

## Редколлегия

Главный редактор

Радченко С.Ю. *д-р техн. наук, проф.*

Заместители главного редактора:

Барсуков Г.В. *д-р техн. наук, проф.*

Гордон В.А. *д-р техн. наук, проф.*

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

Поляков Р.Н. *д-р техн. наук, проф.*

Шоркин В.С. *д-р физ.-мат. наук, проф.*

Члены редколлегии:

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

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

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

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

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

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)*

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

Муллокин 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, 2020

## Содержание

### Колонка главного редактора

Приветственное слово депутата Государственной Думы Федерального Собрания  
Российской Федерации, члена комитета по образованию и науке, д.т.н., профессора  
Ольги Васильевны Пилипенко ..... 3

### Материалы международной научно-технической конференции «Динамика, надежность и долговечность механических и биомеханических систем»

#### Секция «Механические и биомеханические системы»

|                                                                                                                                                                                                                          |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Буркова Е.В., Бурков Д.В. Оценка факторов, формирующих экологическое состояние<br>территорий населенных пунктов при теплоснабжении .....                                                                                 | 4   |
| Бурков Д.В., Буркова Е.В. Экспериментальные исследование параметров элементов<br>системы солнечного теплоснабжения .....                                                                                                 | 11  |
| Гайнуллина Я.Н., Паиков Е.В., Калинин М.И., Полищев В.В. Разработка и изготовление<br>автономного портативного устройства сердечно – легочной реанимации .....                                                           | 16  |
| Денисов М.С., Котов Г.А., Петухова С.М. Обоснование технологических режимов<br>обработки кристаллизующегося металла давлением с использованием программного<br>продукта Procast.....                                     | 22  |
| Дологоя А.В., Матвеев В.Т. Термодинамические характеристики комбинированных<br>циклов микрогазотурбинных двигателей для распределенной энергетики .....                                                                  | 28  |
| Дологоя А.В., Стребков Д.С., Матвеев В.Т., Стаценко И.Н. Использование вакуумных<br>микрогазотурбинных установок для теплоснабжения локальных объектов.....                                                              | 42  |
| Цирков П.А., Лебедева Д.А., Буракин А.В. Повышение работоспособности крупногабаритных<br>деталей машин машиностроительных и металлургических производств .....                                                           | 49  |
| Неменко А.В., Никитин М.М. Управление процессом получения поверхностей второго<br>порядка при финишной обработке .....                                                                                                   | 52  |
| Никитин Ю.Р., Трефилов С.А. Разработка системы диагностирования приводов мобильных<br>роботов.....                                                                                                                       | 59  |
| Осипов К.Н., Полищев В.П., Полищев В.В. Оценка измерительной информации в ходе<br>испытаний аппарата сердечной реанимации .....                                                                                          | 68  |
| Паиков Е.В., Полищев В.П., Полищев В.В. Автоматическое устройство для сердечно -<br>легочной реанимации на базе линейного пневмопривода .....                                                                            | 74  |
| Козлов И.О. Метод анализа спектров доплеровского уширения лазерного излучения в<br>оценке нарушений микроциркуляции при сахарном диабете второго типа .....                                                              | 80  |
| Дунаев А.В. Метод оценки адаптивных изменений в микроциркуляторно-тканевых<br>системах организма человека .....                                                                                                          | 88  |
| Чемакина Т.Л., Опанащук Н.Б. Газотопливная система на наливных судах .....                                                                                                                                               | 100 |
| Шарифуллин И.А., Носко А.Л., Сафронов Е.В., Кириллов Д.В. Экспериментальное<br>исследование вихревого торможения применительно к гравитационным роликовым<br>конвейерам .....                                            | 106 |
| Аблаев А.Р. Анализ методов повышения эффективности эксплуатации судовых дизелей с<br>восстановленными головками поршней.....                                                                                             | 117 |
| Морева И.Н., Хромов Е.В. Гребной комплекс судна. Характеристики оптимального<br>гребного двигателя.....                                                                                                                  | 122 |
| Коваль К.А., Сухоруков А.Л. Оценка эффективности гидродинамического гасителя<br>вибраций выдвигных устройств .....                                                                                                       | 126 |
| Леонтьев В.В. Конечноеэлементный расчет заклепочного соединения, полученного при<br>азотном охлаждении заклепки .....                                                                                                    | 134 |
| Пахалюк В.И., Поляков А.М. Усовершенствованная конструкция головки тотального<br>эндопротеза тазобедренного сустава .....                                                                                                | 139 |
| Бохонский А.И. Поиск экстремума функционала .....                                                                                                                                                                        | 144 |
| Георгиевская Е.В. Оценка надежности энергетического оборудования на ранних стадиях<br>проектирования .....                                                                                                               | 150 |
| Паиков Е.В., Возжесов А.А. Транспортные устройства для жестких цилиндрических<br>объектов производства с газо-магнитными направляющими палет .....                                                                       | 158 |
| Поляков А.М., Сопин П.К., Лазарев В.Б., Рыжков А.И., Колесова М.А., Бугаев П.А.<br>Концептуальное проектирование мехатронного стенда для предклинических испытаний<br>роботизированных протезов нижних конечностей ..... | 164 |
| Поляков А.М., Сопин П.К., Лазарев В.Б., Рыжков А.И., Колесова М.А., Бугаев П.А. Прототип<br>трансформерного протеза с активным искусственным коленным суставом .....                                                     | 172 |
| Неменко А.В., Никитин М.М. Прогнозная оценка эксплуатационной выносливости<br>механических агрегатов.....                                                                                                                | 181 |

## Editorial Committee

Editor-in-chief

**Rudchenko S.Yu.** Doc. Sc. Tech., Prof.

Editor-in-chief Assistants:

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

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

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

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

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

Member of editorial board:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Executive secretary:

**Tyukhta A.V.** Candidate Sc. Tech.

Address

302030 Orel, Moskovskaya ul., 34

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

http://oreluniver.ru

E-mail: radsu@rambler.ru

Journal is registered in Federal Agency of

supervision in sphere of communication,

information technology and mass

communications. The certificate of registration

PI № FS77-67029 from 30.08.2016

Index on the catalogue of the

«Pressa Rossii» 29504

© Orel State University, 2020

## Contents

### Editor's Note

|                                                                                                                                                                                                                              |   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| Welcoming speech of the Deputy of the State Duma of the Federal Assembly of the Russian Federation, member of the Committee on Education and Science, Doctor of Technical Sciences, Professor Olga Vasilievna Pilipenko..... | 3 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|

### Materials of the international scientific and technical conference

#### «Dynamics, reliability and durability of mechanical and biomechanical systems»

#### Section "Mechanical and Biomechanical Systems"

|                                                                                                                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Burkova E.V., Burkov D.V. Assessment of factors that shape environmental health the condition of territories of settlements for heat supply .....                                            | 4   |
| Burkov D.V., Burkova E.V. Experimental studies of parameters elements of the solar heat supply system .....                                                                                  | 11  |
| Gaynullina Ya.N., Pashkov E.V., Kalinin M.I., Polivcev V.V. Development and manufacture of an autonomous portable cardiopulmonary resuscitation device.....                                  | 16  |
| Denisov M.S., Kotov G.A., Petukhova S.M. Substantiation of technological modes of processing crystallizing metal by pressure using the Procast software product .....                        | 22  |
| Dologlonyan A.V., Matveenko V.T. Thermodynamic characteristics of microgas turbine engines combined cycles for distributed energy .....                                                      | 28  |
| Dologlonyan A.V., Strebkov D.S., Matvienko V.T., Stacenko I.N. Use of vacuum microgas turbine plants for heatpower supply of local objects.....                                              | 42  |
| Tsirkov P.A., Lebedeva D.A., Buryakin A.V. Improving the performance of large-sized machine parts in machine-building and metallurgical industries .....                                     | 49  |
| Nemenko A.V., Nikitin M.M. Control of second order surface producing while finishing .....                                                                                                   | 52  |
| Nikitin Yu.R., Trefilov S.A. Development of diagnostic system for mobile robot drives .....                                                                                                  | 59  |
| Osipov K.N., Polivtsev V.P., Polivtsev V.V. Evaluation of measurement information during tests of the heart resuscitation device .....                                                       | 68  |
| Pashkov E.V., Polivtsev V.P., Polivtsev V.V. Automatic device for cardiac-pulmonary reanimation on the basis of linear pneumatic drive .....                                                 | 74  |
| Kozlov I.O. Method for analysis of the doppler-broadened spectra of laser radiation for the assessment of blood microcirculation disturbances in diabetes mellitus type 2 .....              | 80  |
| Dunaev A.V. The method for evaluating adaptive changes in human microcirculatory-tissue systems .....                                                                                        | 88  |
| Chemakina T.L., Opanashchuk N.B. The venting system on tank vessels .....                                                                                                                    | 100 |
| Sharifullin I.A., Nosko A.L., Safronov E.V., Kirillov D.V. Experimental study of eddy current braking applicable to gravity roller conveyor .....                                            | 106 |
| Ablaev A.R. Analysis of methods for increase of efficiency of ship diesels operation with restored pistons heads .....                                                                       | 117 |
| Moreva I.N., Khromov E.V. Rowing complex ships. Descriptions of optimal rowing engine .....                                                                                                  | 122 |
| Koval K.A., Sukhorukov A.L. The estimation of efficiency of hydrodynamic vibration damper for telescopic gears .....                                                                         | 126 |
| Leontyev V.V. Finite element calculation of the rivet joint obtained by nitrogen cooling of the rivet.....                                                                                   | 134 |
| Pakhaliuk V.I., Poliakov A.M. Improved design of a head of a total hip replacement .....                                                                                                     | 139 |
| Bokhonsky A.I. Search extreme functional .....                                                                                                                                               | 144 |
| Georgievskaya E.V. Reliability assessment of energy equipment at early stage of design .....                                                                                                 | 150 |
| Pashkov E.V., Vozhzhov A.A. Transportation devices for non-rigid cylindrical production objects with gas-magnetic pallet guides .....                                                        | 158 |
| Poliakov A.M., Sopin P.K., Lazarev V.B., Ryzhkov A.I., Kolesova M.A., Bugayov P.A. Conceptual designing of a mechatronic stand for pre-clinical tests of lower limbs robotic prostheses..... | 164 |
| Poliakov A.M., Sopin P.K., Lazarev V.B., Ryzhkov A.I., Kolesova M.A., Bugayov P.A. Prototype of transfemoral prosthesis with an active artificial knee.....                                  | 172 |
| Nemenko A.V., Nikitin M.M. Forecast evaluation of mechanical systems elements operating endurance.....                                                                                       | 181 |

## Колонка главного редактора

Уважаемые читатели и авторы журнала! Уже шестой год наш журнал предоставляет свои страницы для публикации статей, написанных по материалам проходящей на базе Федерального государственного автономного учреждения высшего образования «Севастопольский государственный университет» авторитетной международной научно-технической конференции. Для представления очередной конференции и поздравления ее участников предоставляем слово депутату Государственной Думы Федерального Собрания Российской Федерации, члену комитета по образованию и науке, доктору технических наук, профессору Ольге Васильевне Пилипенко.

**Уважаемые друзья и коллеги, участники XVII Международной научно-технической конференции «Динамика, надежность и долговечность механических и биомеханических систем»!**

Мне очень приятно, что, несмотря на все трудности 2020 года, очередная конференция состоится и ученые России, специалисты из других стран смогут рассказать о результатах исследований, обменяться мнениями, обсудить проблемы и перспективы своей работы. Каждый год, просматривая материалы очередной конференции, отмечаю для себя два важных момента:

- конференция носит ярко выраженный междисциплинарный характер, большинство докладов выполнено на стыке наук, причем наук, ранее казавшихся весьма далекими друг от друга: «гуманитарные» медицина, педагогика, экономика и сугубо технические, такие как машиностроение, приборостроение, IT-технологии. Слово «гуманитарные» я неспроста взяла в кавычки, так как в последние годы в первую очередь медицина, педагогика стали высоко технологичными направлениями, использующими в своем арсенале самые передовые достижения технарей: искусственный интеллект, передовые материалы и технологии стали незаменимыми помощниками врачей, учителей, экономистов.

- каждый год среди обычных, логичных и обоснованных материалов обязательно появляются прорывные, неожиданные доклады, этикие «выстрелы в будущее», зачастую спорные, однако всегда дающие мощный импульс развития науки порой в самых неожиданных направлениях.

Для нас, орловчан, Севастополь – не просто точка на карте, наши города связаны общими делами и историей: так, Орловский пехотный полк участвовал в обороне Севастополя в 1855-1856 годах, развивалось плодотворное сотрудничество между регионами во всех сферах жизни, в том числе и в научной, свидетельством чему является то, что Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева является соорганизатором настоящей международной научно-технической конференции.

**Еще раз поздравляю участников и организаторов конференции и желаю Вам напряженной, трудной, но интересной и успешной работы!**



## **СЕКЦИЯ «МЕХАНИЧЕСКИЕ И БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ»**

УДК 502.174:697.7

DOI: 10.33979/2073-7408-2020-342-4-1-4-10

Е.В. БУРКОВА, Д.В. БУРКОВ

### **ОЦЕНКА ФАКТОРОВ, ФОРМИРУЮЩИХ ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕРРИТОРИЙ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ ПРИ ТЕПЛОСНАБЖЕНИИ**

**Аннотация.** *Исследованы факторы, влияющие на экологическое состояние территорий населенных пунктов при организации их теплоснабжения. Проведен сравнительный анализ воздействия на экологию при традиционных способах организации теплоснабжения и при использовании системы преобразования солнечной энергии с накоплением тепла в аккумуляторах.*

**Ключевые слова:** *загрязнение окружающей среды, солнечная энергия, антропогенное воздействие, теплоснабжение населенных пунктов.*

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Ветрова Н.М. Обеспечение экологической безопасности рекреационного региона: монография / Н.М. Ветрова, С.И. Федоркин. – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2012. – 294 с.
2. Моторина Л.В. Промышленность и рекультивация земель / Л.В. Моторина, В.А. Овчинников. – М.: Мысль, 1975. – 175 с.
3. Максимова С.В. Дегазация полигона ТБО / С.В. Максимова, И.С. Глушанкова // Экология и промышленность России. – М., 2003. – №10. – С. 63-65.
4. Михайлов М.А. Охрана окружающей среды при разработке месторождений открытым способом / М.А. Михайлов. – М.: Недра, 1981. – 181 с.
5. Солнечная энергетика в Крыму: методическое пособие для специалистов и всех интересующихся проблемами использования солнечной энергии / под редакцией В.А. Бокова, В.У. Стоянова. – Киев-Симферополь, 2008. – 201 с.
6. Казанджан Б. И. Современные системы солнечного теплоснабжения / Б. И. Казанджан // Энергия. – М., 2005. – № 12. – С. 75-78.
7. Новые конкурентоспособные технологии солнечной энергетики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http:// www.intersolar.ru](http://www.intersolar.ru).
8. Полунин М.М. Гелиотопливная система горячего водоснабжения повышенной эффективности / М.М. Полунин, В.Д. Петра, А.Ф. Скребнев // Экологические технологии и ресурсосбережение. – 2002. – № 4. – С. 20-23

**Буркова Елена Викторовна**

Севастопольский государственный университет, г.  
Севастополь

Кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Техносферная безопасность»

E-mail: lena1b@mail.ru

**Бурков Дмитрий Валериевич**

Севастопольский государственный университет, г.  
Севастополь

Кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Энергоустановки морских судов и сооружений»

E-mail: dv.burkov@mail.ru

E.V. BURKOVA, D.V. BURKOV

### **ASSESSMENT OF FACTORS THAT SHAPE ENVIRONMENTAL HEALTH THE CONDITION OF TERRITORIES OF SETTLEMENTS FOR HEAT SUPPLY**

**Abstract.** *Factors that influence the ecological state of localities ' territories in the organization of their heat supply are studied. A comparison of the impact on the environment of traditional methods of organizing heat supply and solar energy conversion systems with heat accumulation in accumulators is made.*

**Keywords:** *environmental pollution, solar energy, anthropogenic impact, heat supply to localities.*

## BIBLIOGRAPHY

1. Vetrova N. M. Ensuring environmental safety of the recreational region: monograph / N. M. Vetrova, S. I. Fedorkin. - Simferopol: it «RIAL», 2012. - 294 p.
2. Motorina L. V. Industry and land recultivation / L. V. Motorina, V. A. Ovchinnikov. - Moscow: Mysl, 1975. - 175 p.
3. Maximova S. V. Degassing of landfill / S. V. Maximova, I. S. Glushankova // Ecology and industry of Russia, Moscow, 2003, No. 10, Pp. 63-65.
4. Mikhailov M. A. environmental Protection in the development of open-cast deposits / M. A. Mikhailov. - Moscow: Nedra, 1981. -181 p.
5. Solar energy in the Crimea: a methodological guide for specialists and all interested in the problems of solar energy use / edited By V. A. Bokova, V. U. Stoyanov. - Kiev-Simferopol, 2008. - 201 p.
6. Kazanjan B. I. Modern systems of solar heat supply / B. I. Kazand-Zhan // Energiya, Moscow, 2005, No. 12, Pp. 75-78.
7. New competitive technologies of solar energy [Electronic resource]. - Access mode: [http:// www.intersolar.ru](http://www.intersolar.ru).
8. Polunin M. M. Heliofuel system of hot water supply of increased efficiency / M. M. Polunin, V. D. Petra, A. F. Skrebnev // Environmental technologies and resource conservation, 2002, no. 4, Pp. 20-23

**Burkova Elena Viktorovna**

Sevastopol State University, Sevastopol  
Ph.D., associate professor of the Department  
«Technosphere safety»  
E-mail: lena1b@mail.ru

**Burkov Dmitiy Valerievich**

Sevastopol State University, Sevastopol  
Ph.D., associate professor of the Department «Power  
plants of ships and structures»  
E-mail: dv.burkov@mail.ru

УДК 502.174:697.7

DOI: 10.33979/2073-7408-2020-342-4-1-11-15

Д.В. БУРКОВ, Е.В. БУРКОВА

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ СОЛНЕЧНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

**Аннотация.** Проведены экспериментальные исследования элементов системы солнечного теплоснабжения. Получены параметры, описывающие связь между тепловым аккумулятором и солнечным коллектором.

**Ключевые слова:** солнечная энергия, тепловой аккумулятор, солнечный коллектор.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буркова Е.В. Экологическая рекультивация отработанных карьеров путем создания тепловых гелиостанций // Е.В. Буркова, В.В. Макаров, Д.В. Бурков. – Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» – 2013. – № 03 (121) – С. 61-65.
2. Буркова Е.В. Экспериментальные исследования температурных параметров на модели «гелиостанция – аккумулятор» / Е.В. Буркова // Вестник СевНТУ: механика, энергетика, экология: сб. научн. трудов. – Севастополь, 2012. – № 132. – С. 185-189.
3. Буркова Е.В. Исследование тепловых потерь и распределение температур на модели аккумулятора солнечной энергии в естественных условиях / В.В. Макаров, Е.В. Буркова, Д.В. Бурков // Возобновляемая энергетика. – 2011. – №3 (26) – С. 32-36.
4. Пат. 2224188 Российская Федерация, F24J2/00. Солнечный коллектор / Б.И. Казанджан, А.М. Масс, А.С. Дьячишин, заявитель и патентообладатель Закрытое акционерное общество "АЛЬТЭН"; подача заявки: 14.04.2003; опубл. 20.02.2004.
5. Принципиальная схема работы солнечной установки. – Режим доступа к статье: <http://www.climate.org.ua/>

**Бурков Дмитрий Валериевич**

Севастопольский государственный университет, г.  
Севастополь  
Кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Энергоустановки морских судов и сооружений»  
E-mail: dv.burkov@mail.ru

**Буркова Елена Викторовна**

Севастопольский государственный университет, г.  
Севастополь  
Кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Техносферная безопасность»  
E-mail: lena1b@mail.ru

D.V. BURKOV, E.V. BURKOVA

## EXPERIMENTAL STUDIES OF PARAMETERS ELEMENTS OF THE SOLAR HEAT SUPPLY SYSTEM

**Abstract.** *Experimental studies of solar heat supply system elements were carried out. Parameters describing the relationship between a heat accumulator and a solar collector are obtained.*

**Keywords:** *solar energy, heat accumulator, solar collector.*

### BIBLIOGRAPHY

1. Burkova E. V. Ecological recultivation of spent quarries by means of thermal solar stations // E. V. Burkova, V. V. Makarov, D. V. Burkov. – International scientific journal "Alternative energy and ecology" – 2013. – № 03 (121) – Pp. 61-65.
2. Burkova E. V. Experimental studies of temperature parameters at the solar power station-accumulator plant / E. V. Burkova // Vestnik SevNTU: mechanics, energy, ecology: collection of scientific. labours'. - Sevastopol, 2012. - № 132. - P. 185-189.
3. Burkova E. V. Research of heat losses and temperature distribution on the model of solar energy accumulator in natural conditions / V. V. Makarov, E. V. Burkova, D. V. Burkov // Renewable energy. – 2011. – №3 (26) – Pp. 32-36.
4. Pat. 2224188 Russian Federation, F24J2/00. Solar collector / B. I. Ka-Zanjan, a.m. Mass, A. S. Dyachishin, applicant and patent holder closed joint-stock company "Alten"; filing an application: 14.04.2003; publ. 20.02.2004.
5. Schematic diagram of the solar installation. – Access mode to the article: <http://www.climate.org.ua/>

#### **Burkov Dmitry Valerievich**

Sevastopol State University, Sevastopol  
Ph.D., associate professor of the Department «Power  
plants of ships and structures»  
E-mail: [dv.burkov@mail.ru](mailto:dv.burkov@mail.ru)

#### **Burkova Elena Viktorovna**

Sevastopol State University, Sevastopol  
Ph.D., associate professor of the Department  
«Technosphere safety»  
E-mail: [lena1b@mail.ru](mailto:lena1b@mail.ru)

УДК 611.08:539.4

DOI: 10.33979/2073-7408-2020-342-4-1-16-21

Я.Н. ГАЙНУЛЛИНА, Е.В. ПАШКОВ, М.И. КАЛИНИН, В.В. ПОЛИВЦЕВ

## РАЗРАБОТКА И ИЗГОТОВЛЕНИЕ АВТОНОМНОГО ПОРТАТИВНОГО УСТРОЙСТВА СЕРДЕЧНО – ЛЕГОЧНОЙ РЕАНИМАЦИИ

**Аннотация.** *В работе рассмотрены особенности решения конструкторских задач, направленных на создание первого отечественного образца автономного портативного устройства сердечно – легочной реанимации. Описаны технологические и конструкторские решения сердечного реаниматора различных вариантов компоновки. Приводятся сравнительные характеристики существующих зарубежных устройств сердечно – легочной реанимации.*

**Ключевые слова:** *пневмопривод, сердечно – легочный реаниматор, медицина катастроф, мультифункциональность, технология, жизнеобеспечение.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. [Электронный ресурс] URL <https://srmed.ru/sistema-nepryamogo-massazha-serdtsa-lucas-2>
2. [Электронный ресурс] URL [https://formed.ru/catalog/avtomatizatsiya\\_serdechno\\_legochnoy\\_reanimatsii/ustroystvo\\_avtomaticheskoe\\_dlya\\_serdechno\\_legochnoy\\_reanimatsii\\_lucas\\_2/](https://formed.ru/catalog/avtomatizatsiya_serdechno_legochnoy_reanimatsii/ustroystvo_avtomaticheskoe_dlya_serdechno_legochnoy_reanimatsii_lucas_2/)
3. [Электронный ресурс] URL [http://adhara.ru/articles/autopulse\\_and\\_cpr.htm](http://adhara.ru/articles/autopulse_and_cpr.htm)
4. [Электронный ресурс] URL <https://www.zoll.com/ru/medical-products/resuscitation-system/autopulse/ems>
5. [Электронный ресурс] URL <https://www.schiller.ch/corp/ru/product/easy-pulse>
6. [Электронный ресурс] URL <https://www.cpr.heart.org>
7. Кобеляцкий Ю.Ю., Царев А.В. Механическая компрессия грудной клетки при проведении сердечно-легочной реанимации: опыт использования аппарата autopulse.: Медицина неотложных состояний – № 4(51) – 2013 С.62–67.
8. Дубровский В.И., Федорова В.Н. Биомеханика. Москва.: Владос – пресс. – 2008. – С. 670.
9. Образцов И.Ф. Проблемы прочности в биомеханике. Москва.: Высшая школа. – 1988. – С. 312.
10. Калнберз В.К. Биомеханика. Рига.: – 1975. – С. 692.

**Гайнуллина Яна Николаевна**

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,  
руководитель группы научно-исследовательской  
лаборатории «Экспериментальные системы  
жизнеобеспечения биологических объектов»  
г. Севастополь, ул. Университетская, 33  
тел. +7(8692) 545-023  
e-mail: medeya-ru@yandex.ru

**Калинин Михаил Иванович**

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», канд. техн. наук, доцент  
руководитель группы научно-исследовательской  
лаборатории «Экспериментальные системы  
жизнеобеспечения биологических объектов»  
г. Севастополь, ул. Университетская, 33  
тел. +7(8692) 435-161  
e-mail: kalinin2710@yandex.ru

**Пашков Евгений Валентинович**

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», доктор технических наук, профессор  
кафедры «Приборные системы и автоматизация  
технологических процессов»  
г. Севастополь,  
ул. Университетская, 33  
тел. +7(8692) 550-077  
e-mail: pashkov@sevsu.ru

**Поливцев Владимир Викторович**

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,  
руководитель группы научно-исследовательской  
лаборатории «Экспериментальные системы  
жизнеобеспечения биологических объектов»  
г. Севастополь, ул. Университетская, 33  
тел. +7(8692) 545-023  
e-mail: vovapolivcev@yandex.ru

Ya.N. GAYNULLINA, E.V. PASHKOV, M.I. KALININ, V.V. POLIVCEV

## DEVELOPMENT AND MANUFACTURE OF AN AUTONOMOUS PORTABLE CARDIOPULMONARY RESUSCITATION DEVICE

**Abstract.** *The paper considers the features of solving technological problems aimed at creating a sample of an Autonomous portable cardiopulmonary resuscitation device. Technological and design solutions of a heart resuscitator for domestic production are described. Comparative characteristics of existing cardiopulmonary resuscitation devices are given.*

**Keyword:** *pneumatic drive, cardiopulmonary resuscitator, disaster medicine, multifunctional, technology, life support.*

### BIBLIOGRAPHY

1. [Elektronnyy resurs] URL <https://srmed.ru/sistema-nepryamogo-massazha-serdtsa-lucas-2>
2. [Elektronnyy resurs] URL [https://formed.ru/catalog/avtomatizatsiya\\_serdechno\\_legochnoy\\_reanimatsii/ustroystvo\\_avtomaticheskoe\\_dlya\\_serdechno\\_legochnoy\\_reanimatsii\\_lucas\\_2/](https://formed.ru/catalog/avtomatizatsiya_serdechno_legochnoy_reanimatsii/ustroystvo_avtomaticheskoe_dlya_serdechno_legochnoy_reanimatsii_lucas_2/)
3. [Elektronnyy resurs] URL [http://adhara.ru/articles/autopulse\\_and\\_cpr.htm](http://adhara.ru/articles/autopulse_and_cpr.htm)
4. [Elektronnyy resurs] URL <https://www.zoll.com/ru/medical-products/resuscitation-system/autopulse/ems>
5. [Elektronnyy resurs] URL <https://www.schiller.ch/corp/ru/product/easy-pulse>
6. [Elektronnyy resurs] URL <https://www.cpr.heart.org>
7. Kobelyanskiy J.J., Carev A.V. Mexanicheskaya kompressiya grydnoy kletki pri provedenii serdechno – legochnoy reanimatsii: opit ispitaniya apparata autopulse.: Medicina neotloznix sostoyaniy – № 4(51) – 2013 S.62–67.
8. Dybrovskiy V.I., Fedorova V.N. Biomexanika. Moskva.: Vldos – press.– 2008. – S. 670.
9. Obrazcova I.F. Problemi prochnosti v biomexanike. Moskva.: Visshaya shkola. – 1988. – S. 312.
10. Kalnberz V.K. Biomexanika. Riga.: – 1975. – S. 692.

**Gainullina Yana Nikolaevna**

Sevastopol State University,  
Team leader of the scientific research laboratory  
"Experimental life support systems of biological objects»,  
Sevastopol, Str. University, 33,  
tel. +7(8692) 545-023  
e-mail: medeya-ru@yandex.ru

**Pashkov Yevgeny Valentinovich**

Sevastopol State University,  
Doctor of Technical Sciences, Professor of the  
Department «Instrument Systems and automation of  
technological processes»  
Sevastopol, Str. University, 33,  
tel. +7(8692) 550-007  
e-mail: pashkov@sevsu.ru

**Kalinin Mikhail Ivanovich**  
Sevastopol State University,  
Candidate of Technical Sciences, Team leader of the  
scientific research laboratory "Experimental life support  
systems of biological objects»,  
Sevastopol, Str. University, 33,  
tel. +7(8692) 545-023  
e-mail: kalinin2710@yandex.ru

**Polivcev Vladimir Viktorovich**  
Sevastopol State University,  
Team leader of the scientific research laboratory  
"Experimental life support systems of biological  
objects»,  
Sevastopol, Str. University, 33,  
tel. +7(8692) 545-023  
e-mail: vovapolivcev@yandex.ru

УДК 669

DOI: 10.33979/2073-7408-2020-342-4-1-22-27

М.С. ДЕНИСОВ, Г.А. КОТОВ, С.М. ПЕТУХОВА

## ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ КРИСТАЛЛИЗУЮЩЕГОСЯ МЕТАЛЛА ДАВЛЕНИЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА PROCAST

**Аннотация.** Рассмотрена возможность моделирования процесса литья с кристаллизацией под давлением в программном комплексе ProCast. Результаты моделирования сравниваются с экспериментальными значениями. Исследование процесса проводится на горизонтальном гидравлическом прессе, с использованием технологической оснастки для производства заготовок цилиндрической формы Ø90×70 мм. Этапы моделирования включают в себя последовательность действий: подготовка геометрии 3D-модели литейного блока; нанесение поверхностной сетки с помощью функций виштых в программу; определение теплофизических свойств и задание граничных условий. С помощью решателей было промоделировано заполнение формы, и распределение температуры в форме с учетом времени заливки. В работе проведен расчет распределения макропористости внутри отливки. Сравнивая результаты моделирования и данные, полученные опытным путем делается вывод, что программный продукт ProCast является адекватным и может быть использован для решения научных и прикладных задач.

**Ключевые слова:** ProCast, моделирование, литьё под давлением, кристаллизующийся металл, технологическая оснастка.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Денисов М.С. Влияние давления на сжимаемость алюминиевых сплавов / М.С. Денисов, Г.А. Котов // Автоматизация. Современные технологии. – 2019. – №3. – С. 102-107.
2. Коростелев В.Ф. Управление процессом кристаллизации сплава В95 / В.Ф. Коростелев, Л.П. Хромова, А.Н. Рассказчиков // Мехатроника, автоматизация, управление.–2009. – №8. – С. 18-24.
3. Николаева Н. В. Разработка методики процессов литья по выплавляемым моделям с использованием программного продукта ProCast / Н. В. Николаева, А. В. Рогожкин, Р. А. Вдовин // Технология и мехатроника в машиностроении. Решетневские чтения. – 2014. – С. 419-420.
4. Арзамасов Б.Н. Материаловедение: учебник для вузов / Б.Н. Арзамасова, Г.Г. Мухина.– М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005.–648с.
5. Александров С. Е. Математическое моделирование металлургических процессов: учеб. пособие / под ред. В. М. Голода. – Л.: ЛПИ, 1988. – 88 с.
6. Баженов В.Е. Использование программы ProCast для моделирования процесса получения отливок из сплава TNM-B1 на основе алюминидов титана литьем в керамические формы / Колтыгин А.В., Фадеев А.В. // Известие вузов. Цветная металлургия. – 2013.–№6. –С. 9-13.
7. Бланк В.Д., Фазовые превращения в твердых телах при высоком давлении. / В.Д. Бланк, Э.И. Эстрин. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. — 412 с.
8. Денисов М.С. Исследование возможности управления формированием свойств отливки в процессе регулирования наложения давления на жидкий металл / М.С. Денисов, В.Ф. Коростелев // Технология металлов. – 2017. – №8. – С. 25-32.
9. Вдовин Р.А. Компьютерное моделирование технологического процесса литья деталей двигателей в модуле Visual-Mesh программного продукта ProCast: учеб. пособие / Р.А. Вдовин. – Самара: Изд-во Самарского университета, 2019. – 108 с.
10. Никаноров А.В. Сравнительный анализ компьютерных программ для моделирования литейных процессов // Вестник ИрГТУ. Металлургия и материаловедение. – 2018. – №11. – С. 209-217.



**Денисов Максим Сергеевич**  
Владимирский государственный  
университет имени Александра  
Григорьевича и Николая  
Григорьевича Столетовых,  
Институт машиностроения и  
автомобильного транспорта,  
Кафедра автоматизации,  
мехатроники и робототехники,  
старший преподаватель,  
кандидат технических наук,  
тел.: 8 (915) 798-28-74,  
E-mail: denisovmaxim90@mail.ru

**Котов Георгий Александрович**  
Владимирский государственный  
университет имени Александра  
Григорьевича и Николая  
Григорьевича Столетовых,  
Институт машиностроения и  
автомобильного транспорта,  
Кафедра автоматизации,  
мехатроники и робототехники,  
Студент,  
тел.: 8 (904) 037-36-70,  
E-mail: kotov1999gosha@mail.ru

**Петухова Софья Максимовна**  
Владимирский государственный  
университет имени Александра  
Григорьевича и Николая  
Григорьевича Столетовых,  
Институт машиностроения и  
автомобильного транспорта,  
Кафедра автоматизации,  
мехатроники и робототехники,  
Студент,  
тел.: 8 (920) 920-93-07,  
E-mail: sofya.petukhova.01@mail.ru

M.S. DENISOV, G.A. KOTOV, S.M. PETUKHOVA

## SUBSTANTIATION OF TECHNOLOGICAL MODES OF PROCESSING CRYSTALLIZING METAL BY PRESSURE USING THE PROCAST SOFTWARE PRODUCT

**Abstract.** *The possibility of modeling the casting process with crystallization under pressure in the ProCast software package is considered. Simulation results are compared with experimental values. The study of the process is carried out on a horizontal hydraulic press, using technological equipment for the production of cylindrical blanks  $\varnothing 90 \times 70$  mm. The stages of modeling include a sequence of actions: preparing the geometry of the 3D model of the foundry block; drawing a surface grid using the functions sewn into the program; determination of thermophysical properties and setting boundary conditions. Using solvers, the filling of the mold and the temperature distribution in the mold, taking into account the pouring time, were simulated. In the work, the distribution of macroporosity inside the casting was calculated. Comparing the simulation results and the data obtained experimentally, it is concluded that the ProCast software product is adequate and can be used to solve scientific and applied problems.*

**Keywords:** *ProCast, modeling, injection molding, crystallizing metal, industrial equipment*

### BIBLIOGRAPHY

1. Denisov M.S. The effect of pressure on the compressibility of aluminum alloys / M.S. Denisov, G.A. Kotov // Automation. Modern technologies. – 2019. – №3. – P. 102-107.
2. Korostelev V.F. The control of the crystallization process of alloy V95 / V.F. Korostelev, L.P. Khromova, A.N. Storytellers // Mechatronics, Automation, Management. – 2009. – №8. - P. 18-24.
3. Nikolaeva N.V. Development of a methodology for investment casting using the ProCast software product / N.V. Nikolaeva, A.V. Rogozhkin, R.A. Vdovin // Technology and mechatronics in mechanical engineering. Reshetnev readings. – 2014. – P. 419-420.
4. Arzamasov B.N. Material science: a textbook for high schools / B.N. Arzamasova, G.G. Mukhina. – M.: Publishing House of MSTU. N.E. Bauman, 2005. – 648 p.
5. Aleksandrov S. E. Mathematical modeling of metallurgical processes: textbook. allowance / ed. V. M. Golod. – L.: LPI, 1988. – 88 p.
6. Bazhenov V.E. Using ProCast to simulate the process of producing castings from TNM-B1 alloy based on titanium aluminide by casting into ceramic molds / Kolytgin A.V., Fadeev A.V. // News of universities. Non-ferrous metallurgy. – 2013. – №6. – P. 9-13.
7. Blank V.D. Phase transformations in solids at high pressure. / V.D. Blank, E.I. Estrin. – M.: FIZMATLIT, 2011. – 412 p.
8. Denisov M.S. Investigation of the possibility of controlling the formation of casting properties in the process of regulating the application of pressure on a liquid metal / M.S. Denisov, V.F. Korostelev // Technology of metals. – 2017. – № 8. – P. 25-32.
9. Vdovin R.A. Computer modeling of the technological process of casting engine parts in the Visual-Mesh module of the ProCast software product: textbook. allowance / R.A. Widows. - Samara: Samara University Press, 2019. – 108 p.
10. Nikanorov A.V. Comparative analysis of computer programs for modeling foundry processes // Vestnik ISTU. Metallurgy and materials science. – 2018. – №11. – P. 209-217.

**Denisov Maxim Sergeevich**

Vladimir State University named after Alexander Grigoryevich and Nikolai Grigoryevich Stoletov, Institute of Engineering and Road Transport, Department of Automation, Mechatronics and Robotics, Senior Lecturer, candidate of technical sciences,  
Address: Vladimir Region, Vladimir, microdistrict. Yuryevets, st. Noyabrskaya, 41a, apt. 21  
tel.: 8 (915) 798-28-74,  
E-mail: denisovmaxim90@mail.ru

**Kotov Georgy Aleksandrovich**

Vladimir State University named after Alexander Grigoryevich and Nikolai Grigoryevich Stoletov, Institute of Engineering and Road Transport, Department of Automation, Mechatronics and Robotics, Student,  
Address: Vladimir region., Gus-Khrustalny, st. Repair, 9/3, apt. 3.  
tel.: 8 (904) 037-36-70,  
E-mail: kotov1999gosha@mail.ru

**Petukhova Sofya Maksimovna**

Vladimir State University named after Alexander Grigoryevich and Nikolai Grigoryevich Stoletov, Institute of Engineering and Road Transport, Department of Automation, Mechatronics and Robotics, Student,  
Address: Vladimir region., Vladimir, st. Egorova, 10, apt. 25  
tel.: 8 (920) 920-93-07,  
E-mail: sofya.petukhova.01@mail.ru

УДК 621.438

DOI: 10.33979/2073-7408-2020-342-4-1-28-41

А.В. ДОЛОГЛОНЯН, В.Т. МАТВЕЕНКО

## ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМБИНИРОВАННЫХ ЦИКЛОВ МИКРОГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

**Аннотация.** Предметом рассмотрения в статье являются методы усложнения циклов микрогазотурбинных установок (МГТУ) с целью дальнейшего повышения их экономичности. Выбрано направление более глубокой утилизации теплоты выхлопных газов МГТУ превратив ее в работу в установке органического цикла Ренкина (ОЦР). Установлено, что экономичность МГТУ с ОЦР зависит от конфигурации МГТУ, ОЦР и рода хладагента и выше по сравнению с базовой конфигурацией МГТУ на 4...15 %. Показано, что для повышения универсальности комбинированных МГТУ можно применять установки с переключающимся потоком теплоты, дополненные возобновляемыми источниками энергии проводить раздельную оптимизацию базовой МГТУ и установки ОЦР.

**Ключевые слова:** микрогазотурбинная установка, регенерация теплоты, турбина перерасширения, турбокомпрессорный утилизатор, органический цикл Ренкина.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гамаюнов С.Н. Перспективные технологии распределенной энергетики в агробизнесе: монография / С.Н. Гамаюнов. Тверь: ООО «Издательство «Триада», 2011. – 160 с.
2. Jaatinen-Värri A, Nerg J, Uusitalo A, et al. Design of a 400 kW Gas Turbine Prototype. ASME. Turbo Expo: Power for Land, Sea, and Air, Volume 8: Microturbines, Turbochargers and Small Turbomachines; Steam Turbines(); V008T23A007. doi:10.1115/GT2016-56444.
3. Кулагин Я.В. Разработка и исследование микро газотурбинных установок для автономного энергоснабжения сельскохозяйственных объектов: дис. канд. техн. наук: 05.20.02 / ФГБНУ ВИЭСХ. Москва, 2015. 135 с.
4. Матвеев В.Т. Глубокая утилизация теплоты в газотурбинных двигателях с турбиной перерасширения / В.Т. Матвеев // Промышленная теплотехника. – 1997. – Т. 19. – № 4-5. – С. 81-85.
5. Matviinko V. Variable regimes operation of cogenerative gas -turbine engines with overexpansion turbine/ V. Matviinko, V. Ocheretianiy // Proceedings of ASME Turbo Expo 2010: Power of Land, Sea and Air 'GT2010, June 14-18, 2010, Glasgow, UK, GT2010-22029.
6. Matviienko V. Gas Turbine Plant with Overexpansion Turbine and Heat Regeneration in the Ship Propulsion Complex / V. Matviienko, O. Andriets, V. Ochretianjy // Proceedings of ASME Turbo Expo 2014: June 16-20, 2014, Dusseldorf, Germany.
7. Matviienko V. Working Process Control in a Ship Gas Turbine Engine of Complex Cycle / V. Matviienko, V. Ocheretianiy // Proceedings of ASME Turbo Expo 2016: June 13-17, 2016, Seoul, South Korea.
8. Diener OF, van der Spuy SJ, von Backström TW, Hildebrandt T. Multi-Disciplinary Optimization of a Mixed-Flow Compressor Impeller. ASME. Turbo Expo: Power for Land, Sea, and Air, Volume 8: Microturbines, Turbochargers

and Small Turbomachines; Steam Turbines ():V008T23A021. doi:10.1115/GT2016-57008.

9. Deng, Qing-Hua & Shao, Shuai & Fu, Lei & Luan, Hai-Feng. (2018). An Integrated Design and Optimization Approach for Radial Inflow Turbines – Part I: Automated Preliminary Design. Applied Sciences. 8. 2038. 10.3390/app8112038.

10. Арбеков А.Н. Теория и проектирование газотурбинных и комбинированных установок / А.Н. Арбеков, А.Ю. Вараксин, Э.А. Мнушин, В.Е. и др. – М. Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. – 678 с.

11. Vick, Michael & Young, Trent & Kelly, Matthew & Tuttle, Steven & Hinnant, Katherine. (2016). A Simple Recuperated Ceramic Microturbine: Design Concept, Cycle Analysis, and Recuperator Component Prototype Tests. V008T23A030. 10.1115/GT2016-57780.

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

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

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

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

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

17. [Электронный ресурс]. – 2019. – URL: [http://neochemical.ru/File/DOWTHERM\\_A\\_TDS\\_Russian.pdf/](http://neochemical.ru/File/DOWTHERM_A_TDS_Russian.pdf/) (дата обращения 31.05.19).

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

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

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

Дологлонян Андрей Вартазарович  
ФГБНУ Институт природно-технических систем,  
Российская Федерация, г. Севастополь  
Кандидат технических наук, зав. лабораторией  
E-mail: dologlonyan@hotmail.com

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

A.V. DOLOGLONYAN, V.T. MATVEENKO

## THERMODYNAMIC CHARACTERISTICS OF MICROGAS TURBINE ENGINES COMBINED CYCLES FOR DISTRIBUTED ENERGY

**Abstract.** The subject of this article is methods of complicating the cycles of microgas turbine plants (MGTP) in order to further increase their efficiency. The direction of a deeper utilization of the heat of exhaust gases from MGTP was chosen, turning it into work in the organic Rankine cycle (OCR) plant. It has been established that the cost-effectiveness of MGTP with OCR is dependent on the configuration of MGTP, OCR and the type of refrigerant and is higher than the basic configuration of MGTP by 4... 15%. It is shown that to increase the versatility of combined MGTP, it is possible to use plants with a switching heat flow, supplemented by renewable energy sources, to conduct separate optimization of the basic MGTP and the OCR plant.

**Keywords:** microgas turbine plant, heat recovery, overexpansion turbine, turbocompressor utilizer, organic Rankine cycle.

## BIBLIOGRAPHY

1. Gamayunov S.N. Perspektivnyye tekhnologii raspredelennoy energetiki v agrobiznese: monografiya / S.N.

Gamayunov. Tver': ООО «Izdatel'stvo «Triada», 2011. – 160 s.

2. Jaatinen-Värri A, Nerg J, Uusitalo A, et al. Design of a 400 kW Gas Turbine Prototype. ASME. Turbo Expo: Power for Land, Sea, and Air, Volume 8: Microturbines, Turbochargers and Small Turbomachines; Steam Turbines():V008T23A007. doi:10.1115/GT2016-56444.

3. Kulagin YA.V. Razrabotka i issledovanie mikro gazoturbinnih ustanovok dlya avtonomnogo energosnabzheniya sel'skohozyajstvennyh ob"ektov: dis. kand. tekhn. nauk: 05.20.02 / FGBNU VIESKH. Moskva, 2015. 135 s.

4. Matviienko V.T. Glubokaya utilizatsiya teploty v gazoturbinnih dvigatelyah s turbinoj pererasshireniya / V.T. Matviienko // Promyshlennaya teplotekhnika. – 1997. – T. 19. – № 4-5. – S. 81-85.

5. Matviienko V. Variable regimes operation of cogenerative gas -turbine engines with overexpansion turbine/ V. Matviienko, V. Ocheretianiy // Proceedings of ASME Turbo Expo 2010: Power of Land, Sea and Air 'GT2010, June 14-18, 2010, Glasgow, UK, GT2010-22029.

6. Matviienko V. Gas Turbine Plant with Overexpansion Turbine and Heat Regeneration in the Ship Propulsion Complex / V. Matviienko, O. Andriets, V. Ochretianjy // Proceedings of ASME Turbo Expo 2014: June 16-20, 2014, Dusseldorf, Germany.

7. Matviienko V. Working Process Control in a Ship Gas Turbine Engine of Complex Cycle / V/ Matviienko, V. Ocheretianiy // Proceedings of ASME Turbo Expo 2016: June 13-17, 2016, Seoul, South Korea.

8. Diener OF, van der Spuy SJ, von Backström TW, Hildebrandt T. Multi-Disciplinary Optimization of a Mixed-Flow Compressor Impeller. ASME. Turbo Expo: Power for Land, Sea, and Air, Volume 8: Microturbines, Turbochargers and Small Turbomachines; Steam Turbines():V008T23A021. doi:10.1115/GT2016-57008.

9. Deng, Qing-Hua & Shao, Shuai & Fu, Lei & Luan, Hai-Feng. (2018). An Integrated Design and Optimization Approach for Radial Inflow Turbines – Part I: Automated Preliminary Design. Applied Sciences. 8. 2038. 10.3390/app8112038.

10. Arbekov A.N. Teoriya i proektirovanie gazoturbinnih i kombinirovannyh ustanovok / A.N. Arbekov, A.YU. Varaksin, E.A. Mnushin, V.E i dr. – M. Izdatel'stvo MGTU im. N.E. Bauman, 2017. – 678 s.

11. Vick, Michael & Young, Trent & Kelly, Matthew & Tuttle, Steven & Hinnant, Katherine. (2016). A Simple Recuperated Ceramic Microturbine: Design Concept, Cycle Analysis, and Recuperator Component Prototype Tests. V008T23A030. 10.1115/GT2016-57780.

12. Dologlonyan A.V. Optimizatsiya stepeni regeneratsii dlya ciklov mikrogazoturbinnih ustanovok / A.V. Dologlonyan, V.T. Matveenko // Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. – Orel: OGU im. I.S. Turgeneva, 2020. – № 3 (341). – S. 59-66.

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

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

15. Yanchoshek L., Kunc P. Organicheskiy cikl Renkina: ispol'zovanie v kogeneratsii // Turbiny i dizeli. 2012. № 2. S. 50-53.

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

17. [Electronic resource]. – 2019. – URL: [http://neochemical.ru/File/DOWTHERM\\_A\\_TDS\\_Russian.pdf/](http://neochemical.ru/File/DOWTHERM_A_TDS_Russian.pdf/) (accessed 05.31.19).

18. [Electronic resource]. – 2019. – URL: <https://webbook.nist.gov/chemistry/fluid/> (accessed 05.31.19).

19. Dologlonyan A.V. Vybor rabocheho tela i optimizatsiya parametrov organicheskogo cikla Renkina / A.V. Dologlonyan, V.T. Matveenko // Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. – Orel: OGU im. I.S. Turgeneva, 2019. – № 5 (337). – S. 139-151.

20. Dologlonyan A.V. Issledovanie potentsiala sezonnogo akkumulirovaniya holoda pri rabote solnechnykh kollektorov v nochnoe vremya / A.V. Dologlonyan, A.K. Suhov // Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. – Orel: OGU im. I.S. Turgeneva, 2017. – № 5 (325). – S. 172-176.

#### **Dologlonyan Andrey Vartazarovich**

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

#### **Matviienko Valerii Timofeevich**

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

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

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВАКУУМНЫХ МИКРОГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ТЕПЛОЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

**Аннотация.** Предметом рассмотрения в статье являются вакуумные циклы микрогазотурбинных установок (МГТУ) с целью рассмотрения их экономичности и перспектив использования для теплоэлектроснабжения локальных объектов. Исследованы вакуумные МГТУ простого цикла и с регенерацией теплоты. Найдены оптимальные параметры циклов – степень расширения в турбине и степень регенерации. Установлено, что экономичность МГТУ с регенерацией теплоты выше по сравнению с МГТУ простого цикла почти в 2 раза, удельная мощность уменьшается примерно в 1,35 раза.

По экономичности и в силу меньших значений степени повышения давления в компрессоре микротурбины целесообразно применять МГТУ вакуумного цикла с регенерацией теплоты.

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

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гамаюнов С.Н. Перспективные технологии распределенной энергетики в агробизнесе: монография / С.Н. Гамаюнов. Тверь: ООО «Издательство «Триада», 2011. – 160 с.
2. Jaatinen-Värri A, Nerg J, Uusitalo A, et al. Design of a 400 kW Gas Turbine Prototype. ASME. Turbo Expo: Power for Land, Sea, and Air, Volume 8: Microturbines, Turbochargers and Small Turbomachines; Steam Turbines():V008T23A007. doi:10.1115/GT2016-56444.
3. Кулагин Я.В. Разработка и исследование микро газотурбинных установок для автономного энергоснабжения сельскохозяйственных объектов: дис. канд. техн. наук: 05.20.02 / ФГБНУ ВИЭСХ. Москва, 2015. 135 с.
4. Матвеев В.Т. Глубокая утилизация теплоты в газотурбинных двигателях с турбиной перерасширения / В.Т. Матвеев // Промышленная теплотехника. – 1997. – Т. 19. – № 4-5. – С. 81-85.
5. Matviienko V. Variable regimes operation of cogenerative gas-turbine engines with overexpansion turbine/ V. Matviienko, V. Ocheretianyi // Prococoligs of ASME Turbo Expo 2010: Power of Land, Sea and Air 'GT2010, June 14-18, 2010, Glasgow, UK, GT2010-22029.
6. Matviienko V. Gas Turbine Plant with Overexpansion Turbine and Heat Regeneration in the Ship Propulsion Complex / V. Matviienko, O. Andriets, V. Ochretianyi // Proceedings of ASME Turbo Expo 2014: June 16-20, 2014, Dusseldorf, Germany.
7. Matviienko V. Working Process Control in a Ship Gas Turbine Engine of Complex Cycle / V. Matviienko, V. Ocheretianyi // Prococoling of ASME Turbo Expo 2016: June 13-17, 2016, Seoul, South Korea.
8. Diener OF, van der Spuy SJ, von Backström TW, Hildebrandt T. Multi-Disciplinary Optimization of a Mixed-Flow Compressor Impeller. ASME. Turbo Expo: Power for Land, Sea, and Air, Volume 8: Microturbines, Turbochargers and Small Turbomachines; Steam Turbines ():V008T23A021. doi:10.1115/GT2016-57008.
9. Deng, Qing-Hua & Shao, Shuai & Fu, Lei & Luan, Hai-Feng. (2018). An Integrated Design and Optimization Approach for Radial Inflow Turbines – Part I: Automated Preliminary Design. Applied Sciences. 8. 2038. 10.3390/app8112038.
10. Арбеков А.Н. Теория и проектирование газотурбинных и комбинированных установок / А.Н. Арбеков, А.Ю. Вараксин, Э.А. Мнушин, В.Е. и др. – М. Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. – 678 с.
11. Vick, Michael & Young, Trent & Kelly, Matthew & Tuttle, Steven & Hinnant, Katherine. (2016). A Simple Recuperated Ceramic Microturbine: Design Concept, Cycle Analysis, and Recuperator Component Prototype Tests. V008T23A030. 10.1115/GT2016-57780.
12. Аронсон К.Э. Теплообменники энергетических установок / К.Э. Аронсон, С.Н. Блинков, В.И. Брезгин и др. // Екатеринбург: Издательство УрФУ, 2015. – Электронный формат: html. Объем: 733 Mb.

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

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

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

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

---

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

## USE OF VACUUM MICROGAS TURBINE PLANTS FOR HEATPOWER SUPPLY OF LOCAL OBJECTS

**Abstract.** Consideration subject in article are vacuum cycles of microgas turbine plants (MGTP) for the purpose of studying of their profitability and perspectives of use for heatpower supply of local objects. Vacuum MGTP of a simple cycle and with warmth regeneration is investigated. Optimum parameters of cycles – ratio of turbine expansion and regeneration ratio are found. It is established that profitability of MGTP with regeneration of warmth is higher in comparison with MGTP of a simple cycle almost twice, specific power decreases approximately by 1,35 times.

By virtue of profitability and smaller values of compressor pressure ratio increase of the microturbine it is reasonable to apply in MGTP of a vacuum cycle with warmth regeneration.

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

## BIBLIOGRAPHY

1. Gamayunov S.N. Perspektivnye tekhnologii raspredelennoj energetiki v agrobiznese: monografiya / S.N. Gamayunov. Tver': ООО «Izdatel'stvo «Triada», 2011. – 160 s.
2. Jaatinen-Värrä A, Nerg J, Uusitalo A, et al. Design of a 400 kW Gas Turbine Prototype. ASME. Turbo Expo: Power for Land, Sea, and Air, Volume 8: Microturbines, Turbochargers and Small Turbomachines; Steam Turbines():V008T23A007. doi:10.1115/GT2016-56444.
3. Kulagin YA.V. Razrabotka i issledovanie mikro gazoturbinnih ustanovok dlya avtonomnogo energo-snabzheniya sel'skohozyajstvennyh ob'ektov: dis. kand. tekhn. nauk: 05.20.02 / FGBNU VIESKH. Moskva, 2015. 135 s.
4. Matveenko V.T. Glubokaya utilizatsiya teploty v gazoturbinnih dvigatelyah s turbinoj pererasshi-reniya / V.T. Matveenko // Promyshlennaya teplotekhnika. – 1997. – Т. 19. – № 4-5. – S. 81-85.
5. Matviienko V. Variable regimes operation of cogenerative gas-turbine engines with overexpansion turbine/ V.Matviienko, V. Ocheretianiyi// Procecoligs of ASME Turbo Expo 2010: Power of Land, Sea and Air 'GT2010, June 14-18, 2010, Glasgow, UK, GT2010-22029.
6. Matviienko V. Gas Turbine Plant with Overexpansion Turbine and Heat Regeneration in the Ship Propulsion Complex / V. Matviienko, O. Andriets, V. Ochretianyi // Proceedings of ASME Turbo Expo 2014: June 16-20, 2014, Dusseldorf, Germany.
7. Matviienko V. Working Process Control in a Ship Gas Turbine Engine of Complex Cycle / V. Matviienko, V. Ocheretianiyi // Procecoling of ASME Turbo Expo 2016: June 13-17, 2016, Seoul, South Korea.
8. Diener OF, van der Spuy SJ, von Backström TW, Hildebrandt T. Multi-Disciplinary Optimization of a Mixed-Flow Compressor Impeller. ASME. Turbo Expo: Power for Land, Sea, and Air, Volume 8: Microturbines, Turbochargers and Small Turbomachines; Steam Turbines ():V008T23A021. doi:10.1115/GT2016-57008.
9. Deng, Qing-Hua & Shao, Shuai & Fu, Lei & Luan, Hai-Feng. (2018). An Integrated Design and Optimization Approach for Radial Inflow Turbines – Part I: Automated Preliminary Design. AppliedSciences. 8. 2038. 10.3390/app8112038.
10. Arbekov A.N. Teoriya i proektirovanie gazoturbinnih i kombinirovannyh ustanovok / A.N. Arbe-kov, A.YU. Varaksin, E.A. Mnushin, V.E i dr. – M. Izdatel'stvo MGTU im. N.E. Bauman, 2017. – 678 s.

11. Vick, Michael & Young, Trent & Kelly, Matthew & Tuttle, Steven & Hinnant, Katherine. (2016). A Simple Recuperated Ceramic Microturbine: Design Concept, Cycle Analysis, and Recuperator Component Prototype Tests. V008T23A030. 10.1115/GT2016-57780.

12. Aronson K.E. Teploobmenniki energeticheskikh ustanovok / K.E. Aronson, S.N. Blinkov, V.I. Brezgin i dr. // Ekaterinburg: Izdatel'stvo UrFU, 2015. – Elektronnyj format: html. Ob'em: 733 Mb.

**Dologlonyan Andrey Vartazarovich**

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

**Strebkov Dmitrij Semenovich**

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

**Matviienko Valerii Timofeevich**

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

**Stacenko Ivan Nikolaevich**

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

УДК 621.791

DOI: 10.33979/2073-7408-2020-342-4-1-49-51

П.А. ЦИРКОВ, Д.А. ЛЕБЕДЕВА, А.В. БУРЯКИН

## ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

**Аннотация:** в данной статье показан способ повышения работоспособности крупногабаритных деталей машин машиностроительных и металлургических производств, работающих в сложных условиях и подверженных высокой степени износа.

**Ключевые слова:** работоспособность валков, длительность работы, дуго-контактная наплавка, уменьшение тепловложения, снижение остаточных напряжений, увеличение легирующих элементов в наплавке.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брошюра «Валки для прокатных станов» // ПАО УРАЛМАШЗАВОД.
2. Матвиенко В.Н. Повышение работоспособности наплавленных рабочих валков горячей прокатки // Металлург. 2012. №8. С. 72-75.
3. Матвиенко В.Н. Восстановление наплавкой деталей металлургического оборудования в условиях ОАО «ММК им. Ильича» / В.Н. Матвиенко, С.В. Гулаков, В.А. Роянов [и др.] // Металл и литье Украины. – 2005. – №7-8. – С. 66 – 69.
4. Цирков П.А. Гибридный метод наплавки применительно к восстановлению роликов машин непрерывного литья заготовок // Труды ГОСНИТИ. 2011. Т. 108. С. 194-197.
5. Цирков П.А. Преимущества применения гибридного метода наплавки по отношению к технологической прочности // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2014. № 6. С. 3-8.
6. Якушин Б.Ф., Цирков П.А. Особенности технологии дуговой наплавки роликов для установок непрерывной разливки сталей // Сварка и диагностика. 2009. № 5. С. 35-40.

**Цирков Павел Александрович**

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г.  
Москва  
Ст. преподаватель кафедры  
«Технологии обработки  
материалов»  
105005, г. Москва, 2-я  
Бауманская ул., д.5, стр.1  
8(494)267-02-36  
E-mail: mt13welding@gmail.com

**Лебедева Дарья Александровна**

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г.  
Москва  
Ассистент кафедры «Технологии  
обработки материалов»  
105005, г. Москва 2-я Бауманская  
ул., д.5, стр.1  
8(494)267-02-36  
E-mail: mt13welding@gmail.com

**Бурякин Алексей Владимирович**

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва  
Доцент, к.т.н. кафедры «Технологии  
обработки материалов»  
105005, г. Москва, 2-я Бауманская  
ул., д.5, стр.1  
8(494)267-02-36  
E-mail: mt13welding@gmail.com

P.A. TSIRKOV, D.A. LEBEDEVA, A.V. BURYAKIN

## IMPROVING THE PERFORMANCE OF LARGE-SIZED MACHINE PARTS IN MACHINE-BUILDING AND METALLURGICAL INDUSTRIES

**Abstract.** The present work is devoted a way to improve the performance of large-sized machine parts of machine-building and metallurgical industries that operating in difficult conditions and subject to a high degree of wear.

**Keywords:** performance of rolls, duration of operation, arc-contact surfacing, reduction of heat input, reduction of residual stresses, increase of alloying elements in surfacing.

### BIBLIOGRAPHY

1. Broshyura «Valki dlya prokatnykh stanov» [Rolls for rolling mills]. PAO URALMASHZAVOD.
2. Matvienko V.N. Povyshenie rabotosposobnosti naplavlennykh rabochikh valkov goryachei prokatki [Improving the efficiency of the deposited hot rolls]. Metallurg. – Moscow: 2012. No. 8. pp. 72-75.
3. Matvienko V.N., Gulakov S.V., Royanov V.A. «Vosstanovlenie naplavkoi detalei metallurgicheskogo oborudovaniya v usloviyakh OAO «MMK im. Il'icha» [Restoration by surfacing of parts of metallurgical equipment in the conditions of OJSC MMK named after Ilyich]. Metal and casting of Ukraine. - Kiev: 2005. – No. 7-8. – pp. 66 – 69
4. Tsirkov P.A. Gibridnyi metod naplavki primenitel'no k vosstanovleniyu rolikov mashin nepreryvnogo lit'ya zagotovok [Hybrid surfacing method as applied to restoration of rollers of continuous casting machines] Proceedings of GOSNITI. - Moscow: 2011. Volume 108, pp. 194-197.
5. Tsirkov P.A. Preimushchestva primeneniya gibridnogo metoda naplavki po otnosheniyu k tekhnologicheskoi prochnosti [Advantages of using a hybrid method of surfacing in relation to technological strength]. Repair. Recovery. Modernization. - Moscow: 2014. No 6. - pp. 3-8.
6. Yakushin B.F., Tsirkov P.A. Osobennosti tekhnologii dugovoi naplavki rolikov dlya ustanovok nepreryvnoi razlivki staley [Features of technology for arc surfacing of rollers for continuous casting plants]. Welding and diagnostics. – Moscow: 2009. No 5. pp. 35-40.

**Tsirkov Pavel Aleksandrovich**  
MSTU named after N.E. Bauman,  
Moscow  
senior lecturer "Materials Processing  
Technologies"  
105005, Moscow, 2nd Baumanskaya  
St., 5, building 1  
8(494)267-02-36  
E-mail: mt13welding@gmail.com

**Lebedeva Daria Alexandrovna**  
MSTU named after N.E. Bauman,  
Moscow  
Assistant "Materials Processing  
Technologies"  
105005, Moscow 2nd Baumanskaya  
St., 5, building 1  
8(494)267-02-36  
E-mail: mt13welding@gmail.com

**Buryakin Alexey Vladimirovich**  
MSTU named after N.E. Bauman,  
Moscow  
Senior lecturer, Cand.Tech.Sci.  
"Materials Processing Technologies"  
105005, Moscow, 2nd Baumanskaya  
St., 5, building 1  
8(494)267-02-36  
E-mail: mt13welding@gmail.com

УДК 621.923

DOI: 10.33979/2073-7408-2020-342-4-1-52-58

А.В. НЕМЕНКО, М.М. НИКИТИН

## УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ПОЛУЧЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВТОРОГО ПОРЯДКА ПРИ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКЕ

**Аннотация.** В работе рассмотрена задача управления технологическим процессом, приводящего к получению на изделии заданной центральной поверхности вращения второго порядка. Исходной поверхностью, которая при обработке преобразуется в поверхность заданного вида, может быть также центральная поверхность вращения второго порядка, в частности сферическая, плоскость, либо произвольная поверхность некоторого класса. Рассмотрен синтез инструмента для получения заданной поверхности обработкой в неподвижных осях и формирование непрерывного управляющего воздействия при работе этим инструментом.

**Ключевые слова:** финишная обработка, параболоид, гиперболоид, эллипсоид, поверхность второго порядка, обработка в неподвижных осях

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1.Каширин В.И. Основы формообразования оптических поверхностей: курс лекций / В.И. Каширин// Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ – УПИ, 2006.
- 2.Макаров В.Ф. Выбор абразивных инструментов и режимов для высокоэффективного шлифования заготовок/ В.Ф. Макаров – Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2011. – 231 с.
- 3 Новосёлов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке/ Ю.К. Новосёлов – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2012. - 304 с.
- 4.Jackson M. Machining With Abrasives/ M. Jackson, M. Hitchiner, J.Davim – Springer, 2011 - 423 p.
5. Неменко А.В. Прикладные вопросы оценки технического состояния судовых механических систем/А.В. Неменко, М.М Никитин - М.: Инфра-М, 2017 – 172 с.



6. Ван-дер-Варден Б.Л. Алгебра. /Б. Л. Ван-дер-Варден – М.:Мир, 1976.– 648 с.

**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  
Аспирант кафедры «Высшая математика»  
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33  
Тел. +79788150316  
E-mail: m.nikitin.1979@gmail.com

A.V. NEMENKO, M.M. NIKITIN

## CONTROL OF SECOND ORDER SURFACE PRODUCING WHILE FINISHING

**Abstract.** We consider the task of controlling the technological process, which leads to obtaining on the product a given central surface of rotation of the second order. The initial surface, which during processing is transformed into a surface of a given type, can also be a central surface of rotation of the second order, in particular a spherical plane, or an arbitrary surface of a certain class. The synthesis of a tool for obtaining a given surface by processing in fixed axes and the formation of a continuous control action when working with this tool are considered.

**Keywords:** finishing, paraboloid, hyperboloid, ellipsoid, second order surface, machining with fixed axis

### BIBLIOGRAPHY

- 1.Kashirin V.I. Osnovy formoobrazovaniya opticheskikh poverkhnostey: kurs lektsiy / V.I. Kashirin// Yekaterinburg: GOU VPO UGTU – UPI, 2006.
- 2.Makarov V.F. Vybor abrazivnykh instrumentov i rezhimov dlya vysokoeffektivnogo shlifovaniya zagotovok/ V.F. Makarov – Perm': Permskiy natsional'nyy issledovatel'skiy politekhnicheskii universitet, 2011. – 231 s.
- 3 Novosolov YU.K. Dinamika formoobrazovaniya poverkhnostey pri abrazivnoy obrabotke/ YU.K. Novosolov – Sevastopol': Izd-vo SevNTU, 2012. - 304 s.
- 4.Jackson M. Machining With Abrasives/ M. Jackson, M. Hitchiner, J.Davim – Springer, 2011 - 423 p.
5. Nemenko A.V. Prikladnyye voprosy otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya sudovykh mekhanicheskikh sistem/A.V. Nemenko, M.M Nikitin - M.: Infra-M, 2017 – 172 s.
6. Van-der-Varden B.L. Algebra. /B. L. Van-der-Varden – M.:Mir, 1976.– 648 s.

**Nemenko Alexandra Vasilievna**

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 Mikhail Mikhailovich**

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

УДК 681.518.5

DOI: 10.33979/2073-7408-2020-342-4-1-59-67

Ю.Р. НИКИТИН, С.А. ТРЕФИЛОВ

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПРИВОДОВ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ

**Аннотация.** В данной статье приведены результаты исследования влияния технического состояния приводов мобильного робота на критерий идентифицируемости. Разработана дискретная модель робота при оптимальном управлении приводами. Представлены результаты вычислительных экспериментов, подтверждающих гипотезу о нелинейной зависимости определителей расширенной матрицы состояния и измерения в модели робота, существенно влияющих на его управление. Рассмотрен критерий идентифицируемости робота как определитель расширенной матрицы состояния, состоящей из комбинации матрицы состояния и матрицы измерения. Предложен алгоритм вычисления критерия идентифицируемости нелинейной модели управления в дискретном варианте линеаризации. Предложено использовать идентификацию с точки зрения соответствия математической модели результатам эксплуатации робота. Информационно-измерительная система на каждом шаге дискретизации измеряет вектор положения,

скорость робота и электрические токи, угловые скорости вращения приводов в текущей точке траектории робота и вычисляет матрицу состояния. Следовательно, на каждом шаге вычисляется степень близости расширенной матрицы к потере ранга, при котором еще наблюдается идентифицируемость модели управления роботом. Степень близости к потере идентифицируемости вычисляется по минимальному определителю матриц. Этот минимальный определитель вычисляется как порог для принятия решений о техническом состоянии приводов мобильного робота. Потеря идентифицируемости расширенной матрицы может быть следствием дефектов приводов или датчиков и использоваться для системы диагностики робота.

**Ключевые слова:** диагностика, приводы, мобильный робот, идентификация, нелинейная дискретная модель.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-08-00772 А.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эйкхофф, П. Основы идентификации систем управления. – М.: Мир, 1975. – 686 с.
2. Современные методы идентификации систем / Под ред. П. Эйкхоффа. – М.: Мир, 1983. – 400 с.
3. Гроп, Д. Методы идентификации систем. – М.: Мир, 1979. – 302 с.
4. Льюнг, Л. Идентификация систем. Теория для пользователя. – М.: Наука, 1991. – 432 с.
5. Сейдж, Э.П., Мелс Дж.Л. Идентификация систем управления. – М.: Наука, 1974. – 248 с.
6. Сейдж, Э.П., Мелс Дж.Л. Теория оценивания и ее применение в связи и управлении. – М.: Связь, 1976. – 496 с.
7. Цыпкин, Я.З. Основы информационной теории идентификации. – М.: Наука, 1984. – 320 с.
8. Райбман, Н.С. Что такое идентификация? – М.: Наука, 1970. – 118 с.
9. Штейнберг, Ш.Е. Идентификация в системах управления. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 80 с.
10. Никитин, Ю.Р., Трефилов, С.А., Никитин, Е.В. Идентифицируемость модели привода мехатронного устройства на базе двигателя постоянного тока по измерительной матрице // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2019. № 4-1 (336). – С. 114–122.
11. Трефилов, С.А., Никитин, Ю.Р. Диагностика приводов роботов на базе двигателя постоянного тока по критерию идентифицируемости нелинейной дискретной модели в пространстве состояний // Вестник УГАТУ. 2020. Т. 24, № 1 (87). С. 103–110.
12. Никитин, Ю.Р. и др. Диагностирование приводов мобильных роботов на базе модели двигателя постоянного тока // Интеллектуальные системы в производстве, 2018, Том 16, №4. – С.114–121.
13. Никитин, Ю.Р., Божек П., Пиварчикова Е. Разработка диагностической модели привода в пространстве состояний. Технические университеты: интеграция с европейскими и мировыми системами образования: материалы VIII Междунар. конф. (Россия, Ижевск, 23–24 апреля 2019 г.): в 2 т. Т. 1. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ им. М. Т. Калашникова, 2019. – 624 с.
14. Романов А.В. и др. Программно-аппаратный комплекс диагностирования приводов мобильных роботов. Технические университеты: интеграция с европейскими и мировыми системами образования: материалы VIII Междунар. конф. (Россия, Ижевск, 23–24 апреля 2019 г.): в 2 т. Т. 1. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ им. М. Т. Калашникова, 2019. – С.303-307.
15. Степанов П.И., Лагуткин С.В., Никитин Ю.Р. Механические и электрические диагностические параметры электрических приводов // Интеллектуальные системы в производстве. – 2014. – № 2 (24). – С. 59-63.
16. Trefilov, S., Nikitin, Y. Automatic warehouses with transport robots of increased reliability. ActaLogistica, 2018. vol. 5, no. 3, pp. 19-23.
17. Trefilov, S.A., Nikitin, Yu.R. Robot drives diagnostics by identifiability criterion based on state matrix. Instrumentation Engineering, Electronics and Telecommunications - 2019: Proceedings of the V International Forum (Izhevsk, Russia, November 20-22, 2019). Izhevsk: Publishing House of Kalashnikov ISTU, 2019. Pp. 105–114.
18. Trefilov S.A., Peterka J. and Nikitin Yu.R. Diagnostics of drives in robotic systems according to the criterion of model identifiability in the state space. International Journal of Advanced Robotic Systems. May-June 2020. Pp.1-6.
19. Turygin, Yu., et al. Reliability Determination and Diagnostics of a Mechatronic System. Advances in Science and Technology. 2018, Vol. 12, No. 2, June, pp. 274-290.
20. Pavlovsky, V.E., et al. Concept, Simulation and Elaboration of Audition Sensors for Robots. Proc. of The IARP Workshop "Adaptive and Intelligent Robots: Present and Future". Moscow, Nov 24-26, 2005. IPMech RAS, RAS. Pp. 90–100.
21. Jones, H.L. Failure detection in linear systems (PhD thesis). MIT, Massachusetts, USA. 1973. 459 p.
22. Frank, P.M. Fault diagnosis in dynamic systems using analytical and knowledge based redundancy: a survey and some new results. Automatica, 1990. Vol. 26, No. 3. Pp. 459–474.
23. Dixon, W.E., Dawson, D.M., Zergeroglu, E. Nonlinear Control of Wheeled Mobile Robots. London: Springer, 2001. 198 p.
24. Luca, A., Oriolo, G., Vendittelli, M. Control of Wheeled Mobile Robots: An Experimental Overview. Lecture Notes in Control and Information Sciences. London: Springer, 2001. Pp. 181–226.
25. Charalambous, C.D., Lambis, A., Li, X. Optimal Control of a Two-Wheeled Mobile Robot Via Finite Capacity Communication Channel. Proceedings of 16th Mediterranean Conference on Control and Automation. Ajaccio, France: IEEE Press, 2008. Pp. 946–951.

26. Sheng, L., Guoliang, M., Weili, H. Stabilization and Optimal Control of Nonholonomic Mobile Robot. Proceedings of 8th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision. Kunming, China, 2004: IEEE Press. Pp. 1427–1430.

27. Turygin, Yu., et al. Enhancing the reliability of mobile robots control process via reverse validation. International Journal of Advanced Robotic Systems, November-December, 2016. Pp. 1-8.

28. Сайт программного комплекса «Среда динамического моделирования технических систем SimInTech» [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL:<http://simintech.ru/> (дата обращения: 22.05.2020).

---

**Никитин Юрий Рафаилович**

ФГБОУ ВО «Ижевский государственный  
технический университет имени  
М.Т.Калашникова»,  
канд. техн. наук, доцент,  
доцент кафедры «Мехатронные системы»,  
426069, г. Ижевск, ул. Студенческая, 7,  
+79068164399,  
nikitin@istu.ru

---

**Трефилов Сергей Александрович**

ФГБОУ ВО «Ижевский государственный  
технический университет имени  
М.Т.Калашникова»,  
канд. техн. наук, доцент,  
доцент кафедры «Мехатронные системы»,  
426069, г. Ижевск, ул. Студенческая, 7,  
+79124418013,  
trefilov376908@gmail.com

---

Yu.R. NIKITIN, S.A. TREFILOV

## DEVELOPMENT OF DIAGNOSTIC SYSTEM FOR MOBILE ROBOT DRIVES

**Abstract.** *This paper presents the results of a study of the influence of the technical condition of mobile robot drives on the identifiability criterion. A discrete robot model has been developed with optimal drive control. The results of computational experiments are presented, confirming the hypothesis of a nonlinear dependence of the determinants of the expanded state matrix and measurements in the robot model, significantly affecting its control. The identification criterion of the robot as a determinant of an expanded state matrix consisting of a combination of a state matrix and a measurement matrix is considered. An algorithm is proposed for calculating the identifiability criterion for a nonlinear control model in the discrete linearization version. It is proposed to use identification in terms of matching the mathematical model with the results of the operation of the robot. The information-measuring system at each sampling step measures the position vector, the speed of the robot and electric currents, the angular speeds of rotation of the drives at the current point of the robot path and calculates the state matrix. Therefore, at each step, the degree of proximity of the extended matrix to the loss of rank is calculated, at which the identifiability of the robot control model is still observed. The degree of proximity to the loss of identifiability is calculated by the minimum determinant of matrices. This minimum determinant is calculated as a threshold for making decisions about the technical condition of the drives of a mobile robot. The loss of identifiability of the extended matrix may be due to defects in drives or sensors and used for the diagnostic system of the robot.*

**Keywords:** *diagnostics, drives, mobile robot, identification, nonlinear discrete model.*

## BIBLIOGRAPHY

1. Jejkhoff, P. Osnovy identifikacii sistem upravlenija. (Fundamentals of identification control systems), Moscow, Mir, 1975, 686 p. (in Russian)
2. Jejkhoff, P. Sovremennye metody identifikacii system. (Modern methods of system identification), Moscow, Mir, 1983, 400 p. (in Russian)
3. Grop, D. Metody identifikacii sistem. (Identification methods of system), Moscow, Mir, 1979, 302 p. (in Russian)
4. Ljung, L. Identifikacija sistem. Teorija dlja polzovatelja. (System identification. Theory for the user), Moscow, Nauka, 1991, 432 p. (in Russian)
5. Sejdzh, Je.P., Melsa, Dzh.L. Identifikacija sistem upravlenija. (Identification of control systems), Moscow, Nauka, 1974, 248 p. (in Russian)
6. Sejdzh, Je.P., Melsa, Dzh.L. Teorija ocenivaniya i ee primenenie v svyazi s upravleniem. (Evaluation theory and its application in communication and management), Moscow, Svjaz, 1976, 496 p. (in Russian)
7. Cypkin, Ja.Z. Osnovy informacionnoj teorii identifikacii. (Fundamentals of identification information theory), Moscow, Nauka, 1984, 320 p. (in Russian)
8. Rajbman, N.S. Chto takoe identifikacija? (What is identification?), Moscow, Nauka, 1970, 118 p. (in Russian)
9. Shtejnberg, Sh.E. Identifikacija v sistemah upravlenija. (Identification in control systems), Moscow, Jenergoatomizdat, 1987, 80 p. (in Russian)

10. Nikitin, Yu.R., Trefilov, S.A., Nikitin, E.V. Identificiruemost modeli privoda mekhatronnogo ustrojstva na baze dvigatelya postoyannogo toka po izmeritelnoj matrice (Identifiability of a mechatronic device drive model based on a DC motor in a measuring matrix) // *Fundamentalnye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii*. 2019. № 4-1 (336). – P. 114–122. (in Russian)
11. Trefilov, S.A., Nikitin, Yu.R. Diagnostika privodov robotov na baze dvigatelya postoyannogo toka po kriteriyu identificiruemosti nelinejnoj diskretnoj modeli v prostranstve sostoyanij (Diagnostics of robot drives based on a DC motor according to the identifiability criterion of a nonlinear discrete model in the state space) // *Vestnik UGATU*. 2020. T. 24, № 1 (87). P. 103–110. (in Russian)
12. Nikitin, Yu.R. i dr. Diagnostirovanie privodov mobilnyh robotov na baze modeli dvigatelya postoyannogo toka (Diagnostics of mobile robot drives based on a DC motor model) // *Intellektualnye sistemy v proizvodstve*, 2018, Tom 16, №4. – P.114–121. (in Russian)
13. Nikitin, Yu.R., Bozhuk P., Pivarchikova E. Razrabotka diagnosticheskoy modeli privoda v prostranstve sostoyanij (Development of a diagnostic model of a drive in a state space). *Tekhnicheskie universitety: integraciya s evropejskimi i mirovymi sistemami obrazovaniya: materialy VIII Mezhdunar. konf. (Rossiya, Izhevsk, 23–24 aprelya 2019 g.): v 2 t. T. 1. – Izhevsk: Izd-vo IzhGTU im. M. T. Kalashnikova*, 2019. – 624 p. (in Russian)
14. Romanov A.V. i dr. Programmno-apparatnyj kompleks diagnostirovaniya privodov mobilnyh robotov (A hardware-software complex for diagnosing drives of mobile robots). *Tekhnicheskie universitety: integraciya s evropejskimi i mirovymi sistemami obrazovaniya: materialy VIII Mezhdunar. konf. (Rossiya, Izhevsk, 23–24 aprelya 2019 g.): v 2 t. T. 1. – Izhevsk: Izd-vo IzhGTU im. M. T. Kalashnikova*, 2019. – P.303–307. (in Russian)
15. Stepanov P.I., Lagutkin S.V., Nikitin YU.R. Mekhanicheskie i elektricheskie diagnosticheskie parametry elektricheskikh privodov (Mechanical and electrical diagnostic parameters of electric drives) // *Intellektualnye sistemy v proizvodstve*. – 2014. – № 2 (24). – P. 59–63. (in Russian)
16. Trefilov, S., Nikitin, Y. Automatic warehouses with transport robots of increased reliability. *ActaLogistica*, 2018. vol. 5, no. 3, pp. 19–23.
17. Trefilov, S.A., Nikitin, Yu.R. Robot drives diagnostics by identifiability criterion based on state matrix. *Instrumentation Engineering, Electronics and Telecommunications - 2019: Proceedings of the V International Forum (Izhevsk, Russia, November 20–22, 2019)*. Izhevsk: Publishing House of Kalashnikov ISTU, 2019. Pp. 105–114.
18. Trefilov S.A., Peterka J. and Nikitin Yu.R. Diagnostics of drives in robotic systems according to the criterion of model identifiability in the state space. *International Journal of Advanced Robotic Systems*. May–June 2020. Pp.1–6.
19. Turygin, Yu., et al. Reliability Determination and Diagnostics of a Mechatronic System. *Advances in Science and Technology*. 2018, Vol. 12, No. 2, June, pp. 274–290.
20. Pavlovsky, V.E., et al. Concept, Simulation and Elaboration of Audition Sensors for Robots. *Proc. of The IARP Workshop "Adaptive and Intelligent Robots: Present and Future"*. Moscow, Nov 24–26, 2005. IPMech RAS, RAS. Pp. 90–100.
21. Jones, H.L. Failure detection in linear systems (PhD thesis). MIT, Massachusetts, USA. 1973. 459 p.
22. Frank, P.M. Fault diagnosis in dynamic systems using analytical and knowledge based redundancy: a survey and some new results. *Automatica*, 1990. Vol. 26, No. 3. Pp. 459–474.
23. Dixon, W.E., Dawson, D.M., Zergeroglu, E. *Nonlinear Control of Wheeled Mobile Robots*. London: Springer, 2001. 198 p.
24. Luca, A., Oriolo, G., Vendittelli, M. *Control of Wheeled Mobile Robots: An Experimental Overview*. Lecture Notes in Control and Information Sciences. London: Springer, 2001. Pp. 181–226.
25. Charalambous, C.D., Lambis, A., Li, X. Optimal Control of a Two-Wheeled Mobile Robot Via Finite Capacity Communication Channel. *Proceedings of 16th Mediterranean Conference on Control and Automation*. Ajaccio, France: IEEE Press, 2008. Pp. 946–951.
26. Sheng, L., Guoliang, M., Weili, H. Stabilization and Optimal Control of Nonholonomic Mobile Robot. *Proceedings of 8th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision*. Kunming, China, 2004: IEEE Press. Pp. 1427–1430.
27. Turygin, Yu., et al. Enhancing the reliability of mobile robots control process via reverse validation. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, November–December, 2016. Pp. 1–8.
28. The software “Environment for the dynamic modeling of technical systems SimInTech”. Available at: <http://simintech.ru/> (accessed 22.05.2020).

**Nikitin Yury Rafailovich**,  
Kalashnikov Izhevsk State Technical University,  
CSc, Assoc. prof.,  
Associate Professor of the Department "Mechatronic Systems",  
426069, Studencheskaya str, 7,  
Izhevsk, Russia,  
+79068164399,  
nikitin@istu.ru

**Trefilov Sergei Alexandrovich**,  
Kalashnikov Izhevsk State Technical University,  
CSc, Assoc. prof.,  
Associate Professor of the Department "Mechatronic Systems",  
426069, Studencheskaya str, 7,  
Izhevsk, Russia,  
+79124418013,  
trefilov376908@gmail.com

К.Н. ОСИПОВ, В.П. ПОЛИВЦЕВ, В.В. ПОЛИВЦЕВ

## ОЦЕНКА ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ В ХОДЕ ИСПЫТАНИЙ АППАРАТА СЕРДЕЧНОЙ РЕАНИМАЦИИ

**Аннотация.** Предлагается алгоритм оценки измерительной информации, получаемой в ходе исследовательских испытаний медицинских биотехнических устройств, работающий во временной области и основанный на минимизации информационного критерия Кульбака-Лейблера. Предлагаемый адаптивный алгоритм оценивания измерений в реальном времени испытаний дает возможность получать состоятельные и несмещенные оценки параметров, характеризующих регулировочные и нагрузочные характеристики изделий даже в условиях, когда отсутствует достоверная априорная информация о дисперсии шума в измерительном канале. На примере оценки измерительной информации, получаемой в ходе испытаний аппарата сердечно-легочной реанимации, показано преимущество предлагаемого алгоритма. Изучается скорость сходимости оценок измерительной информации к истинным значениям, а также их устойчивость к погрешностям описания базисной функции.

**Ключевые слова:** диагностика, испытания, моделирование, устройства сердечно-легочной реанимации.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Охтилев М.Ю. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов / М.Ю. Охтилев, Б.В. Соколов, Р.М. Юсупов. – М.: Наука, 2006, 410 с.
2. Emmenegger, J.-F., Pervukhina, E., Golikova, V. Harmonic Analysis and Cointegration of Diagnostic Parameter Time Series of Motors, International Journal of Pure and Applied Mathematics, Vol. 82, N 1, P. 143-161.
3. E., Osipov K., Rapatskiy, Y.: Improvement of the acceptance test procedure for the external combustion engine after assembly by using the relationship between diagnostic parameters. Journal of Machinery Manufacture and Reliability, vol.40, num. 2, pp. 171-175. © Allerton Press, Inc. (2011).
4. Анимица Е.Г., Анимица П.Е., Глумов А.А. Импортзамещение в промышленном производстве региона: концептуально-теоретические и прикладные аспекты / Е. Г. Анимица, П. Е. Анимица, А. А. Глумов // Экономика региона. — 2015. — №3. — С. 160-172.
5. Филипович О.В. Автоматическое устройство для сердечно-легочной реанимации / О.В. Филипович, Е.В., В.П. Поливец // Патент на полезную модель RU 189470, 23.05.2019. Заявка № 2018139986 от 12.11.2018.
6. Первухина Е.Л., Голикова В.В., Степанченко Т.Л. Информационные технологии в задачах выявления неисправных машиностроительных изделий в ходе приемосдаточных испытаний после сборки // Сборка в машиностроении, приборостроении. – Москва, 2010. – №11. – С.3-8.
7. Pervukhina, E., Osipov, K., Golikova, V. (2015) Lowering toxic concentrations in the diesel exhaust gases // Communications in Computer and Information Science, Special Issue "Optimization in the Natural Sciences," pp. 118-128.
8. Стрейц В. Метод пространства состояний в теории дискретных линейных систем управления. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1985. – 296 с.
9. Y. Bar-Shalom and X. R. Li, Estimation with Applications to Tracking and Navigation, 2001, John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, USA.
10. Первухина Е.Л. Использование информационной меры в процедурах оценки дискретных стохастических систем при неизвестных ковариациях шумов // Известия РАЕН, серия МММИУ, 1999. – т.3. – №3. – С. 100-106.
11. Pervukhina, E., Emmenegger J.-F. Adaptive time series filters obtained by minimization of the Kullback-Leibler divergence criterion // International Journal of Applied Mathematics, 2005. – Vol. 17. – № 1. – P.69-89.

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

**Поливцев Виктор Петрович**  
ФГАОУ ВО Севастопольский  
государственный  
университет, г. Севастополь,  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Приборные  
системы и автоматизация  
технологических процессов».  
299053, г. Севастополь, ул.  
Университетская 33.  
Тел. +7(8692)-55-00-77

**Поливцев Владимир Викторович**  
ФГАОУ ВО Севастопольский  
государственный университет, г.  
Севастополь, ведущий инженер 1-й  
категории лаборатории ЭСЖБО  
299053, г. Севастополь, ул.  
Университетская 33.  
Тел. +7(8692)-55-00-77

## EVALUATION OF MEASUREMENT INFORMATION DURING TESTS OF THE HEART RESUSCITATION DEVICE

**Abstract.** *An adaptive algorithm for evaluation of measurement information obtained during tests of the heart resuscitation device to provided. In the paper study the rate of convergence of estimates of measurement information to true values, as well as their stability to errors in the description of the basis function.*

**Keywords:** *complex engineering products, multivariate analysis, diagnostic parameters, reliability of test results.*

### BIBLIOGRAPHY

1. Okhtilev Y. M. Intellectual technologies of monitoring and control of structural dynamics of complex technical objects / Okhtilev M. Yu., B. V. Sokolov, R. M. Yusupov. - Moscow: Science, 2006, 410 p.
2. Emmenegger, J.-F., Pervukhina, E., Golikova, V. Harmonic Analysis and Cointegration of Time Series Diagnostic Parameter of Motors, International Journal of Pure and Applied Mathematics, Vol. 82, N 1, P 143-161.
3. E. O. Osipov K., Rapatskiy, Y.: Improvement of the acceptance test procedure for the external combustion engine after assembly by using the relationship between diagnostic parameters. Journal of Machinery Manufacture and Reliability, vol.40, num. 2, pp. 171 to 175. Allerton Press, Inc. (2011).
4. Animitsa E. G., Animitsa E. P., Glumov, A. A. import Substitution in the industrial production of the region: conceptual-theoretical and applied aspects / E. G. Animitsa, P. E. Animitsa, Glumov A. A. // Economy of region. - 2015. - №3. - P. 160-172.
5. Filippovich O. V. Automatic device for cardiopulmonary resuscitation / O. V. Filippovich, E. V., V. P. Polivtsev // patent for utility model RU 189470, 23.05.2019. Application no. 2018139986 from 12.11.2018.6. K. the Cointegrated VAR Model / K. Juselius. New York: Oxford University Press Inc., 2006. - 457 p.
6. Pervukhina E. L., Golikova V. V., Stepanchenko T. L. Information technologies in the tasks of detecting faulty machine -building products during acceptance tests after Assembly / Assembly in machine- building, instrument- making. - Moscow, 2010. - #11. - Pp. 3-8.
7. Pervukhina E., Osipov, K., Golikova, V. (2015) Lowering toxic concentrations in the diesel exhaust gases // Communications in Computer and Information Science, Special Issue "Optimization in the Natural Sciences," pp. 118-128.
8. Straits V. state space Method in the theory of discrete linear control systems. – M.: Science. Home edition physical and mathematical literature, 1985. - 296 p.
9. Y. Bar-Shalom and X. R. Li, Estimation with Applications to Tracking and Navigation, 2001, John Wiley & Sons, Inc. New York, NY, USA.
10. Pervukhina, E. L. the Use of information measure in procedures for estimation of discrete stochastic systems with unknown noise covariances // Izvestiya of RAEN, series MMMIU, 1999. – vol.3. - №3. – Pp. 100-106.
11. Pervukhina, E., Emmenegger J.-f Adaptive time series of filters obtained by minimization of the Kullback-Leibler divergence criterion // international Jour of applied Mathematics, 2005. - Vol. 17. - № 1. 69-89.

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

**Polivtsev Viktor Petrovich**  
Sevastopol state University,  
Sevastopol, candidate of technical  
Sciences, associate Professor of the  
Department "Instrument systems  
and automation of technological  
processes".  
299053, Sevastopol, 33  
Universitetskaya street.

**Polivtsev Vladimir Viktorovich**  
Federal STATE Autonomous  
educational institution of the  
Sevastopol state University,  
Sevastopol, chief engineer of the  
1st category laboratory ASIBO  
299053, Sevastopol, 33  
Universitetskaya street.

УДК 615.47

DOI: 10.33979/2073-7408-2020-342-4-1-74-79

Е.В. ПАШКОВ, В.П. ПОЛИВЦЕВ, В.В. ПОЛИВЦЕВ

## АВТОМАТИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ СЕРДЕЧНО - ЛЕГОЧНОЙ РЕАНИМАЦИИ НА БАЗЕ ЛИНЕЙНОГО ПНЕВМОПРИВОДА

**Аннотация.** *Приведены результаты анализа конструкций и функциональных возможностей ряда устройств для сердечно-легочной реанимации известных производителей медицинского оборудования, рассмотрены основные схемы силового воздействия на грудную клетку, выявлены недостатки, сужающие функциональные возможности и надежность работы устройств. Приведено описание конструкции и принципа работы оригинального автоматического устройства для сердечно-легочной реанимации на базе линейного пневматического привода с ленточным грудным бандажом и с изменяющимися параметрами силового воздействия, зависящими от размеров грудной клетки.*

**Ключевые слова.** Сердечно-легочная реанимация, грудная клетка, ленточный бандаж, линейный пневматический привод, зубчатый ремень.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сердечно-легочная реанимация. Рекомендации Европейского совета по реанимации и Американской ассоциации сердца.- <https://medprosvita.com.ua/serdechno-legochnaya-reanimaciya-rekome/>.
2. Кузнецова О.Ю., Лебединский К.М., Дубикайтис Т.А. Сердечно-легочная и расширенная реанимация. – СПб: Издательство СПбМАПО, 2005. – 176 с.
3. Зильбер А.П. Этюды критической медицины. - М.: Медпресс-информ, 2006. – 568 с.
4. Устройство закрытого массажа сердца: патент РФ №2180551, МПК А61Н 9/00, А61Н 31/00 / Н.А. Курков, Н.М. Лебедев, И.К. Таланов и др.; опубл. 20.03.2002.
5. Устройство для компрессионно-декомпрессионной реанимации: патент РФ №2180827, МПК А61Н 31/00 / В.Л. Радужкевич; опубл. 27.03.2002.
6. Устройство для сердечно-легочной реанимации LUCAS /[http://adhara.ru/articles/autopulse\\_and\\_cpr.htm](http://adhara.ru/articles/autopulse_and_cpr.htm).
7. Автоматическое устройство для сердечно-легочной реанимации LUCAS-2/[http://www.deal-med.ru/ustrojstvo\\_dlja\\_serdechno\\_legochnoj\\_reanimacii\\_lucas\\_2.html](http://www.deal-med.ru/ustrojstvo_dlja_serdechno_legochnoj_reanimacii_lucas_2.html).
8. Автоматическое устройство для сердечно-легочной реанимации ZOLL / <https://www.zoll.com/ru/medical-products/resuscitation-system/autopulse/ems>; [http://adhara.ru/articles/autopulse\\_and\\_cpr.htm](http://adhara.ru/articles/autopulse_and_cpr.htm).
9. Автоматическое устройство для сердечно-легочной реанимации: патент РФ №189470, МПК А61Н 31/00 / О.В. Филипович, Е.В.Пашков, В.П. Поливцев; опубл. 23.05.2019, Бюл. №15.

**Пашков Евгений Валентинович**  
Севастопольский  
государственный университет  
д.т.н., профессор, кафедры  
«Приборные системы и  
автоматизация технологических  
процессов»,  
pashkov@sevsu.ru

**Поливцев Виктор Петрович**  
Севастопольский  
государственный университет  
к.т.н., доцент, заведующий НИЛ  
«Экспериментальные системы  
жизнеобеспечения  
биологических объектов»,  
polivcev.viktor@yandex.ru

**Поливцев Владимир Викторович**  
Севастопольский государственный  
университет  
руководитель группы НИЛ  
«Экспериментальные системы  
жизнеобеспечения биологических  
объектов»,  
vovapolivcev@yandex.ru

E.V. PASHKOV, V.P. POLIVTSEV, V.V. POLIVTSEV

## AUTOMATIC DEVICE FOR CARDIAC-PULMONARY REANIMATION ON THE BASIS OF LINEAR PNEUMATIC DRIVE

**Abstract.** The results of the analysis of the designs and functional capabilities of a number of devices for cardiopulmonary resuscitation by well-known manufacturers of medical equipment are presented, the basic schemes of force action on the chest are considered, the disadvantages that narrow the functionality and reliability of the devices are identified. A description is given of the design and principle of operation of an original automatic device for cardiopulmonary resuscitation based on a linear pneumatic drive with a tape chest bandage and with varying parameters of force exposure, depending on the size of the chest.

**Keywords:** cardiopulmonary resuscitation, chest, bandage, linear pneumatic drive, timing belt.

## BIBLIOGRAPHY

1. Serdechno-legochnaya reanimaciya. Rekomendacii Evropejskogo soveta po reanimacii i Amerikanskoj asociacii serdca.- <https://medprosvita.com.ua/serdechno-legochnaya-reanimaciya-rekome/>.
2. Kuznecova O.YU., Lebedinskij K.M., Dubikajtis T.A. Serdechno-le gochnaya i rasshirennaya reanimaciya. – SPb: Izdatel'stvo SPbMAPO, 2005. – 176 s.
3. Zil'ber A.P. Etyudy kriticheskoj mediciny. - M.: Medpress-inform, 2006. – 568 s.
4. Ustrojstvo zakrytogo massazha serdca: patent RF №2180551, MPK А61Н 9/00, А61Н 31/00 / N.A. Kurkov, N.M. Lebedev, I.K. Talanov i dr.; opubl. 20.03.2002.
5. Ustrojstvo dlya kompressionno-dekompressionnoj reanimacii: patent RF №2180827, MPK А61Н 31/00 / V.L. Radushkevich; opubl. 27.03.2002.
6. Ustrojstvo dlya serdechno-legochnoj reanimacii LUCAS / [http://adhara.ru/articles/autopulse\\_and\\_cpr.htm](http://adhara.ru/articles/autopulse_and_cpr.htm).

7. Avtomaticheskoe ustrojstvo dlya serdechno-legochnoj reanimacii LUCAS-2 / [http://www.deal-med.ru/ustrojstvo\\_dlja\\_serdechno\\_legochnoj\\_reanimacii\\_lucas\\_2.html](http://www.deal-med.ru/ustrojstvo_dlja_serdechno_legochnoj_reanimacii_lucas_2.html).
8. Avtomaticheskoe ustrojstvo dlya serdechno-legochnoj reanimacii ZOLL / <https://www.zoll.com/ru/medical-products/resuscitation-system/autopulse/ems>; [http://adhara.ru/articles/autopulse\\_and\\_c.pr.htm](http://adhara.ru/articles/autopulse_and_c.pr.htm).
9. Avtomaticheskoe ustrojstvo dlya serdechno-legochnoj reanimacii: patent RF №189470, MPK A61N 31/00 / O.V. Filipovich, E.V. Pashkov, V.P. Polivcev; opubl. 23.05.2019, Byul. №15.

**Pashkov Evgeny Valentinovich**  
Sevastopol State University  
Doctor of Technical Sciences,  
Professor,  
Department of Instrumentation  
Systems and Automation of  
Technological Processes, (hidden)

**Polivtsev Viktor Petrovich**  
Sevastopol State University  
Ph.D., Associate Professor, Head of  
the Research Laboratory  
“Experimental Life Support Systems  
for Biological Objects”, (hidden)

**Polivtsev Vladimir Viktorovich**  
Sevastopol State University  
Head of the Research Laboratory  
“Experimental Life Support Systems  
for Biological Objects”, (hidden)

УДК 535.361+535.362

DOI: 10.33979/2073-7408-2020-342-4-1-80-87

И.О. КОЗЛОВ

## МЕТОД АНАЛИЗА СПЕКТРОВ ДОППЛЕРОВСКОГО УШИРЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ОЦЕНКЕ НАРУШЕНИЙ МИКРОКРОВотоКА ПРИ САХАРНОМ ДИАБЕТЕ ВТОРОГО ТИПА

**Аннотация.** Статья посвящена развитию метода лазерной доплеровской флоуметрии и анализу зарегистрированного сигнала с точки зрения распределения перфузии по частотам доплеровского уширения лазерного излучения. Показан алгоритм обработки и необходимые технические условия для корректной регистрации сигнала. В качестве примеров реализации предложенного метода анализируются данные, полученные при измерениях на условно-здоровом добровольце и пациенте с сахарным диабетом 2 типа. Обработка зарегистрированных данных, согласно предложенному методу, обеспечивает новое пространство признаков для анализа данных лазерной доплеровской флоуметрии.

**Ключевые слова:** лазерная доплеровская флоуметрия, неинвазивная оптическая диагностика, система микроциркуляции крови, сахарный диабет 2 типа.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-32-90253.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крупаткин А.И. Функциональная диагностика состояния микроциркуляторно-тканевых систем: колебания, информация, нелинейность: руководство для врачей/ А.И. – Крупаткин, В.В. – Сидоров // М. – Либроком. – 2013. – с. 496.
2. Braverman I.M. The Cutaneous Microcirculation: Ultrastructure and Microanatomical Organization/ Braverman I.M //Microcirculation. – Taylor & Francis, 1997. – Vol. – 4, № 3. – С. 329–340.
3. Kvandal C. Low-frequency oscillations of the laser Doppler perfusion signal in human skin/ C. Kvandal, S. A. Landsverk, A. Bernjak, A. Stefanovska, H. D. Kvernmo, & K. A. Kirkeboen// Microvasc. Res.2006. – Vol. – 72, № 3. – С. – 120.
4. Stefanovska A. Wavelet analysis of oscillations in the peripheral blood circulation measured by laser Doppler technique/ A. Stefanovska, M. Bracic, H. D. Kvernmo// IEEE Trans. Biomed. Eng., 1999. – Vol. – 46, № 10. – С. 1230–1239.
5. Söderström T. Involvement of sympathetic nerve activity in skin blood flow oscillations in humans/ T. Söderström, A. Stefanovska, M. Veber, H. Svensson// Am. J. Physiol. Circ. Physiol., 2003. – 284. – 5. – С. H1638–H1646.
6. Ogurtsova K. IDF Diabetes Atlas: Global estimates for the prevalence of diabetes for 2015 and 2040/ K. Ogurtsova, J. D. da Rocha Fernandes, Y. Huang, U. Linnenkamp, L. Guariguata, N. H. Cho, D. Cavan, J.E. Shaw, L. E. Makaroff // Diabetes Res. Clin. Pract., 2017. – 128. – С. 40–50.
7. Bonner R. Model for laser Doppler measurements of blood flow in tissue/ R. Bonner, R. Nossal // Appl. Opt. OSA, 1981. – 20. – 12. – С. 2097–2107.
8. Shepherd A.C. Laser-Doppler Blood Flowmetry/ A.C. Shepherd // Developments in Cardiovascular Medicine, Springer, Boston, 1990. – С. 394.
9. Obeid A.N. A critical review of laser Doppler flowmetry/ A. N. Obeid, N. J. Barnett, G. Dougherty, G. Ward // J. Med. Eng. Technol. Taylor & Francis, 1990. – 14. – 5. – С. 178–181.



10. Obeid A.N. In vitro comparison of different signal processing algorithms used in laser Doppler flowmetry/ A.N. Obeid // Med. Biol. Eng. Comput., 1993. – 31. – 1. – С. 43–52.
11. Dremin V. Dynamic evaluation of blood flow microcirculation by combined use of the laser Doppler flowmetry and high-speed videocapillaroscopy methods/ V. Dremin, I. Kozlov, M. Volkov, N. Margaryants, A. Potemkin, E. Zherebtsov, A. Dunaev, I. Gurov // J. Biophotonics, 2019. – 12. – 6. – С. e201800317.
12. Volkov M. V. Evaluation of blood microcirculation parameters by combined use of laser Doppler flowmetry and videocapillaroscopy methods/ M. V. Volkov, D. A. Kostrova, N. B. Margaryants, I. C. Gurov, N. C. Erofeev, V. V. Dremin, E. V. Zharkikh, E. A. Zherebtsov, I. O. Kozlov, A. V. Dunaev // Proc. SPIE, 2017. – 10336. – С. 1033606–1033607.
13. Козлов И.О. Метод и устройство лазерной доплеровской флоуметрии для регистрации интенсивности компонентов кожного кровотока/ И.О. Козлов, Е.А. Жеребцов, А.И. Жеребцова, В.В. Дрёмин, А.В. Дунаев // Биомедицинская радиоэлектроника, 2017. – 6. – С. 68–76.
14. Kozlov I.O. Investigation of Doppler spectra of laser radiation scattered inside hand skin during occlusion test/ I. Kozlov, E. Zherebtsov, A. Zherebtsova, V. Dremin, A. Dunaev // Journal of Physics: Conference Series. 2017. – 929. – 1.
15. Mizeva I. Spectral analysis of the blood flow in the foot microvascular bed during thermal testing in patients with diabetes mellitus/ I. Mizeva, E. Zharkikh, V. Dremin, E. Zherebtsov, I. Makovik, E. Potapova, A. Dunaev // Microvasc. Res., 2018. – 120. – 13–20.
16. Magerl W., Treede R.D. Heat-evoked vasodilatation in human hairy skin: axon reflexes due to low-level activity of nociceptive afferents/ W. Magerl, R.D. Treede // J. Physiol. England, 1996. – 497 –3 – С. 837–848.
17. Wojtkiewicz S. Evaluation of algorithms for microperfusion assessment by fast simulations of laser Doppler power spectral density/ S. Wojtkiewicz, A. Liebert, H. Rix, R Maniewski // Phys. Med. Biol., 2011. – 56. – 24. – С. 7709.
18. Jonasson H. Validation of speed-resolved laser Doppler perfusion in a multimodal optical system using a blood-flow phantom/ H. Jonasson, I. Fredriksson, M. Larsson, T. Strömberg // J. Biomed. Opt., 2019. – 24. – 9. – С. 1–8.
19. Fredriksson I. Absolute flow velocity components in laser Doppler flowmetry/ I. Fredriksson, M. Larsson, T. Strömberg // Proc. SPIE, 2006. – 6094. – 60940A – С. 12.
20. Sokolov V.G. Method of assessing blood oxygenation in microcirculation vessels based on Doppler approach/ V.G. Sokolov, L.V. Korsi, S.Y. Egorov // Proc. SPIE, 2001. – 4263. – С. 98–105.

**Козлов Игорь Олегович**

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

Аспирант, стажер-исследователь научно-технологического центра биомедицинской фотоники

E-mail: igor57\_orel@mail.ru

Тел.: +7-920-814-04-58

I.O. KOZLOV

## METHOD FOR ANALYSIS OF THE DOPPLER-BROADENED SPECTRA OF LASER RADIATION FOR THE ASSESSMENT OF BLOOD MICROCIRCULATION DISTURBANCES IN DIABETES MELLITUS TYPE 2

**Abstract.** *The article is devoted to the development of laser Doppler flowmetry and analysis of the recorded signal to study the distribution of perfusion over the frequencies of Doppler broadening of laser radiation. The processing algorithm and the necessary technical conditions for the correct registration of the signal are shown. As examples of the proposed method implementation, the data are obtained from a healthy volunteer and a patient with diabetes mellitus type 2 and analyzed. According to the proposed method, processing of recorded data provides a new feature space for data analysis of laser Doppler flowmetry signal.*

**Keywords:** *laser Doppler flowmetry, non-invasive optical diagnostics, blood microcirculation.*

## BIBLIOGRAPHY

1. Krupatkin A.I. Funktsional'naya diagnostika sostoyaniya mikrotsirkulyatorno-tkanevykh sistem: kolebaniya, informatsiya, nelineynost': rukovodstvo dlya vrachev/ A.I. – Krupatkin, V.V. – Sidorov // M. – Librokom. – 2013. – с. 496.
2. Braverman I.M. The Cutaneous Microcirculation: Ultrastructure and Microanatomical Organization/ Braverman I.M //Microcirculation. – Taylor & Francis, 1997. – Vol. – 4, № 3. – С. 329–340.
3. Kvandal C. Low-frequency oscillations of the laser Doppler perfusion signal in human skin/ C. Kvandal, S. A. Landsverk, A. Bernjak, A. Stefanovska, H. D. Kvernmo, & K. A. Kirkeboen// Microvasc. Res.2006. – Vol. – 72, № 3. – С. – 120.
4. Stefanovska A. Wavelet analysis of oscillations in the peripheral blood circulation measured by laser Doppler technique/ A. Stefanovska, M. Bracic, H. D. Kvernmo// IEEE Trans. Biomed. Eng., 1999. – Vol. – 46, № 10. – С. 1230–1239.

5. Söderström T. Involvement of sympathetic nerve activity in skin blood flow oscillations in humans/ T. Söderström, A. Stefanovska, M. Veber, H. Svensson// Am. J. Physiol. Circ. Physiol., 2003. – 284. – 5. – C. H1638–H1646.
6. Ogurtsova K. IDF Diabetes Atlas: Global estimates for the prevalence of diabetes for 2015 and 2040/ K. Ogurtsova, J. D. da Rocha Fernandes, Y. Huang, U. Linnenkamp, L. Guariguata, N. H. Cho, D. Cavan, J.E. Shaw, L. E. Makaroff // Diabetes Res. Clin. Pract., 2017. – 128. – C. 40–50.
7. Bonner R. Model for laser Doppler measurements of blood flow in tissue/ R. Bonner, R. Nossal // Appl. Opt. OSA, 1981. – 20. – 12. – C. 2097–2107.
8. Shepherd A.C. Laser-Doppler Blood Flowmetry/ A.C. Shepherd // Developments in Cardiovascular Medicine, Springer, Boston, 1990. – C. 394.
9. Obeid A.N. A critical review of laser Doppler flowmetry/ A. N. Obeid, N. J. Barnett, G. Dougherty, G. Ward // J. Med. Eng. Technol. Taylor & Francis, 1990. – 14. – 5. – C. 178–181.
10. Obeid A.N. In vitro comparison of different signal processing algorithms used in laser Doppler flowmetry/ A.N. Obeid // Med. Biol. Eng. Comput., 1993. – 31. – 1. – C. 43–52.
11. Dremin V. Dynamic evaluation of blood flow microcirculation by combined use of the laser Doppler flowmetry and high-speed videocapillaroscopy methods/ V. Dremin, I. Kozlov, M. Volkov, N. Margaryants, A. Potemkin, E. Zherebtsov, A. Dunaev, I. Gurov// J. Biophotonics, 2019. – 12. – 6. – C. e201800317.
12. Volkov M. V. Evaluation of blood microcirculation parameters by combined use of laser Doppler flowmetry and videocapillaroscopy methods/ M. V. Volkov, D. A. Kostrova, N. B. Margaryants, I. C. Gurov, N. C. Erofeev, V. V. Dremin, E. V. Zharkikh, E. A. Zherebtsov, I. O. Kozlov, A. V. Dunaev // Proc. SPIE, 2017. – 10336. – C. 1033606–1033607.
13. Kozlov I.O. Metod i ustroystvo lazernoy doplerovskoy floumetrii dlya registratsii intensivnosti komponentov kozhnogo krovotoka/ I.O. Kozlov, Ye.A. Zherebtsov, A.I. Zherebtsova, V.V. Dromin, A.V. Dunayev // Biomeditsinskaya radioelektronika, 2017. – 6. – C. 68–76.
14. Kozlov I.O. Investigation of Doppler spectra of laser radiation scattered inside hand skin during occlusion test/ I. Kozlov, E. Zherebtsov, A. Zherebtsova, V. Dremin, A. Dunaev // Journal of Physics: Conference Series. 2017. – 929. – 1.
15. Mizeva I. Spectral analysis of the blood flow in the foot microvascular bed during thermal testing in patients with diabetes mellitus/ I. Mizeva, E. Zharkikh, V. Dremin, E. Zherebtsov, I. Makovik, E. Potapova, A. Dunaev // Microvasc. Res., 2018. – 120. – 13–20.
16. Magerl W., Treede R.D. Heat-evoked vasodilatation in human hairy skin: axon reflexes due to low-level activity of nociceptive afferents/ W. Magerl, R.D. Treede // J. Physiol. England, 1996. – 497 – 3 – C. 837–848.
17. Wojtkiewicz S. Evaluation of algorithms for microperfusion assessment by fast simulations of laser Doppler power spectral density/ S. Wojtkiewicz, A. Liebert, H. Rix, R. Maniewski // Phys. Med. Biol., 2011. – 56. – 24. – C. 7709.
18. Jonasson H. Validation of speed-resolved laser Doppler perfusion in a multimodal optical system using a blood-flow phantom/ H. Jonasson, I. Fredriksson, M. Larsson, T. Strömberg // J. Biomed. Opt., 2019. – 24. – 9. – C. 1–8.
19. Fredriksson I. Absolute flow velocity components in laser Doppler flowmetry/ I. Fredriksson, M. Larsson, T. Strömberg // Proc. SPIE, 2006. – 6094. – 60940A – C. 12.
20. Sokolov V.G. Method of assessing blood oxygenation in microcirculation vessels based on Doppler approach/ V.G. Sokolov, L.V. Korsi, S.Y. Egorov // Proc. SPIE, 2001. – 4263. – S. 98–105.

**Kozlov Igor Olegovich**

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia

Postgraduate student, research assistant of R&D Center of Biomedical Photonics

E-mail: igor\_orel57@mail.ru

Tel.: +7-920-814-04-58

УДК 612.135

DOI: 10.33979/2073-7408-2020-342-4-1-88-99

А.В. ДУНАЕВ

## МЕТОД ОЦЕНКИ АДАПТИВНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В МИКРОЦИРКУЛЯТОРНО-ТКАНЕВЫХ СИСТЕМАХ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА

**Аннотация.** Данная работа направлена на разработку нового метода оценки адаптивных изменений в микроциркуляторно-тканевых системах организма человека при различных нагрузках (например, спортивные нагрузки или физиологические стрессы), основанного на анализе осцилляций микроциркуляторного кровотока и тканевой сатурации, измеренных методами лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) и оптической тканевой оксиметрии (ОТО). В исследовании приняли участие восемь здоровых добровольцев в возрасте 21–49 лет. Измерения проводились на ладонной поверхности среднего пальца правой руки и медиальной поверхности нижней части предплечья. Ритмические колебания ЛДФ и ОТО изучали с помощью вейвлет-анализа. Анализ данных выявил резонансные и синхронизированные колебания в сигналах ЛДФ и ОТО в миогенном диапазоне как адаптивное изменение в результате реакции на физическую нагрузку или психоэмоциональный стресс.

**Ключевые слова:** лазерная доплеровская флоуметрия, оптическая тканевая оксиметрия, микроциркуляторно-тканевые системы, вазомоции, потребление кислорода, адаптивные изменения.

**Часть работы выполнена при финансовой поддержке проектов – Минобрнауки РФ (базовая часть государственного задания № 310, проект ГЗ-14/9) и FP7 EU IAPP (MEDILASE, №251531).**

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pickering T. G. Mental stress as a causal factor in the development of hypertension and cardiovascular disease // Current hypertension reports. 2001. Vol. 3, № 3. – P. 249-254.
2. Esler M. Chronic mental stress is a cause of essential hypertension: presence of biological markers of stress / M. Esler, N. Eikelis, M. Schlaich, G. Lambert, M. Alvarenga, T. Dawood, D. Kaye, D. Barton, C. Pier, L. Guo, C. Brenchley, G. Jennings, E. Lambert // Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology. 2008. Vol. 35, № 4. P. 498-502.
3. Pries A. R., Secomb T. W. Modeling structural adaptation of microcirculation // Microcirculation. 2008. Vol. 15, № 8. P. 753-764.
4. Leahy M. J., Nilsson G. E. Laser Doppler flowmetry for assessment of tissue microcirculation: 30 years to clinical acceptance // Proc. SPIE. 2010. Vol. 7563. P. 75630E.
5. Daly S. M., Leahy M. J. “Go with the flow”: a review of methods and advancements in blood flow imaging // Journal of biophotonics. 2013. Vol. 6, № 3. P. 217-255.
6. Козлов В.И. Лазерная доплеровская флоуметрия в оценке состояния и расстройств микроциркуляции крови / В.И. Козлов, Г.А. Азизов, О.А. Гурова, Ф.Б. Литвин // Методическое пособие для врачей. М. 2012. 32 с.
7. Kvernmo H.D. Oscillations in the human cutaneous blood perfusion signal modified by endothelium-dependent and endothelium-independent vasodilators / H. D. Kvernmo, A. Stefanovska, K. A. Kirkeboen, K. Kvernebo // Microvascular research. 1999. Vol. 57, № 3. P. 298-309.
8. Kvandal P. Impaired cerebrovascular reactivity after acute traumatic brain injury can be detected by wavelet phase coherence analysis of the intracranial and arterial blood pressure signals / P. Kvandal, L. Sheppard, S. A. Landsverk, A. Stefanovska, K. A. Kirkeboen // Journal of clinical monitoring and computing. 2013. Vol. 27, № 4. P. 375-383.
9. Söderström T. Involvement of sympathetic nerve activity in skin blood flow oscillations in humans / T. Söderström, A. Stefanovska, M. Veber, H. Svensson // American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology. 2003. Vol. 284, № 5. P. H1638-H1646.
10. Крупаткин А. Влияние симпатической иннервации на тонус микрососудов и колебания кровотока кожи // Физиология человека. 2006. Т. 32, № 5. С. 95-104.
11. Крупаткин А. Колебания кровотока частотой около 0.1 Гц в микрососудах кожи не отражают симпатическую регуляцию их тонуса // Физиология человека. 2009. Т. 35, № 2. С. 60-69.
12. Stefanovska A., Bracic M., Kvernmo H. D. Wavelet analysis of oscillations in the peripheral blood circulation measured by laser Doppler technique // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. 1999. Vol. 46, № 10. P. 1230-1239.
13. Рогаткин, Д.А. Физические основы оптической оксиметрии // Медицинская физика. 2012. Т. 2. С. 97-114.
14. Amzina M. Combined medical diagnostic system with separated laser-Doppler and reflectance oximeter channels / M. V. Amzina, A. A. Mischeev, D. A. Rogatkin, V. V. Sidorov // Proc. SPIE. 2006. Vol. 6163. P. 616317.
15. Colquhoun D.A. Non-invasive estimation of jugular venous oxygen saturation: a comparison between near infrared spectroscopy and transcutaneous venous oximetry / D. A. Colquhoun, J. M. Tucker-Schwartz, M. E. Durieux, R. H. Thiele // Journal of clinical monitoring and computing. 2012. Vol. 26, № 2. P. 91-98.
16. Quaresima V., Ferrari M., Fantini S. Accuracy of oxygen desaturation of hemoglobin in muscle by near-infrared oximeters [corrected] // Medicine and science in sports and exercise. 2013. Vol. 45, № 6. P. 1217.
17. Thorn C. E., Shore A. C., Matcher S. J. Combined optical and near infrared reflectance measurements of vasomotion in both skin and underlying muscle // Proc. SPIE. 2007. Vol. 6434. P. 643421.
18. Thorn C.E. An association between vasomotion and oxygen extraction / C. E. Thorn, H. Kyte, D. W. Slaff, A. C. Shore // American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology. 2011. Vol. 301, № 2. P. H442-H449.
19. Bernjak A. Coherence between fluctuations in blood flow and oxygen saturation / A. Bernjak, A. Stefanovska, P. V. McClintock, P. J. Owen-Lynch, P. B. Clarkson // Fluctuation and Noise Letters. 2012. Vol. 11, № 01. P. 1240013.
20. Abdulhameed Y. A., McClintock P. V. E., Stefanovska A. Race-specific differences in the phase coherence between blood flow and oxygenation: A simultaneous NIRS, white light spectroscopy and LDF study // Journal of Biophotonics. 2020. Vol. 13, № 4. P. e201960131.
21. Новикова И.Н. Возможности применения вейвлет-анализа осцилляций параметров микроциркуляторно-тканевых систем при проведении холодовой прессорной пробы на пальцах рук / И.Н. Новикова, В.В. Дремин, А.В. Дунаев, А.И. Крупаткин, В.В. Сидоров // Биотехносфера. 2015. Т. 42, № 6. С. 26-30.
22. Филина М.А. Функциональные изменения микроциркуляции крови в коже стопы при тепловых пробах у пациентов с сахарным диабетом / М.А. Филина, Е.В. Потапова, И.Н. Маковик, Е.В. Жарких, В.В. Дремин, Е.А. Жеребцов, А.В. Дунаев, В.В. Сидоров, А.И. Крупаткин, Е.А. Алимичева, Г.И. Масальгина, В.Ф. Мурадян // Физиология человека. 2017. Т. 43, № 6. С. 95-102.

23. Kvernmo H.D. Spectral analysis of the laser Doppler perfusion signal in human skin before and after exercise / H. D. Kvernmo, A. Stefanovska, M. Bracic, K. A. Kirkeboen, K. Kvernebo // *Microvascular research*. 1998. Vol. 56, № 3. P. 173-182.
24. Low B.-H. Impaired Microvascular Response to Muscle Stretching in Chronic Smokers With Type 2 Diabetes / B.-H. Low, Y.-D. Lin, B.-W. Huang, T. Chia, J.-G. Bau, H.-Y. Huang // *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 2020. Vol. 8, P. 602.
25. Tan Q. Exercise-Induced Hemodynamic Changes in Muscle Tissue: Implication of Muscle Fatigue Exercise-Induced / Q. Tan, Y. Wang, T. L. W. Chen, D. W. C. Wong, F. Yan, Z. Li, M. Zhang // *Applied Sciences*. 2020. Vol. 10, № 10. P. 3512.
26. Lemne C., Fagrell B. Mental stress induces different reactions in nutritional and thermoregulatory human skin microcirculation: a study in borderline hypertensives and normotensives // *Journal of human hypertension*. 1994. Vol. 8, № 8. P. 559-563.
27. Roustit M. Reproducibility and methodological issues of skin post-occlusive and thermal hyperemia assessed by single-point laser Doppler flowmetry / M. Roustit, S. Blaise, C. Millet, J. L. Cracowski // *Microvascular research*. 2010. Vol. 79, № 2. P. 102-108.
28. Fine I., Kaminsky A. V., Shenkman L. A new sensor for stress measurement based on blood flow fluctuations // *Proc. SPIE*. 2016. Vol. 9707. P. 970705.
29. Dunaev A.V. Laser reflectance oximetry and Doppler flowmetry in assessment of complex physiological parameters of cutaneous blood microcirculation / A.V. Dunaev, V.V. Sidorov, N.A. Stewart, S.G. Sokolovski, E.U. Rafailov // *Proc. SPIE*. 2013. Vol. 8572. P. 857205.
30. Obeid A. In vitro comparison of different signal processing algorithms used in laser Doppler flowmetry // *Medical and Biological Engineering and Computing*. 1993. Vol. 31, № 1. P. 43-52.
31. Крупаткин, А.И. Динамический колебательный контур регуляции капиллярной гемодинамики // *Физиология человека*. 2007. Т. 33, № 5. С. 93-101.
32. Heusmann H., Koelzer J.G., Mitic G. Characterization of female breasts in vivo by time-resolved and spectroscopic measurements in the near infrared spectroscopy // *Journal of biomedical optics*. 1996. Vol. 1, № 4. P. 425-435.
33. Khalil, O.S. Metabolites, noninvasive optical measurements of // *Wiley Encyclopedia of Biomedical Engineering*. 2006.
34. Salerud E. Rhythmical variations in human skin blood flow / E. G. Salerud, T. Tenland, G. E. Nilsson, P. A. Oberg // *International journal of microcirculation, clinical and experimental*. 1983. Vol. 2, № 2. P. 91.
35. Tankanag A., Chemeris N. Application of the adaptive wavelet transform for analysis of blood flow oscillations in the human skin // *Physics in Medicine & Biology*. 2008. Vol. 53, № 21. P. 5967.
36. Tankanag A. V., Chemeris N. K. A method of adaptive wavelet filtering of the peripheral blood flow oscillations under stationary and non-stationary conditions // *Physics in Medicine & Biology*. 2009. Vol. 54, № 19. P. 5935.
37. Kislukhin V.V. Regulation of oxygen consumption by vasomotion // *Mathematical Biosciences*. 2004. Vol. 191, № 1. P. 101-108.
38. Dunaev A.V. Investigating tissue respiration and skin microhaemocirculation under adaptive changes and the synchronization of blood flow and oxygen saturation rhythms / A.V. Dunaev, V.V. Sidorov, A.I. Krupatkin, I.E. Rafailov, S.G. Palmer, N.A. Stewart, S.G. Sokolovski, E.U. Rafailov // *Physiological Measurement*. 2014. Vol. 35, № 4. P. 607-621.
39. Johnson J. M., Kellogg Jr D. L. Local thermal control of the human cutaneous circulation // *Journal of applied physiology*. 2010. Vol. 109, № 4. P. 1229-1238.
40. Zherebtsov E.A. Wearable sensor system for multipoint measurements of blood perfusion: pilot studies in patients with diabetes mellitus / E.A. Zherebtsov, E.V. Zharkikh, I.O. Kozlov, Y.I. Loktionova, A.I. Zherebtsova, I.E. Rafailov, S.G. Sokolovski, V.V. Sidorov, A.V. Dunaev, E.U. Rafailov // *Proc. SPIE*. 2019. Vol. 11079. P. 1107962.

**Дунаев Андрей Валерьевич**

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

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

302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29

Тел.: +7-4862-41-98-06

E-mail: dunaev@bmecenter.ru

---

A.V. DUNAEV

## THE METHOD FOR EVALUATING ADAPTIVE CHANGES IN HUMAN MICROCIRCULATORY-TISSUE SYSTEMS

**Abstract.** *The work is aimed at developing a new approach to assessing adaptive changes in microcirculatory tissue systems when various loads are exerted on the body (sports or physiological stresses), based on the analysis of oscillations in microcirculatory blood flow and tissue oxygen saturation, measured by laser Doppler flowmetry (LDF)*

and tissue reflectance oximetry (TRO). The study involved eight healthy volunteers aged 21–49 years. Measurements were taken on the palmar surface of the middle finger of the right hand and the medial surface of the lower part of the forearm. The rhythmic oscillations of LDF and TRO were studied using wavelet analysis. Data analysis revealed resonant and synchronized oscillations in the LDF and TRO signals in the myogenic range as an adaptive change as a result of a reaction to physical activity and psychoemotional stress.

**Keywords:** laser Doppler flowmetry, tissue reflectance oximetry, microcirculatory tissue systems, vasomotion, oxygen consumption, adaptive changes.

## BIBLIOGRAPHY

1. Pickering T.G. Mental stress as a causal factor in the development of hypertension and cardiovascular disease // *Current hypertension reports*. 2001. Vol. 3, № 3. – P. 249-254.
2. Esler M. Chronic mental stress is a cause of essential hypertension: presence of biological markers of stress / M. Esler, N. Eikelis, M. Schlaich, G. Lambert, M. Alvarenga, T. Dawood, D. Kaye, D. Barton, C. Pier, L. Guo, C. Brenchley, G. Jennings, E. Lambert // *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*. 2008. Vol. 35, № 4. P. 498-502.
3. Pries A.R., Secomb T.W. Modeling structural adaptation of microcirculation // *Microcirculation*. 2008. Vol. 15, № 8. P. 753-764.
4. Leahy M.J., Nilsson G. E. Laser Doppler flowmetry for assessment of tissue microcirculation: 30 years to clinical acceptance // *Proc. SPIE*. 2010. Vol. 7563. P. 75630E.
5. Daly S.M., Leahy M.J. "Go with the flow": a review of methods and advancements in blood flow imaging // *Journal of biophotonics*. 2013. Vol. 6, № 3. P. 217-255.
6. Kozlov V.I. Laser Doppler flowmetry in assessing the state and disorders of blood microcirculation / V.I. Kozlov, G. A. Azizov, O. A. Gurova, F. B. Litvin // *Methodical manual for doctors*. M. 2012. Vol. 32. (In Russ).
7. Kvernmo H.D. Oscillations in the human cutaneous blood perfusion signal modified by endothelium-dependent and endothelium-independent vasodilators / H. D. Kvernmo, A. Stefanovska, K. A. Kirkeboen, K. Kvernebo // *Microvascular research*. 1999. Vol. 57, № 3. P. 298-309.
8. Kvandal P. Impaired cerebrovascular reactivity after acute traumatic brain injury can be detected by wavelet phase coherence analysis of the intracranial and arterial blood pressure signals / P. Kvandal, L. Sheppard, S. A. Landsverk, A. Stefanovska, K. A. Kirkeboen // *Journal of clinical monitoring and computing*. 2013. Vol. 27, № 4. P. 375-383.
9. Söderström T. Involvement of sympathetic nerve activity in skin blood flow oscillations in humans / T. Söderström, A. Stefanovska, M. Veber, H. Svensson // *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*. 2003. Vol. 284, № 5. P. H1638-H1646.
10. Krupatkin A.I. The Influence of the Sympathetic Innervation on the Skin Microvascular Tone and Blood Flow Oscillations // *Human Physiology*. 2006. Vol. 32, № 5. P. 584-592.
11. Krupatkin A.I. Blood Flow Oscillations at a Frequency of about 0.1 Hz in Skin Microvessels Do Not Reflect the Sympathetic Regulation of Their Tone // *Human Physiology*. 2009. Vol. 35, № 2. P. 183-191.
12. Stefanovska A., Bracic M., Kvernmo H. D. Wavelet analysis of oscillations in the peripheral blood circulation measured by laser Doppler technique // *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. 1999. Vol. 46, № 10. P. 1230-1239.
13. Rogatkin D.A. Physical fundamentals of in vivo laser clinical fluorescence spectroscopy // *Medical physics*. 2014. Vol. 4, № 64. P. 78–96. (In Russ).
14. Amzina M. Combined medical diagnostic system with separated laser-Doppler and reflectance oximeter channels / M.V. Amzina, A.A. Mischev, D.A. Rogatkin, V.V. Sidorov // *Proc. SPIE*. 2006. Vol. 6163. P. 616317.
15. Colquhoun D.A. Non-invasive estimation of jugular venous oxygen saturation: a comparison between near infrared spectroscopy and transcutaneous venous oximetry / D.A. Colquhoun, J.M. Tucker-Schwartz, M.E. Durieux, R.H. Thiele // *Journal of clinical monitoring and computing*. 2012. Vol. 26, № 2. P. 91-98.
16. Quaresima V., Ferrari M., Fantini S. Accuracy of oxygen desaturation of hemoglobin in muscle by near-infrared oximeters [corrected] // *Medicine and science in sports and exercise*. 2013. Vol. 45, № 6. P. 1217.
17. Thorn C.E., Shore A.C., Matcher S.J. Combined optical and near infrared reflectance measurements of vasomotion in both skin and underlying muscle // *Proc. SPIE*. 2007. Vol. 6434. P. 643421.
18. Thorn C.E. An underlying mechanism between vasomotion and oxygen extraction / C.E. Thorn, H. Kyte, D.W. Slaff, A.C. Shore // *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*. 2011. Vol. 301, № 2. P. H442-H449.
19. Bernjak A. Coherence between fluctuations in blood flow and oxygen saturation / A. Bernjak, A. Stefanovska, P.V. McClintock, P.J. Owen-Lynch, P.B. Clarkson // *Fluctuation and Noise Letters*. 2012. Vol. 11, № 01. P. 1240013.
20. Abdulhameed Y.A., McClintock P.V.E., Stefanovska A. Race-specific differences in the phase coherence between blood flow and oxygenation: A simultaneous NIRS, white light spectroscopy and LDF study // *Journal of Biophotonics*. 2020. Vol. 13, № 4. P. e201960131.
21. Novikova I.N. Possibilities of applying wavelet analysis of oscillations of microcirculatory-tissue systems parameters during cold pressor testing on the fingers / I.N. Novikova, V.V. Dremin, A.V. Dunaev, A.I. Krupatkin, V.V. Sidorov // *Biotechnosphere*. 2015. Vol. 42, No. 6. P. 26-30. (In Russ).
22. Filina M.A. Functional Changes in Blood Microcirculation in the Skin of the Foot during Heating Tests in Patients with Diabetes Mellitus / M.A. Filina, E.V. Potapova, I.N. Makovik, E.V. Zharkih, V.V. Dremin, E.A. Zherebtsov, A.V. Dunaev, V.V. Sidorov, A.I. Krupatkin, E.A. Alimicheva, G.I. Masalygina and V.F. Muradyan // *Human physiology*. 2017. Vol. 43, № 6. P. 693-699.
23. Kvernmo H.D. Spectral analysis of the laser Doppler perfusion signal in human skin before and after exercise / H. D. Kvernmo, A. Stefanovska, M. Bracic, K. A. Kirkeboen, K. Kvernebo // *Microvascular research*. 1998. Vol. 56, № 3. P. 173-182.

24. Low B.-H. Impaired Microvascular Response to Muscle Stretching in Chronic Smokers With Type 2 Diabetes / B.-H. Low, Y.-D. Lin, B.-W. Huang, T. Chia, J.-G. Bau, H.-Y. Huang // *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 2020. Vol. 8. P. 602.
25. Tan Q. Exercise-Induced Hemodynamic Changes in Muscle Tissue: Implication of Muscle Fatigue Exercise-Induced / Q. Tan, Y. Wang, T. L. W. Chen, D. W. C. Wong, F. Yan, Z. Li, M. Zhang // *Applied Sciences*. 2020. Vol. 10, № 10. P. 3512.
26. Lemne C., Fagrell B. Mental stress induces different reactions in nutritional and thermoregulatory human skin microcirculation: a study in borderline hypertensives and normotensives // *Journal of human hypertension*. 1994. Vol. 8, № 8. P. 559-563.
27. Roustit M. Reproducibility and methodological issues of skin post-occlusive and thermal hyperemia assessed by single-point laser Doppler flowmetry / M. Roustit, S. Blaise, C. Millet, J. L. Cracowski // *Microvascular research*. 2010. Vol. 79, № 2. P. 102-108.
28. Fine I., Kaminsky A. V., Shenkman L. A new sensor for stress measurement based on blood flow fluctuations // *Proc. SPIE*. 2016. Vol. 9707. P. 970705.
29. Dunaev A.V. Laser reflectance oximetry and Doppler flowmetry in assessment of complex physiological parameters of cutaneous blood microcirculation / A.V. Dunaev, V.V. Sidorov, N.A. Stewart, S.G. Sokolovski, E.U. Rafailov // *Proc. SPIE*. 2013. Vol. 8572. P. 857205.
30. Obeid A. In vitro comparison of different signal processing algorithms used in laser Doppler flowmetry // *Medical and Biological Engineering and Computing*. 1993. Vol. 31, № 1. P. 43-52.
31. Krupatkin A.I. Dynamic Oscillatory Circuit of Regulation of Capillary Hemodynamics // *Human Physiology*. 2007. Vol. 33, № 5. P. 595-602.
32. Heusmann H., Koelzer J. G., Mitic G. Characterization of female breasts in vivo by time-resolved and spectroscopic measurements in the near infrared spectroscopy // *Journal of biomedical optics*. 1996. Vol. 1, № 4. P. 425-435.
33. Khalil, O.S. Metabolites, noninvasive optical measurements of // *Wiley Encyclopedia of Biomedical Engineering*. 2006.
34. Salerud E. Rhythmical variations in human skin blood flow / E. G. Salerud, T. Tenland, G. E. Nilsson, P. A. Oberg // *International journal of microcirculation, clinical and experimental*. 1983. Vol. 2, № 2. P. 91.
35. Tankanag A., Chmeris N. Application of the adaptive wavelet transform for analysis of blood flow oscillations in the human skin // *Physics in Medicine & Biology*. 2008. Vol. 53, № 21. P. 5967.
36. Tankanag A. V., Chmeris N. K. A method of adaptive wavelet filtering of the peripheral blood flow oscillations under stationary and non-stationary conditions // *Physics in Medicine & Biology*. 2009. Vol. 54, № 19. P. 5935.
37. Kislukhin V.V. Regulation of oxygen consumption by vasomotion // *Mathematical Biosciences*. 2004. Vol. 191, № 1. P. 101-108.
38. Dunaev A.V. Investigating tissue respiration and skin microhaemocirculation under adaptive changes and the synchronization of blood flow and oxygen saturation rhythms / A.V. Dunaev, V.V. Sidorov, A.I. Krupatkin, I.E. Rafailov, S.G. Palmer, N.A. Stewart, S.G. Sokolovski, E.U. Rafailov // *Physiological Measurement*. 2014. Vol. 35, № 4. P. 607-621.
39. Johnson J.M., Kellogg Jr D.L. Local thermal control of the human cutaneous circulation // *Journal of applied physiology*. 2010. Vol. 109, № 4. P. 1229-1238.
40. Zhrebtsov E.A. Wearable sensor system for multipoint measurements of blood perfusion: pilot studies in patients with diabetes mellitus / E.A. Zhrebtsov, E.V. Zharkikh, I.O. Kozlov, Y.I. Loktionova, A.I. Zhrebtsova, I.E. Rafailov, S.G. Sokolovski, V.V. Sidorov, A.V. Dunaev, E.U. Rafailov // *Proc. SPIE*. 2019. Vol. 11079. P. 1107962.

#### Dunaev Andrey Valerievich

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia

Ph.D., Leading Researcher of Research and Development Center of Biomedical Photonics

302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29

Phone: +7-4862-41-98-06

E-mail: dunaev@bmecenter.ru

УДК 629.014

DOI:10.33979/2073-7408-2020-342-4-1-100-105

Т.Л. ЧЕМАКИНА, Н.Б. ОПАНАЩУК

## ГАЗООТВОДНАЯ СИСТЕМА НА НАЛИВНЫХ СУДАХ

**Аннотация.** В статье анализируются различные газоотводные системы в танках нефтеналивных судов, их преимущества и недостатки. Предложена методика расчета газоотводной системы для определения объемного расхода паровоздушной смеси из отдельного танка при загрузке судна и сопротивления системы трубопровода в первом приближении.

**Ключевые слова:** групповые газоотводные системы, высокоскоростные выпускные устройства, дыхательные клапаны, пламенперрывающие сетки, огнепреградители.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Особенности и правила перевозки наливных грузов. URL: <https://econom-trans.ru/useful/kak-osuschestvlyatsya-perevozka-nalivnyh-gruzov.html>. Дата обращения 06.04.2019
2. Особенности перевозки наливных грузов. URL: <http://www.wtransports.com/2016/06/20/kak-osuschestvlyatsya-perevozka-nalivnyh-gruzov/>. Дата обращения 06.04.2019.
3. Физико-химические характеристики груза/ URL: <https://econom-trans.ru/useful/kak-osuschestvlyatsya-perevozka-nalivnyh-gruzov.html> <https://econom-trans.ru/useful/kak-osuschestvlyatsya-perevozka-nalivnyh-gruzov.html>. Дата обращения 06.04.2019.
4. Геец, В.М. Специальные системы наливных судов. Курс лекций [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.М. Геец. — Электрон. дан. — Владивосток: МГУ им. адм. Г.И. Невельского, 2012. — 185 с.
5. Кирпичников, С. В. Судовые вспомогательные механизмы и системы. Специальные системы танкеров [Электронный ресурс]: учеб. пос. / С. В. Кирпичников, А. В. Бабич. — Электрон. дан. — М.: МГАВТ, 2004. - 60 с.
6. Газоотводная система танкера. URL: <https://lektsia.com/8x2c6c.html> Дата обращения 10.04.2019.
7. Кутыркин В. А., Постников В. И. Специальные системы нефтеналивных судов (Справочник). – М.: Транспорт, 1983. – 192
8. Косыгин, И.А. Судовые вспомогательные системы и механизмы [Электронный ресурс] / И.А. Косыгин, О.А. Тюрина. — Электрон. дан. — М.: Альтаир-МГАВТ, 2015 - 80 с.

**Чемакина Тамара Львовна**

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет» г. Севастополь  
Кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Океанотехника и кораблестроение»  
Тел. +7(978)219-80-91  
E-mail: chemakina1951@gmail.com

**Опанашук Наталья Борисовна**

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет» г. Севастополь  
Инженер I категории, кафедра «Океанотехника и кораблестроение»  
Тел. +7(978) 767-07-89  
E-mail: opanashukn@mail.ru

T.L. CHEMAKINA, N.B. OPANASHCHUK

## THE VENTING SYSTEM ON TANK VESSELS

**Abstract.** Various gas discharge systems in tanks of oil tankers, their advantages and disadvantages are analyzed. the method of calculation of the gas discharge system to determine the volume flow of the steam-air mixture from a separate tank when loading the vessel and the resistance of the pipeline system in the first approximation is proposed.

**Keywords:** group venting systems, high-speed production-related devices, respiratory valves, plumariidae mesh, flame-arrester.

## BIBLIOGRAPHY

1. Features and rules of transportation of bulk cargo. URL: <https://econom-trans.ru/useful/kak-osuschestvlyatsya-perevozka-nalivnyh-gruzov.html>. Date of application 06.04.2019
2. Features of liquid cargo transportation. URL: <http://www.wtransports.com/2016/06/20/kak-osuschestvlyatsya-perevozka-nalivnyh-gruzov/>. Accessed 06.04.2019.
3. physical and chemical characteristics of the cargo / URL: <https://econom-trans.ru/useful/kak-osuschestvlyatsya-perevozka-nalivnyh-gruzov.html> <https://econom-trans.ru/useful/kak-osuschestvlyatsya-perevozka-nalivnyh-gruzov.html>. Date of access 06.04.2019.
4. Geyets, V. M. Special systems of tankers. Course of lectures [Electronic resource]: textbook / V. M. geets. - Electron. Dan. - Vladivostok: Moscow state University named after Adm. G. I. Nevelsky, 2012. - 185 p.
5. Kirpichenkov, S. V. Ship auxiliary mechanisms and systems. Special systems of tankers [Electronic resource]: ucheb. POS. / S. V. Kirpichenkov, A.V. Babich. - Electron. Dan. - M.: MGA VT, 2004. - 60 p.
6. The venting system of the tanker. URL: <https://lektsia.com/8x2c6c.html> date of application 10.04.2019.
7. Kutyrkin V. A., Postnikov V. I. Special systems of oil-loading vessels (reference Book). - M.: Transport, 1983. – 192.
8. Kosygin, I. A. Ship auxiliary systems and mechanisms [Electronic resource] / I. A. Kosygin, O. A. Tyurina. - Electron. Dan. - Moscow: Altair-MGA VT, 2015-80 p.

**Chemakina Tamara Lvovna**

Sevastopol state University, Sevastopol  
Candidate of technical Sciences, associate Professor of the  
Department of ocean Engineering and shipbuilding  
Tel. +7(978)219-80-91

**Opanashuk Natalia Borisovna**

Sevastopol state University, Sevastopol  
Category I engineer, Department of ocean Engineering and  
shipbuilding  
Tel. +7(978) 767-07-89  
E-mail: opanashukn@mail.ru

И.А. ШАРИФУЛЛИН, А.Л. НОСКО, Е.В. САФРОНОВ, Д.В. КИРИЛЛОВ

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВИХРЕТОКОВОГО ТОРМОЖЕНИЯ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ГРАВИТАЦИОННЫМ РОЛИКОВЫМ КОНВЕЙЕРАМ

**Аннотация.** Одним из основных элементов безопасной эксплуатации гравитационных роликовых конвейеров, применяемых в стеллажах для паллет, является тормозной ролик. Наиболее перспективной конструкцией является тормозной ролик магнитного (вихретокового) типа. Основным параметром, определяющим тормозные функции тормозного магнитного ролика, а значит и скорость движения паллеты по гравитационному роликовому конвейеру является коэффициент магнитной вязкости. Для обоснованного выбора конструктивных параметров вихретокового тормоза магнитного тормозного ролика проведены экспериментальные исследования по определению коэффициента магнитной вязкости. Установлено, что коэффициент магнитной вязкости уменьшается с увеличением воздушного зазора между проводящим телом и постоянными магнитами, причем эта зависимость имеет степенной характер; уменьшается на 10...25% при увеличении частоты вращения проводящего тела; не зависит от изменения расстояния между центрами проводящего тела и постоянного магнита; уменьшается при появлении краевого эффекта в соответствии с воздушным зазором.

**Ключевые слова:** паллета, гравитационный роликовый конвейер, магнитный (вихретоковый) тормозной ролик, коэффициент магнитной вязкости, проводящее тело, постоянный магнит, вихретоковый тормоз.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сафронов Е.В., Шарифуллин И.А., Носко А.Л. Устройства безопасной эксплуатации гравитационных роликовых конвейеров паллетного типа: монография / Е.В. Сафронов, И.А. Шарифуллин, А.Л. Носко. – М.: Университетская книга, Редакционно-издательский дом РосНОУ, 2018 – 72 с., ил.
2. Носко А.Л., Сафронов Е.В. Методика определения максимально допустимой скорости движения поддона на гравитационном роликовом конвейере // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2017. № 8 (689). С. 33-41.
3. Сафронов Е. В. Анализ конструкций тормозных роликов гравитационных конвейеров для паллет / Наземные транспортно-технологические средства: проектирование, производство, эксплуатация. Материалы I Всероссийской заочной научно-практической конференции. Чита, 2016. С. 53-62.
4. Мартыненко Ю. Г. Движение твердого тела в электрических и магнитных полях. М.: Наука. 1988. 368 с.
5. E. Simeu, D. Georges. Modeling and control of an eddy current brake // Control Engineering Practise, vol. 4, no. 1, pp. 19-26, 1996.
6. Hollowell, Thomas Culver; Kahl, Justin Tyme; Stanczak, Matthew Don; Wang, Yizhou. Eddy Current Brake Design for Operation with Extreme Back-drivable Eddy Current Motor // Mechanical Engineering Undergraduates, 2010.
7. Andrew H. C. Gosline, Vincent Hayward. Eddy Current Brakes for Haptic Interfaces: Design, Identification, and Control // IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, vol. 13, no. 6, pp. 669-677, 2008.
8. Ming Qian, P. Kachroo. Modeling and control of electromagnetic brakes for enhanced braking capabilities for automated highway systems // Proceedings of Conference on Intelligent Transportation Systems, Boston, MA, USA, 1997, pp. 391-396.
9. M.T. Thomson. Permanent Magnet Electrodynamics Brakes Design Principles and Scaling Laws // Online Symposium for Electronics Engineers.
10. Озолин А.Ю. Торможение машин системами с постоянными магнитами [Текст]: дис. канд. техн. наук: 01.02.06 / А.Ю. Озолин. – СПб., 2009. – 134 с.
11. Неодимовые магниты // URL: <https://magnet-prof.ru/index.php/Disk/-/Sterzhen/Neodimovyyiy-magnit-disk-D8x5-mm.-N45/flypage.tpl.html> (дата обращения 16.04.2020).
12. Электропроводность (удельная проводимость) // URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Электропроводность/> (дата обращения: 16.04.2020).
13. Шарифуллин И.А., Сафронов Е.В., Носко А.Л. Разработка конструкции и оценка работоспособности тормозного ролика магнитного типа гравитационных конвейеров для поддонов с грузом // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2019. №4. С. 47-51.
14. Свойства меди // URL: <https://normis.com.ua/cuprum> (дата обращения 17.04.2020).

**Шарифуллин Ильдар Азатович**  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва  
Аспирант кафедры «Подъемно-транспортные системы»  
105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1  
Тел. (499) 263–65–92

**Носко Андрей Леонидович**  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва  
Доктор технических наук, профессор кафедры «Подъемно-транспортные системы»  
105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1  
Тел. (499) 263–65–92



E-mail: formyjob94@mail.ru

E-mail: dr.nosko@mail.ru

**Сафронов Евгений Викторович**

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва

Кандидат технических наук, доцент кафедры

«Подъемно-транспортные системы»

105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

Тел. (499) 263-65-92

E-mail: gen-s@mail.ru

**Кириллов Даниил Вячеславович**

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва

Кандидат технических наук, доцент кафедры

«Плазменные энергетические установки»

105005, г. Москва, Лефортовская наб., д. 1

Тел. (499) 263-63-89

E-mail: kirillovdy@bmstu.ru

I.A. SHARIFULLIN, A.L. NOSKO, E.V. SAFRONOV, D.V. KIRILLOV

## EXPERIMENTAL STUDY OF EDDY CURRENT BRAKING APPLICABLE TO GRAVITY ROLLER CONVEYOR

**Abstract.** One of the main elements of safe operation of gravity conveyors used in gravity racks for pallets is the brake roller. The most promising design is a brake roller of magnetic (eddy current) type. A mathematical model of the process of moving pallets on a magnetic brake roller is developed. The equation of the speed of movement of the pallets on the brake magnetic roller obtained. The main parameter that determines the braking functions of the brake magnetic roller, and therefore the speed of movement of the pallet on the gravity roller conveyor is the coefficient of magnetic viscosity. To make a reasonable choice of the design parameters of the eddy current brake of the magnetic brake roller, experimental studies have been carried out to determine the magnetic viscosity coefficient. It was found that the coefficient of magnetic viscosity decreases with increasing air gap between the conductive body and the permanent magnets, and this dependence has a power-law character; decreases by 10... 25% with increasing speed of the conductive body; independent of changes in the distance between the centers of the conductive body and the permanent magnet; decreases when an edge effect appears in accordance with the air gap.

**Keywords:** pallet, gravity roller conveyor, magnetic (eddy current) brake roller, magnetic viscosity coefficient, conductive body, permanent magnet, eddy current brake.

## BIBLIOGRAPHY

1. Safronov E.V., Sharifullin I.A., Nosko A.L. Ustroystva bezopasnoy ekspluatatsii gravitatsionnykh rolikovykh konveyerov palletnogo tipa: monografiya / E.V. Safronov, I.A. Sharifullin, A.L. Nosko. - M.: Universitetskaya kniga, Redaktsionno-izdatel'skiy dom RosNOU, 2018 - 72 p.
2. Nosko A.L., Safronov E.V. Metodika opredeleniya maksimal'no dopustimoy skorosti dvizheniya poddona na gravitatsionnom rolikovom konveyere / Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroyeniye. 2017. no. 8 (689). pp. 33-41.
3. Safronov E.V. Analiz konstruksiy tormoznykh rolikov gravitatsionnykh konveyerov dlya pallet / Nazemnyye transportno-tekhnologicheskiye sredstva: proyektirovaniye, proizvodstvo, ekspluatatsiya. Materialy I Vserossiyskoy zaachnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Chita, 2016. pp. 53-62.
4. Martynenko U. G. Dvizheniye tverdogo tela v elektricheskikh i magnitnykh polyakh. M.: Nauka. 1988. 368 p.
5. E. Simeu, D. Georges. Modeling and control of an eddy current brake // Control Engineering Practise, vol. 4, no. 1, pp. 19-26, 1996.
6. Hollowell, Thomas Culver; Kahl, Justin Tyme; Stanczak, Matthew Don; Wang, Yizhou. Eddy Current Brake Design for Operation with Extreme Back-drivable Eddy Current Motor // Mechanical Engineering Undergraduates, 2010.
7. Andrew H. C. Gosline, Vincent Hayward. Eddy Current Brakes for Haptic Interfaces: Design, Identification, and Control // IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, vol. 13, no. 6, pp. 669-677, 2008.
8. Ming Qian, P. Kachroo. Modeling and control of electromagnetic brakes for enhanced braking capabilities for automated highway systems // Proceedings of Conference on Intelligent Transportation Systems, Boston, MA, USA, 1997, pp. 391-396.
9. M.T. Thomson. Permanent Magnet Electrodynamics Brakes Design Principles and Scaling Laws // Online Symposium for Electronics Engineers.
10. Ozolin A.U. Tormozheniye mashin sistemami s postoyannymi magnitami [Tekst]: dis. kand. tekhn. nauk: 01.02.06 / A.U. Ozolin. - SPb., 2009. - 134 p.
11. Neodimovyie magnity // URL: <https://magnet-prof.ru/index.php/Disk/-/Sterzhen/Neodimovyyi-magnit-disk-D8x5-mm.-N45/flypage.tpl.html> (data obrashcheniya 16.04.2020).
12. Elektroprovodnost' (udel'naya provodimost') // URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Elektroprovodnost'> (data obrashcheniya: 16.04.2020).
13. Sharifullin I.A., Safronov E.V., Nosko A.L. Razrabotka konstruksii i otsenka rabotosposobnosti tormoznogo rolika magnitnogo tipa gravitatsionnykh konveyerov dlya poddonov s Грузом // Transport: nauka, tekhnika, upravleniye. Nauchnyy informatsionnyy sbornik. 2019. no. 4. pp. 47-51.
14. Svoystva medi // URL: <https://normis.com.ua/cuprum> (data obrashcheniya 17.04.2020).

**Sharifullin Ildar Azatovich**

Bauman Moscow State Technical University, Moscow

Postgraduate of the Department «Lifting and transport systems»

105005, Moscow, 2-ya Baumanskaya ul., 5, str. 1

**Nosko Andrey Leonidovich**

Bauman Moscow State Technical University, Moscow

D.Sc. of Engineering Sciences, Professor of the Department «Lifting and Transport Systems»

105005, Moscow, 2-ya Baumanskaya ul., 5, str. 1

Ph.: (499) 263–65–92  
E-mail: formyjob94@mail.ru

**Safronov Evgeniy Viktorovich**  
Bauman Moscow State Technical University, Moscow  
Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor of  
the Department «Lifting and Transport Systems»  
105005, Moscow, 2-ya Baumanskaya ul., 5, str. 1  
Ph.: (499) 263–65–92  
E-mail: gen-s@mail.ru

Ph.: (499) 263–65–92  
E-mail: dr.nosko@mail.ru

**Kirillov Daniil Vyacheslavovich**  
Bauman Moscow State Technical University, Moscow  
Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor of  
the Department «Plasma Power Plants»  
105005, Moscow, Lefortovskaya nab., d. 1  
Ph.: (499) 263–63–89  
E-mail: kirillovdv@bmstu.ru

УДК 62-242.2

DOI: 10.33979/2073-7408-2020-342-4-1-117-121

А.Р. АБЛАЕВ

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ С ВОССТАНОВЛЕННЫМИ ГОЛОВКАМИ ПОРШНЕЙ

**Аннотация.** В работе рассмотрены рекомендации по техническому обслуживанию для повышения эффективности эксплуатации судовых дизелей с восстановленными головками поршней, необходимость совершенствования способов и критериев ремонта головок поршней малооборотных дизелей для получения деталей с эксплуатационными свойствами, максимально эффективными в современных условиях функционирования.

**Ключевые слова:** судовые дизели с восстановленными головками поршней, критерии ремонта, износ торцов канавок, цилиндро-поршневая группа, адгезионное изнашивание, износ втулок цилиндров и уплотнительных колец, детергентные и нейтрализующие свойства масел.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Слободянюк Д.И., Слободянюк И.М., Молодцов Н.С. Физико-технологические предпосылки восстановления работоспособности цилиндро-поршневой группы судовых малооборотных дизелей // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2008. – № 21. – Одесса: ОНМА. – С. 69-77.
2. Слободянюк И.М. Эксплуатация головок поршней малооборотных дизелей, восстановленных цементированными кольцами, упрочненными трением // Судостроение. – 2003. – № 9-10. – С. 47.
3. Возницкий И.В. Практические рекомендации по смазке судовых дизелей. / Возницкий И.В. – СПб., 2005. – 29-58 с.
4. Слободянюк И.М. Повышение надежности восстановленных головок поршней судовых дизелей путем повышения их эксплуатационных свойств при ремонте / Слободянюк И.М., Молодцов Н.С. // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2005. – № 14. – Одесса: ОНМА. – С. 127-133.

**Аблаев Алим Рустемович**  
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь  
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Энергоустановок морских судов и сооружений»  
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33  
Тел. 8978-810-05-64  
E-mail: ARAblaev@sevsu.ru

---

A.R. ABLAEV

## ANALYSIS OF METHODS FOR INCREASE OF EFFICIENCY OF SHIP DIESELS OPERATION WITH RESTORED PISTONS HEADS

**Abstract.** Recommendations on maintenance for increase of efficiency of ship diesels operation with restored pistons heads, necessity of perfecting of the ways and the criteria of repair of heads of pistons of slow-speed engines for receipt of the details with running abilities, maximally effective in modern conditions of functioning are considered in this article.

**Keywords:** ship diesels with restored pistons heads, the criteria of repair, the wear-and-tear of end faces of ditches, cylinder-piston group, adhesive wear process, the wear-and-tear of cartridges of cylinders and sealing rings, detergent and neutralizing properties of oils.

## BIBLIOGRAPHY

1. Slobodynjuk, D.I., Slobodynjuk, I.M., Molodcov, N.S. "Fiziko-tehnologicheskie predposilki vosstanovleniya rabotosposobnosti cilindro-porshnevoy gruppi sudovih malooborotnih dizeley" Sudovie energeticheskie ustanovki 21 (2008): 69-77.
2. Slobodynjuk, I.M. "Exploataciya golovok porshney malooborotnih dizeley, vosstanovlennih cementirovannimi kolcami, uprochnennimi treniem" Sudohodstvo 9-10 (2003): 47 S.
3. Voznickiy, I.V. "Prakticheskie rekomendacii po smazke sudovih dizeley" SPb, 2005: 29-58.
4. Slobodynjuk, I.M., Molodcov, N.S. "Povishenie nadegnosti vosstanovlennih golovok porshney sudovih dizeley putem povisheniya ih exploatacionnih svoistv pri remonte" Sudovie energeticheskie ustanovki 14 (2005): 127-133.

**Ablaev Alim Rustemovich**

Ph.D., Associate Professor

Sevastopol State University

299053, Sevastopol, Universitetskaya Str. 33

Ph.: 8978-810-05-64

E-mail: ARAblaev@sevsu.ru

УДК 629.12.03:073

DOI: 10.33979/2073-7408-2020-342-4-1-122-125

И.Н. МОРЕВА, Е.В. ХРОМОВ

## ГРЕБНОЙ КОМПЛЕКС СУДНА. ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПТИМАЛЬНОГО ГРЕБНОГО ДВИГАТЕЛЯ

**Аннотация.** Рассмотрена методика расчета в первом приближении гребного комплекса судна, представлена оценка характеристик оптимального гребного двигателя.

**Ключевые слова:** гребной винт, судно, мощность на гребном валу, скорость хода, главная энергетическая установка, частота вращения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник по теории корабля: в 3 т. / ред. Я.И. Войткунский. – Л.: Судостроение, 1985. Т. 1: Гидромеханика. Сопротивление движению судов. Судовые движители. – 1985. – 764 с.
2. Правила классификации и постройки морских судов. – Санкт-Петербург: Издательство Российского морского регистра судоходства, 2015 – Т. 1. – 2015. – 505 с.
3. Правила классификации и постройки морских судов. Часть II. Корпус. – Санкт-Петербург: Издательство Российского морского регистра судоходства. – 2019. – 278 с.
4. Судовые движители: учеб. для студ. вузов, обуч. по спец. «Судостроение и судоремонт» / Л.С. Артюшков, А.Ш. Ачкинадзе, А.А. Русецкий; ред. А. А. Русецкий. – Л.: Судостроение, 1988. – 295 с.
5. Кацман Ф.М. Эксплуатация пропульсивного комплекса морского судна: М. Транспорт, 1987. – 156 с.

**Морева Ирина Николаевна**

ФГАОУ ВО «Севастопольский  
государственный университет»,

г. Севастополь

кандидат технических наук, доцент кафедры

«Океанотехника и кораблестроение»

299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33

Тел.: +78692243561

E-mail: i.n.moreva@mail.ru

**Хромов Егор Владимирович**

ФГАОУ ВО «Севастопольский  
государственный университет»,

г. Севастополь

кандидат технических наук, доцент кафедры

«Энергоустановки морских судов и сооружений»

299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33

Тел.: +78692243561

E-mail: ev.khromov@mail.ru

I.N. MOREVA, E.V. KHROMOV

## ROWING COMPLEX SHIPS. DESCRIPTIONS OF OPTIMAL ROWING ENGINE

**Abstract.** Methodology of calculation is considered in the first approaching of rowing complex of ship, the estimation of descriptions of optimal rowing engine is presented.

**Keywords:** screw-propeller, ship, power on a rowing billow, speed of motion, main power plant, frequency of rotation.

## BIBLIOGRAPHY

1. Reference on the theory of the ship: in 3 t./ed. J.I. Voitkunsky. – L.: Shipbuilding, 1985. Volume. 1: Hydromechanics. Resistance to ship traffic. Ship movers. – 1985. – 764 p.
2. Rules for the classification and construction of ships. - St. Petersburg: Publishing House of the Russian Maritime Register of Shipping, 2015 -Volume. 1. – 2015. – 505 p.
3. Rules of classification and building of marine ships. Part of II. Corps. it is Saint Petersburg: publishing House of the Russian marine register of navigation. – 2019. – 278 p.
4. Ship movers: textbook for students student on speciality «Shipbuilding and ship is repair» / L.S. Artyushkov, A.Sh. Achkinadze, A.A. Rusetskiy; ed. A.A. Rusetskiy. – L.: Shipbuilding, 1988. – 295 p.
5. Katsman F.M. Exploitation of the rowing complex of a sea vessel: M. Transport, 1987. – 156 p.

**Moreva Irina Nikolaevna**

Sevastopol State University,  
PhD, Associate Professor of the Department «Ocean engineering and shipbuilding»,  
Sevastopol, Universitetskaya, 33  
Tel. +78692243561  
E-mail: i.n.moreva@mail.ru

**Khromov Egor Vladimirovich**

Sevastopol State University,  
PhD, Associate Professor of the Department «Ship power plants and structures»,  
Sevastopol, Universitetskaya, 33  
Tel. +78692243561  
E-mail: ev.khromov@mail.ru

УДК 629.12

DOI: 10.33979/2073-7408-2020-342-4-1-126-133

К.А. КОВАЛЬ, А.Л. СУХОРОУКОВ

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ГАСИТЕЛЯ ВИБРАЦИЙ ВЫДВИЖНЫХ УСТРОЙСТВ

**Аннотация.** На основе численных методов динамики вязкой жидкости определены силы, действующие на обтекатель выдвижного устройства, оснащенного гасителем вибрации гидродинамического типа. Показано, что применение такого гасителя в конструкции выдвижного устройства позволяет значительно снизить амплитуды действующих гидродинамических сил. Как следствие, наблюдается улучшение вибропрочностных характеристик выдвижного устройства, что подтверждается результатами расчета его поперечных колебаний.

**Ключевые слова:** численные методы динамики вязкой жидкости, выдвижные устройства, гаситель вибрации, гидродинамические характеристики.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белов, И.А. Обтекание цилиндра при наличии струи в следе / И.А. Белов, Н.А. Кудрявцев // Ученые записки ЦАГИ. 1983. Т. 14, № 1, С. 98 – 102.
2. Исаев, С.А. Подавление дорожки Кармана и снижение лобового сопротивления кругового цилиндра с двумя вихревыми ячейками / С.А. Исаев, П.А. Баранов, Н.И. Ватин, Ю.В. Жукова, А.Г. Судаков // Письма в ЖТФ. 2014. Т. 40, вып. 15, С. 50 – 57.
3. Коваль, К.А. Верификация численного метода расчета гидроупругих колебаний конструкций в потоке жидкости / К.А. Коваль, А.Л. Сухоруков // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2018. № 4-2 (330), С. 24- 37.
4. Девнин, С.И. Аэрогидродинамика плохообтекаемых конструкций. Справочник / С.И. Девнин. – Л.: Судостроение, 1983. – 331 с.
5. Сухоруков, А.Л. Срывной флаттер как одна из причин возникновения вибраций подъемно-мачтовых устройств / А.Л. Сухоруков // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2014. Т. 7, № 3, С. 42 – 66
6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ Программа для выполнения расчетов гидроупругих характеристик подъемно-мачтовых устройств / А.Л. Сухоруков, А.Ю. Каверинский, К.А. Коваль – № 2018613264; заявл. 22.01.2018; зарег. 06.03.2018. – 1 С.

**Коваль Кирилл Алексеевич**

АО «ЦКБ МТ «Рубин», г. Санкт-Петербург  
Инженер  
191119, г. Санкт-Петербург, ул. Марата, 90  
Тел. (812) 494-17-08  
E-mail: koval.kir2014@yandex.ru

**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

---

К.А. KOVAL, A.L. SUKHORUKOV

## THE ESTIMATION OF EFFICIENCY OF HYDRODYNAMIC VIBRATION DAMPER FOR TELESCOPIC GEARS

**Abstract.** Forces that affects on cowl of telescopic gears with hydrodynamic vibration damper were calculated using computational fluid dynamics. Using this damper as part of telescopic gear's construction provides significant reduction of active forces amplitudes. Consequently, improvement of vibration and strength characteristics of the telescopic gears is observed which is confirmed with the result of the calculation of its transverse oscillations.

**Keywords:** computational fluid dynamics, telescopic gears, vibration damper, hydrodynamic characteristics.

### BIBLIOGRAPHY

1. Belov, I.A. Obtekanie cilindra pri nalichii strui v slede / I.A. Belov, N.A. Kudryavtsev // Utchenye zapiski TSAGI. 1983. T. 14, № 1, S. 98 – 102.
2. Isaev, S.A. Podavlenie dorozhki Karmana i snizhenie lobovogo soprotivleniya krugovogo cilindra s dvumya vihrevymi yacheykami/ S.A. Isaev, P.A. Baranov, N.I. Vatin, Yu.V. Zhukova, A.G. Sudakov // Pisma v ZhTF. 2014. T. 40, vyp. 15, S. 50 – 57.
3. Koval, K.A. Verifikaciya chislennogo metoda rascheta gidrouprugih kolebaniy konstrukciy v potoke zhidkosti / K.A. Koval, A.L. Sukhorukov // Fundamentalnye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. 2018. № 4–2 (330), S. 24 – 37.
4. Devnin, S.I. Aerodinamika plohoobtekaemykh konstrukciy. Spravochnik. / S.I. Devnin. – L.: Sudostroenie, 1983. – 331 s.
5. Sukhorukov, A.L. Sryvnoy flutter kak odna iz prichin vozniknoveniya vibratsiy podyemno-machtovykh ustroystv / A.L. Sukhorukov // Fundamentalnaya i prikladnaya gidrofizika. 2014. T. 7, № 3, S. 42 – 66.
6. Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM Programma dlya vypolneniya raschetov gidrouprugih harakteristik podyemno-machtovykh ustroystv / A.L. Sukhorukov, A.Yu.Kaverinskiy, K.A. Koval – № 2018613264; zayavl. 22.01.2018; zareg. 06.03.2018. – 1 S.

**Koval Kirill Alekseevich**

Central Design Bureau for Marine Engineering  
“Rubin”, St. Petersburg  
Engineer  
191119, St. Petersburg, 90 Marata str.  
Ph.: (812) 494–17–08  
E-mail: koval.kir2014@yandex.ru

**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 539.3

DOI: 10.33979/2073-7408-2020-342-4-1-134-138

В.В. ЛЕОНТЬЕВ

## КОНЕЧНОЭЛЕМЕНТНЫЙ РАСЧЕТ ЗАКЛЕПОЧНОГО СОЕДИНЕНИЯ, ПОЛУЧЕННОГО ПРИ АЗОТНОМ ОХЛАЖДЕНИИ ЗАКЛЕПКИ

**Аннотация.** Рассмотрен способ создания заклепочного соединения с помощью азотного охлаждения заклепок. В цилиндрическое отверстие в пластинах, находящихся при комнатной температуре, помещается охлажденная до температуры  $-196^{\circ}\text{C}$  заклепка. Нагреваясь до комнатной температуры, заклепка подвергается тепловому всестороннему расширению и создает посадку с натягом. Методом конечных элементов решена контактная теплопрочностная задача для такого соединения в программных комплексах COMSOL MULTIPHYSICS и APM Winmachine. Задача решается в объемной постановке. На первом этапе находится распределение температуры в системе заклепка-пластина. Полученное температурное поле используется как параметр на втором этапе при решении прочностной задачи. Получены поля остаточных напряжений в пластине и заклепке. Показано, что в небольшой части одной из соединяемых пластин возникают пластические деформации. Даны рекомендации по расчету прочности таких соединений.

**Ключевые слова:** метод конечных элементов, заклепочное соединение, теплопрочностная контактная задача, напряжение, деформация.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ткачева А. В., Соснин А. А. Математическое моделирование горячей посадки заклепки в отверстия // Фундаментальная механика в качестве основы совершенствования промышленных технологий, технических

устройств и конструкций: материалы II Дальневосточной школы-семинара, Комсомольск-на-Амуре, 11-15 сент. 2017 г. / редкол.: А. И. Евстигнеев (отв. ред.) и др. Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КнАГТУ», 2017. С. 79–81.

2. Дац Е. П., Ткачева А. В. Технологические температурные напряжения в процессах горячей посадки цилиндрических тел при учете пластических течений // ПМТФ. 2016. Т. 57. №3. С. 208–216.

3. Патент 1718440 СССР, МПК В 21 J 15/02. Способ клепки заклепками с компенсатором / В. Д. Аксютин, Л. Г. Гладышева, Д. В. Плауцин; заявитель и патентообладатель Самарский филиал науч.-исслед. ин-та технологии и организации производства двигателей. № 4788888/27; заявл. 06.02.1990; опубл. 30.10.1994. 3 с.

4. Буренин А. А., Ткачева А. В., Щербатюк Г. А. К расчету неустановившихся температурных напряжений в упругопластических телах // Вычислительная механика сплошных сред. 2017. Т. 10. №5. С. 245–259.

5. Дубенко Е.М., Потянихин Д.А. Расчет напряженно-деформированного состояния заклепочного соединения, полученного с помощью азотного охлаждения заклепки // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований. Материалы II Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. 2019. С. 76-79.

6. Леонтьев В.В., Кондратова Е.В., Коломийченко В.П. Исследование напряженного состояния заклепочного соединения методом конечных элементов // Строительные материалы и изделия. 2019. Т.2. №1. С.32-36.

7. Гузенков П.Г. Детали машин: Учеб. для студ. высш. техн. учеб. заведений.- 5-е изд., перераб. - М.: Высш. шк., 1991. - 383 с.

8. Гулия, Н.В. Детали машин [Электронный ресурс]: учебник / Н.В. Гулия, В.Г. Клоков, С.А. Юрков. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2013. — 416 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/5705>

9. Рукодельцев, А.С. Детали машин [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.С. Рукодельцев, И.В. Никитаев, О.В. Сидорова. — Электрон. дан. — Нижний Новгород: ВГУВТ, 2012. — 204 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/60797>

10. Чемезов Д.А., Баякина А.В. Состояние нагруженных деталей заклепочного соединения // Theoretical & Applied Science. 2015. № 9 (29). С. 17-20

**Леонтьев Вячеслав Владимирович**

ФГАОУ ВО Севастопольский Государственный

Университет, г. Севастополь

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры

«Техническая механика и машиноведение»

299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33

Тел. 8(978) 821-18-34

E-mail: [vvleontyev@sevsu.ru](mailto:vvleontyev@sevsu.ru)

---

V.V. LEONTYEV

## FINITE ELEMENT CALCULATION OF THE RIVET JOINT OBTAINED BY NITROGEN COOLING OF THE RIVET

**Abstract.** *A method for creating a rivet connection using nitrogen cooling of rivets is considered. A rivet, cooled to a temperature of -196 C, is placed in a cylindrical hole in the plates at room temperature. When heated to room temperature, the rivet undergoes a thermal all-round expansion and creates a tight fit. The finite element method solves the contact thermal-stress problem for such a connection in the COMSOL MULTIPHYSICS and APM Winmachine software complexes. The problem is solved in a three-dimensional statement. The first stage is the temperature distribution in the rivet-plate system. The resulting temperature field is used as a parameter at the second stage when solving the stress problem. The fields of residual stresses in the plate and rivet are obtained. It is shown that plastic deformations occur in a small part of one of the connected plates. Recommendations for calculating the strength of such compounds are given.*

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

## BIBLIOGRAPHY

1. Tkacheva A. V., Sosnin A. A. Matematicheskoe modelirovaniye goryachej posadki zaklepki v otverstiya // Fundamentalnaya mekhanika v kachestve osnovy sovershenstvovaniya promyshlennykh tekhnologiy, tekhnicheskikh ustroystv i konstrukcij: materialy II Dalnevostochnoj shkoly-seminara, Komsomolsk-na-Amure, 11-15 sent. 2017 g. / redkol.: A. I. Evstigneev (otv. red.) i dr. Komsomolsk-na-Amure: FGBOU VO «KnAGTU», 2017. S. 79–81.

2. Dac E. P., Tkacheva A. V. Tekhnologicheskie temperaturnye napryazheniya v processah goryachej posadki cilindricheskikh tel pri uchete plasticheskikh techenij // PMTF. 2016. T. 57. №3. С. 208–216.

3. Patent 1718440 SSSR, MPK B 21 J 15/02. Sposob kleпки zaklepkami s kompensatorom / V. D. Aksyutin, L. G. Gladysheva, D. V. Plaucin; zayavitel i patentoobladatel Samarskij filial nauch.-issled. in-ta tekhnologii i organizacii proizvodstva dvigatelej. № 478888/27; zayavl. 06.02.1990; opubl. 30.10.1994. 3 s.
4. Burenin A. A., Tkacheva A. V., SHCHerbatyuk G. A. K raschetu neustanovivshihsysa temperaturnyh napryazhenij v uprugoplasticheskikh telah // Vychislitel'naya mekhanika sploshnyh sred. 2017. T. 10. №5. С. 245–259.
5. Dubenko E.M., Potyanihin D.A. Raschet napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya zaklepochnogo soedineniya, poluchennogo s pomoshchyu azotnogo ohlazhdeniya zakleпки // Molodezh i nauka: aktualnye problemy fundamentalnyh i prikladnyh issledovaniy. Materialy II Vserossiyskoj nacionalnoj nauchnoj konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh. 2019. S. 76-79.
6. Leontev V.V., Kondratova E.V., Kolomijchenko V.P. Issledovanie napryazhennogo sostoyaniya zaklepochnogo soedineniya metodom konechnyh elementov // Stroitelnye materialy i izdeliya. 2019. T.2. №1. S.32-36.
7. Guzenkov P.G. Detali mashin: Ucheb. dlya stud. vyssh. tekhn. ucheb. zavedenij. - 5-e izd., pererab. - M.: Vyssh. shk., 1991. - 383 s.
8. Gulia, N.V. Detali mashin [Elektronnyj resurs]: uchebnik / N.V. Gulia, V.G. Klovov, S.A. YUrkov. — Elektron. dan. — Sankt-Peterburg: Lan, 2013. — 416 s. — Rezhim dostupa: <https://e.lanbook.com/book/5705>
9. Rukodelcev, A.S. Detali mashin [Elektronnyj resurs]: uchebnoe posobie / A.S. Rukodelcev, I.V. Nikitaev, O.V. Sidorova. — Elektron. dan. — Nizhnij Novgorod: VGUVT, 2012. — 204 s. — Rezhim dostupa: <https://e.lanbook.com/book/60797>
10. CHemezov D.A., Bayakina A.V. Sostoyanie nagruzhennyh detalej zaklepochnogo soedineniya // Theoretical & Applied Science. 2015. № 9 (29). S. 17-20

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

УДК 617.582

DOI: 10.33979/2073-7408-2020-342-4-1-139-143

В.И. ПАХАЛЮК, А.М. ПОЛЯКОВ

## УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ КОНСТРУКЦИЯ ГОЛОВКИ ТОТАЛЬНОГО ЭНДОПРОТЕЗА ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА

**Аннотация.** Впервые разработана конструкция модульной керамической головки тотального эндопротеза тазобедренного сустава (ТЭТБС), обладающая свойствами металла в соединении с шейкой ножки и свойствами керамики на несущей поверхности пары трения. Это обеспечивается путем создания низкозатратного, малотоксичного, прочного соединения алюмооксидной или циркониевой керамики и титанового сплава с получением паяного соединения, работоспособного в синовиальной жидкости человека. С помощью конечно-элементного анализа выполнена качественная и количественная оценка прочности и жесткости предложенной конструкции головки. Представлено также изображение готовой спаянной головки из алюмооксидной керамики с втулкой из титанового сплава ВТ1-0.

**Ключевые слова:** тотальный эндопротез тазобедренного сустава; керамическая пара трения; модульная керамическая головка; пайка

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Poliakov A. Current Trends in Improving of Artificial Joints Design and Technologies for Their Arthroplasty / A. Poliakov, V. Pakhaliuk, V.L. Popov // Frontiers in Mechanical Engineering. – 2020. – Vol. 6. – Art. 4. – 16 p.
2. Патент 95382 UA, МПК А61F 2/32. Головка эндопротеза тазобедренного сустава / В.В. Волков, А.В. Коваленко, М.И. Калинин, В.И. Пахалюк, А.М. Поляков, А.Н. Брехов. - № 201004198; Заявл. 12.04.2010; Опубл. 25.07.2011. Бюл. №14.
3. Patent EP 0406040 A2, МПК А61F 2/36. Prosthesis ball joint / J.C. Bouvet. - № 90401522.9; Заявл. 06.06.1990; Опубл. 02.01.1991. Бюл. 91/01.

**Пахалюк Владимир Иванович**  
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный  
университет»,  
канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой  
«Техническая механика и машиноведение»,

**Поляков Александр Михайлович**  
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный  
университет»,  
канд. техн. наук, доцент кафедры  
«Техническая механика и машиноведение»,

ул. Университетская 33, г. Севастополь, 299053  
Тел. +7 978 764 06 00  
E-mail: pahaluk@sevsu.ru

ул. Университетская 33, г. Севастополь, 299053  
Тел. +7 978 703 88 26  
E-mail: a.m.poljakov@sevsu.ru

V.I. PAKHALIUK, A.M. POLIAKOV

## IMPROVED DESIGN OF A HEAD OF A TOTAL HIP REPLACEMENT

**Abstract.** For the first time, the design of a modular ceramic head of a total hip replacement (THR) has been developed, which has the properties of a metal in join with the stem neck and the properties of a ceramic on the bearing surface of a friction couple. This is achieved by creating a low-cost, low-toxic, strong connection of alumina or zirconium ceramics and a titanium alloy to obtain a soldered joint that is efficient in human synovial fluid. With the help of finite element analysis, a qualitative and quantitative assessment of the strength and rigidity of the proposed head design has been made. Also shown is an image of a finished soldered head made of alumina ceramic with a sleeve made of titanium alloy VT1-0.

**Keywords:** total hip replacement; ceramic friction couple; modular ceramic head; soldering.

## BIBLIOGRAPHY

1. Poliakov A. Current Trends in Improving of Artificial Joints Design and Technologies for Their Arthroplasty / A. Poliakov, V. Pakhaliuk, V.L. Popov // Frontiers in Mechanical Engineering. – 2020. – Vol. 6. – Art. 4. – 16 p.
2. Patent 95382 UA, MPK A61F 2/32. Golovka endoproteza tazobedrennogo sustava / V.V. Volkov, A.V. Kovalenko, M.I. Kalinin, V.I. Pakhaliuk, A.M. Poliakov, A.N. Brekhov. - № 201004198; Zayavl. 12.04.2010; Opubl. 25.07.2011. Byul. №14.
3. Patent EP 0406040 A2, MPK A61F 2/36. Prosthesis ball joint / J.C. Bouvet. - № 90401522.9; Zayavl. 06.06.1990; Opubl. 02.01.1991. Byul. 91/01.

**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

**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

УДК 517.9/519.3(075.8)

DOI: 10.33979/2073-7408-2020-342-4-1-144-149

А.И. БОХОНСКИЙ

## ПОИСК ЭКСТРЕМУМА ФУНКЦИОНАЛА

**Аннотация.** На примерах иллюстрируется разработанная процедура проверки достаточного условия экстремума функционала (построения его математического образа); в задаче вариационного исчисления на условный экстремум оценена роль множителя Лагранжа и построена поверхность функционала по параметрам вариаций допустимых функций линейного нормированного пространства.

**Ключевые слова:** функционал, условия экстремума функционала, графический образ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Спасский Р.А. Классическое вариационное исчисление и вариационные принципы: Учебное пособие/ Р.А. Спасский. – Севастополь: СевНТУ, 2004. – 176с.
2. Пантелеев А.В. Методы оптимизации в примерах и задачах/А.В. Пантелеев, Т.А. Летова. – М.: Высш. шк., 2002. – 544 с.
3. Теория автоматического управления. Ч.II. Теория нелинейных и специальных систем автоматического управления /Под.ред. А.А. Воронова. – М.:Высш.шк., 1977. – 288с.
4. Бохонский А.И. Восстановление функционала по функции/А.И. Бохонский, Л.В. Барашова. – Прикладные проблемы математики и механики. XVII межд. науч.-техн. конф. " Прикладные задачи математики и механики". – Севастополь. – Изд-во СевНТУ, 2009. – С. 266 – 268.



5. Бохонский А.И. Поиск экстремума функционала в системе аналитических вычислений/ А.И. Бохонский, А.В. Исаев. – Збірник наукових праць. Вип. 1(11). – Севастополь: Севастопольський ВМІ ім. П.С. Нахімова, 2007. – С. 9 – 14.
6. Бохонский, А.И. Реверсионный принцип оптимальности. Монография. – М. Вузовский учебник. ИНФРА. – М., 2016. – 174с.
7. Бохонский, А.И. Энергоемкость управления перемещением объектов. Фундаментальные основы механики: Материалы международной научно-практической конференции. Новокузнецк: НИЦ МС, 2017. – №2. – 143с.
8. Bokhonsky, A.I. Modeling and analysis of elastic systems in motion/ Gliwice. Wydawnictwo Politechniki, 2011. – 171p.
9. Aleksandr I. Bokhonsky, Mikhail M. Maistrishin and Aleksandr I. Ryzhkov. Experimental test of the optimal rotation for the finite stiffness cantilever rod.- MATEC Web of Conferences. Published online: 07 November, 2017.<https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/abs/2017/43/contents/contents.html>
9. Бохонский А.И. Актуальные задачи вариационного исчисления. Монография. Palmarium Academic Publishing, 2013. – 77с.

**Бохонский Александр Иванович**

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь

Профессор, доктор технических наук, профессор кафедры «Техническая механика и машиноведение»

299053, г. Севастополь г, ул. Университетская 33

Тел. 8 (978) 7393968

E-mail: bohon.alex@mail.ru

---

A.I. BOKHONSKY

## SEARCH EXTREME FUNCTIONAL

**Abstract.** *Examples illustrate the developed procedure for checking the sufficient condition for the extremum of a functional (construction of its mathematical image); in the problem of the calculus of variations on a conditional extremum, the role of the Lagrange multiplier is estimated and the surface of the functional is constructed in terms of the parameters of variations of admissible functions of a normalized linear space.*

**Keywords:** *functional, conditions for the extremum of the functional, graphic image.*

## BIBLIOGRAPHY

1. Spassky R.A. Classical calculus of variations and principles of variation: Textbook / R.A. Spassky. – Sevastopol: SevNTU, 2004. – 176p.
2. Panteleev A.V. Optimization methods in examples and tasks / A.V. Panteleev, T.A. Letova. □М.: Higher. shk., 2002. – 544 p.
3. Theory of automatic control. Part II. Theory of nonlinear and special automatic control systems / Pod. ed. A.A. Voronov. – М.: Higher. shk., 1977. – 288 p.
4. Bohonskiy A.I. Functional restoration by function / A.I. Bokhonsky, L.V. Barashova, Applied Problems of Mathematics and Mechanics. XVII int. scientific and technical conf. "Applied problems of mathematics and mechanics". - Sevastopol. Publishing house SevNTU, 2009 – P. 266-268.
5. Bokhonskiy A.I. Search for an extremum of a functional in a system of analytical calculations / A.I. Bokhonsky, A.V. Isaev, Zbirnik of Science Practices. Vip. 1 (11). – Sevastopol: Sevastopol VMI im. P.S. Nakhimova, 2007, pp. 9-14.
5. Bokhonskiy A.I. Search for an extremum of a functional in a system of analytical calculations / A.I. Bokhonsky, A.V. Isaev, Zbirnik of Science Practices. Vip. 1 (11). – Sevastopol: Sevastopol VMI im. P.S. Nakhimova, 2007, pp. 9-14.
6. Bokhonsky, A.I. Reverse Optimality Principle. Monograph. - M. Vuzovsky textbook. INFRA. – М., 2016. – 174с.
7. Bokhonsky, A.I. Energy intensity of object movement control. Fundamental foundations of mechanics: Materials of the international scientific-practical conference. Novokuznetsk: SRC MS, 2017. – No. 2. – 143p.
8. Bokhonsky, A.I. Modeling and analysis of elastic systems in motion / Gliwice. Wydawnictwo Politechniki, 2011. - 171p.
9. Aleksandr I. Bokhonsky, Mikhail M. Maistrishin and Aleksandr I. Ryzhkov. Experimental test of the optimal rotation for the finite stiffness cantilever rod - MATEC Web of Conferences. Published online: 07 November, 2017.<https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/abs/2017/43/contents/contents.html>
9. Bokhonsky A.I. Actual problems of the calculus of variations. Monograph. Palmarium Academic Publishing, 2013. – 77s.

**Bokhonsky Alexander Ivanovich**

FGAOU VO "Sevastopol State University", the city of Sevastopol

Professor, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of "Technical Mechanics and Engineering Science"

299053, city of Sevastopol, st. University 33

Tel. 8 (978) 7393968

E-mail: bohon.alex@mail.ru

УДК 621.3.019.32

DOI: 10.33979/2073-7408-2020-342-4-1-150-157

Е.В. ГЕОРГИЕВСКАЯ

## ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА РАННИХ СТАДИЯХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

**Аннотация.** Диктуемая экономическими требованиями минимизация стоимости изготовления и дальнейшего обслуживания энергетического оборудования приводит к снижению металлоемкости, повышению нагруженности его узлов и компонентов, увеличению назначенного срока службы и межремонтных периодов, сокращению объемов контроля состояния металла. При этом проектные требования к основным показателям надежности все время ужесточаются на фоне растущих запросов по обеспечению необходимого уровня промышленной безопасности.

Вопрос обеспечения проектных показателей надежности остро встает уже на ранних стадиях проектирования, когда еще не приняты окончательные решения по конструктивному и материальному исполнению, режимам эксплуатации, технологиям изготовления и ремонта.

Предложенный в статье расчетный подход учитывает индивидуальные особенности разрабатываемого энергооборудования и позволяет уже на ранних стадиях проектирования оценить его надежность, используя корреляционную зависимость между вероятностью безотказной работы и коэффициентами запаса по прочности, что существенно сокращает сроки и стоимость проектирования.

**Ключевые слова:** надежность, вероятность безотказной работы, коэффициент запаса, отказ.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 27.003-2016 Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности.
2. ГОСТ Р 27.003-2016 Надежность в технике. Управление надежностью. Руководство по заданиям технических требований к надежности.
3. Романов Р.А. Концепция «Технологии надежности» — комплексный подход для обеспечения надежности промышленного оборудования // <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptsiya-tehnologii-nadezhnosti-kompleksnyy-podhod-dlya-obespecheniya-nadezhnosti-promyshlennogo-oborudovaniya/viewer>
4. Георгиевская Е.В. Методические принципы оценки надежности оборудования на ранних стадиях проектирования // Новое в российской электроэнергетике. 2018. № 11. С. 25-36
5. ГОСТ 27.301-95 Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения.
6. ГОСТ Р 27.302-2009 Надежность в технике. Анализ дерева неисправностей.
7. ГОСТ 27.002-2015 Надежность в технике. Термины и определения.
8. РБ-100-15 Руководство по безопасности при использовании атомной энергии. Рекомендации по порядку выполнения анализа надежности систем и элементов атомных станций, важных для безопасности, и их функций.
9. СТ ЦКБА 008-2014 Арматура трубопроводная. Расчет и оценка надежности и безопасности на этапе проектирования.
10. ГОСТ 26291-84 Надежность атомных станций и их оборудования. Общие положения и номенклатура показателей.

**Георгиевская Евгения Викторовна**

ООО «Центр конструкторско-технологических инноваций»

Кандидат физико-математических наук

Директор по науке

Адрес: 197376, Санкт-Петербург,

наб. реки Карповки д. 5 лит. Я

Тел. +7(921)971-64-43

E-mail: sciencedir@cdti.ru

---

E.V. GEORGIEVSKAIA

## RELIABILITY ASSESSMENT OF ENERGY EQUIPMENT AT EARLY STAGE OF DESIGN

**Abstract.** *The minimization of the manufacturing and further maintenance cost of power equipment dictated by economic requirements leads to decreasing in metal consumption, growing in the stress of its assemblies, increasing in the design lifetime and overhaul periods, and decreasing in the amount of metal condition monitoring. At the same time, the design requirements for the reliability parameters are constantly advance due to the growing required level of industrial safety. The issue of ensuring the reliability parameters is acute already at the early stages of design when the final decisions about construction, material performance, operating modes, manufacturing, and repair technologies have not yet been made.*

*The proposed calculation approach takes into account the individual characteristics of the developed power equipment and makes it possible to assess its reliability already in the early stages of design. It uses the correlation between the probability of no-failure operation and safety factors. So, it allows us to significantly reduces design time and cost.*

**Keywords:** *reliability, probability of non-failure operation, safety factors, failure.*

### BIBLIOGRAPHY

1. GOST 27.003-2016 Nadezhnost v tekhnike. Sostav i obshchie pravila zadaniya trebovaniy po nadezhnosti.
2. GOST R 27.003-2016 Nadezhnost v tekhnike. Upravlenie nadezhnostyu. Rukovodstvo po zadaniya tekhnicheskikh trebovaniy k nadezhnosti.
3. Romanov R.A. Konceptiya «Tekhnologii nadezhnosti» — kompleksnyj podhod dlya obespecheniya nadezhnosti promyshlennogo oborudovaniya // <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptsiya-tehnologii-nadezhnosti-kompleksnyy-podhod-dlya-obespecheniya-nadezhnosti-promyshlennogo-oborudovaniya/viewer>
4. Georgievskaja E.V. Metodicheskie principy ocenki nadezhnosti oborudovaniya na rannih stadiyah proektirovaniya // *Novoe v rossijskoj elektroenergetike*. 2018. № 11. S. 25-36
5. GOST 27.301-95 Nadezhnost v tekhnike. Raschet nadezhnosti. Osnovnye polozheniya.
6. GOST R 27.302-2009 Nadezhnost v tekhnike. Analiz dereva neispravnostej.
7. GOST 27.002-2015 Nadezhnost v tekhnike. Terminy i opredeleniya.
8. RB-100-15 Rukovodstvo po bezopasnosti pri ispolzovanii atomnoj energii. Rekomendacii po poryadku vypolneniya analiza nadezhnosti sistem i elementov atomnyh stancij, vaznyh dlya bezopasnosti, i ih funkcij.
9. ST CKBA 008-2014 Armatura truboprovodnaya. Raschet i ocenka nadezhnosti i bezopasnosti na etape proektirovaniya.
10. GOST 26291-84 Nadezhnost atomnyh stancij i ih oborudovaniya. Obshchie polozheniya i nomenklatura pokazatelej.

**Georgievskaja Evgeniia Viktorovna**

Center of design and technological innovation» LLC

Director for Science

Ph.D. (Physical&Mathematical Sciences)

197376, Saint-Petersburg

Nab. reki Karpovki, d. 5, str. YA

Tel. +7(921)971-64-43

E-mail: sciencedir@ceti.ru

УДК 621.757:621.941

DOI: 10.33979/2073-7408-2020-342-4-1-158-163

Е.В. ПАШКОВ, А.А. ВОЖЖОВ

## ТРАНСПОРТНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ НЕЖЕСТКИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПРОИЗВОДСТВА С ГАЗО-МАГНИТНЫМИ НАПРАВЛЯЮЩИМИ ПАЛЕТ

**Аннотация.** *В статье приведены типовые компоновки технологического оборудования для обработки нежестких цилиндрических деталей с использованием эффекта левитации на стадии их транспортирования и загрузки без прямого механического контакта с установочными и направляющими элементами. Экспериментально получены зависимости грузоподъемности аэростатических опор от величины рабочего зазора и давления воздуха изменяющихся в широком диапазоне. Описаны конструкция и принцип работы транспортных устройств с использованием эффекта левитации палет с объектами обработки.*

**Ключевые слова:** нежесткие цилиндрические детали, левитация, газо-магнитные направляющие, сопло, палета, транспортирование.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 22074А украины, МПК В65G25/04, В23Q7/16. Транспортный модуль/ Пашков Е.В., опубл. 30.04.98, Бюл.№2.
2. Баласаньян В.С. Нагрузочные характеристики радиальных цилиндрических аэростатических опор с дискретными источниками // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 1992. – № 6. – С. 60-67.
3. Баласаньян В.С. Подъемная сила циркулярного аэростатического подшипника при произвольном эксцентриситете// Машиноведение. – 1984. – № 6. – С. 78-83.
4. Грудская Е.Г., Карпов В.С. расчет несущей способности радиальных газовых подшипников с дискретным наддувом газа // Машиноведение. 1981. – № 3. - С. 92-97.
5. Нагрузочные характеристики радиальных цилиндрических аэростатических опор с дискретными источниками / Баласаньян В.С.// Пробл. машиностр. и надежн. машин. – 1992. – № 6. – С. 60-67.
6. Пашков Е.В. Технологические основы обработки точением тонкостенных цилиндрических деталей: Учеб.пособие. – Севастополь: Изд-во СевГТУ, 2000. – 425с, ил.
7. Пуш В.Э. Конструирование металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1977. – 390 с.

**Пашков Евгений Валентинович**  
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь  
Доктор технических наук, профессор  
кафедры Приборные системы и автоматизация технологических процессов  
299053, г. Севастополь, Университетская, 33  
Тел. +79797551084  
E-mail: pashkov@sevsu.ru

**Вожжов Андрей Анатольевич**  
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь  
Кандидат технических наук, доцент  
кафедры Приборные системы и автоматизация технологических процессов  
299053, г. Севастополь, Университетская, 33  
Тел. +79788165230  
E-mail: 0506773532@mail.ru

---

E.V. PASHKOV, A.A. VOZHZHOV

## TRANSPORTATION DEVICES FOR NON-RIGID CYLINDRICAL PRODUCTION OBJECTS WITH GAS-MAGNETIC PALLET GUIDES

**Abstract.** The article presents typical layouts of technological equipment for processing non-rigid cylindrical parts using the levitation effect at the stage of their transportation and loading without direct mechanical contact with the mounting and guiding elements. The dependences of the carrying capacity of aerostatic supports on the size of the working gap and air pressure, varying in a wide range, are obtained experimentally. The design and principle of operation of transport devices using the effect of levitation of pallets with objects of processing are described.

**Keywords:** non-rigid cylindrical parts, levitation, gas-magnetic guides, nozzle, pallet, transportation.

## BIBLIOGRAPHY

1. Pat. 22074A ukrainy, MPK B65G25/04, B23Q7/16. Transportnyj modul'/ Pashkov E.V., opubl. 30.04.98, Byul.№2.
2. Balasan'yan V.S. Nagruzochnye harakteristiki radial'nyh cilindricheskih aerostaticheskikh opor s diskretnymi istochnikami // Problemy mashinostroeniya i nadezhnosti mashin. – 1992. - № 6. – S. 60-67.
3. Balasan'yan V.S. Pod"emnaya sila cirkulyarnogo aerostaticheskogo podshipnika pri proizvod'nom ekscentrisitete// Mashinovedenie. – 1984. – № 6. – S. 78-83.
4. Grudskaya E.G., Karpov V.S. raschet nesushchej sposobnosti radialnyh gazovyh podshipnikov s diskretnym nadduvom gaza // Mashinovedenie. 1981. – № 3. - S. 92-97.
5. Nagruzochnye harakteristiki radialnyh cilindricheskih aerostaticheskikh opor s diskretnymi istochnikami / Balasalyan V.S.// Probl. mashinostr. i nadezhn. mashin. – 1992. – № 6. – S. 60-67.
6. Pashkov E.V. Tekhnologicheskie osnovy obrabotki tocheniem tonkostennyh cilindricheskih detalej: Ucheb.posobie. – Sevastopol: Izd-vo SevGTU, 2000. – 425s, il.
7. Push V.E. Konstruirovaniye metallorazhushchih stankov. – M.: Mashinostroeniye, 1977. – 390 s.

**Pashkov Evgeny Valentinovich**

"Sevastopol State University", Sevastopol  
Doctor of Technical Sciences, Professor  
Department of Instrument Systems and Automation of Technological Processes  
299053, Sevastopol, University, 33  
Tel. +79797551084  
E – mail: pashkov@sevsu.ru

**Vozhzhov Andrey Anatolievich**

"Sevastopol State University", Sevastopol  
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor  
Department of Instrument Systems and Automation of Technological Processes  
299053, Sevastopol, University, 33  
Tel. +79788165230  
E – mail: 0506773532@mail.ru

УДК 621.45.018.2

DOI: 10.33979/2073-7408-2020-342-4-1-164-171

А.М. ПОЛЯКОВ, П.К. СОПИН, В.Б. ЛАЗАРЕВ,  
А.И. РЫЖКОВ, М.А. КОЛЕСОВА, П.А. БУГАЕВ

## **КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ МЕХАТРОННОГО СТЕНДА ДЛЯ ПРЕДКЛИНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ РОБОТИЗИРОВАННЫХ ПРОТЕЗОВ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ**

**Аннотация.** В течение ряда последних лет в России были разработаны первые реальные прототипы роботизированных протезов, но они все еще проигрывают конкуренцию лучшим зарубежным конструкциям и практически не востребованы на отечественном рынке ассистивных устройств. Одна из причин, препятствующих этому, состоит в отсутствии в России стендов для сертификационных испытаний роботизированных протезов. Кроме этого, использование таких стендов на стадии проектирования, позволило бы существенно упростить решение задачи синтеза качественных систем управления и не требовало бы участия инвалидов-волонтеров для их испытаний и настройки. Однако в настоящее время аналоги таких испытательных стендов в России отсутствуют. В этой работе описана концептуальная версия мехатронного стенда-симулятора, способного моделировать биоподобные движения нижней конечности человека в различных режимах двигательной активности в условиях переменных параметров окружающей среды с целью настройки параметров, лабораторных и предклинических испытаний конструкций и систем управления активных роботизированных транстибиальных, трансфеморальных протезов и их модулей. Стенд легко может быть модернизирован для проведения сертификационных испытаний роботизированных протезов нижних конечностей.

**Ключевые слова:** трансфеморальный протез; транстибиальный протез; роботизированный протез; система управления протезом; мехатронный испытательный стенд.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Windrich, M. Active lower limb prosthetics: a systematic review of design issues and solutions / M. Windrich, M. Grimmer, O. Christ, S. Rinderknecht, P. Beckerle // BioMedical Engineering OnLine. – 2016. - Vol. 15. – No 3.
2. Zhu, Si-Jun Feasible Human-Spine Motion Simulators Based on Parallel Manipulators / Si-Jun Zhu, Zhen Huang and Ming-Yang Zhao // In Parallel Manipulators. Towards New Applications. Edited by Huapeng Wu. 2008. <https://www.doi.org/10.5772/5444>.
3. Liem, L. HexaSpine: A Parallel Platform for Physical Cervical Spine Simulation - Design and Interval-Based Verification / K. Liem, A. Kecskem // Proc. of 12th IFToMM World Congress, Besancon, June 18-21, 2007.

**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

**Сопин Павел Константинович**

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,  
канд. техн. наук, доцент кафедры  
«Автомобильный транспорт»,  
ул. Университетская 33, г. Севастополь, 299053  
Тел. +7 978 730 09 52  
E– mail: sopin@gmail.com

**Лазарев Виктор Борисович**

Индивидуальный предприниматель  
г. Севастополь,  
Тел. +7 978 751 42 20  
E– mail: lvb69@yandex.ru

**Рыжков Александр Игоревич**

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,  
ассистент кафедры  
«Техническая механика и машиноведение»,

ул. Университетская 33, г. Севастополь, 299053  
Тел. +7 978 847 37 49  
E-mail: ryzhkov2206@mail.ru

**Колесова Марина Александровна**  
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,  
старший преподаватель кафедры  
«Высшая математика»,  
ул. Университетская 33, г. Севастополь, 299053  
Тел. +7 978 045 69 82  
E-mail: MAKolesova@sevsu.ru

**Бугаев Павел Александрович**  
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,  
канд. техн. наук, доцент кафедры  
«Судовождение и безопасность судоходства»,  
ул. Университетская 33, г. Севастополь, 299053  
Тел. +7 978 855 61 40  
E-mail: PABugayov@sevsu.ru

---

A.M. POLIAKOV, P.K. SOPIN, V.B. LAZAREV,  
A.I. RYZHKOV, M.A. KOLESOVA, P.A. BUGAYOV

## CONCEPTUAL DESIGNING OF A MECHATRONIC STAND FOR PRE-CLINICAL TESTS OF LOWER LIMBS ROBOTIC PROSTHESES

**Abstract.** *Over the past several years, the first real prototypes of robotic prostheses have been developed in Russia, but they still lose competition to the best foreign designs and are practically not in demand in the domestic market of assistive devices. One of the reasons preventing this is the absence in Russia of stands for certification tests of robotic prostheses. In addition, the use of such stands at the design stage would significantly simplify the solution of the problem of synthesizing high-quality control systems and would not require the participation of disabled volunteers for their testing and adjustment. However, there are currently no analogues of such test benches in Russia. This paper describes a conceptual version of a mechatronic stand-simulator capable to simulate biosimilar movements of a human lower limb in various modes of physical activity under variable environmental parameters in order to adjust parameters, laboratory and preclinical tests of structures and control systems of active lower limbs prostheses and their modules. The stand can be easily upgraded for certification testing of robotic lower limb prostheses.*

**Keywords:** *transfemoral prosthesis; transtibial prosthesis; robotic prosthesis; prosthesis control system; mechatronic test bench.*

### BIBLIOGRAPHY

1. Windrich, M. Active lower limb prosthetics: a systematic review of design issues and solutions / M. Windrich, M. Grimmer, O. Christ, S. Rinderknecht, P. Beckerle // BioMedical Engineering OnLine. – 2016. - Vol. 15. – No 3.
2. Zhu, Si-Jun Feasible Human-Spine Motion Simulators Based on Parallel Manipulators / Si-Jun Zhu, Zhen Huang and Ming-Yang Zhao // In Parallel Manipulators. Towards New Applications. Edited by Huapeng Wu. 2008. <https://www.doi.org/10.5772/5444>.
3. Liem, L. HexaSpine: A Parallel Platform for Physical Cervical Spine Simulation - Design and Interval-Based Verification / K. Liem, A. Kecskem // Proc. of 12th IFToMM World Congress, Besancon, June 18-21, 2007.

**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

**Sopin Pavel Konstantinovich**  
FSAEI HE “Sevastopol State University”,  
Ph.D., Associate Professor, Automobile transport Department,  
Universitetskaya Str. 33, Sevastopol, 299053  
Phone: +7 978 730 09 52  
E-mail: sopin@gmail.com

**Lazarev Victor Borisovich**  
Individual entrepreneur,  
Sevastopol,  
Phone: +7 978 751 42 20  
E-mail: lvb69@yandex.ru

**Ryzhkov Aleksandr Igorevich**  
FSAEI HE “Sevastopol State University”,  
Ph.D., Assistant, Engineering Mechanics and Machinery Department,  
Universitetskaya Str. 33, Sevastopol, 299053  
Phone: +7 978 847 37 49  
E-mail: ryzhkov2206@mail.ru

**Kolesova Marina Aleksandrovna**  
FSAEI HE “Sevastopol State University”,  
Senior Lecturer, Department of Higher Mathematics,  
Universitetskaya Str. 33, Sevastopol, 299053

**Bugayov Pavel Aleksandrovich**  
FSAEI HE “Sevastopol State University”,  
Ph.D., Associate Professor, Department of Navigation and Safety of Navigation,

А.М. ПОЛЯКОВ, П.К. СОПИН, В.Б. ЛАЗАРЕВ,  
А.И. РЫЖКОВ, М.А. КОЛЕСОВА, П.А. БУГАЕВ

## ПРОТОТИП ТРАНСФЕМОРАЛЬНОГО ПРОТЕЗА С АКТИВНЫМ ИСКУССТВЕННЫМ КОЛЕННЫМ СУСТАВОМ

**Аннотация.** В данной статье представлен прототип трансфеморального протеза с активным управлением искусственным коленным суставом. Одним из основных критериев, используемых в процессе проектирования протеза, было достижение максимального биологического подобия этого устройства с целью обеспечения оптимальных условий, способствующих естественной ходьбе пользователя. Искусственный коленный сустав, спроектированный на основе полицентрического шарнирного механизма с пересекающимися звеньями, обеспечивает такие условия на уровне конструкции, а трехуровневая иерархическая система управления, построенная на основе интеллектуально-синергетической концепции, – на уровне управления. Для распознавания намерений пользователя интеллектуальная подсистема использует алгоритмы сравнения графических образов фаз ходьбы пользователя методом оценки инвариантных моментов Ху. После этого в синергетической подсистеме планируются движения элементов протеза в соответствии с синергетическими критериями качества. Алгоритмы, используемые в системе управления, настраиваются в зависимости от того, какой тип искусственной стопы используется в протезе: активный, полуактивный или пассивный (чисто механический). Математическое моделирование работы протеза показывает, что характер его функционирования соответствует критериям качества, принятым при проектировании.

**Ключевые слова:** трансфеморальный протез; искусственный коленный сустав; иерархическая система управления; распознавание фазы ходьбы; планирование движений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. "C-Leg 4", Ottobock.co.uk, 2020. [Online]. Available: <https://www.ottobock.co.uk/prosthetics/lower-limb-prosthetics/prosthetic-product-systems/c-leg-4/>. [Accessed: 03- Feb- 2020].
2. "Lower limb prosthetics", Ottobock.co.uk, 2020. [Online]. Available: [https://www.ottobock.co.uk/prosthetics/lower\\_limb\\_prosthetics/lower-limb-prosthetics-homepage/](https://www.ottobock.co.uk/prosthetics/lower_limb_prosthetics/lower-limb-prosthetics-homepage/). [Accessed: 03- Feb- 2020].
3. Mileusnic, M. Benefits of the Genium microprocessor controlled prosthetic knee on ambulation, mobility, activities of daily living and quality of life: a systematic literature review / M. Mileusnic, L. Rettinger, M. Highsmith, A. Hahn // Disability and Rehabilitation: Assistive Technology. – 2019. – P. 1-12.
4. "RHEO KNEE", Ossur.co.uk, 2020. [Online]. Available: <https://www.ossur.co.uk/prosthetic-solutions/products/dynamic-solutions/rheo-knee/>. [Accessed: 03- Feb- 2020].
5. Windrich, M. Active lower limb prosthetics: a systematic review of design issues and solutions / M. Windrich, M. Grimmer, O. Christ, S. Rinderknecht, P. Beckerle // BioMedical Engineering OnLine. – 2016. – Vol. 15, No 3.
6. Grimmer, M. Mimicking Human-Like Leg Function in Prosthetic Limbs / M. Grimmer, A. Seyfarth // Trends in Augmentation of Human Performance. – 2014. – P. 105-155.
7. Poliakov, O. Multicriteria Synthesis of a Polycentric Knee Prosthesis For Transfemoral Amputees / O. Poliakov, O. Chepenyuk, Y. Pashkov, M. Kalinin, V. Kramar // WASET Journal. – 2012. – Vol. 6, No 5. – P. 257-262.
8. Poliakov, A. Biosimilar artificial knee for transfemoral prostheses and exoskeletons / A. Poliakov, V. Pakhaliuk, N. Lozinskiy, M. Kolesova, P. Bugayov and P. Shtanko // Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering. – 2016. – Vol. 14, No 3. – P. 321-328.
9. Radcliffe, C. Four-bar linkage prosthetic knee mechanisms: Kinematics, alignment and prescription criteria / C. Radcliffe // Prosthetics and Orthotics International. – 1994. – Vol. 18, No 3. – P. 159-173.
10. Poliakov, A. Transfemoral Prostheses Control in a Frame of Intellectual-Synergetic Concept / A. Poliakov, V. Pakhaliuk, M. Kolesova, P. Shtanko, M. Ovchinnikova // Proc. of the 2017 2nd Int. Conf. on Automation, Mechanical and Electrical Eng. (AMEE 2017), 2017.
11. Poliakov, A. Fast User Activity Phase Recognition for the Safety of Transfemoral Prosthesis Control / A. Poliakov, V. Pakhaliuk // Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering. – 2020. – Vol. 18, No 1. – P. 135-151.

12. Kolesova, M. Quantitative and qualitative estimations of the manipulator end-effector trajectory planning by synergetic criterion / M. Kolesova, A. Polyakov, M. Kalinin // Facta Universitatis. Series: Mech., Autom., Cont. and Robot.. – 2007. – Vol. 6 (Special Issues). – P. 53-70.

13. Poliakov, A. Synthesis of lower limbs exoskeleton for the rehabilitation of patients with disorders of motor and proprioceptive systems / A. Poliakov, V. Pakhaliuk, M. Kolesova, N. Lozinskiy, P. Bugayov, D. Koshevaya, P. Shtanko // Proc. of 6th International Conference on Biomedical and Bioinformatics Engineering (ICBBE 2019), 2019.

14. Seraji, H. A New Approach to Adaptive Control of Manipulators", Journal of Dynamic Systems / H. Seraji // Measurement and Control. – 1987. – Vol. 109, No 3. – P. 193-202.

15. Poliakov, A. System synthesis of a testbench for testing modules and control systems of lower-limb prostheses / A. Poliakov, M. Kolesova, P. Bugayov, N. Lozinskiy, E. Norik, P. Gadkov, O. Chepeniuk // Proc. of the 2015 Int. Conf. on Biomed. Eng. and Computational Technol. (SIBIRCON), 2015.

**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

**Лазарев Виктор Борисович**

Индивидуальный предприниматель  
г. Севастополь,  
Тел. +7 978 751 42 20  
E-mail: lvb69@yandex.ru

**Колесова Марина Александровна**

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,  
старший преподаватель кафедры  
«Высшая математика»,  
ул. Университетская 33, г. Севастополь, 299053  
Тел. +7 978 045 69 82  
E-mail: MAKolesova@sevsu.ru

**Сопин Павел Константинович**

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,  
канд. техн. наук, доцент кафедры  
«Автомобильный транспорт»,  
ул. Университетская 33, г. Севастополь, 299053  
Тел. +7 978 730 09 52  
E-mail: sopin@gmail.com

**Рыжков Александр Игоревич**

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,  
ассистент кафедры  
«Техническая механика и машиноведение»,  
ул. Университетская 33, г. Севастополь, 299053  
Тел. +7 978 847 37 49  
E-mail: ryzhkov2206@mail.ru

**Бугаев Павел Александрович**

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,  
канд. техн. наук, доцент кафедры  
«Судовождение и безопасность судоходства»,  
ул. Университетская 33, г. Севастополь, 299053  
Тел. +7 978 855 61 40  
E-mail: PABugayov@sevsu.ru

---

A.M. POLIAKOV, P.K. SOPIN, V.B. LAZAREV,  
A.I. RYZHKOV, M.A. KOLESOVA, P.A. BUGAYOV

## **PROTOTYPE OF TRANSFEMORAL PROSTHESIS WITH AN ACTIVE ARTIFICIAL KNEE**

**Abstract.** This article presents a transfemoral prosthesis prototype with active control of an artificial knee joint. One of the main criteria used in the design of the prosthesis was to achieve the maximum biological similarity of this device in order to provide optimal conditions conducive to user natural walking. The artificial knee joint, designed on the basis of a polycentric hinged mechanism with intersecting links, provides such conditions at the design level, and a three-level hierarchical control system, built on the basis of an intelligent-synergetic concept, at the control level. To recognize user's intentions, the intelligent subsystem uses algorithms for comparing graphic images of user's walking phases by the method of estimating the invariant moments of Hu. After that, prosthesis elements movements are planned in the synergistic subsystem in accordance with the synergistic quality criteria. The algorithms used in the control system are adjusted depending on what type of artificial foot is used in the prosthesis: active, semi-active or passive (purely mechanical). Mathematical modeling of the prosthesis operation shows that the nature of its functioning corresponds to the quality criteria adopted in the design.

**Keywords:** transfemoral prosthesis; artificial knee joint; hierarchical control system; recognition of the walking phase; planning of movements.

## **BIBLIOGRAPHY**



1. "C-Leg 4", Ottobock.co.uk, 2020. [Online]. Available: <https://www.ottobock.co.uk/prosthetics/lower-limb-prosthetics/prosthetic-product-systems/c-leg-4/>. [Accessed: 03- Feb- 2020].
2. "Lower limb prosthetics", Ottobock.co.uk, 2020. [Online]. Available: [https://www.ottobock.co.uk/prosthetics/lower\\_limb\\_prosthetics/lower-limb-prosthetics-homepage/](https://www.ottobock.co.uk/prosthetics/lower_limb_prosthetics/lower-limb-prosthetics-homepage/). [Accessed: 03- Feb- 2020].
3. Mileusnic, M. Benefits of the Genium microprocessor controlled prosthetic knee on ambulation, mobility, activities of daily living and quality of life: a systematic literature review / M. Mileusnic, L. Rettinger, M. Highsmith, A. Hahn // *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*. – 2019. – P. 1-12.
4. "RHEO KNEE", Ossur.co.uk, 2020. [Online]. Available: <https://www.ossur.co.uk/prosthetic-solutions/products/dynamic-solutions/rheo-knee>. [Accessed: 03- Feb- 2020].
5. Windrich, M. Active lower limb prosthetics: a systematic review of design issues and solutions / M. Windrich, M. Grimmer, O. Christ, S. Rinderknecht, P. Beckerle // *BioMedical Engineering OnLine*. – 2016. – Vol. 15, No 3.
6. Grimmer, M. Mimicking Human-Like Leg Function in Prosthetic Limbs / M. Grimmer, A. Seyfarth // *Trends in Augmentation of Human Performance*. – 2014. – P. 105-155.
7. Poliakov, O. Multicriteria Synthesis of a Polycentric Knee Prosthesis For Transfemoral Amputees / O. Poliakov, O. Chepenyuk, Y. Pashkov, M. Kalinin, V. Kramar // *WASET Journal*. – 2012. – Vol. 6, No 5. – P. 257-262.
8. Poliakov, A. Biosimilar artificial knee for transfemoral prostheses and exoskeletons / A. Poliakov, V. Pakhaliuk, N. Lozinskiy, M. Kolesova, P. Bugayov and P. Shtanko // *Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering*. – 2016. – Vol. 14, No 3. – P. 321-328.
9. Radcliffe, C. Four-bar linkage prosthetic knee mechanisms: Kinematics, alignment and prescription criteria / C. Radcliffe // *Prosthetics and Orthotics International*. – 1994. – Vol. 18, No 3. – P. 159-173.
10. Poliakov, A. Transfemoral Prostheses Control in a Frame of Intellectual-Synergetic Concept / A. Poliakov, V. Pakhaliuk, M. Kolesova, P. Shtanko, M. Ovchinnikova // *Proc. of the 2017 2nd Int. Conf. on Automation, Mechanical and Electrical Eng. (AMEE 2017)*, 2017.
11. Poliakov, A. Fast User Activity Phase Recognition for the Safety of Transfemoral Prosthesis Control / A. Poliakov, V. Pakhaliuk // *Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering*. – 2020. – Vol. 18, No 1. – P. 135-151.
12. Kolesova, M. Quantitative and qualitative estimations of the manipulator end-effector trajectory planning by synergetic criterion / M. Kolesova, A. Polyakov, M. Kalinin // *Facta Universitatis. Series: Mech., Autom., Cont. and Robot.* – 2007. – Vol. 6 (Special Issues). – P. 53-70.
13. Poliakov, A. Synthesis of lower limbs exoskeleton for the rehabilitation of patients with disorders of motor and proprioceptive systems / A. Poliakov, V. Pakhaliuk, M. Kolesova, N. Lozinskiy, P. Bugayov, D. Koshevaya, P. Shtanko // *Proc. of 6th International Conference on Biomedical and Bioinformatics Engineering (ICBBE 2019)*, 2019.
14. Seraji, H. A New Approach to Adaptive Control of Manipulators", *Journal of Dynamic Systems / H. Seraji // Measurement and Control*. – 1987. – Vol. 109, No 3. – P. 193-202.
15. Poliakov, A. System synthesis of a testbench for testing modules and control systems of lower-limb prostheses / A. Poliakov, M. Kolesova, P. Bugayov, N. Lozinskiy, E. Norik, P. Gadkov, O. Chepeniuk // *Proc. of the 2015 Int. Conf. on Biomed. Eng. and Computational Technol. (SIBIRCON)*, 2015.

**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

**Sopin Pavel Konstantinovich**

FSAEI HE "Sevastopol State University",  
Ph.D., Associate Professor, Automobile transport  
Department,  
Universitetskaya Str. 33, Sevastopol, 299053  
Phone: +7 978 730 09 52  
E-mail: sopin@gmail.com

**Lazarev Victor Borisovich**

Individual entrepreneur,  
Sevastopol,  
Phone: +7 978 751 42 20  
E-mail: lvb69@yandex.ru

**Ryzhkov Aleksandr Igorevich**

FSAEI HE "Sevastopol State University",  
Ph.D., Assistant, Engineering Mechanics and Machinery  
Department,  
Universitetskaya Str. 33, Sevastopol, 299053  
Phone: +7 978 847 37 49  
E-mail: ryzhkov2206@mail.ru

**Kolesova Marina Aleksandrovna**

FSAEI HE "Sevastopol State University",  
Senior Lecturer, Department of Higher Mathematics,  
Universitetskaya Str. 33, Sevastopol, 299053  
Phone: +7 978 045 69 82  
E-mail: MAKolesova@sevsu.ru

**Bugayov Pavel Aleksandrovich**

FSAEI HE "Sevastopol State University",  
Ph.D., Associate Professor, Department of Navigation  
and Safety of Navigation,  
Universitetskaya Str. 33, Sevastopol, 299053  
Phone: +7 978 855 61 40  
E-mail: PABugayov@sevsu.ru

А.В. НЕМЕНКО, М.М. НИКИТИН

## ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ВЫНОСЛИВОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ

**Аннотация.** Предложен метод прогнозной оценки эксплуатационной выносливости в сложной механической системе, не сводимой к последовательно-параллельному соединению элементов, по нахождению слабого звена. Получена эмпирическая формула числа вхождений элементов правильного ориентированного графа в возможные пути, соединяющие его начальную и конечную точки. Эта формула позволит, в случае своего подтверждения, исследовать граф большой размерности на предмет звеньев, наибольшим образом влияющих на характеристики системы как целого. Полученные результаты применимы для построения скрытых моделей, учитывающих технологическую наследственность системы.

**Ключевые слова:** технологическая наследственность, усталость, скрытые модели, прогноз, оценка эксплуатационной выносливости.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nicholas T. High cycle fatigue. A mechanics of materials perspective/T. Nicholas – Elsevier, 2006. – 656 p.
2. Школьник Л.М. Методика усталостных испытаний. Справочник / Л.М. Школьник. – М.: Металлургия, 1978. – 301с.
3. Lee Y.-L. Fatigue testing and analysis. Theory and practice./Y.-L. Lee, J. Pan, R. Hathaway, M. Barkey – Elsevier, 2004. – 416 p.
4. Неменко А.В. Экстраполяция кривой выносливости за пределы диапазона измерений/ А.В. Неменко, М.М. Никитин // Вестник СевНТУ. Сер. Механика, энергетика, экология: сб. науч. тр. – Севастополь, 2010. – вып. 110 – с. 288 – 290.
5. Неменко А.В. Прикладные вопросы оценки технического состояния судовых механических систем/А.В. Неменко, М.М. Никитин - М.: Инфра-М, 2017 – 172 с.
6. Трощенко В.Т. Сопротивление усталости металлов и сплавов. Справочник. Часть 1./В.Т. Трощенко, Л.А. Сосновский//К.: Наукова Думка, 1987 – 346 с.
7. Иванова В. С. Природа усталости металлов/ В.С. Иванова, В.Ф. Терентьев//М.: Металлургия, 1975. – 456 с.
8. Байхельт Ф. Надёжность и техническое обслуживание. Математический подход/Ф. Байхельт, П. Франкен – М.: Радио и связь, 1988 – 392 с.
9. 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  
Аспирант кафедры «Высшая математика»  
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33  
Тел. +79788150316  
E-mail: m.nikitin.1979@gmail.com

A.V. NEMENKO, M.M. NIKITIN

## FORECAST EVALUATION OF MECHANICAL SYSTEMS ELEMENTS OPERATING ENDURANCE

**Abstract.** We present a method for predictive assessment of operational endurance in a complex mechanical system, which cannot be reduced to a series-parallel connection of elements, by finding a weak link. An empirical formula is obtained for the number of occurrences of elements of a regular directed graph in possible paths connecting its initial and final points. This formula will allow, if confirmed, to research a large-dimensional graph for the links that most affect the characteristics of the system as a whole. The results obtained are applicable to the construction of hidden models that take into account the technological heredity of the system.

**Keywords:** operational fatigue, technological heredity, hidden models, forecast, endurance evaluation.

### BIBLIOGRAPHY

1. Nicholas T. High cycle fatigue. A mechanics of materials perspective/T. Nicholas – Elsevier, 2006. – 656 p.
2. Shkolnik L.M. Metodika ustalostnyh ispytaniy. Spravochnik / L.M. Shkol'nik. – M.: Metallurgija, 1978. – 301 s.

3. Lee Y.-L. Fatigue testing and analysis. Theory and practice./Y.-L. Lee, J. Pan, R. Hathaway, M. Barkey – Elsevier, 2004. – 416 p.
4. Nemenko A.V. Jekstrapoljacija krivoj vynoslivosti za predely diapazona izmerenij/ A.V. Nemenko, M.M. Nikitin // Vestnik SevNTU. Ser. Mehanika, jenergetika, jekologija: sb. nauch. tr. – Sevastopol', 2010. – vyp. 110 – s. 288 – 290.
5. Nemenko A.V. Prikladnye voprosy ocenki tehničeskogo sostojanija sudovyh mehanicheskikh sistem/A.V. Nemenko, M.M. Nikitin - M.: Infra-M, 2017 – 172 s.
6. Troshhenko V.T. Soprotivlenie ustalosti metallov i splavov. Spravochnik. Chast' 1./V.T. Troshhenko, L.A. Sosnovskij//K.: Naukova Dumka, 1987 – 346 s.
7. Ivanova V. S. Priroda ustalosti metallov/ V.S. Ivanova, V.F. Terent'ev//M.: Metallurgija, 1975. – 456 s.
8. Beihelt F. Nadjozhnost' i tehničeskoe obsluzhivanie. Matematicheskij podhod/F. Beihelt, P. Franken – M.: Radio i svjaz, 1988 – 392 s.
9. Beichelt F. Reliability and Maintenance. Networks and Systems/F. Beichelt, P. Tittman – CRC Press, 2012. – 340 p.

**Nemenko Alexandra Vasilievna**

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 Mikhail Mikhailovich**

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

*Адрес издателя:*

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»  
302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95  
Тел. (4862) 75–13–18  
<http://oreluniver.ru>  
E-mail: [info@oreluniver.ru](mailto: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](mailto: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 07.08.2020 г.  
Дата выхода в свет  
Формат 60х88 1/8. Усл. печ. л. 11,625  
Цена свободная. Тираж 600 экз.  
Заказ \_\_\_\_\_

Отпечатано с готового оригинал-макета  
на полиграфической базе ИП Синяев В.В.  
302001, г. Орел, ул. Розы Люксембург, 10а