375-232-319378.
E-mail: bsut@bsut.by

Гордон Владимир Александрович
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С.
Тургенева», г. Орел
Доктор технических наук,
профессор кафедры технической
физики и математики
302020 г. Орел, Наугорское шоссе,
29
Тел. (4862) 41-98-48
E-mail: gordon@ostu.ru

Потураева Татьяна Вячеславовна
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С.
Тургенева», г. Орел
кандидат технических наук, доцент
кафедры технической физики и
математики
302020 г. Орел, Наугорское шоссе,
29
Тел. (4862) 41-98-48
E-mail: tanpo77@mail.ru

A.A. PODDUBNY, V.A. GORDON, T.V. POTURAEVA

DYNAMIC LOADING OF THE ROD IN CASE OF A SUDDEN CHANGE IN THE STRUCTURE OF THE ELASTIC BASE

Abstract. *A mathematical model of the dynamic process in the structurally nonlinear system «beam – two-parameter foundation», which arises as a result of a sudden change in the physical and mechanical properties of the foundation, leading to zeroing of its shear stiffness, is constructed in a structurally-nonlinear system «beam – two-parameter foundation» The solution of the static problem of bending of a beam supported on a Pasternak base serves as the initial condition for the problem of forced vibrations of a beam on a Winkler base that arose after the sudden formation of a defect. Solutions to static and dynamic problems are constructed by the method of initial parameters with the use of vectors of states of beam sections and matrices of the influence of initial parameters on the state of arbitrary sections. In*

the analysis of forced vibrations, the decomposition of the load and deflections of the initial static state into rows according to the forms of natural vibrations of the new state is used.

Keywords: *cantilever beam, elastic foundation, Pasternak coefficient, sudden zeroing, vibrations, deflections, bending moments, dynamic coefficient.*

BIBLIOGRAPHY

1. Winkler, E. (1867) Die Lehre von Elastizität und Festigkeit (on Elasticity and Fixity). Dominicus, Prague.
2. Cvej, A. YU. Balki i plity na uprugom osnovanii. Lekcii s primerami raschyota po speckursu stroitelnoj mekhaniki: uchebnoe posobie – M.: MADI, 2014. – 96 s.
3. Klepikov, S. N. Raschyot konstrukcij na uprugom osnovanii. – Kiev: Budivelnik, 1967, 185 s.
4. Pasternak, P.L. Osnovy novogo metoda raschyota fundamentov na uprugom osnovanii pri pomoshchi dvuh koeficientov posteli. – M.: Gosstrojizdat, 1954. – 56 s.
5. Datta, S.C., Roy, R. (2002) A critical review on idealization and modeling for interaction among soil – foundation - structure system. Computers and structures, 80(2-21), 1579-1594, doi:10.1016/s0045-7949(02) 0011 5-3.
6. Wang, Y.H., Tham, L.G., Cheung, Y.K. (2005) Beams and plates on elastic foundations: a review. Progress in Structural Engineering and Materials, 7(4), 174–182, doi:10.1002/pse.202.
7. Balabušić, M., Folić, B. and Ćorić, S. (2019) Bending the Foundation Beam on Elastic Base by Two Reaction Coefficient of Winklers Subgrade. Open Journal of Civil Engineering, 9, 123–134. doi.org/10.4236/ojce.2019.92009.
8. Tivari, K., Kuppa, R. (2014) Overview of Methods of Analysis of Beams on Elastic Foundation. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering, vol.11, issue 5, pp. 22-29.
9. Gordon, V., Pilipenko, O. (2015) Vibration of loaded beam initiated by fully or partially destruction. Proc. 22nd International Congress on Sound and Vibration, Florence, Italy.
10. Gordon V., Pilipenko O., Gasimov T. (2016) Beam dynamical stresses increments after partial deconstruction of foundation. Proc. 7th European Congress on Computational Methods in Applied Science and Engineering, vol.3:5533 – 5549, Crete, Greece, doi: 10.7712/100016.2200.7958.
11. Travush, V.I., Gordon, V.A., Colchunov, V.I., Leontiev E.V. (2018) The response of the system “beam – foundation” on sudden changes of boundary conditions. IOP Conference Series Materials Science and Engineering 456(1):012130
12. Gordon, V.A., Pilipenko, O.V., Trifonov, V.A. (2018) Dynamic effects at sudden structural rebuilding of the «beam-foundation» system Proc. of ISMA 2018 International Conference on Noise and Vibration Engineering and USD 2018 – International Conference on Uncertainty in Structural Dynamics, 1645 – 1654, Leuven, Belgium.
13. Gordon, V.A., Pilipenko, O.V., Trifonov, V.A. (2018) THE REACTIONS of the «BEAM – FOUNDATION» SYSTEM to the SUDDEN CHANGE of the BOUNDARY CONDITIONS. MATEC WEB OF CONFERENCES Tom. 188. Article 03008, 5th International Conference of Engineering Against Failure, Chios, Greece.
14. Fwa, T. F., Shi, X. P., & Tan, S. A. (1996). Use of Pasternak Foundation Model in Concrete Pavement Analysis. Journal of Transportation Engineering, 122(4), 323–328. Doi 10.1061/(asce)0733-947x (1996)122:4(323).
15. Teodoru, I.B., Musat, V. and Vrabie, M. (2006) A Finite Element Study of the Bending Behavior of Beams Resting on Two-Parameter Elastic Foundation. Bulletin of the Polytechnic Institute of Iasi, 65, 7-20.
16. Elhuni H, Basu D. Dynamic Response of Simply Supported Beams on Two-parameter Foundations. Proceedings of the 19th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Seoul 2017, 729-732.
17. Chiwanga, M., & Valsangkar, A. J. (1988). Generalized Beam Element on Two-Parameter Elastic Foundation. Journal of Structural Engineering, 114(6), 1414–1430. doi:10.1061/(asce)0733-9445(1988)114:6(1414).
18. Uzzal, R. U. A., Bhat, R. B., & Ahmed, W. (2012). Dynamic Response of a Beam Subjected to Moving Load and Moving Mass Supported by Pasternak Foundation. Shock and Vibration, 19(2), 205–220. doi:10.1155/2012/919512.
19. Onu, G. (2000). Shear Effect in Beam Finite Element on Two-Parameter Elastic Foundation. Journal of Structural Engineering, 126(9), 1104–1107. doi:10.1061/ (asce)0733-9445(2000)126:9(1104).
20. Valsangkar, A. J., & Pradhanang, R. (1988). Vibrations of beam-columns on two-parameter elastic foundations. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 16(2), 217–225. doi:10.1002/eqe.4290160205.
21. Gordon, V., Morrev, P., Pilipenko, O. (2020). A transient dynamic process in a structural nonlinear system « beam-two-parameter foundation». MATEC WEB OF CONFERENCES Tom. 310. Article 00007, doi: 10.1051/mateconf/202031000007.
22. Poddubny, A. A. Methodology for calculating the critical force of a compressed rod immersed in an elastic base/A. A. Poddubny, V. A. Gordon//Bulletin of the Belarusian State University of Transport: Science and Transport. – 2019. – No. 1 (38). – S. 49 – 52.

Poddubny Alexey Alekseevich
Belarusian State University of
Transport, Gomel
Candidate of Physical and
Mathematical Sciences,
Associate Professor,
Head of the Faculty

Gordon Vladimir Alexandrovich
Orel State University named after
I.S. Turgenev, Orel
Doctor of Technical Sciences,
Professor of the Department of
Technical Physics and Mathematics

Poturaeva Tatyana Vyacheslavovna
Orel State University named after I.S.
Turgenev
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department of
Technical Physics and Mathematics
302020 Orel, Naugorskoe highway, 29

МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ

УДК 658.512.011.56

DOI: 10.33979/2073-7408-2021-346-2-42-50

А.В. НЕМЕНКО, М.М. НИКИТИН

ПОСТРОЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ

Аннотация. Предложен способ установления управляемых внешним воздействием интервалов контроля и технического обслуживания элементов технологической линии на основании мониторинга их контрольных параметров. Метод использует комплекснозначное преобразование степенного ряда, восстанавливаемого из последовательности измеренных значений с получением асимптотического значения суммы ряда для соответствующего параметра. Событие технического обслуживания планируется по ожидаемому времени достижения прогнозируемым значением параметра одной из границ своего диапазона допустимых значений. Это событие трактуется как отказ работоспособности соответствующего элемента. Рассмотрены алгоритмы прогноза событий отказа в ближней и дальней области, различие между которыми производится по отношению характерного временного интервала к располагаемому интервалу изменений временного ряда. Полученные результаты могут быть использованы для построения интеллектуальной системы восстановления технологических линий различного назначения.

Ключевые слова: гибкие производственные системы, технологическая линия, скрытые отказы, упреждающее восстановление, искусственный интеллект.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Логашев В.Г. Технологические основы гибких автоматизированных производств/В.Г. Логашев – Л.:Машиностроение, Ленингр. отд-ие, 1985 – 176 с.
2. Выжигин А.Ю. Гибкие производственные системы/А.Ю. Выжигин – М. Машиностроение, 2009 – 288 с.
3. Ушаков И.А. Курс теории надёжности систем/И.А. Ушаков – М.: Дрофа, 2008 – 239 с.
4. Байхельт Ф. Надёжность и техническое обслуживание. Математический подход/Ф. Байхельт, П. Франкен – М.: Радио и связь, 1988 – 392 с.
5. Beichelt F. Reliability and Maintenance. Networks and Systems/F. Beichelt, P. Tittman – CRC Press, 2012. – 340 p.
6. Неменко А.В. Прогнозная оценка параметров теплового поля судовой энергетической установки/А.В. Неменко, М.М. Никитин // Вестник СевНТУ. Сер. Механика, энергетика, экология: сб. науч. тр. – Севастополь, 2014. – вып. 148 – с. 297 – 210.
7. Неменко А.В. Прикладные вопросы оценки технического состояния судовых механических систем/А.В. Неменко, М.М. Никитин - М.: Инфра-М, 2017 – 172 с.
8. Неменко А.В. Применение асимптотических методов к задаче прогнозирования тепловых переходных процессов в судовой энергетической установке/ А.В. Неменко, М.М. Никитин // Вестник СевНТУ. Сер. Механика, энергетика, экология: сб. науч. тр. – Севастополь, 2011. – вып. 119 – с. 66 – 70.
9. Прудников А.П. Интегралы и ряды. Т.1. Элементарные функции/А.П. Прудников, Ю.А. Брычков, О.И. Маричев – М.:МАИК «Наука/Интерпериодика», 2002 – 650 с.
10. D. Borwein, J. M. Borwein, R. E. Crandall, Effective Laguerre asymptotics, SIAM J. Numer. Anal., V. 46, N.6 (2008), p.3285-3312.

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

CONSTRUCTION OF TECHNOLOGY LINE OPTIMUM MAINTENANCE

Abstract. A method for establishing controlled by external influence intervals of control and maintenance of technological line elements on the basis of monitoring their control parameters is proposed. The method uses a complex-valued transformation of a power series, which is reconstructed from a sequence of measured values to obtain the asymptotic value of the sum of the series for the corresponding parameter. A maintenance event is scheduled for the expected time when the predicted parameter value reaches one of the boundaries of its acceptable range. This event is interpreted as a failure of the corresponding element. Algorithms for predicting failure events in the near and far regions are considered, the difference between which is made in relation to the ratio of the characteristic time interval to the available interval of changes in the time series. The results obtained can be used to build an intelligent recovery system for technological lines for various purposes.

Keywords: robotic technology systems, technology line, latent failures, predictive recovery, artificial intelligence.

BIBLIOGRAPHY

1. Logashev V.G. Tehnologicheskie osnovy gibkih avtomatizirovannyh proizvodstv/V.G. Logashev – L.: Mashinostroenie, Leningr. otd-je, 1985 – 176 s.
2. Vyzhigin A.Ju. Gibkie proizvodstvennye sistemy/A.Ju. Vyzhigin – M. Mashinostroenie, 2009 – 288 s.
3. Ushakov I.A. Kurs teorii nadjozhnosti sistem/I.A. Ushakov – M.: Drofa, 2008 – 239 s.
4. Beichelt F. Nadjozhnost i tehicheskoe obsluzhivanie. Matematicheskij podhod/F. Bajhelt, P. Franken – M.: Radio i svjaz, 1988 – 392 s.
5. Beichelt F. Reliability and Maintenance. Networks and Systems/F. Beichelt, P. Tittman – CRC Press, 2012. – 340 p.
6. Nemenko A.V. Prognoznaja ocenka parametrov teplovogo polja sudovoj jenergeticheskoy ustanovki/A.V. Nemenko, M.M Nikitin// Vestnik SevNTU. Ser. Mehanika, jenergetika, jekologija: sb. nauch. tr. – Sevastopol, 2014. – vyp. 148 – s. 297 – 210.
7. Nemenko A.V. Prikladnye voprosy ocenki tehicheskogo sostojanija sudovyh mehanicheskikh sistem/A.V. Nemenko, M.M Nikitin - M.: Infra-M, 2017 – 172 s.
8. Nemenko A.V. Primenenie asimptoticheskikh metodov k zadache prognozirovaniya teplovyh perehodnyh processov v sudovoj jenergeticheskoy ustanovke/ A.V. Nemenko, M.M. Nikitin // Vestnik SevNTU. Ser. Mehanika, jenergetika, jekologija: sb. nauch. tr. – Sevastopol, 2011. – vyp. 119 – s. 66 – 70.
9. Prudnikov A.P. Integraly i rjady. T.1. Jelementarnye funkicii/A.P. Prudnikov, Ju.A. Brychkov, O.I. Marichev – M.:MAIK «Nauka/Interperiodika», 2002 – 650 s.
10. D. Borwein, J. M. Borwein, R. E. Crandall, Effective Laguerre asymptotics, SIAM J. Numer. Anal., V. 46, N.6 (2008), p.3285-3312.

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 Michaelevich

FSAEI HE Sevastopol State University, Sevastopol
Lecturer 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: 10.33979/2073-7408-2021-346-2-51-57

A.V. НЕМЕНКО, М.М. НИКИТИН

ОЦЕНКА НАГРУЗОЧНОЙ СПОСОБНОСТИ СЛАБОГО ЗВЕНА СЛОЖНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Аннотация. Предложен способ оценки текущей нагрузочной способности критичного элемента сложной механической системы на основании фактической предыстории нагружения. Рассмотрена скрытая полумарковская модель деградации элемента. В качестве критерия нагрузочной способности рассмотрен коэффициент запаса как случайная величина, функция распределения которой находится предложенным способом.

Ключевые слова: эксплуатационная усталость, технологическая наследственность, скрытые дефекты, упреждающее восстановление, прогноз выносливости, искусственный интеллект, нейронные сети, скрытая модель, машинное обучение, обучение без учителя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nicholas T. High cycle fatigue. A mechanics of materials perspective/T. Nicholas – Elsevier, 2006. – 656 p.
2. Трошенко В.Т. Сопротивление усталости металлов и сплавов. Справочник. Часть 1./В.Т. Трошенко, Л.А.Сосновский//К.: Наукова Думка, 1987 – 346 с.
3. Иванова В. С. Природа усталости металлов/ В.С. Иванова, В.Ф. Терентьев//М.: Metallurgija, 1975. – 456 с.
4. Школьник Л.М. Методика усталостных испытаний. Справочник / Л.М. Школьник. – М.: Metallurgija, 1978. – 301с.
5. Lee Y.-L. Fatigue testing and analysis. Theory and practice./Y.-L. Lee, J. Pan, R. Hathaway, M. Barkey – Elsevier, 2004. – 416 p.
6. Неменко А.В. Прикладные вопросы оценки технического состояния судовых механических систем/А.В. Неменко, М.М. Никитин - М.: Инфра-М, 2017 – 172 с.
7. J. Janssen, R. Manca. Applied Semi-Markov Processes – Springer, 2006 – 314 p.
8. Ross, S.M. Introduction to Probability Models, Ninth Edition – Elsevier Academic Press, 2006. – 800 p.
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

A. V. NEMENKO, M. M. NIKITIN

ESTIMATION OF LOADING CAPACITY OF A DETAIL SUBJECTED TO CYCLIC LOAD

Abstract. A method for assessing the current load capacity of a component of a complex mechanical system based on the failure statistics of similar parts and the actual loading history is proposed. A hidden semi-Markov model of a fatigue crack is considered. As a criterion for the load capacity, the safety factor is considered as a random variable, the distribution function of which is found by the proposed method. The scaling of the approach from detail to the system as a whole is assumed using artificial intelligence methods.

Keywords: operational fatigue, technological inheritance, latent defects, preemptive recovery, endurance prediction, artificial intelligence, neural networks, latent model, machine learning, unsupervised learning.

BIBLIOGRAPHY

1. Nicholas T. High cycle fatigue. A mechanics of materials perspective/T. Nicholas – Elsevier, 2006. – 656 p.
2. Troshhenko V.T. Soprotivlenie ustalosti metallov i splavov. Spravochnik. Chast 1./V.T. Troshhenko, L.A.Sosnovskij//K.: Naukova Dumka, 1987 – 346 s.
3. Ivanova V. S. Priroda ustalosti metallov/ V.S. Ivanova, V.F. Terentev//M.: Metallurgija, 1975. – 456 s.
4. Shkolnik L.M. Metodika ustalostnyh ispytaniy. Spravochnik / L.M. Shkolnik. – М.: Metallurgija, 1978. – 301s.
5. Lee Y.-L. Fatigue testing and analysis. Theory and practice./Y.-L. Lee, J. Pan, R. Hathaway, M. Barkey – Elsevier, 2004. – 416 p.
6. Nemenko A.V. Prikladnye voprosy ocenki tehniceskogo sostojanija sudovyh mehanicheskikh sistem/A.V. Nemenko, M.M. Nikitin - М.: Infra-M, 2017 – 172 s.p
7. J. Janssen, R. Manca. Applied Semi-Markov Processes – Springer, 2006 – 314 p.
8. Ross, S.M. Introduction to Probability Models, Ninth Edition – Elsevier Academic Press, 2006. – 800 p.
9. Beihelt F. Nadjozhnost i tehniceskoe obsluzhivanie. Matematicheskij podhod/F. Beihelt, P. Franken – М.: 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

Nikitin Michael Michaelevich

FSAEI HE Sevastopol State University, Sevastopol
Teacher of chair «Higher Mathematics »

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

Universitetskaya st, 33, Sevastopol, Russian Federation,
299053
Phone +79788150316
E-mail: m.nikitin.1979@gmail.com

УДК 621.9

DOI:10.33979/2073-7408-2021-346-2-58-63

Е.Ю. КРУПЕНЯ, А.А. ЧЕРЕПЕНЬКО, Е.М. МИНАЕВА,
А.В. СИМУШКИН, Л.В. МОРГУНОВ

АКТИВАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛА ПРИ ВИБРАЦИОННОЙ МЕХАНОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Аннотация. *Статья посвящена механической активации поверхности металла в вибростанках. Рассмотрены различные случаи активации поверхности. Рассмотрен комбинированный метод обработки и в частности вибрационной механохимической обработке (ВиМХО) и вибрационным механохимическим покрытиями (ВиМХП).*

Ключевые слова: *Поверхностная обработка, деталь, механическая активация, вибрационные механохимические покрытия.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грилихес С. Я. Оксидные и фосфатные покрытия металлов. Л., Машиностроение, 1985.
2. Бабичев А.П., Иванов В.В., Шудалей С.Н., Мотренко П.Д., Анкудимов Ю. П., Бабичев И.А. Вибрационная механохимия в процессах отделочно-упрочняющей обработки и покрытий деталей машин. //Издательский центр ДГТУ. Ростов н/Д, 2012. Стр. 204
3. Jess Russell “Mechanical plaiting” ISBN-13: 9785512398487. 3/2/2012. P.160.
4. Киреев В. А. Курс физической химии. Госхимиздат, 1978
5. Колесников И.М. Полиэдрические структуры в поверхностном слое и теоретические основы их защитного действия против коррозии.// Прогрессивные методы и средства защиты металлов и изделий от коррозии. М., 1988.
6. Butyagin P.Y. Russ. Chem. Rev. Harwood Acad. Publ., 1998, 23, part 2, 91–155.

Крупеня Евгений Юрьевич

Донской государственный технический университет,
кандидат технических наук, доцент
Тел: +79094402121

Минаева Екатерина Михайловна

Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева, студентка
katua.minaeva@yandex.ru

Черепенько Аркадий Анатольевич

Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева,
доктор технических наук, профессор
arkan@nxt.ru

Моргунов Леонид Валерьевич

Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева, студент
Mleonid97@mail.ru

Симушкин Андрей Владиславович

Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева, студент
simushkin_200@mail.ru

E.Yu. KRUPENYA, A.A. CHEREPENKO, E.M. MINAEVA,
A.V. SIMUSHKIN, L.V. MORGUNOV

ACTIVATION OF THE METAL SURFACE DURING VIBRATION MECHANOCHEMICAL TREATMENT

Abstract. *The article is devoted to the mechanical activation of the metal surface in vibrating machines. Various cases of surface activation are considered. A combined method of processing is considered, in particular, vibration mechanochemical treatment (VIMHO) and vibration mechanochemical coatings (VIMHP).*

Keywords: *Surface treatment, detail, mechanical activation, vibration mechanochemical coatings.*

BIBLIOGRAPHY

1. Grilikhes S. Ya. Oxide and phosphate coatings of metals. L., Mechanical Engineering, 1985.

2. Babichev A.P., Ivanov V.V., Shudaley S.N., Motrenko PD, Ankudimov Yu. P., Babichev I.A. Vibration mechanochemistry in the processes of finishing and hardening treatment and coating of machine parts. // Publishing Center of DSTU. Rostov n / a, 2012. p. 204
3. Jess Russell "Mechanical plaiting" ISBN-13: 9785512398487. 3/2/2012. P.160.
4. Kireev VA Course of physical chemistry. Goskhimizdat, 1978
5. Kolesnikov I.M. Polyhedral structures in the surface layer and theoretical foundations of their protective action against corrosion. // Progressive methods and means of protecting metals and products from corrosion. M., 1988.
6. Butyagin P.Y. Russ. Chem. Rev. Harwood Acad. Publ., 1998, 23, part 2, 91-155.

Krupenya Evgeny Yuryevich
Don State Technical University,
candidate of technical sciences, associate professor
Тел: +79094402121

Cherepenko Arkady Anatolievich
Oryol State University
named after I.S. Turgenev,
Doctor of Technical Sciences, Professor
arkan@nxt.ru

Simushkin Andrey Vladislavovich
Oryol State University
named after I.S. Turgenev, student
simushkin_200@mail.ru

Minaeva Ekaterina Mikhailovna
Oryol State University
named after I.S. Turgenev, student
katua.minaeva@yandex.ru

Morgunov Leonid Valerievich
Oryol State University
named after I.S. Turgenev, student
Mleonid97@mail.ru

УДК 621.9

DOI: 10.33979/2073-7408-2021-346-2-64-70

Е.А. ЗВЯГИНА, А.Ю. МАЛЬЦЕВ, С.Г. ДАНИЛЬЧЕНКО, А.В. ПЕТРУХИН, Д.И. ТИТОВ

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОБКАТЫВАНИЯ ОБОЛОЧЕК РОЛИКАМИ В DEFORM-3D

Аннотация. В статье рассматривается пластическая модель деформации материала заготовки системе DEFORM-3D. Получена качественно новая модель процесса обкатывания оболочек роликами, пригодная как для научного анализа и исследования, так и для инженерного расчета. Разработанная модель может служить эффективным инструментом выбора рациональных значений технологических и конструкторско-технологических факторов обкатывания оболочек роликами.

Ключевые слова: Ролики, обкатывание, контактные напряжения, температура, коэффициент трения, нанопокрyтия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Киричек А. В., Мальцев А.Ю., Селеменев М.Ф., Осипова А.Ф. Повышение эффективности обкатывания оболочек роликами технологическими методами // «Нанотехнологии в производстве газотурбинных двигателей летательных аппаратов и энергетических установок (ГТД Нанотехнологии – 2010)»: Материалы Всероссийской конференции с элементами научной школы для молодежи, – Рыбинск: РГАТА имени П.А. Соловьева, 2010. – 140с., с. 76-79.
2. Радченко С.Ю., Маркин Н.И. Исследование достоверности моделирования в пакете DEFORM отрезки точных коротких заготовок// Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 2 – Тула: Изд-во ТулГУ, 2008.-316 с., С 107-113.
3. Новиков А.Д., Селеменев М.Ф., Фроленкова Л.Ю., Тарапанов А.С. Анализ формообразования внутренних профилей с помощью компьютерного моделирования // Материалы международного научного симпозиума технологов-машиностроителей (Ростов-на-Дону, 26-28 сент. 2018). – 2018.– С. 123 – 126.
4. Селеменова О.В., Селеменев М.Ф., Овсянникова И.В., Фроленкова Л.Ю., Тарапанов А.С. Перспективы повышения эффективности поверхностного пластического деформирования. [Текст] / Труды международной научно-технической конференции, посвященной 90-летию заслуженного деятеля науки и техники РФ, д.т.н., почетного профессора ДГТУ А.П. Бабичева. «Перспективные направления развития отделочно-упрочняющей обработки и виброволновых технологий». Ростов-на-Дону, ДГТУ, 2018 г. С.- 83-85.
5. Селеменова О.В., Селеменев М.Ф., Фроленкова Л.Ю., Тарапанов А.С. Теоретический анализ стойкости эпиламинированных покрытий инструмента при поверхностном пластическом деформировании [Текст] // «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии» 2018, № 1/(327).– ОГУ имени И.С.Тургенева, 2018г. С. 37-42.

Звягина Елена Александровна
Орловский государственный университет

Данильченко Станислав Геннадьевич
Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева, магистр

имени И.С. Тургенева (Ливенский филиал), кандидат
технических наук
Тел: +79155056212
zeam@yandex.ru

Мальцев Анатолий Юрьевич
Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева (Ливенский филиал), кандидат
технических наук

Титов Дмитрий Игоревич
Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева, магистр

Петрухин Антон Владимирович
Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева, магистр

E.A. ZVYAGINA, A.Yu. MALTSEV, S.G. DANILCHENKO, A.V. PETRUKHIN, D.I. TITOV

DEVELOPMENT OF A ROLLER WRAPPING MODEL IN DEFORM-3D

Abstract. *The article discusses a plastic model of the deformation of the workpiece material in the DEFORM-3D system. A qualitatively new model of the process of rolling shells by rollers has been obtained, suitable for both scientific analysis and research, and for engineering calculations. The developed model can serve as an effective tool for choosing rational values of technological and design-technological factors for rolling the shells with rollers.*

Keywords: *Rollers, rolling contact stresses, temperature, coefficient of friction, nanocoatings.*

BIBLIOGRAPHY

1. Kirichek A.V., Maltsev A.Yu., Selemenev M.F., Osipova A.F. Improving the efficiency of rolling shells with rollers by technological methods // "Nanotechnology in the production of gas turbine engines of aircraft and power plants (GTE Nanotechnology - 2010)": Materials of the All-Russian conference with elements of a scientific school for youth, - Rybinsk: RGATA named after P.A. Solovyov, 2010.-- 140s., P. 76-79.
2. Radchenko S.Yu., Markin N.I. Investigation of the reliability of modeling in the DEFORM package for exact short workpieces. Technical science. Issue 2 - Tula: Publishing house of Tula State University, 2008.-316 p., S 107-113.
3. Novikov A.D., Selemenev M.F., Frolenkova L.Yu., Tarapanov A.S. Analysis of the shaping of internal profiles using computer modeling // Materials of the International Scientific Symposium of Mechanical Engineers (Rostov-on-Don, 26-28 September 2018). - 2018.-P. 123 - 126.
4. Selemeneva O.V., Selemenev M.F., Ovsyannikova I.V., Frolenkova L.Yu., Tarapanov A.S. Prospects for increasing the efficiency of surface plastic deformation. [Text] / Proceedings of the international scientific and technical conference dedicated to the 90th anniversary of the Honored Worker of Science and Technology of the Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Honorary Professor of DSTU A.P. Babichev. "Promising directions of development of finishing and hardening processing and vibration wave technologies." Rostov-on-Don, DSTU, 2018 S. - 83-85.
5. Selemeneva O.V., Selemenev M.F., Frolenkova L.Yu., Tarapanov A.S. Theoretical analysis of the resistance of epilamated coatings of the tool under surface plastic deformation [Text] // "Fundamental and applied problems of engineering and technology" 2018, No. 1 / (327). - OSU named after I.S. Turgenev, 2018. S. 37-42.

Zvyagina Elena Alexandrovna
Oryol State University
named after I.S. Turgeneva, candidate of technical
sciences
Tel: +79155056212
zeam@yandex.ru

Danilchenko Stanislav Gennadievich
Oryol State University
named after I.S. Turgeneva, Master

Maltsev Anatoly Yurievich
Oryol State University
named after I.S. Turgeneva, Candidate of Technical
Sciences

Petrukhin Anton Vladimirovich
Oryol State University
named after I.S. Turgeneva, master

Titov Dmitry Igorevich
Oryol State University
named after I.S. Turgeneva, master

К.Ю. ПЕШЕХОНОВ, А.С. ТАРАПАНОВ

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТОЧНОСТИ
СПИРОИДНЫХ КОЛЕС**

Аннотация. В статье рассмотрены возможные погрешности спиройдной передачи на основе математического моделирования процесса формообразования зубьев спиройдного колеса. К погрешностям зубьев спиройдного колеса применимы такие типовые ошибки, как ошибка профиля зубьев, ошибка шага зубьев, ошибка толщины зубьев, ошибка продольной линии зубьев. В настоящее время нормы точности для спиройдных передач не стандартизованы. Показано, что оправка цилиндрической спиройдной фрезы для обработки спиройдных колес имеет увеличенную длину, что способствует большим отжатиям ее от спиройдного колеса в процессе формообразования. На основе составляющих сил резания представлен график колебаний оправки фрезы. При исследовании точности спиройдного колеса на основе комплексного анализа образования профиля зубьев спиройдного колеса выявлено, что геометрические отклонения боковых поверхностей зубьев колеса обусловлены погрешностями зубообрабатывающего инструмента и технологическими факторами.

Ключевые слова: спиройдная передача, погрешности обработки, отжатие оправки фрезы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гольдфарб, В.И. Спиройдные редукторы трубопроводной арматуры / Гольдфарб В.И., Главатских Д.В., Трубочев Е.С., Кузнецов А.С., Лукин Е.В., Иванов Д.Е., Пузанов В.Ю. – Москва: Вече, 2011. – 222 с.
2. Гольдфарб, В.И. Физическое моделирование спиройдного зацепления для оценки антифрикционных свойств смазочных масел / В.И. Гольдфарб, В.Н. Анферов, А.П. Ткачук, И.В. Сергеева // Теория и практика зубчатых передач: сборник трудов Международного симпозиума. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2014. – С. 258–262.
3. Анферов, В.Н. Особенности проектирования приводов машин с самотормозящими цилиндрическими спиройдными передачами / В.Н. Анферов, А.В. Кузьмин // Строительные и дорожные машины. – 2015. – №8. – С. 47–50.
4. Горлов, В.В. Анализ влияния погрешностей профиля зуба на нагрузочную способность цилиндрических зубчатых колес / В.В. Горлов, Н.В. Сурина // Горное оборудование и электромеханика. – 2012. – № 10. – С. 15–19.
5. Локтев, Д.А. Современные методы контроля качества цилиндрических зубчатых колес / Д.А. Локтев // Оборудование и инструмент для профессионалов: Металлообработка. – 2009. – № 4. – С. 6 – 11.
6. Береснева, А.В. Подходы к нормированию точности спиройдных колес / Береснева А.В. // Интеллектуальные системы в производстве. – Ижевск: ФГБОУ ВО ИжГТУ им. М.Т. Калашникова. – 2011. – № 2 (18). – С. 83–94.
7. Гудков, П.А. Моделирование технологических погрешностей зубообработки / П.А. Гудков, А.М. Михалев, С.В. Хрипунов // Пространство зацеплений. – Ижевск. – 2001. – С. 170–174.
8. Пешехонов, К.Ю. Особенности математического моделирования процесса нарезания зубьев спиройдных колес / К.Ю. Пешехонов, А.С. Тарапанов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – Орёл: ФГБОУ ВО ОГУ им. И.С. Тургенева. – 2016. – № 6 (320). – С. 77–81.
9. Колев, К.С. Точность обработки и режимы резания / К.С. Колев, Л.М. Горчаков. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1976. – 144 с.
10. Филатов, В.П. Жесткость зуборезных станков / В.П. Филатов. – М.: Машиностроение, 1969. – 118 с.

Пешехонов Константин Юрьевич
ОГУ имени И.С. Тургенева, г. Орел
Аспирант
302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95
Тел. 89066650002
E-mail: topmega2014@yandex.ru

Тарапанов Александр Сергеевич
ОГУ имени И.С. Тургенева, г. Орел
Доктор технических наук, профессор
302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95
Тел. 89066650002
E-mail: tarapanov@rambler.ru

K.Yu. PESHEKHONOV, A.S. TARAPANOV

**DEVELOPMENT OF A METHOD FOR PREDICTING
THE ACCURACY OF SPIROID WHEELS**

Abstract. *The article considers the possible errors of the spiroid transmission based on mathematical modeling of the process of shaping the teeth of the spiroid wheel. Typical errors such as tooth profile error, tooth pitch error, tooth thickness error, tooth longitudinal line error are applicable to spiroid wheel tooth errors. Currently, the accuracy standards for spiroid transmissions are not standardized. It is shown that the mandrel of a cylindrical spiroid cutter for processing spiroid wheels has an increased length, which contributes to its greater squeezing from the spiroid wheel during the shaping process. Based on the components of the cutting forces, a graph of the vibrations of the milling cutter mandrel is presented. In the study of precision spiroid wheels on the basis of a comprehensive analysis of the formation of the tooth profile of spiroid wheel revealed that the geometric deviations of the lateral surfaces of the teeth of wheels due to the errors of gear cutting tools and technological factors.*

Keywords: *spiroid gear, processing errors, deflection of the mandrel cutter.*

BIBLIOGRAPHY

1. Goldfarb, V.I. Spiroidnye reduktory truboprovodnoj armatury / Goldfarb V.I., Glavatskih D.V., Trubachev E.S., Kuznecov A.S., Lukin E.V., Ivanov D.E., Puzanov V.YU. – Moskva: Veche, 2011. – 222 s.
2. Goldfarb, V.I. Fizicheskoe modelirovanie spiroidnogo zacepleniya dlya ocenki antifrikcionnyh svoystv smazochnyh masel / V.I. Goldfarb, V.N. Anferov, A.P. Tkachuk, I.V. Sergeeva // Teoriya i praktika zubchatyh peredach: sbornik trudov Mezhdunarodnogo simpoziuma. – Izhevsk: Izd-vo IzhGTU, 2014. – S. 258–262.
3. Anferov, V.N. Osobennosti proektirovaniya privodov mashin s samotormozyashchimi cilindricheskimi spiroidnymi peredachami / V.N. Anferov, A.V. Kuzmin // Stroitelnye i dorozhnye mashiny. – 2015. – №8. – S. 47–50.
4. Gorlov, V.V. Analiz vliyaniya pogreshnostej profilya zuba na nagruzochnuyu sposobnost cilindricheskikh zubchatyh koles / V.V. Gorlov, N.V. Surina // Gornoe oborudovanie i elektromekhanika. – 2012. – № 10. – S. 15–19.
5. Loktev, D.A. Sovremennye metody kontrolya kachestva cilindricheskikh zubchatyh koles / D.A. Loktev // Oborudovanie i instrument dlya professionalov: Metalloobrabotka. – 2009. – № 4. – S. 6 – 11.
6. Beresneva, A.V. Podhody k normirovaniyu tochnosti spiroidnyh koles / Beresneva A.V. // Intellektualnye sistemy v proizvodstve. – Izhevsk: FGBOU VO IzhGTU im. M.T. Kalashnikova. – 2011. – № 2 (18). – S. 83–94.
7. Gudkov, P.A. Modelirovanie tekhnologicheskikh pogreshnostej zuboobrabotki / P.A. Gudkov, A.M. Mihalev, S.V. Hripunov // Prostranstvo zacepleniya. – Izhevsk. – 2001. – S. 170–174.
8. Peshekhonov, K.YU. Osobennosti matematicheskogo modelirovaniya processa narezaniya zubev spiroidnyh koles / K.YU. Peshekhonov, A.S. Tarapanov // Fundamentalnye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. – Oryol: FGBOU VO OGU im. I.S. Turgeneva. – 2016. – № 6 (320). – S. 77–81.
9. Kolev, K.S. Tochnost obrabotki i rezhimy rezaniya / K.S. Kolev, L.M. Gorchakov. – Izd. 2-e, pererab. i dop. – M.: Mashinostroenie, 1976. – 144 s.
10. Filatov, V.P. ZHestkost zuboreznyh stankov / V.P. Filatov. – M.: Mashinostroenie, 1969. – 118 s.

Peshekhonov Konstantin Yurevich

OSU after I.S. Turgeneva, Orel

Postgraduate

302026, Orel, st. Komsomolskaya, 95

E-mail: topmega2014@yandex.ru

Tarapanov Aleksandr Sergeevich

OSU after I.S. Turgeneva, Orel

Doctor of Engineering, professor

302026, Orel, st. Komsomolskaya, 95

Ph. 89066650002

E-mail: tarapanov@rambler.ru

УДК 621.78-978 791/.792 791.725

DOI: 10.33979/2073-7408-2021-346-2-77-85

А.М. КОЛОСОВСКИЙ, В.И. ВИХТЕВСКИЙ, Е.Б. ТРИСТАНОВА, Е.Ф. ЧЕРКАШИНА

АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И ИНСТРУМЕНТА

Аннотация. *В статье предложен анализ развития комбинированных электрофизических методов упрочнения деталей машин и инструмента на основе использования лучевой (лазерной, электронно-лучевой, ультразвуковой и пр.) обработки и электромагнитных полей. 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 высокоэнергетического (лазерного, электронного и пр.) излучения и электромагнитных полей как технологического фактора, а также и другими источниками технологической энергии, являющимися передовыми электрофизическими методами формирования рабочих поверхностей деталей машин и инструмента с уникальными физико-механическими и эксплуатационными свойствами.*

Ключевые слова: *детали машин, инструмент, покрытие, упрочнение, поверхность, присадочные материалы, модифицирование, электромагнитное поле, электронный луч, лазерный луч, комбинированные методы.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акулович, Л.М., Миранович, А.В., Ворошуха, О.Н. Управление обработкой поверхностей деталей машин в процессе магнитно-электрического упрочнения и магнитно-абразивной обработки//Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, physical-technical series, 2016, no. 4, pp. 37–48;
2. Акулович, Л.М., Линник, А.В., Ефимов, А.М. Предпосылки интенсификации процессов упрочнения и обработки поверхностей деталей машин в электромагнитном поле воздействием ультразвука// Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. 2011. № 11. С. 130-137;
3. Андронов, А.Ю., Янюшкин, А.С., Лобанов, Д.В., Рычков, Д.А. Исследования влияния метода магнито-импульсной обработки на надежность резцов для тяжелых токарных станков//Системы. Методы. Технологии. 2013. № 3 (19). С. 130-134;
4. Борисов, Г.А., Судаков, Н.Н., Горохова, М.Н., Слугин, М.М. Установка для упрочнения деталей ферропорошками в магнитном поле// Патент на полезную модель RU 48994 U1, 10.11.2005. Заявка № 2004130158/22 от 18.10.2004;
5. Василик, Н.Я., Колисниченко, О.В., Тюрин, Ю.Н. /Способ упрочнения поверхности металлических изделий/ Патент на изобретение RU 2541325 C1, 10.02.2015. Заявка № 2013133431/02 от 19.07.2013;
6. Гаврилов, Г.М. Изменения свойств закаленной стали в магнитном поле. – Металловедение и техническая обработка металлов. 1977. №6. с.18-22;
7. Горохова, М.Н., Барковский, Ю.Б., Борисов, Г.А., Семенова, Е.Е./ Установка для электромагнитной наплавки. Патент на полезную модель RU 74331 U1, 27.06.2008. Заявка № 2007107752/22 от 02.03.2007;
8. Довгалева, А.М. Комбинированное магнитно-вибродинамическое накатывание поверхности отверстий нежестких деталей машин//Вестник Белорусско-Российского университета. 2015. № 4 (49). С. 14-21;
9. Ивахник, В.Г., Польской, А.В. Способ повышения износостойкости футеровок дробилок//Научный вестник Московского государственного горного университета. 2013. № 9. С. 31-35;
10. Исследование эффектов обработки сильным импульсным магнитным и электрическими полями на пластические и физико-механические свойства материалов для машино- и приборостроения: отчет о НИР / Фонд фундаментальных исследований РБ; Физико-технический институт НАН РБ. Проект №Т94-367, № ГР. 19942666. – Минск, 1997;
11. Колосовский, А.М., Коваленко, В.С., Марченко, И.Ф. и др. Способ химико-термической обработки стальных изделий А.С. СССР № 1401907. 1992.. Непубликуемое;
12. Колосовский, А.М., Вихтевский, В.И., Тристанова, Е.Б., Черкашина, Е.Ф. Комплексная методика изучения планетарных зубчатых передач в военно-технических вузах// Известия Балтийской государственной академии рыбопромыслового флота: психолого-педагогические науки. 2019. № 4 (50). С. 195-200;
13. 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?i;d=42193234>;
14. Овчаренко, А.Г., Козлюк, А.Ю. Способ комбинированной магнито-импульсной обработки поверхностей инструментов и деталей машин// Патент на изобретение RU 2339704 C1, 27.11.2008. Заявка № 2007105490/02 от 13.02.2007;
15. Орлов, А.С., Полетаев, В.А. Упрочнение спиральных сверл импульсной магнитной обработкой// В сборнике: Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии (Бенардосовские чтения). Материалы Международной (XX Всероссийской) научно-технической конференции. 2019. С. 292-294;
16. Памфилов, Е.А., Пыриков, П.Г. Способ упрочняющей обработки металлических поверхностей// Патент на изобретение RU 2162111 C2, 20.01.2001. Заявка № 98121124/02 от 16.11.1998;
17. Попова, Ж.А. Особенности изменения физико-механических свойств конструкционных сталей при магнитно-импульсной обработке// Вестник Брестского государственного технического университета. 2012. №4. С.43-46;
18. Рафиков, И.А., Сайфуллин, Р.Н. Опыт восстановления деталей плазменной наплавкой в переменном магнитном поле// Труды ГОСНИТИ. 2013. Т. 111. № 2. С. 202-205;
19. Фёдоров, А.А. Химико-термическая обработка в разряде изделий сложной конфигурации//Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 4-4. С. 39-41;
20. Хейфец, М.Л., Чемисов, Б.П., Грецкий, Н.Л., Толстиков, С.К. Формирование покрытий ферропорошками в электромагнитном поле// Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В: Прикладные науки. Промышленность. 2007. № 2. С. 2-10;
21. Хейфец, М.Л., Грецкий, Н.Л., Семенов, С.В., Новиков, А.В. Совмещение электрофизических и термомеханических процессов для восстановления и упрочнения поверхностей деталей// Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. 2011. № 3. С. 63-68;
22. Чемисов, Б.П., Борисов, Г.А., Горохова, М.Н., Собачко, С.М. Установка для восстановления и упрочнения деталей ферропорошками в магнитном поле//Патент на полезную модель RU 46964 U1, 10.08.2005. Заявка № 2004134110/22 от 22.11.2004;
23. Шелег, В.К., Довгалева, А.М. Исследование триботехнических свойств поверхностей деталей, упрочненных совмещенным магнитно-динамическим накатыванием// Актуальные вопросы машиноведения. 2018. Т. 7. С. 330-334;
24. Электрохимические и электрофизические методы обработки в современном машиностроении: учеб. пособие / Ю. Н. Полянчиков, А. Г. Схиртладзе, А. Н. Воронцова, М. Ю. Полянчикова, М. А. Тибиркова, Ю. И. Сидякин, А. А. Кожевникова. – ВолгГТУ, Волгоград, 2015. – 240 с.;
25. Herbert, E.G. To harden metal magnetic field must be current. – Metal Progress, 1932, v.22, №1, p.53;

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

Вихтевский Владимир Ильич

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. (+7-911) 490-34-11
E-mail: uaxumba@mail.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

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

A.M. KOLOSOVSKII, V.I. VICHTEVSKII, E.F. CHERKASHINA, E.B. TRISTANOVA

THE DEVELOPMENT OF COMBINED ELECTROPHYSICAL METHODS OF MACHINE AND INSTRUMENT PARTS HARDENING ANALYSIS

Abstract. *The article proposes an analysis of the development of combined electrophysical methods of hardening machine parts and tools based on the use of radiation (laser, electro-beam, ultrasonic, etc.) processing and electromagnetic fields. It is shown that the current and promising direction in improving the performance of the contact surface layers of machine parts, creating high-performance coatings (as well as technologies for their application) with high physical and mechanical properties of responsible parts is the combination of high-energy (laser, electronic, etc.) radiation and electromagnetic fields as a technological factor, as well as other sources of technological energy, which are advanced electrophysical methods of forming working surfaces of mechanical parts of mechanical and mechanical components.*

Keywords: *machine parts, tool, coating, hardening, surface, additive materials, modification, electromagnetic field, electronic radiation, laser radiation, combined methods.*

BIBLIOGRAPHY

1. Akulovich, L.M., Miranovich, A.V., Voroshucho, O.N. Upravlenie obrabotkoi poverhnostei detalei mashyn v protsesse magnitno-elektricheskogo uprochnenia i magnitno-abrazivnoi obrabotki//Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, physical-technical series, 2016, no. 4, pp. 37–48;
2. Akulovich, L.M., Linnik, A.V., Efimov, A.M. Predposylki intensivifikatsii protsessov uprochnenia i obrabotki poverhnostei datalei mashyn v elektromagnitnom pole vozdeistviem ultrzvuk// Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria B. Promyshlennost. Prikladnye nauki. 2011. № 11. pp. 130-137;
3. Andronov, A.Yu., Yaniushkin, A.S., Lobanov, D.V., Rychkov, D.A. Issledovaniya vliyaniya metoda magnitno-impulsnoi obrabotki na nadezhnost reztsov dlia tiazhelyh tokarnyh stankov//Sistemy. Metody. Tehnologii. 2013. № 3 (19). pp. 130-134;
4. Borisov, G.A., Sudakov, N.N., Gorohova, M.N., Slugin, M.M. Ustanovka dlia uprochnenia detalei ferroporoshkami v magnitnom pole//Patent na poleznuiu model RU 48994 U1, 10.11.2005. Zaiavka № 2004130158/22.-18.10.2004;
5. Vasilik, N.Ya., Kolisnichenko, O.V., Tiurin, Yu.N. /Sposob uprochnenia poverhnosti matallicheskikh izdelii/ Patent na izobretenie RU 2541325 C1, 10.02.2015. Zaiavka № 2013133431/02 ot 19.07.2013;
6. Gavrilov, G.M. Izmeneniya svoystv zakalennoi stali v magnitnom pole// Metallovedenie i tehniceskai obrabotka metallov. 1977. №6. pp.18-22;
7. Gorohova, M.N., Barkovskii, Yu.B., Borisov, G.A., Semenova, E.E./ Ustsnovka dlia elektromagnitnoi naplavki. Patent na poleznuiu model RU 74331 U1, 27.06.2008. Zaiavka № 2007107752/22 - 02.03.2007;
8. Dovgalev, A.M. Kobinirovannoe magnitno-vibrodinamicheskoe nakatyvanie poverhnosti otverstii nezhestkih detalei mashyn//Vestnik Belorussko-Rossiiskogo universiteta. 2015. № 4 (49). pp. 14-21;
9. Ivahnik, B.G., Polskoi, A.V. Sposob povysheniya iznosostoikosti futerovok drobilolkk//Nauchnyi vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta. 2013. № 9. pp. 31-35;
10. Issledovanie effektiv obrabotki silnym impulsnym magnitnym i elektricheskimi poliami na plasticheskie i fiziko-mehaniicheskie svoystva materialov dlia mashino- i priborostroeniya: otchet o NIR/ Fond fundamentalnyh issledovaniy RB; Fiziko-tehnicheskiiy institut NAN PB. Proekt №T94-367, № GR. 19942666. – Minsk, 1997;
11. Kolosovskii, A.M., Kovalenko, V.S., Marchenko, I.F. i dr. Sposob himiko-termicheskoi obrabotki stalnyh izdeliy A.S. USSR № 1401907. 1992. Nepublikuemoe;

12. Kolosovskii, A.M., Vihtevskii, V.I., Tristanova, E.B., Cherkashina, E.F. Kompleksnaia metodika izucheniia planetarnykh zubchatykh peredach v voenno-tekhnicheskikh vuzakh//Izvestia Baltiiskoi gosudarstvennoi akademii rybopromyslovogo flota. 2019. № 4 (50). pp. 195-200;
13. Kolosovskii, A.M. Puti povysheniia nadezhnosti i dolgovechnosti otvetstvennykh detalei na osnove perspektivnykh materialov i tekhnologii/ Fundamentalnye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. – OGU im. I.S. Turgeneva. 2020. №5(343). – pp.46-54; URL: <https://www.elibrary.ru/contents.asp?i;d=42193234>;
14. Ovcharenko, A.G., Kozliuk, A.Yu. Sposob kombinirovannoi magnito-impulsnoi obrabotki poverhnostei instrumentov i detalei mashyn//Patent na izobretenie RU 2339704 C1, 27.11.2008. Zaiavka № 2007105490/02 ot 13.02.2007;
15. Orlov, A.S., Poletaev, V.A. Uprochnenie spiralnykh averl impulsnoi magnitnoi obrabotkoi// V sbornike: Sostoianie i perspektivy razvitiia elektro- i teplotekhnologii (Bernardosovskie chteniia). Materialy Mezhdunarodnoi (XX Vserossiiskoi) nauchno-tekhnicheskoi konferentsii. 2019. pp. 292-294;
16. Pamfilov, E.A., Pyrikov, P.G. Sposob uprochniaushei obrabotki metallicheskh poverhnostei// Patent na izobretenie RU 2162111 C2, 20.01.2001. Zaiavka № 98121124/02 ot 16.11.1998;
17. Popova, ZH.A. Osobennosti izmeneniia fiziko-mekhanicheskikh svoystv konstruktivnykh stalei pri magnitno-impulsnoi obrabotke//Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2012. №4. pp.43-46;
18. Rafikov, I.A., Sayfullin, R.N. Opyt vosstanovleniia detalei plazmennoi naplavkoi v peremennom magnitnom pole// Trudy GOSNITI. 2013. T. 111. № 2. pp. 202-205;
19. Fedorov, A.A. Himiko-termicheskaia obrabotka v razriade izdeliy slozhnoi konfiguratsii//Aktualnye problemy gumanitarnykh i estrstvennykh nauk. 2015. № 4-4. pp. 39-41;
20. Heifets, M.L., Chemisov, B.P., Gretsii, N.L., Tolstikov, S.K. Formirovanie pokrytii ferroporoshkami v elektromagnitnom pole// Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria B: Prikladnye nauki. Promyshlennost. 2007. № 2. PP. 2-10;
21. Heifets, M.L., Gretsii, N.L., Semenov, S.V., Novikov, A.V. Sovmeshenie elektrofizicheskikh i termomekhanicheskikh protsessov dlia vosstanovleniia i uprochneniia poverhnostei detalei//Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria B: Prikladnye nauki. Promyshlennost. 2011. № 3. pp. 63-68;
22. Chemisov, B.P., Borisov, G.A., Gorohova, M.N., Sobachko, S.M. Ustanovka dlia vosstanovleniia i uprochneniia detalei ferroporoshkami v magnitnom pole// Patent na poleznuiu model RU 46964 U1, 10.08.2005. Zaiavka № 2004134110/22 ot 22.11.2004;
23. Sheleg, V.K., Dovgalev, A.M. Issledovanie tribotekhnicheskikh svoystv poverhnostei detalei, uprochnennykh sovmeshennym magnito-dinamicheskim nakatyvaniem//Aktualnye voprosy mashynovedeniia. 2018. T. 7. pp. 330-334;
24. Elektrohimicheskie i elektrofizicheskie metody obrabotki v sovremennom mashynostroenii: ucheb. posobie/ Yu.N. Polianchikov, A.G. Shirladze, A.N. Vorontsova, M.Yu. i dr./ VolgGTU. Volgograd. 2015. 240 p.;
25. Herbert, E.G. To harden metal magnetic field must be current. – Metall Progress, 1932, v.22, №1, p.53;
26. Herbert, E.G. Periodic fluctuations in Metall. – Metallurgia, 1934, v.10, №2, p.143-154.

Kolosovskii Andrei Michailovich

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

Vihtevskii Vladimir Ilich

Branch of Naval Academy in Kaliningrad
236026, Kaliningrad, Sovietskii ave., 82
Teacher of the Department
Ph. (+7-911) 490-34-11
E-mail: uaxumba@mail.ru

Cherkashina Elena Fedorovna

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

Tristanova Elena Borisovna

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

УДК: 621.9

DOI: 10.33979/2073-7408-2021-346-2-86-92

О.Г. КОЖУС, Г.В. БАРСУКОВ, В.С. ШОРКИН, Л.Ю. ФРОЛЕНКОВА

ОСОБЕННОСТИ НАНЕСЕНИЯ ПОЛИМЕРА НА ПОВЕРХНОСТЬ АБРАЗИВНОГО ЗЕРНА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРОАБРАЗИВНОГО РЕЗАНИЯ

***Аннотация.** В статье решаются вопросы, позволяющие создать условия, исключая образование агломераций абразива в процессе нанесения полимерного покрытия в установках с псевдоожиженным слоем. Авторами даются рекомендации о тепловом режиме в зоне распыления раствора полимера для успешного проведения операции покрытия абразивных зерен.*

Ключевые слова: абразив, гидроабразивное резание, полимер, покрытие, адгезия, агломерация

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Barsukov G., Zhuravleva T., Kozhus O. Methodics of Quality of Hydroabrasive Water-jet Cutting Machinability Assessment //International Conference on Industrial Engineering. – Springer, Cham, 2018. – P. 1677-1685.
2. Barsukov, G., Zhuravleva, T., & Kozhus, O. (2017, January). Increasing of efficiency of environmentally friendly technology of AWJ of a glass fiber plastic. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 50, No. 1, p. 012001). IOP Publishing.
3. Инновационные технологии резания сверхзвуковой струей жидкости: экономика, рынок, состояние и перспективы развития [Текст] / Е.Ю. Степанова, О.Г. Кожус, Г.В. Барсуков //Вестник Брянского государственного технического университета. – 2017. – №. 1. – С. 243-253.
4. Исследование абразивной способности искусственных и природных абразивов, обеспечивающих производительность гидроабразивного резания [Текст] / О.Г. Кожус, Г.В. Барсуков, А.Ю. Винокуров // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2018. – Т. 1. – №. 2. – С. 34-40.
5. Барсуков, Г.В. Расчет контакта композитного абразива со стенками сопла, обеспечивающий снижение износа фокусирующей трубки гидроабразивной установки [Текст] / Г.В. Барсуков, В.С. Шоркин, О.Г. Кожус, Т.А. Журавлева // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2020. - №. 2. – С. 62-68.
6. Проханов С.А. Математическое моделирование движения частиц и газа в устройствах с кипящим и циркулирующим кипящим слоем [Текст] / С.А Проханов, А.В. Старченко // VIII Всероссийская конференция с международным участием «Горение твердого топлива», Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, 13 – 16 ноября 2012 г. – С. 82.1 – 82.7.
7. Витковский И.В. Теоретическая оценка несплошности адгезионного контакта элементов жидкометаллического бланкета термоядерного реактора [Текст] / И.В. Витковский, А.Н. Конев, В.С. Шоркин, С.И. Якушина // Журнал технической физики. – 2007. – Т. 77. – Вып. 6. – С. 28 – 33.
8. Лыков А.В. Теплообмен: (Справочник). 2-е изд., перераб. и доп. [Текст] / А.В. Лыков. – М.: Энергия, 1978. – 480 с.
9. Амелин А.Г. Теоретические основы образования тумана при конденсации пара [Текст] / А.Г. Амелин. – М.: Химия, 1972. – 304 с.
10. Дохов М.П. Расчет времени испарения дисперсных частиц [Текст] / М.П. Дохов // Фундаментальные исследования. – 2006. – № 10. – С. 65 – 6

Барсуков Геннадий Валерьевич

ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева»
г. Орел
доктор технических наук, профессор кафедры
машиностроения
302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95
Тел.: + 7 (4862) 413295
E-mail: awj@list.ru

Шоркин Владимир Сергеевич

ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева»
г. Орел
доктор физико-математических наук, профессор,
профессор кафедры технической физики и математики
Тел. +7 (960) 655-00-77
E-mail: VSorkin@yandex.ru

Кожус Ольга Геннадьевна

ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева»
г. Орел
вед. инж.
302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95
Тел.: + 7 (4862) 413295
E-mail: okozhus@mail.ru

Фроленкова Лариса Юрьевна

ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева»
г. Орел
доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой
машиностроения
Тел. +7 (910) 301-73-20
E-mail: LaraFrolenkova@yandex.ru

O.G. KOZHUS, G.V. BARSUKOV, V.S. SHORKIN, L.Yu. FROLENKOVA

FEATURES OF APPLYING THE POLYMER TO THE SURFACE OF THE ABRASIVE GRAIN TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF WATERJET CUTTING

Abstract. *The article deals with the issues that make it possible to create conditions that exclude the formation of abrasive agglomerations during the application of a polymer coating in installations with a fluidized bed. The authors give recommendations on the thermal regime in the zone of polymer solution spraying for the successful operation of coating abrasive grains.*

Keywords: *abrasive, waterjet cutting, polymer, coating, adhesion, agglomeration.*

BIBLIOGRAPHY

1. Barsukov G., Zhuravleva T., Kozhus O. Methodics of Quality of Hydroabrasive Water-jet Cutting Machinability Assessment //International Conference on Industrial Engineering. – Springer, Cham, 2018. – P. 1677-1685.
2. Barsukov, G., Zhuravleva, T., & Kozhus, O. (2017, January). Increasing of efficiency of environmentally friendly technology of AWJ of a glass fiber plastic. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 50, No. 1, p. 012001). IOP Publishing.
3. Innovative technologies of cutting with a supersonic liquid jet: economy, market, state and prospects of development [Text] / E. Yu. Stepanova, O. G. Kozhus, G. V. Barsukov //Bulletin of the Bryansk State Technical University. - 2017. - no. 1. - p. 243-253
4. Research of the abrasive ability of artificial and natural abrasives that ensure the performance of waterjet cutting [Text] / O. G. Kozhus, G. V. Barsukov, A. Yu. Vinokurov // Fundamental and applied problems of engineering and technology. - 2018. - Vol. 1. - no. 2. - p. 34-40.
5. Barsukov G. V., Shorkin V. S., Kozhus O. G., Zhuravleva T. A. Calculation of the contact of a composite abrasive with the nozzle walls, providing a reduction in the wear of the focusing tube of a hydroabrasive installation. - 2020. - No. 2. - pp. 62-68.
6. Prokhanov S. A., Starchenko A.V., Mathematical modeling of particle and gas motion in devices with a boiling and circulating boiling layer, VIII All-Russian Conference with International Participation "Gorenje solid fuels", S. S. Kutateladze Institute of Thermophysics SB RAS, November 13-16, 2012, pp. 82.1-82.7.
7. Vitkovsky I. V., Konev A. N., Shorkin V. S., Yakushina S. I. Theoretical assessment of the discontinuity of the adhesive contact of the elements of the liquid-metal blanket of a thermonuclear reactor. - 2007. - Vol. 77. - Issue 6. - P. 28-33.
8. Lykov A.V. Teplomassoobmen: (Reference book). 2nd ed., reprint. and add. [Text] / A.V. Lykov. - M.: Energiya, 1978 -- 480 p.
9. Amelin A. G. Theoretical foundations of fog formation during steam condensation [Text] / A. G. Amelin -- M.: Khimiya, 1972 -- 304 p.
10. Dokhov M. P. Calculation of the evaporation time of dispersed particles [Text] / M. P. Dokhov // Fundamental Research. - 2006. - No. 10. - p. 65-6.

Barsukov Gennady Valeryevich

Orel State University, Orel
Doctor of Technical Sciences, Professor of the
Department of Mechanical Engineering
302026, Orel, Komsomolskaya st, 95
Ph.: + 7 (4862) 413295
E-mail: awj@list.ru

Shorkin Vladimir Sergeevich

Orel State University, Orel
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor,
Professor of the Department of Technical Physics and
Mathematics
302026, Orel, Komsomolskaya st, 95
Ph.: +7 (960) 655-00-77
E-mail: VSorkin@yandex.ru

Kozhus Olga Gennadievna

Orel State University, Orel
Leading Engineer
302026, Orel, Komsomolskaya st, 95
Ph.: + 7 (4862) 413295
E-mail: okozhus@mail.ru

Frolenkova Larisa Yuryevna

Orel State University, Orel
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head.
Department of Mechanical Engineering
302026, Orel, Komsomolskaya st, 95
Ph.:+7 (910) 301-73-20
E-mail: LaraFrolenkova@yandex.ru

УДК 621.923

DOI: 10.33979/2073-7408-2021-346-2-93-99

А.О. ХАРЧЕНКО, А.А. ХАРЧЕНКО

АНАЛИЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕНАЛАЖИВАЕМОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ВНУТРЕННЕЙ МЕЛКОРАЗМЕРНОЙ РЕЗЬБООБРАБОТКИ

Аннотация. В статье представлены результаты анализа и теоретических исследований в направлении совершенствования оборудования для внутренней резьбообработки деталей в условиях гибкого автоматизированного производства. Рассмотрены методы оценки гибкости и переналаживаемости оборудования, которые могут быть положены в основу разрабатываемой методики синтеза технологических элементов модулей в условиях автоматизированного проектирования. Технологическую систему гибкого производственного модуля (ГПМ) резьбообработки предложено рассматривать как систему, в которой переходы из состояния в состояние происходят под действием простейших потоков с параметрами вероятностей перехода непрерывной марковской цепи. Разработанная математическая модель, описывающая

состояния ГПМ с учетом переналадок его технологических элементов, позволяет отразить влияние на работу модуля параметров заявок на переналадку режимов обработки, инструмента, силовой резьбонарезной головки, базовых элементов станка, приспособления, загрузочного устройства. Структура модели и размеченный граф состояний системы могут совершенствоваться по мере уточнения числа параметров и характеристик. Решение полученной системы уравнений финальных вероятностей с помощью условия нормировки позволяет для заданных (или полученных экспериментально) интенсивностей поступления и обслуживания заявок на переналадку для ГПМ резьбообработки получить значения вероятности беспереналадочной работы, а также вероятностей нахождения системы в нерабочем состоянии по причине соответствующих переналадок. Для полной информации и объективной оценки предпочтительного для использования в условиях ГПС варианта также необходим учет стохастических процессов, происходящих в системе в реальных условиях функционирования.

Ключевые слова: гибкость и переналаживаемость оборудования, внутренняя резьбообработка деталей, технологические элементы модуля, гибкий производственный модуль (ГПМ) резьбообработки, простейший поток, марковская цепь, вероятность беспереналадочной работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Харченко А.О. Структурно-компоновочный синтез подсистем модулей для внутренней резьбообработки / А.О. Харченко, А.А. Харченко // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. – Орел: ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», 2020. № 4-2 (342). – С.85-94. DOI: 10.33979/2073-7408-2020-342-4-2-85-94.
2. Ныс Д.А. Понятие гибкости в современных станочных системах / Д.А. Ныс // *Станки и инструмент*. – 1984. – №10. – С. 3-4.
3. Пуш В.Э. Автоматические станочные системы / В.Э. Пуш, Р. Пигерт, В.Л. Сосонкин. – М.: Машиностроение, 1982. – 319 с.
4. Соломенцев Ю.М. Оценка гибкости автоматизированной станочной системы / Ю.М. Соломенцев, А.А. Кутин, С.А. Шептунов // *Вестник машиностроения*. – 1984. – №1. – С. 38-41.
5. Наянзин Н.Г. Системное проектирование гибких производственных систем: Обзор / Н.Г. Наянзин. – М.: НИИМаш, 1984. – 66 с.
6. Долгин В.П. Надежность технических систем: учеб. пособие / В.П. Долгин, А.О. Харченко. – М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2015. – 167 с.
7. Вентцель Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М.: Высшая школа, 2000. – 480 с.
8. Novoselov, Yu.K., Kharchenko A.O. Choice of the Optimal Structure of a Flexible Production Cell / Novoselov, Yu.K., Kharchenko A.O. // *Soviet engineering research*, 1987. – 7(2), P. 48-52.
9. Мерзлов А.В. Разработка критерия эффективности при оптимизации структур станочных модулей / А.В. Мерзлов, А.О. Харченко, А.А. Харченко // *Современные технологии: проблемы и перспективы: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции (20 - 23 мая 2019 г.)*, Севастополь: ФГАОУ ВО «СевГУ», 2019. – С. 97-100.
10. Нахапетян Е.Г. Диагностирование оборудования гибкого автоматизированного производства / Е.Г. Нахапетян. – М.: Наука, 1985. – 224 с.
11. Харченко А.О. Анализ и синтез структур современных многооперационных станков: практикум / А.О. Харченко, С.М. Братан, Е.А. Владецкая, С.И. Рошупкин. – М.: Центркаталог, 2018. – 144 с.

Харченко Александр Олегович
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь
Кандидат технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения»
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33
Тел. 54-05-57
E-mail: khao@list.ru

Харченко Андрей Александрович
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобильный транспорт»
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33
Тел. +7 (8692) 54-35-70
E-mail: a.a.kharchenko@sevsu.ru

A.O. KHARCHENKO, A.A. KHARCHENKO

ANALYSIS AND RESEARCH OF ADJUSTABILITY OF EQUIPMENT FOR INTERNAL SMALL-SIZED THREADING

Abstract. *The article presents the results of analysis and theoretical research in the direction of improving equipment for internal threading of parts in a flexible automated production. Methods for assessing the flexibility and readjustability of equipment are considered, which can be used as the basis for the developed methodology for the synthesis of technological elements of modules in conditions of computer-aided design. It is proposed to consider the technological system of the flexible manufacturing module (FMM) of threading, as a system in which transitions from state to state occur under the action of the simplest flows with the parameters of the transition probabilities of a continuous Markov chain. The developed mathematical model, which describes the states of a FMM, taking into account the readjustment of its technological elements, makes it possible to reflect the influence on the operation of the module of the parameters of applications for the changeover of processing modes, a tool, a power threading head, basic elements of a machine tool, a device, a loading device. The structure of the model and the labeled graph of the states of the system can be improved as the number of parameters and characteristics is refined. The solution of the resulting system of equations of final probabilities using the normalization condition allows for given (or experimentally obtained) intensities*

of arrival and service of changeover requests for FMM of threading, to obtain the values of the probability of non-changeover operation, as well as the probabilities of finding the system in an inoperative state due to the corresponding changeovers. For complete information and an objective assessment of the preferred option for use in FMS conditions, it is also necessary to take into account the stochastic processes occurring in the system under real operating conditions.

Keywords: flexibility and readjustment of equipment, internal threading of parts, technological elements of the module, flexible manufacturing module (FMM) of threading, simplest flow, Markov chain, probability of non-changeover operation.

BIBLIOGRAPHY

1. Kharchenko A.O. Strukturno-komponovochnyy sintez podsystem moduley dlya vnutrenney rezboobrabotki (*Structural-layout synthesis of subsystems of modules for internal thread processing*) / A.O. Kharchenko, A.A. Kharchenko // Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. – Orel: FGBOU VO «OGU imeni I.S. Turgeneva», 2020. № 4-2 (342). – S.85-94. DOI: 10.33979/2073-7408-2020-342-4-2-85-94.
2. Nys D.A. Ponyatiye gibkosti v sovremennykh stanochnykh sistemakh (*The concept of flexibility in modern machine systems*) / D.A. Nys // Stanki i instrument. – 1984. – №10. – S. 3-4.
3. Push V.E. Avtomaticheskkiye stanochnyye sistemy (*Automatic machine tools*) / V.E. Push, R. Pigert, V.L. Sosonkin. – M.: Mashinostroyeniye, 1982. – 319 s.
4. Solomentsev YU.M. Otsenka gibkosti avtomatizirovannoy stanochnoy sistemy (*Evaluation of the flexibility of an automated machine tool system*) / Yu.M. Solomentsev, A.A. Kutin, S.A. Sheptunov // Vestnik mashinostroyeniya. – 1984. – №1. – S. 38-41.
5. Nayanzin N.G. Sistemnoye proyektirovaniye gibkikh proizvodstvennykh sistem: Obzor (*System design of flexible production systems: Review*) / N.G. Nayanzin. – M.: NIIMash, 1984. – 66 s.
6. Dolgin V.P. Nadezhnost tekhnicheskikh sistem (*Reliability of technical systems*) / V.P. Dolgin, A.O. Kharchenko. – M.: Vuzovskiy uchebnik: INFRA-M, 2015. – 167 s.
7. Venttsel Ye.S. Teoriya veroyatnostey i yeye inzhenernyye prilozheniya (*Probability theory and its engineering applications*) / Ye.S. Venttsel, L.A. Ovcharov. – M.: Vysshaya shkola, 2000. – 480 s.
8. Novoselov, Yu.K., Kharchenko A.O. Choice of the Optimal Structure of a Flexible Production Cell / Novoselov, Yu.K., Kharchenko A.O. // Soviet engineering research, 1987. –7(2), P. 48-52.
9. Merzlov A.V. Razrabotka kriteriya effektivnosti pri optimizatsii struktur stanochnykh moduley (*Development of a performance criterion for the optimization of structures of machine modules*) / A.V. Merzlov, A.O. Kharchenko, A.A. Kharchenko // Sovremennyye tekhnologii: problemy i perspektivy: sbornik statey Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (20 - 23 maya 2019 g.), Sevastopol: FGAOU VO «SevGU», 2019. – S. 97-100.
10. Nakhapetyan Ye.G. Diagnostirovaniye oborudovaniya gibkogo avtomatizirovannogo proizvodstva (*Diagnosing equipment for Flexible Automated Production*) / Ye.G. Nakhapetyan. – M.: Nauka, 1985. – 224 s.
11. Kharchenko A.O. Analiz i sintez struktur sovremennykh mnogooperatsionnykh stankov: praktikum (*Analysis and synthesis of the structures of modern multioperational machines: practical*) / A.O. Kharchenko, S.M. Bratan, Ye.A. Vladetskaya, S.I. Roshchupkin. – M.: Tsentrkatalog, 2018. – 144 s.

Kharchenko Alexander Olegovich "Sevastopol State University", Sevastopol
Ph.D., professor of the department "Technology of mechanical engineering"
299053, Sevastopol, Universitetskaya St., 33
Ph. 54-05-57
E-mail: khao@list.ru

Kharchenko Andrey Aleksandrovich
"Sevastopol State University", Sevastopol
Ph.D., Associate Professor of "Automobile Transport"
299053, Sevastopol, Universitetskaya St., 33
Ph. +7 (8692) 54-35-70
E-mail: a.a.kharchenko@sevsu.ru

УДК 621.9+51-74

DOI: 10.33979/2073-7408-2021-346-2-100-108

В.И. ГОЛОВИН, С.Ю. РАДЧЕНКО

МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСЕВОЙ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ СВЕРЛЕНИИ ОДНОНАПРАВЛЕННЫХ УГЛЕПЛАСТИКОВ С УЧЕТОМ ИЗНОСА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Аннотация. Одной из актуальных задач при производстве углепластиковых изделий является обеспечение заданной точности и качества просверленных отверстий. Предлагается модель прогнозирования осевой силы резания с учетом степени износа инструмента. Сначала анализируются геометрические характеристики износа инструмента спирального сверла. Далее, условия контакта между сверлом и углепластиком определяются в соответствии с геометрическими характеристиками износа инструмента. На основе механики контактного взаимодействия поверхностей моделируются осевые усилия основных режущих кромок и поперечной кромки с учетом степени износа инструмента. Полученные результаты интегрируются в модель прогнозирования осевой силы. Приведен пример экспериментального исследования процесса сверления углепластика. Полученные результаты показывают достаточно точное прогнозирование режущей силы с учетом износа режущего инструмента.

Ключевые слова: прогнозирование силы резания, сверление углепластика, износ инструмента, механическая модель, контактное взаимодействие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михайлин Ю.А. Конструкционные полимерные композиционные материалы. // СПб.: НОТ. 2008. 820 с.
2. Кербер М.Л., Виноградов В.М. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология. // СПб.: Профессия. 2009. 560 с.
3. А. Е. Раскутин, А. В. Хрульков, Р. И. Гирш. Технологические особенности механообработки композиционных материалов при изготовлении деталей конструкций // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2016. №9.
4. Won MS, Dharan SKH. Chisel edge and pilot hole effects in drilling composite laminates. J Manuf Sci E-T ASME 2002;124(2):242–7.
5. Shaw MC. On the drilling of metals II-the torque and thrust of drilling. Trans ASME 1957;79:139–48.
6. Plescu D, Gehin D, Gutierrez ME, Girot F. Modeling and tool wear in drilling of CFRP. Int J Mach Tool Manu 2010;50(2):204–13
7. Feito N, Muñoz-Sánchez A, Díaz-Álvarez A, Loya JA. Analysis of the machinability of carbon fiber composite materials in function of tool wear and cutting parameters using the artificial neural network approach. Materials 2019;12(17)
8. Guo DM, Wen Q, Gao H, Bao YJ. Prediction of the cutting forces generated in the drilling of carbon-fibre-reinforced plastic composites using a twist drill. P I Mech Eng B-J Eng 2011;226(B1):28–42
9. Е. Н. Белецкий. Моделирование процесса силового взаимодействия инструмента при механической обработке заготовок ответственных деталей из композиционных углепластиков, применяемых в судостроении // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — № 6(28). — с. 67-76.
10. Fernandes M, Cook C. Drilling of carbon composites using a one shot drill bit. Part II: empirical modeling of maximum thrust force. Int J Mach Tool Manu 2006;46 (1):76–9
11. Zhang LC, Zhang HJ, Wang XM. A force prediction model for cutting unidirectional fibre-reinforced plastics. Mach Sci Technol 2001;5(3):293–305.

Головин Василий Игоревич
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь
Кандидат технических наук, доцент, директор
Политехнического института
299000, г. Севастополь, ул. Университетская, 33
Тел. (8692) 55-00-77
E-mail: golovin@sevsu.ru

Радченко Сергей Юрьевич
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
Доктор технических наук, профессор, проректор по
научно-технологической деятельности и аттестации
научных кадров
302026, Орловская область, г. Орел,
ул. Комсомольская, д. 95
Тел. (4862)47-50-71
E-mail: radsu@rambler.ru

V.I. GOLOVIN, S.YU. RADCHENKO

THRUST FORCE PREDICTION MODEL FOR DRILLING UNIDIRECTIONAL CARBON PLASTICS WITH WEAR OF THE CUTTING TOOL

Abstract. *One of the most important tasks in the production of carbon fiber products is to ensure the specified accuracy and quality of the drilled holes. A model for predicting the thrust force, taking into account the degree of tool wear, is proposed. First, the geometric characteristics of the wear of the spiral drill tool are analyzed. Further, the contact conditions between the drill and the carbon fiber are determined in accordance with the geometric characteristics of the tool wear. Based on the mechanics of the contact interaction of surfaces, the thrust forces of the main cutting edges and the chisel edge are modeled, taking into account the degree of tool wear. The results obtained are integrated into the thrust force prediction model. An example of an experimental study of the drilling carbon fiber is given. The results obtained show a fairly accurate prediction of the cutting force, taking into account the wear of the cutting tool.*

Keywords: *cutting force prediction, carbon fiber drilling, tool wear, mechanical model, contact interaction.*

BIBLIOGRAPHY

1. Mihajlin YU.A. Konstrukcionnye polimernye kompozicionnye materialy. // SPb.: NOT. 2008. 820 s.
2. Kerber M.L., Vinogradov V.M. Polimernye kompozicionnye materialy: struktura, svoystva, tekhnologiya. // SPb.: Professiya. 2009. 560 s.

3. A. E. Raskutin, A. V. Hruikov, R. I. Girsh. Tekhnologicheskie osobennosti mekhanooobrabotki kompozitsionnykh materialov pri izgotovlenii detalej konstrukcij // Trudy VIAM: elektron. nauch.-tekhnich. zhurn. 2016. №9.
4. Won MS, Dharan CKH. Chisel edge and pilot hole effects in drilling composite laminates. J Manuf Sci E-T ASME 2002;124(2):242–7.
5. Shaw MC. On the drilling of metals II-the torque and thrust of drilling. Trans ASME 1957;79:139–48.
6. Ilescu D, Gehin D, Gutierrez ME, Girot F. Modeling and tool wear in drilling of CFRP. Int J Mach Tool Manu 2010;50(2):204–13
7. Feito N, Muñoz-Sánchez A, Díaz-Álvarez A, Loya JA. Analysis of the machinability of carbon fiber composite materials in function of tool wear and cutting parameters using the artificial neural network approach. Materials 2019;12(17)
8. Guo DM, Wen Q, Gao H, Bao YJ. Prediction of the cutting forces generated in the drilling of carbon-fibre-reinforced plastic composites using a twist drill. P I Mech Eng B-J Eng 2011;226(B1):28–42
9. E. N. Beleckij. Modelirovanie processa silovogo vzaimodejstviya instrumenta pri mekhanicheskoy obrabotke zagotovok otvetstvennykh detalej iz kompozitsionnykh ugleplastikov, primenyaemykh v sudostroenii // Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova. — 2014. — № 6(28). — s. 67-76.
10. Fernandes M, Cook C. Drilling of carbon composites using a one shot drill bit. Part II: empirical modeling of maximum thrust force. Int J Mach Tool Manu 2006;46 (1):76–9
11. Zhang LC, Zhang HJ, Wang XM. A force prediction model for cutting unidirectional fibre-reinforced plastics. Mach Sci Technol 2001;5(3):293–305.

Golovin Vasily Igorevich

FGAOU VO "Sevastopol State University", Sevastopol
Candidate of Engineering Sciences, Docent, Director of
Polytechnic Institute.
299000, Sevastopol, Universitetskaya str., 33
Ph. 55-00-77
E-mail: golovin@sevsu.ru

Radchenko Sergey Yuryevich

FGBOU VO «OGU im. I.S. Turgeneva», Orel
Doctor of Engineering Sciences, Professor, Vice-rector
for scientific and technological activities and
certification of scientific personnel
302026, Орловская область, г. Орел,
ул. Комсомольская, д. 95
Ph. (4862)47-50-71
E-mail: radsu@rambler.ru

МАШИНОВЕДЕНИЕ И МЕХАТРОНИКА

УДК 51:621.891

DOI: 10.33979/2073-7408-2021-346-2-109-117

К.С. АХВЕРДИЕВ, Е.А. БОЛГОВА, Е.О. ЛАГУНОВА, С.В. КУМАНИН

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ КЛИНОВИДНОЙ СИСТЕМЫ «ПОЛЗУН - НАПРАВЛЯЮЩАЯ», РАБОТАЮЩЕЙ НА СЖИМАЕМОМ СМАЗОЧНОМ МАТЕРИАЛЕ В УСЛОВИЯХ НАЛИЧИЯ РАСПЛАВА НА ПОВЕРХНОСТИ НАПРАВЛЯЮЩЕЙ

Аннотация. В последнее время для обеспечения гидродинамического режима смазывания применяются разные способы, одному из способов посвящена данная научная статья. В статье, на основе уравнения движения сжимаемой, истинно вязкой жидкости для «тонкого слоя», уравнения состояния, уравнения неразрывности, а также уравнения, описывающие профиль расплавленного контура поверхности опорного кольца, найдено асимптотическое и автомодельное решение для нулевого (без учета расплава) и первого (с учетом расплава) приближения, для определения поля скоростей и давления в смазочном слое. Для профиля расплавленного контура и давления, решение найдено методом последовательного приближения, для экстремального и не экстремального случая. В результате разработана уточненная математическая расчетная модель клиновидной опоры скольжения с легкоплавким металлическим покрытием на подвижной контактной поверхности, компенсирующим аварийный недостаток смазочного материала и обеспечивающим стабильный режим гидродинамического смазывания, позволяющая определить несущую способность и силу трения. В результате численного анализа, полученной уточнённой математической расчетной модели клиновидной опоры скольжения с легкоплавким металлическим покрытием поверхности опорного кольца с учетом сжимаемости жидкого смазочного материала и расплава покрытия и экспериментального исследования установлена эффективность полученных комплекса уточнённых моделей, позволяющих выполнить как предпроектные оценочные, так и проектировочные инженерные расчеты, в широком диапазоне эксплуатационных нагрузочно-скоростных режимов, а также механизмы и этапы перехода к смазыванию металлическими расправами, обеспечивающих повышение уровня основных триботехнических параметров и ресурса трибосистем.

Ключевые слова: сжимаемый жидкий смазочный материал, несущая способность, сила трения, клиновидная опора скольжения, метод последовательных приближений, автомодельное решение, легкоплавкое металлическое покрытие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шаповалов В.В., Озябкин А.Л., Харламов П.В. Применение методов физико-математического моделирования и трибоспектральной идентификации для мониторинга фрикционных механических систем. Вестник машиностроения. 2009. №5. С. 49-57.
2. Шаповалов В.В. Амплитудно-фазочастотный анализ критических состояний фрикционных систем // Шаповалов В.В., Челохьян А.В., Колесников И.В., Озябкин А.Л., Харламов П.В. / Монография. Москва, 2010.
3. Kornaeva, E.P., Kornaev, A.V., Kazakov, Y.N., Polyakov, R.N. Application of artificial neural networks to diagnostics of fluid-film bearing lubrication / IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 734 (2020) 012154 doi:10.1088/1757-899X/734/1/012154
4. Babin, A., Polyakov, R., Savin, L., Tyurin, V. Statistical analysis of turbo generator sets failure causes / Vibroengineering Procedia, Vol. 31, 2020, p. 129-133. <https://doi.org/10.21595/vp.2020.21331>
5. Zadorozhnaya E. A, Hudyakov V., Dolgushin I. Evaluation of Thermal Condition of Turbocharger Rotor Bearing (2020) Lecture Notes in Mechanical Engineering, pp. 1183-1193. DOI: 10.1007/978-3-030-22041-9_123
6. Levanov I.G., Zadorozhnaya E.A., Mukhortov I.V., Eschiganov M.O. Study of effect of metal oleates on mixed and boundary lubrication (2020) Tribology in Industry, 42(3), pp. 461-467. DOI: 10.24874/ti.708.06.19.08
7. Kandeва M., Rozhdvestvensky Y.V., Svoboda P., Kalitchin Z., Zadorozhnaya, E.A. Influence of the size of silicon carbide nanoparticles on the abrasive wear of electroless nickel coatings. Part 2 (2020) Journal of Environmental Protection and Ecology, 21 (1), pp. 222-233.
8. Zadorozhnaya E.A, Levanov I.G., Kandeва M. Tribological research of biodegradable lubricants for friction units of machines and mechanisms: Current state of research (2019) Lecture Notes in Mechanical Engineering, 0(9783319956299), pp.939-947. DOI: 10.1007/978-3-319-95630-5_98
9. Levanov I.G., Zadorozhnaya, E., Vichnyakov, D. Influence of friction geo-modifiers on HTHS viscosity of motor oils (2019) Lecture Notes in Mechanical Engineering, 0(9783319956299), pp. 967-972. DOI: 10.1007/978-3-319-95630-5_101
10. Mukhortov I.V., Zadorozhnaya E. A, Kandeва M., Levanov I.G. Studying the possibility of using complex esters as AW/EP additives (2019) Tribology in Industry, 41(3), pp. 355-364. DOI: 10.24874/ti.2019.41.03.05
11. Ахвердиев К.С., Александрова Е.В., Кручинина Е.В., Мукутадзе М.А. Стратифицированное течение двухслойной смазки в зазоре упорного подшипника, обладающего повышенной несущей способностью. // Вестник ДГТУ, – Т.10, – №2 (44), – 2010 – С. 529-536.
12. Ахвердиев К.С., Александрова Е.Е., Мукутадзе М.А.. Стратифицированное течение двухслойной смазки в зазоре сложнагруженного радиального подшипника конечной длины, обладающего повышенной несущей способностью / Вестник РГУПС, – №1 (37), – 2010 – С. 132-137.
13. Ахвердиев К.С., Мукутадзе М.А., Александрова Е.Е., Эркенов А.Ч. Математическая модель стратифицированного течения двухслойной смазочной композиции в радиальном подшипнике с повышенной несущей способностью с учетом теплообмена / Вестник РГУПС, – №1 (41), – 2011 – С. 160-165.
14. Ахвердиев К.С., Вовк А.Ю., Мукутадзе М.А., Савенкова М.А. Аналитический метод прогнозирования значений критериев микрополярной смазки, обеспечивающих устойчивый режим работы радиального подшипника скольжения / Трение и износ, – Т.29, – 2008. – С. 184-191.
15. Mathematical model of a plain bearer lubricated with molten metal // М А Mukutadze, V V Vasilenko, А М Mukutadze, А N Opatskikh / IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 378 (2019) 012021 IOP Publishing doi:10.1088/1755-1315/378/1/012021
16. Мукутадзе М.А., Хасьянова Д.У., Мукутадзе А.М. Гидродинамическая модель клиновидной опоры скольжения с легкоплавким металлическим покрытием // Проблемы машиностроения и надежности машин.- 2020- №4. С. 51-58
17. Mukutadze M.A. Radial Friction Bearing with a Fusible Coating in the Turbulent Friction Mode / M.A. Mukutadze, D. U. Khasyanova // Journal of Machinery Manufacture and Reliability, 2019, No. 48, P – 423-432.
18. V-shaped sliding bearings using micropolar lubricants caused by a melt accounting for the dependence of lubricant viscosity and porous lauer permeability on pressure // A.N. Opatskikh, M.A. Mukutadze, A.M. Mukutadze / Journal of Physics: Conference Series 1353 (2019) 012025 IOP Publishing doi:10.1088/1742-6596/1353/1/012025
19. Kolesnikov I.V., Mukutadze A.M., Avilov V.V.. Ways of Increasing Wear Resistance and Damping Properties of Radial Bearings with Forced Lubricant supply // Proceedings of the 4th International Conference on Industrial Engineering, Lecture Notes in Mechanical Engineering (ICIE 2018). P. 1049 – 1062.
20. Mukutadze, M.A. Radial bearing with porous Elements / M.A. Mukutadze // Procedia Engineering 150, 2016. – P. 559-570.
21. Mukutadze, A.M. Coefficient of a rolling motion bearing drive / A.M. Mukutadze // Procedia Engineering. – 2016. – No. 150. – P. 547–558.
22. Mukutadze M.A. Simulation model of thrust bearing with a free-melting and porous coating of guide and slide surfaces/ M.A. Mukutadze, A.M. Mukutadze, V.V. Vasilenko / IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 560 doi:10.1088/1757-899X/560/1/012031 (2019)

Ахвердиев Камил Самедович
ФГБОУ ВО Ростовский государственный
университет путей сообщения,
доктор технических наук, профессор,
кафедра «Высшая математика»,
344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского
Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2,
телефон (823) 271-63-99,

Лагунова Елена Олеговна
ФГБОУ ВО «Ростовский государственный
университет путей сообщения»,
Кафедра «Высшая математика»,
Кандидат технических наук, доцент,
344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского
Стрелкового Полка
Народного Ополчения, д. 2,

e-mail: v.m@rgups.ru
ORCID-0000-0002-5062-2612

телефон +7 (873) 272-62-63,
e-mail: lagunova@rambler.ru
ORCID-0000-0002-2762-8068

Болгова Екатерина Александровна
ФГБОУ ВО «Ростовский государственный
университет путей сообщения»,
Аспирант кафедры «Высшая математика»,
344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского
Стрелкового Полка
Народного Ополчения, д. 2,
телефон +7 (813) 274-63-02,
e-mail: boltova_katya@mail.ru
ORCID-0000-0002-0737-1846

Куманин Станислав Витальевич
ФГБОУ ВО «Ростовский государственный
университет путей сообщения»,
Аспирант кафедры «Высшая математика»,
344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского
Стрелкового Полка
Народного Ополчения, д. 2,
телефон +7 (873) 272-62-63,
e-mail: stanislav.k@mail.ru
ORCID-0000-0003-3914-6800

K.S. AKHVERDIEV, E.A. BOLGOVA, E.O. LAGUNOVA, S.V. KUMANIN

HYDRODYNAMIC CALCULATION OF A WEDGE-SHAPED SYSTEM «SLIDER – GUIDE» OPERATING ON A COMPRESSIBLE LUBRICANT IN THE PRESENCE OF MELT ON THE SURFACE OF THE GUIDE

Abstract. *Recently, various methods have been used to ensure the hydrodynamic mode of lubrication, one of the methods is devoted to this scientific article. In the article, on the basis of the equation of motion of a compressible, truly viscous liquid for a "thin layer", the equations of state, the continuity equation, as well as the equations describing the profile of the molten contour of the surface of the support ring, an asymptotic and self-similar solution is found for the zero (without taking into account the melt) and the first (taking into account the melt) approximation, for determining the velocity field and pressure in the lubricating layer. For the profile of the molten contour and the pressure, the solution is found by the method of sequential approximation, for the extreme and non-extreme case. As a result, a refined mathematical calculation model of a wedge-shaped sliding support with a low-melting metal coating on the movable contact surface is developed, which compensates for the emergency lack of lubricant and provides a stable hydrodynamic lubrication mode, which allows determining the bearing capacity and friction force. As a result of numerical analysis, the obtained refined mathematical calculation model of a wedge-shaped sliding support with a low-melting metal coating on the surface of the support ring, taking into account the compressibility of the liquid lubricant and the coating melt, and experimental research, the effectiveness of the obtained complex of refined models that allow performing both pre-design evaluation and design engineering calculations, in a wide range of operational load-speed modes, as well as the mechanism and stages of transition to lubrication with metal sprays is established, providing an increase in the level of the main tribotechnical parameters and the resource of tribosystems.*

Keywords: *compressible liquid lubricant, load-bearing capacity, friction force, wedge-shaped sliding support, method of successive approximations, self-similar solution, low-melting metal coating.*

BIBLIOGRAPHY

1. Shapovalov, V.V. *Primeneniye metodov fiziko-matematicheskogo modelirovaniya i tribospektralnoy identifikatsii dlya monitoringa friktsionnykh mekhanicheskikh sistem / V.V.Shapovalov, A.L. Ozyabkin, P.V. Kharlamov // Vestnik mashinostroyeniya. 2009. №5. S. 49-57.*
2. Shapovalov, V.V. *Amplitudo-fazovostotnyy analiz kriticheskikh sostoyaniy friktsionnykh sistem // Shapovalov V.V., Chelokhyan A.V., Kolesnikov I.V., Ozyabkin A.L., Kharlamov P.V. / Monografiya. Moskva, 2010.*
3. Zadorozhnaya, E. A. *Evaluation of Thermal Condition of Turbocharger Rotor Bearing / E. A. Zadorozhnaya, V. Hud'yakov, I. Dolgushin // Lecture Notes in Mechanical Engineering, 2020. pp. 1183-1193. DOI: 10.1007/978-3-030-22041-9_123*
4. Levanov, I.G. *Study of effect of metal oleates on mixed and boundary lubrication / I.G. Levanov, E.A.Zadorozhnaya, I.V. Mukhortov, M.O. Eschiganov // Tribology in Industry. 2020. No. 42(3). pp. 461-467. DOI: 10.24874/ti.708.06.19.08*
5. Kandeva, M. *Influence of the size of silicon carbide nanoparticles on the abrasive wear of electroless nickel coatings / M. Kandeva, Y.V. Rozhdestvensky, P. Svoboda, Z. Kalitchin, E.A. Zadorozhnaya // Part 2. Journal of Environmental Protection and Ecology. 2020. No 21 (1). pp. 222-233.*
6. Zadorozhnaya, E.A., Levanov I.G., Kandeva M. *Tribological research of biodegradable lubricants for friction units of machines and mechanisms: Current state of research (2019) / E.A. Zadorozhnaya, I.G. Levanov, M. Kandeva // Lecture Notes in Mechanical Engineering. 2019. 0(9783319956299). pp.939-947. DOI: 10.1007/978-3-319-95630-5_98*
7. Levanov, I.G. *Influence of friction geo-modifiers on HTHS viscosity of motor oils / I.G. Levanov, E. Zadorozhnaya, D. Vichnyakov // Lecture Notes in Mechanical Engineering. 2019. 0(9783319956299). pp. 967-972. DOI: 10.1007/978-3-319-95630-5_101*
8. Mukhortov, I.V. *Studying the possibility of using complex esters as AW/EP additives / I.V. Mukhortov, E. A. Zadorozhnaya, M. Kandeva, I.G. Levanov // Tribology in Industry. 2019. No 41(3). pp. 355-364. DOI: 10.24874/ti.2019.41.03.05*
9. Akhverdiyev, K.S. *Razrabotka raschetnoy modeli radialnogo podshipnika s uchetom zavisimosti pronitsavemosti, elektroprovodnosti i v'yazkosti zhidkogo smazochnogo materiala ot davleniya / K.S. Akhverdiyev, M.A. Mukutadze, I.A. Kolobov, A.N. Garmonina // Internet-zhurnal Naukovedeniye. 2016. T.8. №6 (37). S. 74.*

10. Akhverdiyev, K.S. Stratifitsirovannoye techeniye dvukhsloynoy smazki v zazore upornogo podshipnika, obladayushchego povyshennoy nesushchey sposobnosti / K.S. Akhverdiyev, Ye.V. Aleksandrova, Ye.V. Kruchinina, M.A. Mukutadze // Vestnik DGTU. 2010T.10. №2 (44). S. 529-536.
11. Akhverdiyev, K.S. Stratifitsirovannoye techeniye dvukhsloynoy smazki v zazore radialnogo podshipnika, obladayushchego povyshennoy nesushchey sposobnostyu i dempfiruyushchimi svoystvami / K.S. Akhverdiyev, Ye.Ye. Aleksandrova, M.A. Mukutadze, B.Ye. Kopotun // Vestnik RGUPS. 2009. №4 (36). S. 133-139.
12. Akhverdiyev, K.S. Stratifitsirovannoye techeniye dvukhsloynoy smazki v zazore slozhnonagruzhennogo radialnogo podshipnika konechnoy dliny, obladayushchego povyshennoy nesushchey sposobnostyu / K.S. Akhverdiyev, Ye.Ye. Aleksandrova, M.A. Mukutadze // Vestnik RGUPS. 2010. №1 (37). S. 132-137.
13. Akhverdiyev, K.S. Matematicheskaya model stratifitsirovannogo techeniya dvukhsloynoy smazochnoy kompozitsii v radialnom podshipnike s povyshennoy nesushchey sposobnostyu s uchetom teploobmena / K.S. Akhverdiyev, M.A. Mukutadze, Ye.Ye. Aleksandrova, A.CH. Erkenov // Vestnik RGUPS. 2011. №1 (41). S. 160-165.
14. Akhverdiyev, K.S. Analiticheskiy metod prognozirovaniya znacheniy kriteriyev mikropolyarnoy smazki, obespechivayushchikh ustoychivyy rezhim raboty radialnogo podshipnika skolzheniya / K.S. Akhverdiyev, A.YU. Vovk, M.A. Mukutadze, M.A. Savenkova // Treniye i iznos. 2008. T.29, S. 184-191.
15. Akhverdiyev, K.S. Klinovidnyye opory skolzheniya, rabotayushchiye na mikropolyarnom smazochnom materiale, obuslovlennyye rasplavom / K.S. Akhverdiyev, M.A. Mukutadze, Ye.O. Lagunova, V.V. Vasilenko // Vestnik RGUPS. 2017. №3 (67). S. 8-15.
16. Akhverdiyev, K.S. Gidrodinamicheskyy raschet radialnogo podshipnika, smazyvayemogo rasplavom legkoplavkogo pokrytiya pri nalichii smazochnogo materiala / K.S. Akhverdiyev, M.A. Mukutadze, Ye.O. Lagunova, V.V. Vasilenko // Vestnik RGUPS. 2017. №2 (66). S. 129-135.
17. Kolesnikov, I.V. Ways of Increasing Wear Resistance and Damping Properties of Radial Bearings with Forced Lubricant supply / I.V. Kolesnikov, A.M. Mukutadze, V.V. Avilov // Proceedings of the 4th International Conference on Industrial Engineering, Lecture Notes in Mechanical Engineering (ICIE 2018). P. 1049 1062.
18. Mukutadze, M.A. Radial bearing with porous Elements / M.A. Mukutadze // Procedia Engineering 150, 2016. – P. 559-570.
19. Mukutadze, A.M. Coefficient of a rolling motion bearing drive / A.M. Mukutadze // Procedia Engineering. – 2016. – No. 150. – P. 547–558.
20. Mukutadze M.A. Simulation model of thrust bearing with a free-melting and porous coating of guide and slide surfaces/ M.A. Mukutadze, A.M. Mukutadze, V.V. Vasilenko / IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 560 doi:10.1088/1757-899X/560/1/012031 (2019)

Akhverdiev Kamil Samedovich

Rostov State Transport University (RSTU),
Chair « Higher Mathematics»,
Ph. D. (Tech.), professor,
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo
Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, 344038, Russia,
phone (863) 272-63-99,
phone (823) 271-63-99,
e-mail: vm@rgups.ru
ORCID-0000-0002-5062-2612

Lagunova Elena Olegovna

Rostov State Transport University (RSTU),
Chair « Higher Mathematics»,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo
Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, 344038, Russia
phone +7 (873) 272-62-63, e-mail: lagynova@rambler.ru
ORCID-0000-0002-2762-8068

Bolgova Ekaterina Aleksandrovna

Rostov State Transport University (RSTU),
Chair « Higher Mathematics»,
Postgraduate student,
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo
Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, 344038, Russia
phone +7 (813) 274-63-02, e-mail:
boltova_katya@mail.ru
ORCID-0000-0002-0737-1846

Kumanin Stanislav Vitalievich

Rostov State Transport University (RSTU),
Chair « Higher Mathematics»,
Postgraduate student,
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo
Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, 344038, Russia,
phone +7 (873) 272-62-63, e-mail: stanislav.k@mail.ru
ORCID-0000-0003-3914-6800

УДК 629.4.021

DOI:10.33979/2073-7408-2021-346-2-118-129

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

ТЯГОВЫЙ ПРИВОД ЛОКОМОТИВОВ С ВЫСОКОМОМЕНТНЫМ КОЛЛЕКТОРНЫМ ТЯГОВЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ

Аннотация. Рассмотрены вопросы развития тяговых приводов локомотивов. Установлено, что при существующих ограничениях силы тяги и скорости длительного режима асинхронные тяговые электродвигатели не имеют однозначных преимуществ перед коллекторными. Доказана возможность создания коллекторных двигателей электровозов с мощностью, равной применяемым асинхронным, предложены новые технические решения узлов, обеспечивающие надежность последних при использовании высокомоментных двигателей, (упругое зубчатое колесо с шевронными зубьями, двуслойный резинометаллический шарнир, варианты резинокордной муфты), в качестве оптимального решения для привода с коллекторными двигателями предложено использовать привод с опорно-рамным двигателем и осевым редуктором. Определены направления исследований, необходимых для практической реализации приводов с высокомоментным тяговым

электродвигателем, предложено провести исследования целесообразности создания тепловозов с тележками, унифицированными с электровозными. На предложенные решения получено два патента на изобретения, восемь патентов на полезные модели, подано две заявки на получение патента.

Ключевые слова: тяговый привод локомотива, тяговые электрические машины, электрические машины с осевым магнитным потоком, динамика, надежность, конструирование.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курбасов, А.С. Повышение работоспособности тяговых электродвигателей / А.С. Курбасов. - М.: Транспорт, 1977. – 223 с.
2. Находкин, М.Д. Проектирование тяговых электрических машин / М.Д. Находкин, Г.В. Василенко, В.И. Бочаров, М.А. Козорезов. – М.: Транспорт, 1976. – 624 с.
3. Калихович, В.Н. Тяговые приводы локомотивов. (Устройство, обслуживание, ремонт) / В.Н. Калихович. – М.: Транспорт, 1983. – 111 с.
4. Бирюков, И.В. Тяговые передачи электроподвижного состава железных дорог / И.В. Бирюков, А.И. Беляев А.И, Е.К. Рыбников. – М.: Транспорт, 1986. – 256 с.
5. Техническая инновационика. Проектирование конкурентоспособных машин: монография / [О.В. Измеров и др.]; под ред. чл.-кор. Академии электротехн. наук Рос. Федерации, д-ра техн. наук, проф. А.С. Космодамианского. – Орел: Госуниверситет - УНПК, 2013. – 415 с.
6. Колесо зубчатое упругое: пат. 2619880, Российская Федерация, МПК F16H 55/14. / В.И. Воробьев, А.Г. Стриженок, В.П. Тихомиров, О.В. Измеров; опубл. 19.05.2017, Бюл. № 14.
7. Беляев, А.И. Повышение надежности экипажной части тепловозов / А.И. Беляев, Б.Б. Бунин, С.М. Голубятников [и другие]. – М.: Транспорт, 1984. – 248 с.
8. Максименко, И.В. Возможности улучшения динамики и прочности тягового привода II класса для локомотивов и электропоездов: автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н. / И.В. Максименко. – М., 2004. – 24 с.
9. Поиск новых путей повышения надежности узла подвески тяговых электродвигателей / А.С. Космодамианский, В.И. Воробьев, О.В. Измеров, М.Ю. Капустин, Д.Н. Шевченко // Вестник транспорта Поволжья. – 2019. – № 6 (78). – С. 19-26.
10. Высокочастотное нагружение и прочность тяговых приводов / В.В. Кочергин, А.В. Кочергин. – Динамико-прочностные свойства моторвагонного подвижного состава. – М.: Транспорт, 1984. – С. 43-67.
11. Компенсационная муфта тягового привода локомотива: пат. 2527254, Российская Федерация: МПК F16D 3/78. / Луков Н.М, Ромашкова О.Н., Космодамианский А.С., Попов Ю.В, Стрекалов Н.Н., Серин С.А., Михальченко Г.С., Воробьев В.И., Новиков В.Г., Измеров О.В., Пугачев А.А.; опубл. 27.08.2014, Бюл. № 24.
12. Оболочка резинокордная для высокоэластичной муфты: пат. 157519, Российская Федерация: МПК F16D 3/78. / Воробьев В.И., Измеров О.В., Дорофеев О.В., Злобин С.Н.; опубл. 10.12.2015, Бюл. № 34.
13. Компенсационная муфта тягового привода локомотива: пат. 166918, Российская Федерация: МПК F16D 3/78, B61C 9/00 / Антипин Д.Я., Воробьев В.И., Бондаренко Д.А., Пугачев А.А., Цыганков С.Г., Измеров О.В., Шорохов С.Г.; опубл. 10.12. 2016, Бюл. № 34.
14. Компенсационная муфта тягового привода локомотива: пат. 173560, Российская Федерация, МПК B61C 9/00, F16D 3/78. / Воробьев В.И., Антипин Д.Я., Измеров О.В., Новиков А.С., Космодамианский А.С., Шорохов С.Г., Мануева М.В.; опубл. 30.08.2017, Бюл. № 25.
15. Компенсационная муфта тягового привода локомотива: пат. 177071, Российская Федерация, СПК B61C 9/00, F16D 3/78. / Воробьев В.И., Антипин Д.Я., Новиков В.Г., Новиков А.С., Измеров О.В., Космодамианский А.С., Шорохов С.Г.; опубл. 07.02.2018, Бюл. № 4.
16. Механические передачи вертолетов / Л.Б. Бушмарин, П.П. Дементьев, Г.И. Иоффе и др. – М. Машиностроение, 1983. – 120 с.
17. Измеров, О.В. Кибернетические аспекты методов синтеза электромеханических систем: монография / О.В. Измеров [и др.]; под ред. академика Академии электротехн. наук Рос. Федерации, д-ра техн. наук, проф. А.С. Космодамианского. – Орел: Госуниверситет - УНПК, 2015. – 234 с.
18. Проблема воспроизводимости результатов натуральных экспериментальных исследований трибологических свойств системы "колесо-рельс" в условиях глобализации рынка рельсовых транспортных средств / О.В. Измеров, А.В. Кошелев, А.Н. Чвала // Мир транспорта и технологических машин. – № 3(34) 2011, июль-сентябрь. – Орел: Госуниверситет-УНПК, 2011. – С. 28-34.

Дорофеев Олег Васильевич
Орловский государственный
университет имени И.С.
Тургенева, г. Орел
Кандидат технических наук,
доцент,
директор Бизнес-парка
E-mail: da_shy@inbox.ru

Воробьев Владимир Иванович
Брянский государственный
технический университет, г.
Брянск
Кандидат технических наук,
доцент кафедры «Подвижной
состав железных дорог»
E-mail: vladimvorobiev@yandex.ru

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

Измеров Олег Васильевич
Брянский государственный
технический университет, г.
Брянск
Соискатель по кафедре
«Подвижной состав железных
дорог»
E-mail: izmerov@yandex.ru

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

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

TRACTION DRIVE OF LOCOMOTIVES WITH HIGH MOMENTUM COLLECTOR TRACTION ELECTRIC MOTOR

Abstract. *The issues of development of traction drives of locomotives are considered. It was found that with the existing limitations of the traction force and the speed of continuous operation, asynchronous traction motors do not have clear advantages over collector motors. The possibility of creating collector motors for electric locomotives with a power equal to the used asynchronous ones has been proved, new technical solutions have been proposed for units that ensure the reliability of the latter when using high-torque motors (elastic gearwheel with chevron teeth, two-layer rubber-metal hinge, rubber-cord clutch options), as an optimal solution for the drive with collector motors, it is proposed to use a drive with a support frame motor and an axial gearbox. The directions of research necessary for the practical implementation of drives with a high-torque traction motor are determined, it is proposed to conduct research on the feasibility of creating diesel locomotives with bogies, unified with electric locomotives. The proposed solutions received two patents for inventions, eight patents for utility models, two patent applications were filed.*

Keywords: *traction drive of a locomotive, traction electric machines, electric machines with axial magnetic flux, dynamics, reliability, design.*

BIBLIOGRAPHY

1. Kurbasov, A.S. Povysheniye rabotosposobnosti tyagovykh elektrodvigately / A.S. Kurbasov. - M.: Transport, 1977. – 223 s.
2. Nakhodkin, M.D. Proyektirovaniye tyagovykh elektricheskikh mashin / M.D. Nakhodkin, G.V. Vasilenko, V.I. Bocharov, M.A. Kozorezov. – M.: Transport, 1976. – 624 s.
3. Kalikhovich, V.N. Tyagovyye privody lokomotivov. (Ustroystvo, obsluzhivaniye, remont) / V.N. Kalikhovich. – M.: Transport, 1983. – 111 s.
4. Biryukov, I.V. Tyagovyye peredachi elektropodvizhnogo sostava zheleznnykh dorog / I.V. Biryukov, A.I. Belyayev A.I., Ye.K. Rybnikov. – M.: Transport, 1986. – 256 s.
5. Tekhnicheskaya innovatsionika. Proyektirovaniye konkurentosposobnykh mashin: monografiya / [O.V. Izmerov i dr.]; pod red. chl.-kor. Akademii elektrotekhn. nauk Ros. Fede-ratsii, d-ra tekhn. nauk, prof. A.S. Kosmodamianskogo. – Orel: Gosuniversitet - UNPK, 2013. – 415 s.
6. Koleso zubchatoye uprugoye: pat. 2619880, Rossiyskaya Federatsiya, MPK F16H 55/14. / V.I. Vorobyev, A.G. Strizhenok, V.P. Tikhomirov, O.V. Izmerov; opubl. 19.05.2017, Byul. № 14.
7. Belyayev, A.I. Povysheniye nadezhnosti ekipazhnoy chasti teplovozov / A.I. Belyayev, B.B. Bunin, S.M. Golubyatnikov [i drugiye]. – M.: Transport, 1984. – 248 s.
8. Maksimenko, I.V. Vozmozhnosti uluchsheniya dinamiki i prochnosti tyagovogo privoda II klassa dlya lokomotivov i elektropoyezdov: avtoreferat dissertatsii na soiskaniye uchenoy stepeni k.t.n. / I.V. Maksimenko. - M., 2004. – 24 s.
9. Poisk novykh putey povysheniya nadezhnosti uzla podveski tyagovykh elektrodvigately / A.S. Kosmodamianskiy, V.I. Vorobyev, O.V. Izmerov, M.YU. Kapustin, D.N. Shevchenko // Vestnik transporta Povolzhya. – 2019. – № 6 (78). – S. 19-26.
10. Vysokochastotnoye nagruzheniye i prochnost tyagovykh privodov / V.V. Kochergin, A.V. Kochergin. – Dinamiko-prochnostnyye svoystva motorvagonnogo podvizhnogo sostava. – M.: Transport, 1984. – S. 43-67.
11. Kompensatsionnaya mufta tyagovogo privoda lokomotiva: pat. 2527254, Rossiyskaya Federatsiya: MPK F16D 3/78. / Lukov N.M, Romashkova O.N., Kosmodamianskiy A.S., Popov YU.V, Strekalov N.N., Serin S.A., Mikhilchenko G.S., Vorobyev V.I., Novikov V.G., Izmerov O.V., Pugachev A.A.; opubl. 27.08.2014, Byul. № 24.
12. Obolochka rezinokordnaya dlya vysokoelastichnoy mufty: pat. 157519, Rossiyskaya Federatsiya: MPK F16D 3/78. / Vorobyev V.I., Izmerov O.V., Dorofeyev O.V., Zlobin S.N.; opubl. 10.12.2015, Byul. № 34.
13. Kompensatsionnaya mufta tyagovogo privoda lokomotiva: pat. 166918, Rossiyskaya Federatsiya: MPK F16D 3/78, B61C 9/00 / Antipin D.YA., Vorobyev V.I., Bondarenko D.A., Pugachev A.A., Tsygankov S.G., Izmerov O.V., Shorokhov S.G; opubl. 10.12. 2016, Byul. № 34.

14. Kompensatsionnaya mufta tyagovogo privoda lokomotiva: pat. 173560, Rossiyskaya Federatsiya, MPK B61C 9/00, F16D 3/78. / Vorobyev V.I., Antipin D.YA., Izmerov O.V., Novikov A.S., Kosmodamianskiy A.S., Shorokhov S.G., Manuyeva M.V.; opubl. 30.08.2017, Byul. № 25.

15. Kompensatsionnaya mufta tyagovogo privoda lokomotiva: pat. 177071, Rossiyskaya Federatsiya, SPK B61C 9/00, F16D 3/78. / Vorobyev V.I., Antipin D.YA., Novikov V.G., Novi-kov A.S., Izmerov O.V., Kosmodamianskiy A.S., Shorokhov S.G.; opubl. 07.02.2018, Byul. № 4.

16. Mekhanicheskiye peredachi vertoletov / L.B. Bushmarin, P.P. Dementyev, G.I. Ioffe i dr. – M. Mashinostroyeniye, 1983. – 120 s.

17. Izmerov, O.V. Kiberneticheskiye aspekty metodov sinteza elektromekhanicheskikh sistem: monografiya / O.V. Izmerov [i dr.]; pod red. akademika Akademii elektrotekhn. nauk Ros. Federatsii, d-ra tekhn. nauk, prof. A.S. Kosmodamianskogo. – Orel: Gosuniversitet - UNPK, 2015. – 234 s.

18. Problema vosproizvodimosti rezultatov naturnykh eksperimentalnykh issledo-vaniy tribologicheskikh svoystv sistemy "koleso-reis" v usloviyakh globalizatsii rynka relsovykh transportnykh sredstv / O.V. Izmerov, A.V. Koshelev, A.N. Chvala // Mir transpor-ta i tekhnologicheskikh mashin. – № 3(34) 2011, iyul-sentyabr. – Orel: Gosuniversitet-UNPK, 2011. – S. 28-34.

Dorofeev Oleg Vasilevich
Orel State university, Orel
Candidate of technical sciences,
Associate Professor at the
Department of "Mechanical
engineering"
E-mail: olegdor57@gmail.com

Vorobyev Vladimir Ivanovich
Bryansk State Technical University,
Bryansk
Candidate of Engineering Sciences,
Associate Professor at the
Department of «Railroad rolling
stock»
E-mail: vladimvorobiev@yandex.ru

Borzenkov Mikhail Ivanovich
Orel State university, Orel
Candidate of technical sciences,
Associate Professor, head of the
department of scientific publications
E-mail: bim5155@yandex.ru

Izmerov Oleg Vasilevich
Bryansk State Technical University,
Bryansk
Competitor of the Department
«Railroad rolling stock»
E-mail: izmerov@yandex.ru

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

УДК 591.169.2

DOI: 10.33979/2073-7408-2021-346-2-130-139

А.М. ПОЛЯКОВ, В.И. ПАХАЛЮК

МОДЕЛЬ СМАЗКИ СЖАТОЙ ПЛЕНКОЙ В ПАРАХ ТРЕНИЯ

Аннотация. *Остеоартроз является тяжелым заболеванием суставов с выраженной дегградацией хрящевой ткани, которое по данным Всемирной Организации Здравоохранения входит в десятку наиболее инвалидизирующих в развитых странах. Из-за плохой способности суставного хряща к саморегенерации, лечение остеоартроза является сложной, а во многих случаях нерешаемой задачей, что приводит к необходимости замены сустава эндопротезом. В связи с этим, несмотря на то, что эта патология и ее развитие достаточно подробно изучены, дальнейшие фундаментальные и прикладные исследования в этой области по-прежнему остаются актуальными. В последние десятилетия были разработаны новые технологии регенерации некоторых биологических тканей, которые при определенных условиях могут быть использованы и для регенерации хрящевой ткани. При этом можно обоснованно предполагать, что эффективность регенеративных технологий может быть существенно повышена с использованием методов (технологий) регенеративной реабилитации. В этой работе мы исследуем возможную стратегию регенеративной реабилитации хрящевой ткани, пораженной остеоартрозом, путем высокочастотного нагружения суставных поверхностей и создания желаемого давления интерстициальной жидкости в пористом хряще.*

Ключевые слова: *модель смазки сжатой пленкой, поропругая среда, синовиальный сустав, суставный хрящ, остеоартроз, регенерация, регенеративная реабилитация.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. WHO Department of Chronic Diseases and Health Promotion. [Электронный ресурс]. 2021. URL: <http://www.who.int/chp/topics/rheumatic/en/> (дата обращения: 20.02.2021).
2. Popov, V.L. Synovial Joints. Tribology, Regeneration, Regenerative Rehabilitation and Arthroplasty / V.L. Popov, A.M. Poliakov, V.I. Pakhaliuk // Lubricants. – 2021. – Vol. 9, No 2. – P. 15.
3. Варонько, И. Современный взгляд на лечение остеоартрита / И. Варонько // Наука и инновации. – 2018, №2. – С. 74-78.
4. Zhang, W. Current research on pharmacologic and regenerative therapies for osteoarthritis / W. Zhang, H. Ouyang, C.R. Dass, J. Xu // Bone Research. – 2016. – Vol. 4, 15040.

5. Божокин М.С. Возможности современных клеточных технологий для восстановления поврежденного суставного хряща (аналитический обзор литературы) / М.С. Божокин, С.А. Божкова, Г.И. Нетьлько // Травматология и ортопедия России. – 2016. – № 3(81). – С. 122-134.
6. Маланин, Д.А. Инновационные технологии в восстановлении тиббиофemorального сустава при его повреждениях и заболеваниях / Д.А. Маланин, В. В. Новочадов, С. Р. Самусев, О. Г. Тетерин, И. А. Сучилин, А. Л. Жуликов // Вестник Волгоградского гос. мед. ун-та. – 2009. – №2(30). – С. 7-13.
7. Басок, Ю.Б. Технологии тканевой инженерии и регенеративной медицины в лечении дефектов хрящевой ткани суставов / Ю.Б. Басок, В.И. Севастьянов // Вестник трансплантологии и искусственных органов. – 2016. – Т. 18, № 4. – С. 102-122.
8. Steward, A.J. Mechanical regulation of mesenchymal stem cell differentiation / A.J. Steward, D.J. Kelly // Journal of Anatomy. – 2015. – Vol. 227, No 6. – P. 717-731.
9. Wong, M. Cyclic compression of articular cartilage explants is associated with progressive consolidation and altered expression pattern of extracellular matrix proteins / M. Wong, M. Siegrist, X. Cao // Matrix Biology. – 1999. – Vol. 18, No 4. – P. 391-399.
10. Mauck, R.L. Functional tissue engineering of articular cartilage through dynamic loading of chondrocyte-seeded agarose gels / R.L. Mauck, M.A. Soltz, C.C.B. Wang, D.D. Wong, P.-H.G. Chao, W.B. Valhmu, C.T. Hung, G.A. Ateshian // Journal of Biomechanical Engineering. – 2000. – Vol. 122, No 3. – P. 252-260.
11. Ng, K.W. Duty Cycle of Deformational Loading Influences the Growth of Engineered Articular Cartilage / K.W. Ng, R.L. Mauck, C.C.-B. Wang, T.-A.N. Kelly, M.M.-Y. Ho, F.H. Chen, G.A. Ateshian, C.T. Hung // Cellular and Molecular Bioengineering. – 2009. – Vol. 2, No 3. – P. 386-394.
12. Smith, R.L. Time-dependent effects of intermittent hydrostatic pressure on articular chondrocyte type II collagen and aggrecan mRNA expression / R.L. Smith, L. Lin, M.C.D. Trindade, J. Shida, G. Kajiyama, T. Vu, A.R. Hoffman, M.C.H. Van Der Meulen, S.B. Goodman, D.J. Schurman, D.R. Carter // Journal of Rehabilitation Research & Development. – 2000. – Vol. 37, No 2. – P. 153-161.
13. Smith, R.L. In vitro stimulation of articular chondrocyte mRNA and extracellular matrix synthesis by hydrostatic pressure / R.L. Smith, S.F. Rusk, B.E. Ellison, P. Wessells, K. Tsuchiya, D.R. Carter, W.E. Caler, L.J. Sandell, D.J. Schurman // Journal of Orthopaedic Research. – 1996. – Vol. 14, No 1. – P. 53-60.
14. Guilak, F. The effects of matrix compression on proteoglycan metabolism in articular cartilage explants / F. Guilak, B.C. Meyer, A. Ratcliffe, V.C. Mow // Osteoarthritis and Cartilage. – 1994. – Vol. 2, No 2. – P. 91-101.
15. Nugent, G.E. Dynamic shear stimulation of bovine cartilage biosynthesis of proteoglycan 4 / N.M. Aneloski, T.A. Schmidt, B.L. Schumacher, M.S. Voegtline, R.L. Sah // Arth. Rheum. – 2006. – Vol. 54, No 6. – P. 1888-1896.
16. Li, Z. Chondrogenesis of human bone marrow mesenchymal stem cells in fibrin-polyurethane composites is modulated by frequency and amplitude of dynamic compression and shear stress / Z. Li, S.-J. Yao, M. Alini, M.J. Stoddart // Tissue Engineering. Part A. – 2010. – Vol. 16, No 2. – P. 575-589.
17. Schätti, O. A combination of shear and dynamic compression leads to mechanically induced chondrogenesis of human mesenchymal stem cells / O. Schätti, S. Grad, J. Goldhahn, G. Salzmann, Z. Li, M. Alini, M.J. Stoddart // European Cells & Materials. – 2011. – Vol. 22. – P. 214-225.
18. Huang, A.H. Sliding contact loading enhances the tensile properties of mesenchymal stem cell-seeded hydrogels / A.H. Huang, B.M. Baker, G.A. Ateshian, R.L. Mauck // European Cells & Materials. – 2012. – Vol. 24. – P. 29-45.
19. Stokes, V.K. Couple stresses in fluids / V.K. Stokes // Physics of Fluids. – 1966. – Vol. 9, No 9. – P. 1709-1715.
20. Gill, T.J. The Treatment of articular cartilage defects using the microfracture techniques / T.J. Gill, P.D. Asnis, E.M. Berkson // Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy. – 2006. – Vol. 10. – P. 728-738.
21. Carter, D.R. Correlations between mechanical stress history and tissue differentiation in initial fracture healing / D.R. Carter, E.R. Blenman, G.S. J. Beaupre // Journal of Orthopaedic Research. – 1988. – Vol. 6. – P. 736-748.

Поляков Александр Михайлович

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,
канд. техн. наук, доцент кафедры
«Техническая механика и машиноведение»,
ул. Университетская 33, г. Севастополь, 299053
Тел. +7 978 703 88 26
E-mail: a.m.poljakov@sevsu.ru

Пахалюк Владимир Иванович

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,
канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой
«Техническая механика и машиноведение»,
ул. Университетская 33, г. Севастополь, 299053
Тел. +7 978 764 06 00
E-mail: pahaluk@sevsu.ru

A.M. POLIAKOV, V.I. PAKHALIUK

SQUEEZE-FILM LUBRICATION IN FRICTION PAIRS

Abstract. *Osteoarthritis is a serious joint disease with severe degradation of cartilage tissue, which, according to the World Health Organization, is one of the ten most disabling in developed countries. Due to the poor ability of the articular cartilage to self-*

regenerate, the treatment of osteoarthritis is a difficult and in many cases unsolvable task, which leads to the need to replace the joint with an endoprosthesis. In this regard, despite the fact that this pathology and its development have been studied in sufficient detail, further fundamental and applied research in this area is still relevant. In recent decades, new technologies have been developed for the regeneration of certain biological tissues, which, under certain conditions, can also be used for the regeneration of cartilage tissue. At the same time, it can be reasonably assumed that the effectiveness of regenerative technologies can be significantly increased using methods (technologies) of regenerative rehabilitation. In this work, we investigate a possible strategy for regenerative rehabilitation of cartilage tissue affected by osteoarthritis by high-frequency loading of the articular surfaces and creating the desired pressure of interstitial fluid in porous cartilage.

Keywords: *squeeze-film lubrication model, poroelastic medium, synovial joint, articular cartilage, osteoarthritis, regeneration, regenerative rehabilitation.*

BIBLIOGRAPHY

1. WHO Department of Chronic Diseases and Health Promotion. [Электронный ресурс]. 2021. URL: <http://www.who.int/chp/topics/rheumatic/en/> (дата обращения: 20.02.2021).
2. Popov, V.L. Synovial Joints. Tribology, Regeneration, Regenerative Rehabilitation and Arthroplasty / V.L. Popov, A.M. Poliakov, V.I. Pakhaliuk // *Lubricants*. – 2021. – Vol. 9, No 2. – P. 15.
3. Varonko, I. Sovremennyy vzglyad na lecheniye osteoartrita / I. Varonko // *Nauka i innovatsii*. – 2018, №2. – S. 74-78.
4. Zhang, W. Current research on pharmacologic and regenerative therapies for osteoarthritis / W. Zhang, H. Ouyang, C.R. Dass, J. Xu // *Bone Research*. – 2016. – Vol. 4, 15040.
5. Bozhokin M.S. Vozmozhnosti sovremennykh kletochnykh tekhnologiy dlya vosstanovleniya povrezhdenogo sustavnogo khryashcha (analiticheskiy obzor literatury) / M.S. Bozhokin, S.A. Bozhkova, G.I. Netylko // *Travmatologiya i ortopediya Rossii*. – 2016. – № 3(81). – S. 122-134.
6. Malanin, D.A. Innovatsionnyye tekhnologii v vosstanovlenii tibiofemoralnogo sustava pri yego povrezhdeniyakh i zabolevaniyakh / D.A. Malanin, V. V. Novochadov, S. R. Samusev, O. G. Teterin, I. A. Suchilin, A. L. Zhulikov // *Vestnik Volgogradskogo gos. med. un-ta*. – 2009. – №2(30). – S. 7-13.
7. Basok, YU.B. Tekhnologii tkanevoy inzhenerii i regenerativnoy meditsiny v lechenii defektov khryashchevoy tkani sustavov / YU.B. Basok, V.I. Sevastyanov // *Vestnik transplantologii i iskusstvennykh organov*. – 2016. – T. 18, № 4. – S. 102-122.
8. Steward, A.J. Mechanical regulation of mesenchymal stem cell differentiation / A.J. Steward, D.J. Kelly // *Journal of Anatomy*. – 2015. – Vol. 227, No 6. – P. 717-731.
9. Wong, M. Cyclic compression of articular cartilage explants is associated with progressive consolidation and altered expression pattern of extracellular matrix proteins / M. Wong, M. Siegrist, X. Cao // *Matrix Biology*. – 1999. – Vol. 18, No 4. – P. 391-399.
10. Mauck, R.L. Functional tissue engineering of articular cartilage through dynamic loading of chondrocyte-seeded agarose gels / R.L. Mauck, M.A. Soltz, C.C.B. Wang, D.D. Wong, P.-H.G. Chao, W.B. Valhmu, C.T. Hung, G.A. Ateshian // *Journal of Biomechanical Engineering*. – 2000. – Vol. 122, No 3. – P. 252-260.
11. Ng, K.W. Duty Cycle of Deformational Loading Influences the Growth of Engineered Articular Cartilage / K.W. Ng, R.L. Mauck, C.C.-B. Wang, T.-A.N. Kelly, M.M.-Y. Ho, F.H. Chen, G.A. Ateshian, C.T. Hung // *Cellular and Molecular Bioengineering*. – 2009. – Vol. 2, No 3. – P. 386-394.
12. Smith, R.L. Time-dependent effects of intermittent hydrostatic pressure on articular chondrocyte type II collagen and aggrecan mRNA expression / R.L. Smith, L. Lin, M.C.D. Trindade, J. Shida, G. Kajiyama, T. Vu, A.R. Hoffman, M.C.H. Van Der Meulen, S.B. Goodman, D.J. Schurman, D.R. Carter // *Journal of Rehabilitation Research & Development*. – 2000. – Vol. 37, No 2. – P. 153-161.
13. Smith, R.L. In vitro stimulation of articular chondrocyte mRNA and extracellular matrix synthesis by hydrostatic pressure / R.L. Smith, S.F. Rusk, B.E. Ellison, P. Wessells, K. Tsuchiya, D.R. Carter, W.E. Caler, L.J. Sandell, D.J. Schurman // *Journal of Orthopaedic Research*. – 1996. – Vol. 14, No 1. – P. 53-60.
14. Guilak, F. The effects of matrix compression on proteoglycan metabolism in articular cartilage explants / F. Guilak, B.C. Meyer, A. Ratcliffe, V.C. Mow // *Osteoarthritis and Cartilage*. – 1994. – Vol. 2, No 2. – P. 91-101.
15. Nugent, G.E. Dynamic shear stimulation of bovine cartilage biosynthesis of proteoglycan 4 / N.M. Aneloski, T.A. Schmidt, B.L. Schumacher, M.S. Voegtline, R.L. Sah // *Arth. Rheum*. – 2006. – Vol. 54, No 6. – P. 1888-1896.
16. Li, Z. Chondrogenesis of human bone marrow mesenchymal stem cells in fibrin-polyurethane composites is modulated by frequency and amplitude of dynamic compression and shear stress / Z. Li, S.-J. Yao, M. Alini, M.J. Stoddart // *Tissue Engineering. Part A*. – 2010. – Vol. 16, No 2. – P. 575-589.
17. Schätti, O. A combination of shear and dynamic compression leads to mechanically induced chondrogenesis of human mesenchymal stem cells / O. Schätti, S. Grad, J. Goldhahn, G. Salzmann, Z. Li, M. Alini, M.J. Stoddart // *European Cells & Materials*. – 2011. – Vol. 22. – P. 214-225.
18. Huang, A.H. Sliding contact loading enhances the tensile properties of mesenchymal stem cell-seeded hydrogels / A.H. Huang, B.M. Baker, G.A. Ateshian, R.L. Mauck // *European Cells & Materials*. – 2012. – Vol. 24. – P. 29-45.
19. Stokes, V.K. Couple stresses in fluids / V.K. Stokes // *Physics of Fluids*. – 1966. – Vol. 9, No 9. – P. 1709-1715.
20. Gill, T.J. The Treatment of articular cartilage defects using the microfracture techniques / T.J. Gill, P.D. Asnis, E.M. Berkson // *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. – 2006. – Vol. 10. – P. 728-738.

21. Carter, D.R. Correlations between mechanical stress history and tissue differentiation in initial fracture healing / D.R. Carter, E.R. Blenman, G.S. J. Beaupre // Journal of Orthopaedic Research. – 1988. – Vol. 6. – P. 736–748.

Poliakov Aleksandr Mikhailovich
FSAEI HE “Sevastopol State University”,
Ph.D., Associate Professor, Engineering
Mechanics and Machinery Department,
Universitetskaya Str. 33, Sevastopol, 299053
Phone: +7 978 703 88 26
E-mail: a.m.poljakov@sevsu.ru

Pakhaliuk Vladimir Ivanovich
FSAEI HE “Sevastopol State University”,
Ph.D., Associate Professor, Head of Engineering
Mechanics and Machinery Department,
Universitetskaya Str. 33, Sevastopol, 299053
Phone: +7 978 764 06 00
E-mail: pahaluk@sevsu.ru

УДК 532.5

DOI: 10.33979/2073-7408-2021-346-2-140-145

А.С. ФЕТИСОВ, А.В. КОРНАЕВ

ОПОРА СКОЛЬЖЕНИЯ С ИЗМЕНЯЕМЫМИ ДИНАМИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ: РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ВЕРИФИКАЦИЯ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Аннотация. В статье представлены результаты вычислительного эксперимента по моделированию гладкого подшипника скольжения с управляемой осевой подачей смазочного материала. Приведены основные соотношения математической модели, граничные условия и параметры моделирования течения жидкости в области зазора опоры скольжения. Приведено описание расчета опоры скольжения в программном пакете Ansys. Приведены результаты моделирования и результаты расчета статических и динамических параметров моделируемого подшипника. Сделаны выводы по применимости программ вычислительной гидродинамики для расчетов опор скольжения.

Ключевые слова: опора скольжения, осевая подача, математическая модель, программа вычислительной гидродинамики.

Работа подготовлена в рамках выполнения проекта РФФИ № 19-38-90259.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hori Y. Hydrodynamic lubrication / Hori Y. - Springer Science and Business Media. - 2006.
2. Milne-Thomson L.M. Theoretical hydrodynamics. 4th ed. / Milne-Thomson L.M. - London: Macmilan and Co LTD. - 1960.
3. Reiner M. Rheology / Reiner M. - Springer-Verlag. - 1958.
4. Wilkinson W.L. Non-Newtonian Fluids: Fluid Mechanics, Mixing and Heat Transfer / Wilkinson W.L. - Elsevier Science and Technology. - 1960.
5. Wodtke M. Water-lubricated stern tube bearing - experimental and theoretical investigations of thermal effects / Wodtke M, Litwin W. // Tribology International. – 2021. – Vol. 153. – 15 p. doi:10.1016/j.triboint.2020.106608.
6. Chalkiopoulos M. Effects of thermal and mechanical deformations on textured thrust bearings optimally designed by a THD calculation method / Chalkiopoulos M., Charitopoulos A., Fillon M., Papadopoulos ChI // Tribology International. –2020. – Vol. 148. – Pp. 0-12. DOI: 10.1016/j.triboint.2020.106303
7. Patankar S.V. Numerical heat transfer and fluid flow. New York / Patankar S.V. - McGraw-Hill book company. - 1980.
8. Bakir F. Numerical and Experimental Investigations of the Cavitating Behavior of an Inducer / Bakir F., Rey R., Gerber A.G., Belamri T., Hutchinson B. // International Journal of Rotating Machinery. - 2004. – Vol.10. – Pp. 15-25.
9. Wilcox D.C. Turbulence Modelling for CFD / Wilcox D.C. - La Canada: DCW Ind. - 2000.
10. Kato M. The modelling of turbulent flow around stationary and vibrating square cylinders / Kato M., Launder B.E. - Proceedings of the 9th Symposium on Turbulent Shear Flows. - 1993 Aug 16-18. - Kyoto, Japan.
11. Ansys.com [Internet]. Computational fluid dynamics (CFD) for Software Program Solutions; c2021 [cited 2021 Feb 28] URL: <https://www.ansys.com/products/fluids/ansys-cfx>

Фетисов Александр Сергеевич
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
Младший научный сотрудник ПНИЛ
«Интеллектуальные технологии мониторинга и
диагностики энергогенерирующего оборудования»
E
m

Корнаев Алексей Валерьевич
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
Д.т.н., доцент кафедры мехатроники, механики и
робототехники
E-mail: rusakor@inbox.ru

A.S. FETISOV, A.V. KORNAEV

JOURNAL BEARING WITH VARIABLE DYNAMIC CHARACTERISTICS: SIMULATION RESULTS AND VERIFICATION

Abstract. *The article presents the results of a computational experiment on modeling a smooth plain bearing with a controlled axial supply of lubricant. The basic relations of the mathematical model, boundary conditions and parameters of modeling the fluid flow in the gap region of the sliding support are presented. The description of the calculation of the sliding support in the Ansys software package is given. The results of modeling and the results of calculating the static and dynamic parameters of the simulated bearing are presented. Conclusions are drawn on the applicability of computational fluid dynamics programs for calculating sliding supports*

Keywords: *sliding support, axial feed, mathematical model, computational fluid dynamics program*

BIBLIOGRAPHY

1. Hori Y. Hydrodynamic lubrication / Hori Y. - Springer Science and Business Media. - 2006.
2. Milne-Thomson L.M. Theoretical hydrodynamics. 4th ed. / Milne-Thomson L.M. - London: Macmillan and Co LTD. - 1960.
3. Reiner M. Rheology / Reiner M. - Springer-Verlag. - 1958.
4. Wilkinson W.L. Non-Newtonian Fluids: Fluid Mechanics, Mixing and Heat Transfer / Wilkinson W.L. - Elsevier Science and Technology. - 1960.
5. Wodtke M. Water-lubricated stern tube bearing - experimental and theoretical investigations of thermal effects / Wodtke M, Litwin W. // Tribology International. – 2021. – Vol. 153. – 15 p. doi:10.1016/j.triboint.2020.106608.
6. Chalkiopoulos M. Effects of thermal and mechanical deformations on textured thrust bearings optimally designed by a THD calculation method / Chalkiopoulos M., Charitopoulos A., Fillon M., Papadopoulos ChI // Tribology International. -2020. – Vol. 148. – Pp. 0-12. DOI: 10.1016/j.triboint.2020.106303
7. Patankar S.V. Numerical heat transfer and fluid flow. New York / Patankar S.V. - McGraw-Hill book company. - 1980.
8. Bakir F. Numerical and Experimental Investigations of the Cavitating Behavior of an Inducer / Bakir F., Rey R., Gerber A.G., Belamri T., Hutchinson B. // International Journal of Rotating Machinery. - 2004. – Vol. 10. – Pp. 15-25.
9. Wilcox D.C. Turbulence Modelling for CFD / Wilcox D.C. - La Canada: DCW Ind. - 2000.
10. Kato M. The modelling of turbulent flow around stationary and vibrating square cylinders / Kato M., Launder B.E. - Proceedings of the 9th Symposium on Turbulent Shear Flows. - 1993 Aug 16-18. - Kyoto, Japan.
11. Ansys.com [Internet]. Computational fluid dynamics (CFD) for Software Program Solutions; c2021 [cited 2021 Feb 28] URL: <https://www.ansys.com/products/fluids/ansys-cfx>

Fetisov Alexander Sergeevich

Orel State University,
Junior Researcher, PNIL "Intelligent technologies for monitoring and diagnostics of power generating equipment"
E-mail: fetisov57rus@mail.ru

Kornaev Alexey Valerievich

Orel State University,
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechatronics, Mechanics and Robotics
E-mail: rusakor@inbox.ru

УДК 62-251, 62-529

DOI: 10.33979/2073-7408-2021-346-2-146-149

А.Ю. РОДИЧЕВ, М.А. ТОКМАКОВА, А.В. ПАНИЧКИН, Н.В. ТОКМАКОВ

КОНЦЕПЦИЯ МЕХАТРОННОГО КОНИЧЕСКОГО ПОДШИПНИКА КАЧЕНИЯ

Аннотация. *В статье представлена концепция мехатронного конического подшипника качения. Даны результаты краткого анализа выпускаемых мехатронных подшипников качения. Приведена структурно-функциональная схема мехатронного конического подшипника качения. В основу предлагаемой концепции положены механическая система, а так же система контроля и управления. Выявлено конструктивное решение обеспечивающее регулировку зазора в коническом подшипнике качения. Описаны принципиальная схема и структурная схема системы управления мехатронного конического подшипника качения. Даны рекомендации по дальнейшему развитию и применению концепции мехатронного конического подшипника качения.*

Ключевые слова: *мехатроника, конический подшипник, скольжение, система управления, параметры датчики состояния.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. C.R. Burrows, P.S. Keogh and M.N. Sahinkaya, “Progress in the direction of intellectual machines through the use of active bearings”, Proc. IMechE. Part C: J. Mechanical Engineering, vol. 223, 11 p., 2009. DOI: 10.1243/09544062JMES1487.
2. И.И. Сидоренко Управление жесткостью механических систем при помощи виброизолирующих устройств с обратной связью // Труды Одесского политехнического университета. - 2005. - №2(24). - С. 30-34.
3. Кинематика и долговечность подшипников качения машин и приборов / И.С. Цитович [и др.]; под ред. П.И. Ящерицына. – Минск: Наука и техника, 1977. – 176 с.
4. Коровчинский, М. В. Теоретические основы работы подшипников скольжения / М. В. Коровчинский – М.: Mashgiz, 1959. – 404 с.
5. Дорф, Р. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп. Пер. с англ. Б. И. Копылова // М.: Лаборатория базовых знаний, 2002. 832 с.
6. Савченко, А.Л. Средства диагностики и управления кинематикой, интегрированные в подшипник качения / А.Л. Савченко, Н.Т. Минченя, В.Т. Минченя, Р.М. Анисимов Приборы и методы измерений М.: №1(4), 2012. С. 99-103.
7. Г.А. Левина, В.В. Дрокин Численное моделирование и анализ нагрузочных характеристик лепесткового подшипника с газовым слоем // Серия «Машиностроение», выпуск 18. - Челябинск: Вестник ЮУрГУ, 2011. - С. 23-30.
8. Савченко, А.Л. Подшипники качения со встроенными средствами диагностики / А.Л. Савченко, Н.Т. Минченя, З.М. Короткевич // Метрология и приборостроение. – № 3. – 2010. – С. 21–25.
9. Подшипник качения / А.Л. Савченко, Н.Т. Минченя, В.Т. Минченя. Пат. 7389 Респ. Беларусь, МПК F 16 C 13/02; заявитель Бел. нац. техн. ун-т. – № u20101035; заявл. 14.12.2010; опубл. 30.06.2011 // Афіцыйны бюл. / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь.
10. Патент RU 2734174 МКПВ F16C19/00 Мехатронный подшипник качения. А.Ю. Родичев, А.В. Горин, Р.Н. Поляков, С.А. Савин, В.В. Романов, М.А. Токмакова – опубл. 13.10.2020 Бюл.№29.

Родичев Алексей Юрьевич
 ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»
 кандю. техн. наук, доцент кафедры сервиса и
 ремонта машин
 302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
 Тел. +79534145257
 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. +7910 2600267
 E-mail: stalker.20122@yandex.ru

Паничкин Антон Валерьевич
 ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»
 кандю. техн. наук, доцент кафедры подъемно-
 транспортных, строительных и дорожных машин
 302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
 Тел. +79103029150
 E-mail: gorin57@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

A.Yu. RODICHEV, N.V. TOKMAKOV, M.A. GRIADUNOVA, A.O. IVANOV

CONCEPT OF MECHATRONIC CONICAL ROLLING BEARING

Abstract. *The article presents the concept of a mechatronic tapered rolling bearing. The results of a brief analysis of the produced mechatronic rolling bearings are given. The structural and functional diagram of a mechatronic tapered rolling bearing is presented. The proposed concept is based on a mechanical system, as well as a monitoring and control system. A constructive solution has been identified that provides clearance adjustment in a tapered rolling bearing. The schematic diagram and block diagram of the control system of a mechatronic tapered rolling bearing are described. Recommendations are given for further development and application of the concept of mechatronic tapered rolling bearing.*

Keywords: *mechatronics, tapered bearing, sliding, control system, parameters, condition sensors.*

BIBLIOGRAPHY

1. C.R. Burrows, P.S. Keogh and M.N. Sahinkaya, “Progress towards intelligent rotating machines through the use of active bearings,” Proc. IMechE. Part C: J. Mechanical Engineering, vol. 223, 11 p., 2009. DOI: 10.1243/09544062JMES1487.
2. И.И. Сидоренко Control of the rigidity of mechanical systems using vibration isolating devices with feedback // Proceedings of the Odessa Polytechnic University. - 2005. - No. 2 (24). - S. 30-34.
3. Kinematics and durability of rolling bearings of machines and devices / I.S. Tsitovich [and others]; ed. P.I. Lizard. - Minsk: Science and technology, 1977.-- 176 p.
4. Korovchinsky, M. V. Theoretical foundations of sliding bearings / M. V. Korovchinsky - M.: Mashgiz, 1959. - 404 p.

5. Dorf, R. Modern control systems / R. Dorf, R. Bishop. Per. from English B.I.Kopylova // M.: Laboratory of Basic Knowledge, 2002.832 p.
6. Savchenko, A.L. Diagnostic tools and kinematics control integrated into the rolling bearing / A.L. Savchenko, N.T. Minchenya, V.T. Minchenya, R.M. Anisimov Instruments and measurement methods M.: No. 1 (4), 2012. P. 99-103.
7. G.A. Levin, V.V. Drokin Numerical modeling and analysis of load characteristics of a petal bearing with a gas layer // Machine building series, issue 18. - Chelyabinsk: Bulletin of SUSU, 2011. - pp. 23-30.
8. Savchenko, A. L. Rolling bearings with built-in diagnostics / A.L. Savchenko, N.T. Minchenya, Z.M. Korotkevich // Metrology and Instrument Engineering. - No. 3. - 2010. - P. 21–25.
9. Rolling bearing / A.L. Savchenko, N.T. Minchenya, V.T. Minchenya. Pat. 7389 Rep. Belarus, IPC F 16 C 13/02; applicant Bel. nat. tech. un-t. - No. u20101035; declared 12/14/2010; publ. 06/30/2011 // Afitsyiny bul. / Dzyarzh. pat. Vedamas Rasp. Belarus.
10. Patent RU 2734174 MKPV F16S19 / 00 Mechatronic rolling bearing. A.Yu. Rodichev, A.V. Gorin, R.N. Polyakov, S.A. Savin, V.V. Romanov, M.A. Tokmakova - publ. 13.10.2020 Bulletin No. 29.

Rodichev Alexey Yurevich

Orel State University
candidate of technical Sciences, associate Professor of
the Department service and repair of cars
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph.: +79534145257
E-mail: rodfox@yandex.ru

Panichkin Anton Valerievich

Orel State University
candidate of technical Sciences, associate Professor of
the Department hoisting, construction and road
machines
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph.: +79103029150
E-mail: gOrin57@mail.ru

Tokmakova Maria Andreevna

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

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

УДК 62-251, 621.822.114

DOI: 10.33979/2073-7408-2021-346-2-150-158

А.В. СЫТИН, А.А. КИРИЧЕК, О.А. ИВАНОВ, С.С. ВНУКОВ

РАСЧЕТ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАДИАЛЬНЫХ ЛЕПЕСТКОВЫХ ПОДШИПНИКОВ МИКРОТУРБИН СИСТЕМ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Аннотация. В работе кратко изложено современное состояние систем распределенной энергетики, которая выступает передовым поставщиком электрической и тепловой энергии в малые города, поселки и деревни, промышленные предприятия, животноводческие фермы и т. д. Основным рабочим агрегатом данного типа систем выступают микротурбинные установки малой мощности. Для данных типов установок наиболее критической и ответственной частью является роторно-опорный узел. В статье рассматриваются вопросы моделирования динамических процессов в роторно-опорных узлах при наличии лепестковых газодинамических подшипников с гофрированными элементами, являющихся на данный момент перспективными опорами роторов высокоскоростных машин. Представлено решение комплексной задачи расчета лепестковых газодинамических подшипников, основанное на совместном решении газодинамики, теплофизики и теории упругости. На базе уравнений динамики представлена одномассовая модель жесткого симметричного ротора на упругих опорах, состоящих из нескольких упруго-податливых слоев: тонкостенных лепестков и гофрированных элементов. Определение поля давлений базируется на решении уравнения Рейнольдса, обобщенного на случай двумерного турбулентного течения вязкого сжимаемого смазочного материала. На основании выражений теории упругости рассмотрена задача расчета деформаций лепестка и кругового гофрированного элемента лепесткового подшипника под действием газодинамических сил в смазочном слое. Путем линеаризации в предположении малости смещений от положения равновесия, основываясь на разложении в ряд Тейлора в окрестности стационарного положения, определены зависимости коэффициентов жесткости и демпфирования для данного типа опор. При этом жесткость системы «смазочный газовый слой – лепесток – гофрированный элемент» представлена как сумму последовательно соединенных между собой: жесткости слоя газовой смазки, жесткости упругого лепестка и жесткости гофрированного элемента. Демпфирование системы ЛГДП выглядит аналогичным образом «смазочный газовый слой – лепесток – круговой гофрированный элемент», которое можно представить как сумму последовательно соединенных между собой демпферов: слоя газовой смазки, демпфирования лепестка и демпфирования гофра. В статье представлены рассчитанные по данной методике коэффициенты жесткости и демпфирования в зависимости от отношения частоты возбуждения цапфы ротора к угловой скорости.

Ключевые слова: микротурбина, лепестковый подшипник, гофрированный элемент, уравнения движения, жесткость, демпфирование, динамические характеристики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пешти, Ю.В. Проектирование подшипников скольжения с газовой смазкой / Ю.В. Пешти. – М.: МГТУ, 1973. – 171 с.
2. Пешти, Ю.В. Газовая смазка / Ю.В. Пешти. – М.: МГТУ, 1993. – 381 с.
3. Звонарев, П.Н. Разработка метода расчета радиальных упругогазодинамических подшипников с предварительно напряженными лепестками для малых турбомашин низкотемпературных установок: дис. канд. техн. наук: 05.04.03. – Москва: Звонарев Павел Николаевич – 2005. – 201 с.
4. Бутенин, Н.В. Введение в аналитическую механику / Н.В. Бутенин, Н.А. Фуфаев. – М.: Наука, 1991. – 256 с.
5. Соломин, О.В. Разработка методов инструментальных средств динамического анализа роторных систем с подшипниками жидкостного трения: дис. д-ра техн. наук: 01.02.06. – Орёл: Соломин Олег Вячеславович – 2007. – 417 с.
6. Muszynska, A. Rotordynamics / A. Muszynska. – Taylor&Francis, 2005. – 1054 p.
7. Yamamoto, T. Linear and nonlinear rotordynamics. A modern treatment with applications / T. Yamamoto, Y. Ishida. – NY, John Wiley&Sons, 2001. – 326 p.
8. Лунд, Й. Разработка понятия динамических коэффициентов радиальных подшипников жидкостного трения / Й. Лунд // Проблемы трения и смазки. – № 1, 1987. – С. 40-45.
Позняк, Э.Л. Колебания роторов / Э.Л. Позняк // Вибрации в технике: в 6 т. Том 3. Колебания машин, конструкций и их элементов. – М.: Машиностроение, 1980. – С. 130-189.
9. Чернавский, С.А. Подшипники скольжения / С.А. Чернавский. – М.: Машгиз, 1963. – 244 с.
10. Someya, T. Journal-Bearing Databook / T. Someya, J. Mitsui, J. Esaki, S. Saito, Y. Kanemitsu, M. Iwatsubo, M. Tanaka, S. Hisa, T. Fujikawa, H. Kanki. – New York: Springer-Verlag, 1988. – 326 p.
11. Сытин, А.В. Решение комплексной задачи расчета характеристик радиальных лепестковых газодинамических подшипников: дис. канд. техн. наук: 01.02.06. – Орёл: Сытин Антон Валерьевич – 2008. – 201 с.
12. Хешмет Х. Анализ газового ленточного радиального подшипника / Х. Хешмет, Дж. А. Уоловит, О. 13. Пинкус // Проблемы трения и смазки. – Т. 105. – №4, 1983. – С. 124-132.

Сытин Антон Валерьевич

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: sytin@mail.ru

Иванов Олег Анатольевич

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

Киричек Алексей Андреевич

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

Внуков Сергей Сергеевич

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

A.V. SYTIN, A.A. KIRICHEK, O.A. IVANOV, S.S. VNUYKOV

THE CALCULATION OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF BEARINGS RADIAL PETAL MICRO-TURBINES DISTRIBUTED POWER SYSTEMS

Abstract. *The paper briefly describes the current state of distributed energy systems, which acts as an advanced supplier of electric and thermal energy to small towns, towns and villages, industrial enterprises, livestock farms, etc. The main working unit of this type of systems are micro turbine installations of low power. For these types of installations, the most critical and critical part is the rotary support unit. The article deals with the issues of modeling dynamic processes in rotor-bearing units in the presence of lobed gas-dynamic bearings with corrugated elements, which are currently promising supports for rotors of high-speed machines. A solution to the complex problem of calculating lobe gas-dynamic bearings based on a joint solution of gas dynamics, thermo physics and the theory of elasticity is presented. On the basis of the dynamics equations, a single-mass model of a rigid symmetric rotor on elastic supports consisting of several elastic-pliable layers: thin-walled lobes and corrugated elements is presented. The determination of the pressure field is based on the solution of the Reynolds equation, generalized to the case of a two-dimensional turbulent flow of a viscous compressible lubricant. Based on the expressions of the theory of elasticity, the problem of calculating the*

deformations of the lobe and the circular corrugated element of the lobe bearing under the action of gas-dynamic forces in the lubricating layer is considered. By linearization under the assumption of small displacements from the equilibrium position, based on the Taylor series expansion in the vicinity of the stationary position, the dependences of the stiffness and damping coefficients for this type of support are determined. In this case, the stiffness of the system "lubricating gas layer-petal-corrugated element" is represented as the sum of the successively connected: the stiffness of the gas lubricant layer, the stiffness of the elastic petal and the stiffness of the corrugated element. Damping system LGDP is the same way "lubricating air layer – petal – circular corrugated elements", which can be represented as the sum of series-connected dampers: a layer of gas lubrication, damping and damping petal corrugation. The article presents the stiffness and damping coefficients calculated by this method, depending on the ratio of the excitation frequency of the rotor pin to the angular velocity.

Keywords: micro turbine, lobe bearing, corrugated element, equations of motion, stiffness, damping, dynamic characteristics.

BIBLIOGRAPHY

1. Peshti, Yu. V. Design of sliding bearings with gas lubrication / Yu. V. Peshti. - Moscow: MSTU, 1973. - 171 p.
2. Peshti, Yu. V. Gas lubrication / Yu. V. Peshti. - Moscow: MSTU, 1993. - 381 p.
3. Zvonarev, P. N. Development of a method for calculating the radial uprugoplasticheskikh bearings with pre-stressed petals for small turbomachines low temperature units: dis. Cand. tekhn. science: 05.04.03. – Moscow: Zvonarev Pavel – 2005. – 201 c.
4. Butenin N. In. Introduction to analytical mechanics / N. In. Butenin N. And. Fufayev. – M.: Nauka, 1991. – 256 p.
5. Solomin, O. V. Development of methods, tools dynamic analysis of rotor systems with bearings fluid friction: dis. d-RA tekhn. science: 01.02.06. – Orel: Solomin Oleg V. – 2007. – 417 p.
6. Muszynska, A. Rotordynamics / A. Muszynska. – Taylor&Francis, 2005. – 1054 p.
7. Yamamoto, T. Linear and nonlinear rotordynamics. A modern treatment with applications / T. Yamamoto, Y. Ishida. – NY, John Willey&Sons, 2001. – 326 p.
8. Lund, J. Development of the concept of dynamic coefficients of radial bearings of liquid friction / J. Lund // Problems of friction and lubrication. – No. 1, 1987. - p. 40-45.
9. Poznyak, E. L. Vibrations of rotors / E. L. Poznyak // Vibrations in technology: in 6 t. Volume 3. Vibrations of machines, structures and their elements. - M.: Mashinostroenie, 1980. - p. 130-189.
10. Chernavsky, S. A. Bearings of sliding / S. A. Chernavsky – - M.: Mashgiz, 1963 – - 244 p.
11. Someya, T. Journal-Bearing Databook / T. Someya, J. Mitsui, J. Esaki, S. Saito, Y. Kanemitsu, M. Iwatsubo, M. Tanaka, S. Hisa, T. Fujikawa, H. Kanki – - New York: Springer-Verlag, 1988. - 326 p.
12. Sytin, A.V. Solution of the complex problem of calculating the characteristics of radial lobe gas-dynamic bearings: dis. cand. tech. nauk: 01.02.06. - Orel: Sytin Anton Valeryevich-2008. - 201 p.
13. Hashmet X. Analysis of a gas belt radial bearing / H. Heshmet, J. A. Uolovit, O. Pincus // Problems of friction and lubrication. - T. 105. - No. 4, 1983. - pp. 124-132.

Sytin Anton Valerievich

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

Ivanov Oleg Anatolyevich

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

Kirichek Alexey Andreevich

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

Vnukov Sergei Sergeevich

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

УДК 629.1.02/.03:627.892

DOI: 10.33979/2073-7408-2021-346-2-159-165

А.В. ГОРИН, Р.Н. ПОЛЯКОВ, М.А. ГРЯДУНОВА, И.В. РОДИЧЕВА

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ИМПУЛЬСНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ
МЕХАНИЗМОВ С ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ КАМЕРОЙ РАБОЧЕГО ХОДА**

Аннотация. В работе кратко изложено состояние развития импульсной техники. Представлены схемы гидравлических машин импульсного действия с ударными механизмами шестого и седьмого классов. Приведен расчет импульсных механизмов с пневматической камерой рабочего хода. Приведена физическая модель сливного трубопровода. Показана диаграмма сил, действующих на боек при рабочем ходе. Представлена зависимость относительных потерь энергии от соотношений площадей сечений рабочей камеры и сливного трубопровода. Даны рекомендации по использованию пневмоаккумулятора в сливной ветви трубопровода импульсного гидравлического механизма с пневматической камерой рабочего хода.

Ключевые слова: гидравлическая машина, трубопровод, жидкость, гидромагистраль, боек, камера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Котылев, Ю.Е. Прикладная теория гидравлических машин ударного действия [Текст] / Ю.Е. Котылев, Д.Н. Ешуткин. – Машиностроение-1, 2007. – 175 с.
2. Ушаков, Л.С. Гидравлические машины ударного действия [Текст] / Л.С. Ушаков, Ю.Е. Котылев, В.А. Кравченко. – М.: Машиностроение, 2000. – 416 с.
3. Горин, А.В. Объемный гидропривод комбинированной машины для образования скважин в грунтах: монография [Текст] / А.В. Горин, Д.Н. Ешуткин, М.А. Горина. - Орел: Госуниверситет - УНПК, 2015. – 127 с.
4. Ешуткин, Д.Н. Гидравлические машины ударного действия [Текст] / Д.Н. Ешуткин, А.В. Журавлева, А.И. Абдурашитов. – Орел: Госуниверситет - УНПК, 2011. – 137 с.
5. Горин, А.В. Применение гидравлических машин ударного действия для образования скважин в грунтах: монография [Текст] / А.В. Горин, Д.Н. Ешуткин, М.А. Горина. - Орел: Госуниверситет - УНПК, 2015. – 151 с.

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

Поляков Роман Николаевич
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»
доктор. технических наук, доцент кафедры
мехатроника, механика и робототехника
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
Тел. +79038819381
E-mail: romanpolak@mail.ru

Грядунова Мария Андреевна
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
студент
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
Тел. +79534702550
E-mail: gryadunova6565@mail.ru

Токмаков Никита Владимирович
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»
студент
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
Тел. +79051673322
E-mail: rodfox@yandex.ru

A.V. GORIN, R.N. POLYAKOV, M.A. GRYADUNOVA, I.V. RODICHEVA

STUDY OF THE DYNAMICS OF PULSE HYDRAULIC MECHANISMS WITH PNEUMATIC STROKE CHAMBER

Abstract. The paper briefly outlines the state of development of impulse technology. The schemes of hydraulic machines of impulse action with percussion mechanisms of the sixth and seventh classes are presented. The calculation of impulse mechanisms with a pneumatic chamber of the working stroke is given. The physical model of the drain pipeline is presented. Shown is a diagram of the forces acting on the striker during the working stroke. The dependence of the relative energy losses on the ratios of the cross-sectional areas of the working chamber and the drain pipeline is presented. Recommendations are given for the use of a pneumatic accumulator in the drain branch of the pipeline of a pulsed hydraulic mechanism with a pneumatic chamber of the working stroke

Keywords: hydraulic machine, pipeline, fluid, hydraulic line, firing pin, camera.

BIBLIOGRAPHY

1. Kotylev, Yu.E. Applied theory of hydraulic shock machines [Text] / Yu.E. Kotylev, D.N. Eshutkin. - Mechanical engineering-1, 2007.-- 175 p.
2. Ushakov, L.S. Hydraulic impact machines [Text] / L.S. Ushakov, Yu.E. Kotylev, V.A. Kravchenko. - M.: Mashinostroenie, 2000.-- 416 p.

3. Gorin, A.V. Volumetric hydraulic drive of a combined machine for the formation of wells in soils: monograph [Text] / A.V. Gorin, D.N. Eshutkin, M.A. Gorin. Oryol: State University - UNPK, 2015.-- 127 p.

4. Eshutkin, D.N. Hydraulic impact machines [Text] / D.N. Eshutkin, A.V. Zhuravleva, A.I. Abdurashitov. - Oryol: State University - UPPK, 2011.-- 137 p.

5. Gorin, A.V. The use of hydraulic shock machines for the formation of wells in soils: monograph [Text] / A.V. Gorin, D.N. Eshutkin, M.A. Gorin. Orel: State University - UNPK, 2015.-- 151 p.

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

Polyakov Roman Nikolaevich

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

Gryadunova Maria Andreevna

Orel State University named after I.S. Turgenev
graduate student
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph.: +79534702550
E-mail: gryadunova6565@mail.ru

Rodicheva Irina Vladimirovich

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

ПРИБОРЫ, БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 620.179.142

DOI: 10.33979/2073-7408-2021-346-2-166-171

А.Н. КАЧАНОВ, Н.А. КАЧАНОВ, Т.Г. КОРОЛЕВА, А.С. АЛЕХИНА

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ И ТЕПЛОВЫХ ПОЛЕЙ В РАБОЧЕМ ЗАЗОРЕ ИНДУКТОРА ДЛЯ НАГРЕВА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ В ПОПЕРЕЧНОМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ

Аннотация. В статье рассмотрены результаты теоретических и экспериментальных исследований характера распределения основных параметров электромагнитного поля в рабочем зазоре индуктора для нагрева магнитных и немагнитных материалов в поперечном магнитном поле выполненные аналитическим методом и с использованием компьютерного моделирования в программной среде ELCUT. Полученные результаты могут быть полезны специалистами, как при проектировании индукционных устройств для нагрева плоских магнитных и не магнитных материалов в поперечном электромагнитном поле с учетом изменения их электрофизических свойств, так и в процессе эксплуатации установок для диагностики качества электромагнитных и тепловых полей.

Ключевые слова: расчет, основные параметры, электромагнитное и тепловое поля, индуктор для нагрева, поперечное электромагнитное поле, магнитная цепь, рабочий зазор магнитные и немагнитные материалы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Качанов, А.Н. Исследование электромагнитных полей в системе «Индуктор – плоская металлическая нагрузка» / А.Н. Качанов, Е.С. Герасименко // Энерго- и ресурсосбережение – XXI век.: Сборник материалов XV международной научно-практической интернет-конференции (15 марта – 30 июня 2017 г.) / Под. ред. О.В. Пилипенко. – Оrel: ОГУ имени И.С. Тургенева), 2017. – С. 130-133.
2. А.с. СССР № 908852. Установка для нагрева и обработки давлением токолистковых изделий / Долотов Г.П., Кувалдин А.Б., Новиков В.В., Качанов А.Н., Ключко О.А. // Опубликовано 28.02.1982. Бюллетень № 8
3. А.с. СССР № 908852. Устройство для термообработки изделий / Кувалдин А.Б., Качанов А.Н., Коваленко Б.Н., Родненкова К.В. // Оpubл. 30.09.1981. Бюллетень № 36
4. Kacanov, A.N. Auslegung eines Induktors zur Erwärmung flacher Einsätze im elektromagnetischen Querfeld / A.N. Kacanov, D. Schulze // Im Buch: 31 IWK. TH Iimenau. Vortraqsreichen. A-5, DDR/ 1986, s. 121 – 125.
5. Kacanov, A.N. Untersuchung des Maqnetfeldes im Arbeitsplat eines Induktors far die Erwärmung ebener Einsätze / A.N. Kacanov // Im Wissenschaftliche zeitschrift der TH, Heft 1. 1986, s. 107 -111.
6. Смайг, В. Электростатика и электродинамика / В. Смайг //– М.: Иностранная литература, 1964. – 604 с.
7. ELCUT. Моделирование двумерных полей методом конечных элементов. Руководство пользователя/ Санкт-Петербург: Производственный кооператив TOP, 2010. – 345 с.

8. Дубицкий, С.Д. ELCUT. Универсальная программа расчета магнитных, электрических, тепловых и упругих полей методом конечных элементов / С.Д. Дубицкий // Горный информационно – аналитический бюллетень. – №12 / том 12. – 2007.

9. Качанов, А.Н. К вопросу о размещении примыкающих индукторов на установках оцинкования с использованием программы ELCUT / А.Н. Качанов, А.В. Гладышев // Энерго- и ресурсосбережение – XXI век.: Сборник материалов XV международной научно-практической интернет-конференции (15 марта – 30 июня 2017 г.) / Под. ред. О.В. Пилипенко. – Орел: ОГУ имени И.С. Тургенева, 2017. – С 89-93.

10. Качанов, А.Н., Бесконтактный способ контроля толщины днища ванны для горячего оцинкования стальной проволоки / А.Н.Качанов, Е.А. Миронов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии / г. Орел, ОГУ имени И.С. Тургенева, № 5(377), 2019. С. 30 -36

Качанов Александр Николаевич

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орёл
Доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой
«Электрооборудование и энергосбережение»
302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29
тел.: (4862) 41-98-53
e-mail: kan@ostu.ru

Королева Татьяна Геннадьевна

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орёл
Кандидат технических наук, доцент каф.
«Электрооборудование и энергосбережение»
302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29
тел.: (4862) 41-98-30
e-mail: tgkoroлева@mail.ru

Алехина Анна Сергеевна

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орёл
Студент группы 91-ЭЭ-м, кафедра
«Электрооборудование и энергосбережение»
тел.: (4862) 41-98-30
anna.kolganova@rambler.ru

Качанов Николай Александрович

АО «Орелоблэнерго», г. Орел
Заместитель начальника службы АТиРЗ
302030, г. Орел, Пл. Поликарпова, 8
e-mail: nk3575@mail.ru

A.N. KACHANOV, N.A. KACHANOV, T.G. KOROLEVA, A.S. ALYOKHINA

ANALYSIS OF ELECTROMAGNETIC AND THERMAL FIELDS IN THE WORKING GAP OF THE INDUCTOR FOR HEATING METAL PRODUCTS IN A TRANSVERSE ELECTROMAGNETIC FIELD

Abstract. *The article discusses the results of theoretical and experimental studies of the nature of the distribution of the main parameters of the electromagnetic field in the working gap of the inductor for heating magnetic and non-magnetic materials in a transverse magnetic field performed by the analytical method and using computer simulation in the ELCUT software environment. The results obtained can be useful for specialists, both in the design of induction devices for heating flat magnetic and non-magnetic materials in a transverse electromagnetic field, taking into account the change in their electrophysical properties, and during the operation of installations for diagnosing the quality of electromagnetic and thermal fields.*

Keywords: *calculation, basic parameters, electromagnetic and thermal fields, inductor for heating, transverse electromagnetic field, magnetic circuit, working gap magnetic and non-magnetic materials.*

BIBLIOGRAPHY

1. Kachanov, A.N. Research of electromagnetic fields in the system "Inductor - flat metal loading" / A.N. Kachanov, E.S. Gerasimenko // Energy and resource saving – XXI century.: Collection of materials of the XV international scientific and practical Internet conference (March 15 - June 30, 2017) / Under. ed. O.V. Pilipenko. - Oryol: OSU named after I.S. Turgenev), 2017.- S. 130-133.

2.A.S. USSR No. 908852. Installation for heating and pressure treatment of tokolistovye products / Dolotov G.P, Kuvaldin A.B, Novikov V.V, Kachanov A.N, Klyuiko O.A // Published on 02/28/1982. Bulletin No. 8

3.A.S. USSR No. 908852. Device for heat treatment of products / Kuvaldin AB, Kachanov AN, Kovalenko BN, Rodnenkova KV. // Publ. 09/30/1981. Bulletin No. 36

4. Kacanov, A.N. Auslegung eines Induktors zur Erwärmung flacher Einsätze im elektromagnetischen Querfeld / A.N. Kacanov, D. Schulze // Im Buch: 31 IWK. TH Ilmenau. Vortragsreihen. A-5, DDR / 1986, s. 121 - 125.

5. Kacanov, A.N. Untersuchung des Magnetfeldes im Arbeitsplatz eines Induktors für die Erwärmung ebener Einsätze / A.N. Kacanov // Im Wissenschaftliche Zeitschrift der THI, Heft 1. 1986, s. 107 -111.

6. Smythe, V. Electrostatics and electrodynamics / V. Smythe // - M.: Foreign literature, 1964. - 604 p.

7. ELCUT. Simulation of 2D fields by the finite element method. User Guide / St. Petersburg: Production cooperative TOP, 2010. - 345 p.

8. Dubitsky, S.D. ELCUT. Universal program for calculating magnetic, electric, thermal and elastic fields by the finite element method / S.D. Dubitsky // Mining information and analytical bulletin. - No. 12 / volume 12. - 2007.

9. Kachanov, A.N. On the issue of the placement of adjoining inductors on galvanizing installations using the ELCUT program / A.N. Kachanov, A.V. Gladyshev // Energy and resource conservation – XXI century: Collection of

materials of the XV international scientific and practical Internet conference (March 15 - June 30, 2017) / Under. ed. O.V. Pilipenko. - Oryol: OSU named after I.S. Turgenev), 2017.- S 89-93.

10. Kachanov, A.N., Mironov, E.A. Contactless method for controlling the thickness of the bath bottom for hot-dip galvanizing of steel wire./ A.N. Kachanov, E.A. Mironov // Fundamental and applied problems of engineering and technology / Oryol, OSU named after I.S. Turgenev, No. 5 (377), 2019. P. 30-36

Kachanov Alexander Nikolaevich

FSBEI HE "OSU named after I.S. Turgenev ", Orel
Doctor of Technical Sciences, Professor, Head.
Department of Electrical Equipment and Energy Saving
302020, Oryol, Naugorskoe highway, 29
tel.: (4862) 41-98-53
e-mail: kan@ostu.ru

Koroleva Tatiana Gennadevna

FSBEI HE "OSU named after I.S. Turgenev ", Orel
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of
the Department. "Electrical equipment and energy
saving"
302020, Oryol, Naugorskoe highway, 29
tel.: (4862) 41-98-30
e-mail: tgkoroleva@mail.ru

Alekhina Anna Sergeevna

FSBEI HE "OSU named after I.S. Turgenev ", Orel
Student of group 91-EE-m, Department of Electrical
Equipment and Energy Saving
tel.: (4862) 41-98-30
anna.kolganova@rambler.ru

Kachanov Nikolay Alexandrovich

JSC "Oreoblenergo", Orel
Deputy Head of ATiRZ Service
302030, Oryol, Pl. Polikarpova, 8 e-mail:
nk3575@mail.ru

УДК 621.3.087.355, 621.3.087.45, 004.891.2 DOI: 10.33979/2073-7408-2021-346-2-172-177

А.В. БЕЛЯЕВ, Р.Н. ПОЛЯКОВ

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТНОГО СОСТОЯНИЯ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ ПУТЕМ КОНТРОЛЯ ТЕПЛОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

***Аннотация.** В статье рассматривается подход к созданию имитационной математической модели работы силовых IGBT модулей для последующего анализа данных, применяемых для оценки работоспособного состояния и определения остаточного ресурса. Представлены методы расчетов основных контролируемых параметров, рассмотрены режимы работы IGBT приборов в составе преобразовательной техники.*

***Ключевые слова:** силовой полупроводниковый IGBT модуль, термоциклирование, тепловое сопротивление, мощность потерь, работоспособное состояние, мониторинг состояния, электротепловая модель.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 S. Yang, A. Bryant, P. Mawby, D. Xiang, L. Ran, and P. Tavner. An industry-based survey of reliability in power electronic converters // IEEE Trans. Industry Applications, vol. 47, no. 3, pp. 1441–1451, Jun. 2011.

2 А.В. Беляев, Р.Н. Поляков. Подходы к повышению надежности силовой электроники мехатронных систем путем применения методов адаптивно-предиктивного анализа // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии – г. Орел: ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», 2018. – С. 104-109

3 А.В. Беляев, И.В.Беляев, Р.Н. Поляков. Подход к анализу технического состояния силовых IGBT модулей // XVIII Международная научно-практическая конференция «Энерго- и ресурсосбережение - XXI век – г. Орел: ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», 2020 – С. 238-243

4 M. Ciappa. Reliability of high-power IGBT modules for traction applications // in Proc. IEEE Int. Rel. Phys. Symp., Apr. 2007, pp. 480- 485.

5 Фокин В.М., Бойков Г.П., Видин Ю.В. Основы технической теплофизики. — М.: Машиностроение-1, 2004. — 172 с.

6 Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. — М.: Гардарики, 2002. — 638 с. — ISBN 5-8297-0026-3.

7 Schütze, T. AN2008-03: Thermal equivalent circuit models. Application Note. V1.0. Germany: Infineon Technologies AG, 2008.

8 Y. Avenas, L. Dupont, and Z. Khatir. Temperature measurement of power semiconductor devices by thermo-sensitive electrical parameters—A review // IEEE Trans. Power Electronics, vol. 27, no. 6, pp. 3081-3092, Jun. 2012.

Беляев Алексей Владимирович

ФГБОУ ВО «Орловский государственный
университет им. И.С. Тургенева», г. Орёл
Аспирант
E-mail: al.vl.belyaev@yandex.ru
АО «ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС», г. Орёл

Поляков Роман Николаевич

ФГБОУ ВО «Орловский государственный
университет им. И.С. Тургенева», г. Орёл
Д-р техн. наук, доцент, зав. кафедры
«Мехатроника, механика и робототехника»,
E-mail: romanpolak@mail.ru

A.V. BELYAEV, R.N. POLYAKOV

ANALYSIS OF THE RELIABLE STATE OF POWER ELECTRONICS BY CONTROL OF THERMAL ELECTRIC PARAMETERS

Abstract. *The article discusses an approach to creating a simulation mathematical model of the operation of power IGBT modules for the subsequent analysis of data used to assess the operational state and determine the residual life. Methods for calculating the main controlled parameters are presented, modes of operation of IGBT devices as part of converter equipment are considered.*

Keywords: *power semiconductor IGBT module, thermal cycling, thermal resistance, power loss, working condition, condition monitoring, electrothermal model.*

BIBLIOGRAPHY

- 1 S. Yang, A. Bryant, P. Mawby, D. Xiang, L. Ran, and P. Tavner. An industry-based survey of reliability in power electronic converters // IEEE Trans. Industry Applications, vol. 47, no. 3, pp. 1441-1451, Jun. 2011.
- 2 A.V. Belyaev, R.N. Polyakov. Approaches to increasing the reliability of power electronics of mechatronic systems by applying methods of adaptive-predictive analysis // Fundamental and applied problems of engineering and technology - Orel: FSBEI HE "Oryol State University named after I.S. Turgenev", 2018. - S. 104-109
- 3 A.V. Belyaev, I. V. Belyaev, R. N. Polyakov. Approach to the analysis of the technical condition of power IGBT modules // XVIII International Scientific and Practical Conference "Energy and Resource Saving - XXI Century - Orel: FSBEI HE "Oryol State University named after I.S. Turgenev", 2020 - pp. 238-243
- 4 M. Ciappa. Reliability of high-power IGBT modules for traction applications // in Proc. IEEE Int. Rel. Phys. Symp., Apr. 2007, pp. 480- 485.
- 5 Fokin V.M., Boykov G.P., Vidin Yu.V. Fundamentals of technical thermophysics. - M.: Mashinostroenie-1, 2004.-- 172 p.
- 6 Bessonov L.A. Theoretical foundations of electrical engineering. Electrical circuits. - M.: Gardariki, 2002.-- 638 p. - ISBN 5-8297-0026-3.
- 7 Schütze, T. AN2008-03: Thermal equivalent circuit models. Application Note. V1.0. Germany: Infineon Technologies AG, 2008.
- 8 Y. Avenas, L. Dupont, and Z. Khatir. Temperature measurement of power semiconductor devices by thermo-sensitive electrical parameters — A review // IEEE Trans. Power Electronics, vol. 27, no. 6, pp. 3081-3092, Jun. 2012.

Belyaev Alexey Vladimirovich

FGBOU VO " Oryol State University named after I.S. Turgenev", Orel
Graduate student
E-mail: al.vl.belyaev@yandex.ru
Proton-Electrotex jsc., Orel
Design Engineer
E-mail: a.belyaev@proton-electrotex.com

Polyakov Roman Nikolaevich

FGBOU VO " Oryol State University named after I.S. Turgenev", Orel
Doctor of technical Sciences, associate Professor, head of the Department "Mechatronics, mechanics and robotics"
E-mail: romanpolak@mail.ru

КОНТРОЛЬ, ДИАГНОСТИКА, ИСПЫТАНИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

УДК 629.7

DOI: 10.33979/2073-7408-2021-346-2-178-182

Д.М. ХЕТЧИКОВ, Б.Б. ПАНКОВ, С.Н. БУЛЫЧЕВ, А.В. МАЛЬКУТА

МЕТОДИКА ЮСТИРОВКИ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ ПО ЭТАЛОННЫМ ДАННЫМ МЕЖДУНАРОДНОЙ СЛУЖБЫ ЛАЗЕРНОЙ ЛОКАЦИИ

Аннотация. *В статье описана методика юстировки наземной радиолокационной станции по эталонной информации, получаемой от квантово-оптических средств Международной службы лазерной локации и приведены расчетные соотношения для обработки данных юстировочных измерений...*

Ключевые слова: *юстировка, космические аппараты, радиолокационная станция.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курикша, А.А. Фатеев, В.Ф. Наблюдение сверхмалых космических аппаратов и фрагментов космического мусора – новая задача контроля космоса // Воздушно-космическая оборона. 2006. – № 6 – С. 34.
2. Фатеев, В.Ф. Космическая оборона зарубежных стран на технологиях малых космических аппаратов. Труды Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского. 2013. – № 640 – С. 140–156.
3. Вениаминов, С.С. Червонов, А.М. Космический мусор - угроза человечеству второе издание, исправленное и дополненное Механика, управление и информатика. 2013. № 5 (17). С. 1–208.
4. Профатилова, Г.А. Соловьев, Г.Н. Ефремов, В.С. Соловьев, А.Г. Юстировка параметров угломерной системы в обзорной моноимпульсной РЛС. Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Приборостроение. 2017. № 6 (117). С. 64–75.
5. Леонов, А.И. Леонов, С.А. Нагулинко, Ф.В. Испытания РЛС (оценка характеристик). [Текст]: / Москва: Радио и связь, 1990. – 208 с.
6. Майзельс, Е.Н. Измерение характеристик рассеяния радиолокационных целей. [Текст]: / Е.Н. Майзельс, В.А. Торгованов. Под ред. М.А. Колосова. – Москва: Советское радио. 1972. – 232 с.
7. Шпаков, А.П. Гавриленко, А.В. Тимошенко, А.В. Хоружий, А.П. Чернецкий, Н.П. Якубовский, С.В. Выбор оптимальной модели движения исследовательских малых космических аппаратов при решении задач юстировки радиолокационных средств. Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2007. Т. 50. № 6. С. 68–72.
8. Жуков, А.О. Вайнтрауб, А.И. Герцман, Г.Е. Шахов, Н.И. Убоженко, Д.Ю. Оценка возможности предоставления эталонных данных для юстировки измерительных средств по космическим аппаратам международной лазерной сети. В сборнике: Минцевские чтения. Вторая Всероссийская научно-техническая конференция молодых конструкторов и инженеров, посвящена 120-летию со дня рождения академика А.Л. Минца и 60 летию аспирантуры Радиотехнического института. 2015. – С. 214–221.
9. Бондаренко, А.П. Бородавкин, Л.В. Добродумов, А.Б. Соколов, К.С. Тармаев, Н.Г. О новых возможностях юстировки РЛС наблюдения КО с использованием измерений и орбитальных параметров КА ГНСС. Радиопромышленность. 2014. – № 1 – С. 18–30.
10. Астапович, А.В. Теория математической обработки измерений. [Текст]: СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2017. – Ч. 1: Ошибки измерений: учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – 191 с.
11. Русяева, Е.А. Теория математической обработки геодезических измерений. [Текст]: М.: МИИГАиК, 2016. – Ч. I: Теория ошибок измерений. – 56 с.
12. Волков, С.И. Оводенко, В.Б. Туманов, П.Д. Бородавкин, Л.В. Бондаренко, А.П. Муханов, В.А. Подход к построению вероятностной модели ошибок измерения координат целей для РЛС наблюдения за космическими объектами. Успехи современной радиоэлектроники. 2016. – № 9 – С. 35–42.

Хетчиков Дмитрий Михайлович

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург
Доктор технических наук, доцент, начальник кафедры
197198, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д.13
Тел. (+7 911 180 32 43)
E-mail: vka@mil.ru.ru

Панков Борис Борисович

Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского, г. Санкт-Петербург
Адъюнкт академии,
197198, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д.13
Тел. (+7 911 477 77 25)
E-mail: vka@mil.ru.ru

Бульчев Сергей Николаевич

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург
Преподаватель академии,
197198, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д.13
Тел. (+7 999 028 01 34)
E-mail: vka@mil.ru.ru

Малькута Александр Владимирович

Военный инновационный технополис «ЭРА», г. Анапа
Начальник лаборатории,
353456, г. Анапа, Пионерский пр-т, д.41
Тел. (+7 988 320 30 34)
E-mail: avm949@mail.ru

D.M. KHETCHIKOV, B.B. PANKOV, S.N. BULICHEV, A.V. MALKUTA

A METHOD OF RADAR STATION ALIGNMENT BASED ON REFERENCE DATA OF THE INTERNATIONAL LASER LOCATION SERVICE

Abstract. *The article describes the method of adjusting a ground-based radar station based on reference information received from the quantum-optical devices of the International laser location service and provides calculated relations for processing data of alignment measurements...*

Keywords: *alignment, spacecraft, radar station.*

BIBLIOGRAPHY

1. Kuriksha, A.A. Fateev, V.F. Nablyudenie sverhmalykh kosmicheskikh apparatov i fragmentov kosmicheskogo musora – novaya zadacha kontrolya kosmosa // Vozdushno-kosmicheskaya oborona. 2006. – № 6 – С. 34.

2. Fateev, V.F. Kosmicheskaya oborona zarubezhnyh stran na tekhnologiyah malyh kosmicheskikh apparatov. Trudy Voenno-kosmicheskoy akademii imeni A.F.Mozhayskogo. 2013. – № 640 – S. 140–156.
3. Veniaminov, S.S. Chervonov, A.M. Kosmicheskij musor - ugroza chelovechestvu vtoroe izdanie, ispravlennoe i dopolnennoe Mekhanika, upravlenie i informatika. 2013. № 5 (17). S. 1–208.
- Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. N.E. Baumana. Seriya Priborostroenie. 2017. № 6 (117). S. 64–75.
5. Leonov, A.I. Leonov, S.A. Nagulinko, F.V. Ispytaniya RLS (ocenka harakteristik). [Tekst]: / Moskva: Radio i svyaz, 1990. – 208 s.
6. Majzels, E.N. Izmerenie harakteristik rasseyaniya radiolokacionnyh celej. [Tekst]: / E.N. Majzels, V.A. Torgovanov. Pod red. M.A. Kolosova. – Moskva: Sovetskoe radio. 1972. – 232 s.
- h
rnekkij, N.P. YAkubovskij, S.V. Vybor optimalnoj modeli dvizheniya issledovatel'skikh malyh kosmicheskikh apparatov pri reshenii zadach yustirovki radiolokacionnyh sredstv. Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Priborostroenie. 2007. T. 50. № 6 (117).
- № 6 (117) – nauchno–tekhnicheskaya konferenciya molodyh konstruktorov i inzhenerov, posvyashchena 120-letiyu so dnya rozhdeniya akademika A.L. Minca i 60 letiyu aspirantury Radiotekhnicheskogo instituta. 2015. – S. 214–221.
- L.V. Dobrodumov, A.B. Sokolov, K.S. Tarmaev, N.G. O novykh vozmozhnostyah yustirovki RLS nablyudeniya KO s ispolzovaniem izmerenij i orbitalnyh parametrov KA GNSS. Radiopromyshlennost. 2014. – № 1 – S. 18–30.
10. Astapovich, A.V. Teoriya matematicheskoy obrabotki izmerenij. [Tekst]: SPb.: VKA im. A.F. Mozhajskogo, 2017. – CH. 1: Oshibki izmerenij: ucheb. posobie. – 2-e izd., pererab. i dop. – 191 s.
11. R
u
o
y
k
o
v
S
I
O
E
o
A

Khetchikov Dmitry Mihailovich

k Military-space academy named A.F. Mozhaiyskogo,
o c. Saint – Petersburg
v Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,
S Head of Department
I 197198, c. Saint - Petersburg, st. Zhdanovskaiya,
O h.13
E Tel. (+7 911 180 32 43)
o E–mail: vka@mil.ru

Pankov Boris Borisovich

Military-space academy named A.F. Mozhaiyskogo,
c. Saint - Petersburg
Adjunct academy,
197198, c. Saint - Petersburg, st. Zhdanovskaiya, h.13
Tel. (+7 911 477 77 25)
E–mail: vka@mil.ru

Bulichev Sergey Nikolaevich

n Military-space academy named A.F. Mozhaiyskogo,
F c. Saint - Petersburg
o Academy teacher,
V 197198, c. Saint - Petersburg, st. Zhdanovskaiya,
B h.13
T Tel. (+7 999 028 01 34)
y E–mail: vka@mil.ru

Malkuta Aleksandr Vladimirovich

Military innovation technopolis «ERA», s. Anapa
Head of the laboratory,
353456, s. Anapa, Pionerskii avenue, h.41
Tel. (+7 988 320 30 34)
E–mail: avm949@mail.ru

m
a
m
o
v
P
B
B
o
i
o
H
a
v
k
o
j
L
V
B
o
a
d
o
r
k
n
k
g
A

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 19.04.2021 г.
Дата выхода в свет
Формат 60x88 1/8. Усл. печ. л. 11,4375
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