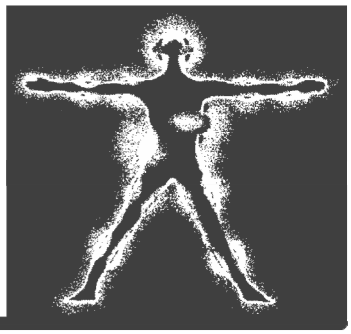
Выходит с 1998 г. **ISSN 1560-4136**

БИОМЕДИЦИНСКАЯ РАДИОЭЛЕКТРОНИКА



Международный научно-прикладной журнал, содержащий материалы по биомедицинским технологиям, воздействию электромагнитных колебаний на биологические объекты, а также информацию о новых приборах для применения в биологии, биомедицинских технологиях и медицине.
Включен в Перечень ВАК
Входит в состав базы Russian Science Citation Index (RSCI) на платформе Web of Science

том 28, номер 5, 2025

Главный редактор
академик РАН
Юрий Васильевич ГУЛЯЕВ

Заместители главного редактора:

Щукин Сергей Игоревич – д.т.н., проф., МГТУ им. Н.Э. Баумана (Москва, Россия) **(1-й заместитель)**

Гончарова Анна Георгиевна – д.м.н., ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН (Москва, Россия)

Пирогов Юрий Андреевич – д.ф.-м.н., проф., МГУ им. М.В. Ломоносова (Москва, Россия)

Юлдашев Зафар Мухамедович – д.т.н., проф., ЛЭТИ (Санкт-Петербург, Россия)

Ответственный секретарь:

Брико Андрей Николаевич – к.т.н., МГТУ им. Н.Э. Баумана (Москва, Россия)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Басараб Дмитрий Алексеевич – к.м.н., Белгородская областная клиническая больница Святителя Иоасафа (г. Белгород, Россия)
Гудков Александр Григорьевич – д.т.н., проф., МГТУ им. Н.Э. Баумана (Москва, Россия)
Гуржин Сергей Григорьевич – к.т.н., ФГБОУ «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина» (г. Рязань, Россия)
Жулев Владимир Иванович – д.т.н., проф., ФГБОУ «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина» (г. Рязань, Россия)
Зайченко Кирилл Вадимович – д.т.н., проф., Институт аналитического приборостроения РАН (Санкт-Петербург, Россия)
Колесов Владимир Владимирович – к.ф.-м.н., ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН (Москва, Россия)
Кочкаров Азрет Ахматович – д.т.н., проф., Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) (Москва, Россия)
Кубланов Владимир Семенович – д.т.н., проф., УрФУ им. Первого Президента Б.Н. Ельцина (г. Екатеринбург, Россия)
Макаров Валерий Николаевич – д.ф.-м.н., проф., РТУ МИРЭА (Москва, Россия)
Масленников Юрий Васильевич – д.т.н., ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН (Москва, Россия)
Матвейчук Игорь Васильевич – д.б.н., проф., ФГБНУ ВИЛАР (Москва, Россия)
Медведев Олег Стефанович – д.м.н., проф., МГУ им. М.В. Ломоносова (Москва, Россия)
Николаев Александр Петрович – д.м.н., проф., МГТУ им. Н.Э. Баумана (Москва, Россия)
Розанов Владимир Викторович – д.б.н., к.ф.-м.н., МГУ им. М.В. Ломоносова (Москва, Россия)
Самородов Андрей Владимирович – к.т.н., МГТУ им. Н.Э. Баумана (Москва, Россия)
Селищев Сергей Васильевич – д.т.н., проф., Институт биомедицинских систем Национального исследовательского университета «МИЭТ» (Москва, Россия)
Смирнова Людмила Михайловна – д.т.н., доцент, ФНЦ реабилитации инвалидов им. Г.А. Альбрехта (Санкт-Петербург, Россия)
Сушкова Людмила Тихоновна – д.т.н., проф., Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых (г. Владимир, Россия)
Телышев Дмитрий Викторович – д.т.н., доцент, Первый МГМУ им. И.М. Сеченова (Москва, Россия)
Юматов Евгений Антонович – д.м.н., проф., НИИ нормальной физиологии им. П.К. Анохина (Москва, Россия)

Материалы Международной научной конференции «Системы и технологии цифровой медицины (STDH-2025)»

Редактор выпуска – д.т.н., профессор З. М. Юлдашев

Содержание

Системы и технологии цифровой медицины – мощный потенциал для развития здравоохранения	**7**
Оценка демпфирующих свойств тканей предплечья в гидроманжетных системах с учетом их анатомических особенностей ***Геращенко М.С., Тында А.Н., Геращенко С.И.***	**9**
Междисциплинарная модель пигментной сети на дерматоскопических изображениях в приборах диагностики заболеваний кожи ***Никитаев В.Г., Проничев А.Н., Нагорнов О.В., Сергеев В.Ю., Козырева А.В.***	**14**
Неинвазивная оценка электрических свойств кожно-жирового слоя с помощью электроимпедансной калиперометрии ***Брико А.Н., Смирнова Т.С., Чибизов П.Е., Каправчук В.В., Кобелев А.В., Щукин С.И.***	**18**
Алгоритмы подавления помех в биомедицинских сигналах на основе модифицированной эмпирической модовой декомпозиции ***Кривоногов Л.Ю., Геращенко С.И., Папшев Д.В., Крянина П.Д., Халяпина Е.С.***	**23**
Математическая модель прогнозирования ишемической болезни сердца с учетом защитных механизмов функционирования сердечно-сосудистой системы ***Родионова С.Н.***	**27**
Экспресс-оценка содержания свободных пищевых нуклеотидов, обладающих потенциальной онкогенной активностью, люминесцентными и хроматографическими методам ***Степанова О.В., Кузнецов А.И., Лялин Д.О., Лукьянов М.И., Степанова О.С., Коноплев Г.А.***	**31**
Горизонтально-слоистые математические модели биотканей предплечья для электроимпедансных измерений ***Кобелев А.В., Брико А.Н., Щукин С.И.***	**35**
Сравнительный анализ активности системы зеркальных нейронов в виртуальной и реальной средах ***Чернышова Я.А., Тычкова А.Н., Юлдашев З.М., Симакова О.С., Горбунов В.Н., Золотарев В.Н.***	**40**
Количественная оценка защитных функций антиоксидантной системы и ее использование в задачах прогнозирования и медицинской диагностики ***Кореневский Н.А., Родионова С.Н., Серегин С.П., Холименко И.М., Цуканова М.Н., Трусевич А.А.***	**45**
Применение современных информационных технологий для совершенствования скрининговой системы неинвазивной электрокардиодиагностики ***Бодин А.Ю., Бодин О.Н., Крамм М.Н., Рахматуллов Р.Ф., Рахматуллов Ф.К., Сержантова Н.А.***	**50**
Исследование методов и разработка алгоритмов фильтрации ЭКГ-сигналов в MATLAB ***Жусупбеков С.С., Хан С.Г.***	**58**
Математическое моделирование и цветовое кодирование для визуальной аналитики клинических параметров пациента ***Костенкова М.Ю.***	**64**
Дифференциальная диагностика воспалительных заболеваниях кишечника с использованием искусственного интеллекта: анализ мультимодальных медицинских данных ***Бакулин И.Г., Расмагина И.А., Машевский Г.А., Шелякина Н.М., Арутюнян Г.Ф.***	**69**
Система оценки влияния стресса на физиологическое состояние пациента с эпилептическими припадками ***Садыкова Е.В., Танасьева М.А.***	**74**
Разработка алгоритма оценки чувствительности барорефлекса для ранней диагностики артериальной гипертензии ***Скоробогатова А.И., Анисимов А.А.***	**80**
Усовершенствованный алгоритм анализа и диагностики деформаций позвоночника с использованием динамической обработки изображений и машинного обучения ***Анагим Ибрахим***	**85**

Исследование двигательной активности человека во время сна при моделировании условий микрогравитации
Дьяченко А.И., Кубланов В.С., Ермолаев Е.С., Демин А.В., Шулагин Ю.А., Невструев Д.С., Вылегжанин Г.С., Шпаков А.В., Ханин Е.В., Ковров Г.В., Насыров Р.А. **91**

Применение оптической спектроскопии для исследования перитонеального диализата и мочи
Овсянников Н.А., Михайлис М., Крюков А.А., Коноплев Г.А., Степанова О.С., Герасимчук Р.П. **97**

Численный анализ пульсовой волны в гидроманжетной системе измерения артериального давления
Тында А.Н., Геращенко М.С., Геращенко С.И. **101**

Применение многоспектральной обработки к изображениям новообразований у подопытных животных
Гуревич Б.С., Владимиров Ф.Л., Грибова Д.А. **105**

Система удаленного мониторинга состояния здоровья пациентов с установленным диагнозом *легочная гипертензия*
Санарова К.Е. **109**

Методика обработки и анализа данных звуков легочных заболеваний на основе глубокого обучения нейронных сетей
Магрупов Т.М., Ахмаджанов Р.Р., Рахимберганова З.М. **115**

Разработка модели обработки и анализа легочных заболеваний на основе сверточных нейронных сетей
Магрупов Т.М., Ташев Б.Ж., Зубайдуллаев Ш.Ш. **120**

Применение нейронных сетей для прогнозирования роста первичных внемозговых опухолей
Ильясова Н.Ю., Селезнева А.А., Демин Н.С., Суровцев Е.Н., Капишников А.В. **125**

Алгоритм анализа цифрового следа пользователя социальной сети
Бодин О.Н., Жигачев В.М., Балаба У.Н., Голубкова И.В. **129**

Автоматизированное определение показаний к 2RT-лазерному лечению по изображениям оптической когерентной томографии
Ионов А.Ю., Ильясова Н.Ю., Демин Н.С., Доценко К.Р., Золотарев А.В. **137**

Нейросетевые и гибридные технологии в диагностике остеопороза: анализ рентгеновских изображений позвоночника
Ильясова Н.Ю., Некрасова Д.В., Заров Е.В., Демин Н.С., Первушкин С.С. **141**

Технология обнаружения очагов патологического накопления радиофармацевтического препарата на основе нейронных сетей
Гулинская И.И., Ильясова Н.Ю., Делов К.Е., Демин Н.С., Алехин Э.Н. **145**

Представление КТ-изображений с помощью чисел заполнения рецептивных полей отсчетами выборки фиксированного размера
Анциперов В.Е., Кершнер В.А., Мансуров Г.К. **149**

Система принятия решения о наличии ранних признаков острого инфаркта миокарда в экспериментах на крысах
Денисова Е.А., Кордюкова А.А., Д.О. Шевяков, Гуревич Б.С. **154**

Оценка показателей в информационно-измерительной системе «Здоровье»
Бодин О.Н., Безбородова О.Е., Жигачев В.М., Мишина К.Д., Мартынов Д.В., Трофимов А.А. **158**

Обработка и анализ видеоизображения с использованием искусственного интеллекта в системе пространственной навигации людей с нарушениями зрения
Палогианнидис Д. **167**

Система непрерывного мониторинга жесткости артерии на основе локальной оценки скорости пульсовой волны
Янгиров М.А., Муджиб Аль Харош, Щукин С.И. **173**

Терагерцовая диэлектрическая спектроскопия биотканей желудка для интраоперационной диагностики рака
Ходзицкий М.К. **180**

Устройство для синхронной регистрации ФКГ и ЭКГ-сигналов для количественной оценки звуков сердца
Комаров К.С., Юлдашев З.М. **187**

Оценка динамики изменения показателей вариабельности сердечного ритма с использованием комплекса методов нелинейной динамики
Антипов Н.О. **192**

Established in 1998

ISSN 1560-4136

Biomeditsinskaya radioelektronika (Biomedical Radioelectronics)

International scientific magazine. Publishes articles on bio-material science, biomedical technologies, and the interaction of physical fields and radiation with biological objects, as well as the development of new electronic devices for use in biology, biomedical technology, and medicine

Included in the Russian Science Citation Index

vol. 28, no. 5, 2025

Editor-in-Chief
Academician of RAS
Yury V. GULYAEV

Deputy Chief Editors:

Schukin Sergey Igorevich – Dr. Sc. (Eng.), Prof., Bauman Moscow State Technical University (Moscow, Russia) **(1st Deputy)**

Goncharova Anna Georgievna – Dr. Sc. (Med.), State Scientific Center of RF – Institute of Biomedical Problems of RAS (Moscow, Russia)

Pirogov Yury Andreevich – Dr. Sc. (Phys.-Math.), Prof. Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia)

Yuldashev Zafar Mukhamedovich – Dr. Sc. (Eng.), Prof., Petersburg State Electrotechnical University "LETI" (St. Petersburg, Russia)

Executive Secretary:

Briko Andrey Nikolaevich – Ph. D. (Eng.), Bauman Moscow State Technical University (Moscow, Russia)

EDITORIAL BOARD

Basarab Dmitry Alexeevich – Ph.D. (Med.), Belgorod Regional Clinical Hospital of St. Joasaph (Belgorod, Russia)
Gudkov Alexander Grigoryevich – Dr. Sc. (Eng.), Prof., Bauman Moscow State Technical University (Moscow, Russia)
Gurzhin Sergey Grigoryevich – Ph.D. (Eng.), Ryazan State Radio Technical University (Ryazan, Russia)
Kolesov Vladimir Vladimirovich – Ph.D. (Phys.-Math.), Institute of Radio Engineering and Electronics n.a. V. A. Kotelnikov RAS (Moscow, Russia)
Kochkarov Azret Akhmatovich – Dr. Sc. (Eng)., Prof., Moscow Aviation Institute (National Research University) (Moscow, Russian)
Kublanov Vladimir Semenovich – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Ural Federal University n.a. First President B.N. Yeltsin (Yekaterinburg, Russia)
Makarov Valery Nicolaevich – Dr. Sc. (Phys.-Math.), Prof., MIREA – Russian Technological University (Moscow, Russia)
Maslennikov Yuri Vasilievich – Dr. Sc. (Eng.), Institute of Radio Engineering and Electronics n.a. V. A. Kotelnikov RAS (Moscow, Russia)
Matveichuk Igor Vasilevich – Dr.Sc. (Biol.), Prof., All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants (Moscow, Russia)
Medvedev Oleg Stefanovich – Dr. Sc. (Med.), Prof., Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia)
Nikolaev Alexander Petrovich – Dr. Sc. (Med.), Professor, Bauman Moscow State Technical University (Moscow, Russia)
Rozanov Vladimir Viktorovich – Dr.Sc. (Biol.), Ph.D. (Phys.-Math.), Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia)
Samorodov Andrey Vladimirovich – Ph.D. (Eng.), Bauman Moscow State Technical University (Moscow, Russia)
Selishchev Sergey Vasil'evich – Dr. Sc. (Eng.), Prof., Institute of Biomedical Systems of the National Research University "Moscow Institute of Electronic Technology" (Moscow, Russia)
Smirnova Lyudmila Mikhailovna – Dr. Sc. (Eng.), Associate Professor, G.A. Albrecht Federal Center for Rehabilitation of Disabled People (St. Petersburg, Russia)
Sushkova Lyudmila Tikhonovna – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Vladimir State University n.a. A.G. and N.G. Stoletov (Vladimir, Russia)
Telyshev Dmitry Viktorovich – Dr. Sc. (Eng.), Associate Professor, First Moscow State Medical University n.a. I.M. Sechenov (Moscow, Russia)
Yumatov Evgeny Antonovich – Dr.Sc. (Med.), Prof., Research Institute of Normal Physiology n.a. P.K. Anokhin (Moscow, Russia)
Zaychenko Kirill Vladimirovich – Dr. Sc. (Eng.), Prof., St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation (St. Petersburg, Russia)
Zhulev Vladimir Ivanovich – Dr. Sc. (Eng.), Prof., Ryazan State Radio Technical University (Ryazan, Russia)

Materials of the International Scientific Conference "Systems and Technologies of Digital Medicine (STDH-2025)"

Editor of the issue – Dr. Sc. (Eng.), Professor Z.M. Yuldashev

Contents

Evaluation of damping properties of forearm tissues in hydrocuff systems taking into account their anatomical features
Gerashchenko M.S., Tynda A.N., Gerashchenko S.I. **13**

Interdisciplinary model of pigment network on dermatoscopic images in skin disease diagnostic devices
Nikitaev V.G., Pronichev A.N., Nagornov O.V., Sergeev V.Yu., Kozyreva A.V. **17**

Non-Invasive Assessment of Skin-Fat Layer Properties via Electrical Impedance Caliperometry
Briko A.N., Smirnova T.S., Chibizov P.E., Kapravchuk V.V., Kobelev A.V., Shchukin S.I. **22**

Interference suppression algorithms in biomedical signals based on modified empirical mode decomposition
Krivonogov L.Yu., Gerashchenko S.I., Papshev D.V., Kryanina P.D., Khalyapina E.S. **26**

Mathematical model for predicting ischemic heart disease taking into account the protective mechanisms of the cardiovascular system
Rodionova S.N. **30**

Rapid assessment of potentially oncogenic dietary nucleotides by bioluminescence and chromatographic methods
Stepanova O. V., Kuznetsov A.I., Lyalin D.O., Lukyanov M.I., Stepanova O.S., Konoplev G.A. **34**

Horizontally layered mathematical models of forearm biotissues for electrical impedance measurements
Kobelev A.V., Briko A.N., Shchukin S.I. **39**

Comparative analysis of the activity of the mirror neuron system in virtual and real environments
Chernyshova Ya.A., Tychkova A.N., Yuldashev Z.M., Simakova O.I., Gorbunov V.N., Zolotarev V.N. **44**

Quantitative assessment of the protective functions of the antioxidant system and its use in problems of forecasting and medical diagnostics
Korenevsky N.A., Rodionova S.N., Seregin S.P., Kholimenko I.M., Tsukanova M.N., Trusevich A.A. **49**

Application of modern information technologies to improve the screening system of non-invasive electrocardiographic diagnostics
Bodin A.Yu., Bodin O.N., Kramm M.N., Rakhmatullov R.F., Rakhmatullov F.K., Serzhantova N.A. **57**

Research of methods and development of algorithms for filtering ECG signals in MATLAB
Zhussupbekov S.S., Khan S.G. **63**

Mathematical modeling and color coding for visual analytics of patient clinical parameters
Kostenkova M.Yu. **68**

Differential diagnostics of inflammatory bowel diseases using artificial intelligence: analysis of multimodal medical data
Bakulin I.G., Rasmagina I.A., Mashevsky G.A., Shelyakina N.M., Arutyunyan G.F. **73**

A system for assessing the impact of stress on the physiological state of a patient with epileptic seizures
Sadykova E.V., Tanasyeva M.A. **79**

Development of algorithm for assessing baroreflex sensitivity for early diagnosis of hypertension
Skorobogatova A.I., Anisimov A.A. **84**

An improved algorithm for the analysis and diagnosis of spinal deformities using dynamic image processing and machine learning
Anagheem Ibrahim **90**

Study of human motor activity during sleep under simulated microgravity conditions
Dyachenko A.I., Kublanov V.S., Ermolaev E.S., Demin A.V., Shulagin Yu.A., Nevstruev D.S., Vylegzhanin G.S., Shpakov A.V., Khanin E.V., Kovrov G.V., Nasyrov R.A. **96**

Application of optical spectroscopy for the analysis of peritoneal dialysate and urine
Ovsyannikov N.A., Mikhailis M., Kryukov A.A., Konoplev G.A., Stepanova O.S., Gerasimchuk R.P. **100**

Numerical analysis of the pulse wave in a hydro-cuff blood pressure measurement system
Tynda A.N., Gerashchenko M.S., Gerashchenko S.I. **104**

Application of multispectral processing to images of neoplasms in experimental animals
Gurevich B.S., Vladimirov F.L., Gribova D.A. **108**

Remote health monitoring system for patients with diagnosed pulmonary hypertension
Sanarova K.E. **114**

Methods of processing and analyzing data on sounds of pulmonary diseases based on deep learning of neural networks
Magrupov T.M., Akhmadzhanov R.R., Rakhimberganova Z.M. **119**

Development of a model for processing and analyzing lung diseases based on convolutional neural networks
Magrupov T.M., Tashev B.J., Zubaydullaev Sh.Sh. **124**

Application of neural networks to predict the growth of primary extra-axial brain tumors
Ilyasova N.Yu., Selezneva A.A., Demin N.S., Surovtsev E.N., Kapishnikov A.V. **128**

Algorithm for Analyzing the Digital Footprint of a Social Network User
Bodin O.N., Zhigachev V.M., Balaba Yu.N., Golubkova I.V. **136**

Automated determination of indications for 2RT-laser treatment from optical coherence tomography images
Ionov A.Yu., Ilyasova N.Yu., Demin N.S., Dotsenko K.R., Zolotarev A.V. **140**

Neural network and hybrid technologies in osteoporosis diagnostics: analysis of x-ray images of the spine
Ilyasova N.Yu., Nekrasova D.V., Zarov E.V., Demin N.S., Pervushkin S.S. **144**

Technology for detecting foci of pathological accumulation of a radiopharmaceutical drug based on neural networks
Gulinskaya I.I., Ilyasova N.Yu., Delov K.E., Demin N.S., Alekhin E.N. **148**

Representation of CT images using receptive fields occupation numbers with fixed-size sample counts
Anciperov V.E., Kershner V.A., Mansurov G.K. **153**

A decision-making system for the presence of early signs of acute myocardial infarction in experiments on rats
Denisova E.A., Kordyukova A.A., Shevyakov D.O., Gurevich B.S. **157**

Evaluation of indicators in the information and measurement system "Health"
Bodin O.N., Bezborodova O.E., Zhigachev V.M., Mishina K.D., Martynov D.V., Trofimov A.A. **166**

Processing and analysis of video images using artificial intelligence in a spatial navigation system for people with visual impairments
Palogiannidis D. **172**

System for continuous monitoring of arterial stiffness based on local assessment of pulse wave velocity
Yangirov M.A., Al-Harosh M., Shchukin S.I. **179**

Terahertz dielectric spectroscopy of gastric biotissues for intraoperative cancer diagnostics
Khodzitsky M.K. **186**

The device for simultaneous recording of PCG & ECG for their quantitive evaluation
Komarov K.S., Yuldashev Z.M. **191**

Evaluation of the dynamics of changes in heart rate variability indicators using a set of nonlinear dynamics methods
Antipov N.O. **196**

РАДИОТЕХНИКА

Все статьи, представленные в данном выпуске журнала, соответствуют номенклатуре специальностей научных работников

Учредитель ООО Издательство Радиотехника. Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-76349.
Подписано в печать 06.10.2025. Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная.
Печ.л. 25. Тираж 500 экз. Изд. № 65.
ООО Издательство Радиотехника: 101000, г. Москва, Подсосенский пер., д. 14, стр. 2. Тел. +7(495)625-92-41.
101000, Russian Federation, Moscow, Podsosensky Lane, 14, bld. 2. Tel./fax +7(495)625-92-41.
Http://www.radiotec.ru
E-mail: info@radiotec.ru

18+

Дизайн и допечатная подготовка ООО «САЙНС-ПРЕСС».
Отпечатано в типографии ООО «Паблит».
127282, Москва, ул. Полярная, д. 31В, стр. 1. Тел.: (495) 859-48-62.
Заказ №

ISSN 1560-4136

© ООО Издательство Радиотехника, 2025 г.

Незаконное тиражирование и перевод печатного материала, включенного в журнал, в электронном и любом другом виде запрещено и карается административной и уголовной ответственностью по закону РФ «Об авторском праве и смежных правах»

Научная статья
УДК 681.518.22 : 614.2
DOI: https://doi.org/10.18127/j15604136-202505-32

Оценка показателей в информационно-измерительной системе «Здоровье»

О. Н. Бодин[1], **О. Е. Безбородова**[2], **В.М. Жигачев**[3], **К.Д. Мишина**[4], **Д.В. Мартынов**[5], **А.А. Трофимов**[6]

[1, 3, 5] Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)
[2, 4, 6] Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)
[1] bodin_o@inbox.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) считает, что цифровое здравоохранение – это сочетание электронного здравоохранения, мобильного здравоохранения и математических методов. В работе приведены результаты разработки способа оценки уровня здоровья пациента с учетом первого закона Фика (уравнения диффузии) и реализующей его информационно-измерительной системы.

Цель. Создать систему оценки и контроля за состоянием здоровья населения, в том числе с учетом влияния экологической ситуации в зоне проживания.

Результаты. Отличительными особенностями предлагаемых способа и системы стали использование зонирования территории проживания в зависимости от качества окружающей среды и определение на его основе коэффициента диффузии, характеризующего динамичность изменения контролируемых параметров. А также оперативное управление контролируемыми параметрами на основе анализа рассогласования планируемых и фактических их значений.

Практическая значимость. Предложенные способы и средства в системе «Здоровье» обеспечивают в реальном масштабе времени мониторинг состояния здоровья человека с учетом зоны проживания, и тем самым обосновывают выбор лечебно-профилактических мероприятий в случае необходимости.

Ключевые слова

Телемедицина, здоровье населения, факторы здоровья, показатели здоровья, уравнение диффузии

Для цитирования

Бодин О.Н., Безбородова О.Е., Жигачев В.М., Мишина К.Д., Мартынов Д.В., Трофимов А.А. Оценка показателей в информационно-измерительной системе «Здоровье» // Биомедицинская радиоэлектроника. 2025. Т. 28. № 5. С. 158–166. DOI: https://doi.org/10.18127/j156 04136-202505-32

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) считает, что цифровое здравоохранение – это сочетание электронного здравоохранения, мобильного здравоохранения и математических методов [1]. Поэтому, специалисты рассматривают телемедицину как составляющую цифровизации здравоохранения [2]. Телемедицина – это метод оказания медицинской помощи, направленный на улучшение здоровья пациента путем двусторонней связи между ним и врачом, находящимся в удаленном месте, в режиме реального времени [3].

В государственных документах РФ [1, 2] сохранение здоровья населения отмечено как стратегическая задача.

Развитие здравоохранения и укрепление здоровья населения – важнейшее направление обеспечения национальной безопасности, для реализации которого проводится долгосрочная государственная политика, обеспечивающая решение следующих задач:

создание условий для повышения доступности и качества медицинской помощи;

профилактика заболеваний;

обеспечение экологической безопасности.

© Авторы, 2025

Разработка и внедрение телемедицинских систем (ТМС) – одно из направлений цифровой трансформации медицины. ТМС формируют цифровую экосистему для сбора, обработки и использования данных с целью:

улучшения качества оказания медицинской помощи и развития научных медицинских исследований;

мониторинга и анализа использования ресурсов системы здравоохранения и оказания медицинской помощи пациентам.

Цель работы – создать систему оценки и контроля за состоянием здоровья населения, в том числе с учетом влияния экологической ситуации в зоне проживания.

Результаты оценки предполагается использовать для:

зонирования территории по уровню здоровья населения;

при выявлении нежелательных тенденций и определении элементов здоровья, соответствующих низким уровням, обоснованно сформировать перечни рекомендуемых лечебно-профилактических мероприятий (ЛПМ), осуществление которых позволит повысить уровень здоровья и по конкретному элементу системы здоровье, и в общем;

разработать план проведения контрольных исследований для отдельных пациентов (групп пациентов) с целью оценки и повышения эффективности осуществляемых ЛПМ.

Материалы и методы

А. Система «Здоровье»

На основе [3] разработана ТМС «Здоровье», блок-схема которой представлена на рис. 1. Предлагаемая система может быть использована для оценки уровня здоровья человека; планового и оперативного контроля уровня здоровья человека по совокупности факторов, учитывающих среду и общество, воздействующих на человека, и показателей, отражающих жизнедеятельность человека, с целью своевременного реагирования на возможные изменения; обоснованного формирования перечня ЛПМ; прочих целей санитарно-эпидемиологического надзора.

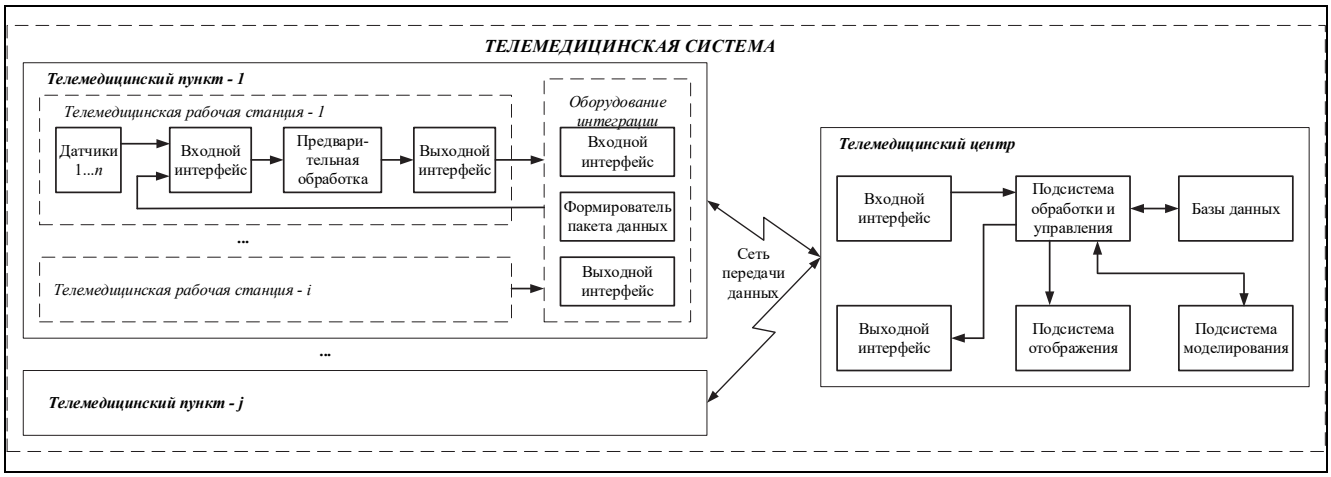


Рис. 1. Структурная блок-схема информационно-измерительной системы «Здоровье»

Fig. 1. Block diagram of the information and measurement system “Health”

Предложенная ТМС состоит из телемедицинского центра (ТМЦ), соединенного по сети Интернет или по радиоканалам с сетью телемедицинских пунктов (ТМП).

В состав каждого ТМП входят несколько телемедицинских станций, специализированных по своему назначению. Это могут быть специализированные станции телепатологии, телехирургии, телерентгенологии, теледерматологии, телепсихиатрии, телекардиологии, телегинекологии, телеурологии, телепедиатрии, телемамографии, теленеврологии, телеонкологии, телеотоларингологии и другие. На этих станциях происходит обследование пациентов, сбор, накопление и первичная обработка медицинских данных, а также передача по каналам связи в ТМЦ для обработки и дальнейшего использования.

ТМП собирают совокупность данных по каждому элементу системы «Здоровье» (ЭСЗ): показателей здоровья – «болезнь или дефект развития», «физическое развитие», «физиологические резервы», «не-

специфическая резистентность», «мотивация здоровья» и факторов здоровья – «наследственность», «образ жизни», «внешняя среда», «культура общественных отношений», «медико-санитарная помощь».

Эти данные получают при осмотре пациента при его обращении к врачу, при прохождении медицинских осмотров или диспансеризации и используют для оценки состояния его здоровья. На основе количественных критериев в фактических или условных (балльных) единицах определяют состояние пациента по каждому из ЭСЗ и общую оценку состояния здоровья пациента, дифференцируют их по шести уровням здоровья (первый – запредельный, второй – минимальный, третий – низкий, четвертый – средний, пятый – высокий, шестой – оптимальный). На основе полученной оценки возможно прогностически оценить динамику уровня здоровья в общем и каждого ЭСЗ отдельно («положительная» при установлении 5 и 6 уровней здоровья, «без изменений» –3 и 4 уровней здоровья, «отрицательная» – 1 и 2 уровней здоровья), а также обоснованно разработать и предложить ЛПМ.

Б. Первый закон Фика

Для повышения точности определения уровня здоровья необходимо учитывать взаимное влияние ЭСЗ и экологической ситуации в зоне проживания. Для этого используют математическое моделирование.

В настоящее время в применяемых на практике моделях анализа и прогнозирования динамики уровня здоровья человека используются дифференциальные уравнения, в частности уравнения диффузии (первый закон Фика), включая нелинейную диффузию [4], уравнение Лиувилля [5], уравнение Фоккера – Планка [5].

При моделировании состояния человека диффузионные процессы учитывают внутренние (взаимное влияние систем и органов организма человека) и внешние (состояние окружающей среды) процессы и явления. Результатом диффузии при таком подходе стали изменения уровня здоровья в результате воздействия внешних или внутренних процессов контролируемого параметра (КП). Если на организм человека действуют внешние силы или поддерживается градиент какого-либо КП, то в результате диффузии устанавливаются градиенты всех параметров организма человека, связанных с КП.

Уравнение диффузии в одномерном случае $\rho = \rho(x)$ – это первый закон Фика:

$$\rho = -D\frac{d\rho}{dx} = -D\nabla\rho, \tag{1}$$

где ρ – изменение КП за время t в направлении x в сторону убывания его значения; $d\rho/dx = \nabla\rho$ – градиент КП; D – коэффициент диффузии.

Коэффициент диффузии выступает как коэффициент пропорциональности, характеризующий динамичность изменения КП, и определяется эмпирически, так как закон Фика также имеет эмпирический характер.

Физический смысл коэффициента диффузии – он численно равен изменению уровня здоровья за единицу времени при единичном градиенте КП, т.е. скорости изменения уровня здоровья в определенных условиях проживания человека [6].

В. Зонирование территории

Для определения коэффициента диффузии D и градиента КП $(\nabla\rho)$ используется способ зонирования территории, приведенный в [7] (см. рис. 2). Полученные этим способом градиент КП и коэффициент диффузии используются в уравнении (1).

Рассмотрим разработанный способ зонирования территории по уровню здоровья населения в условиях воздействия факторов риска (ФР).

На карту анализируемой территории наносятся сетка и контрольные точки для определения (измерения) значений КП. В качестве таких параметров могут быть выбраны ЭСЗ, параметры качества окружающей среды, объектов техносферы.

Определение значений выбранных КП осуществляют при осмотре пациента при его обращении к врачу, при прохождении медицинских осмотров или диспансеризации, для окружающей среды и объектов техносферы – при производственно-экологическом контроле.

Значения выбранных КП наносят на карту местности и сравнивают их в различных контрольных точках. После этого анализа объединяют на карте контрольные точки с близкими и/или одинаковыми

значениями КП в кластеры, соединяют линиями на карте кластеры с одинаковыми значениями КП и зонируют территорию по выбранному КП.

На рис. 2 приведен пример зонирования территории проживания человека по внешним КП (экологическим) в зависимости от уровня предельно допустимых значений КП, задаваемых нормативными документами.

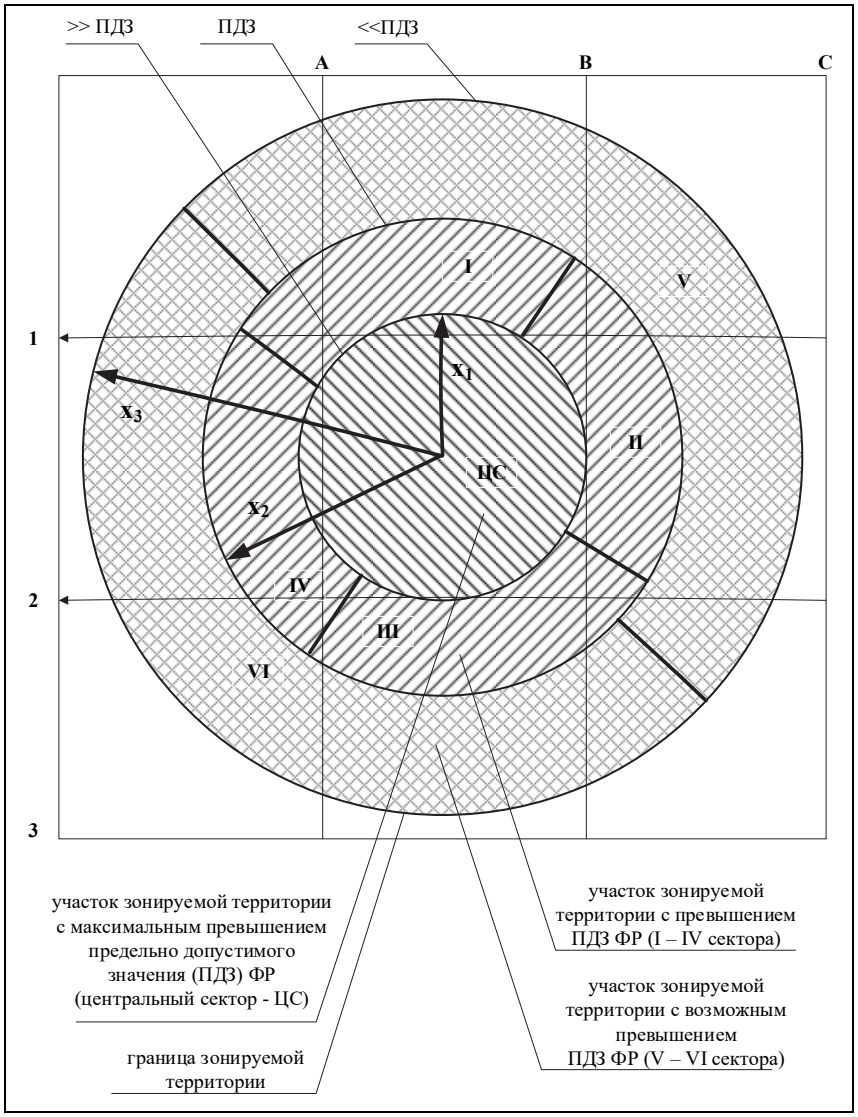


Рис. 2. Схема зонирования территории по изменению градиента контролируемого параметра

Fig 2. Zoning of the territory by changing the gradient of the controlled parameter

Для каждой выделенной зоны эмпирически устанавливают значение коэффициента диффузии, учитывая, что

$$D = -\frac{\rho}{\nabla \rho}. \tag{2}$$

Полученные результаты наносят на подготовленную карту, после чего определяют градиент КП и формируют на его основе зоны с возможным одинаковым уровнем здоровья человека.

Г. Управление процессом

Для людей с первым и вторым уровнями здоровья и отрицательным прогнозом их изменения, а также с третьим и четвертым уровнями здоровья и прогнозом отсутствия их изменения необходимо раз-

работать план проведения контрольных исследований с целью оценки и повышения эффективности, осуществляемых ЛПМ, направленных на улучшение динамики и повышение уровня здоровья.

Для контроля эффективности их осуществления и оперативной коррекции отклонений разработан способ оперативного управления КП [8]. Схема алгоритма управления в системе «Здоровье» приведена на рис. 3.

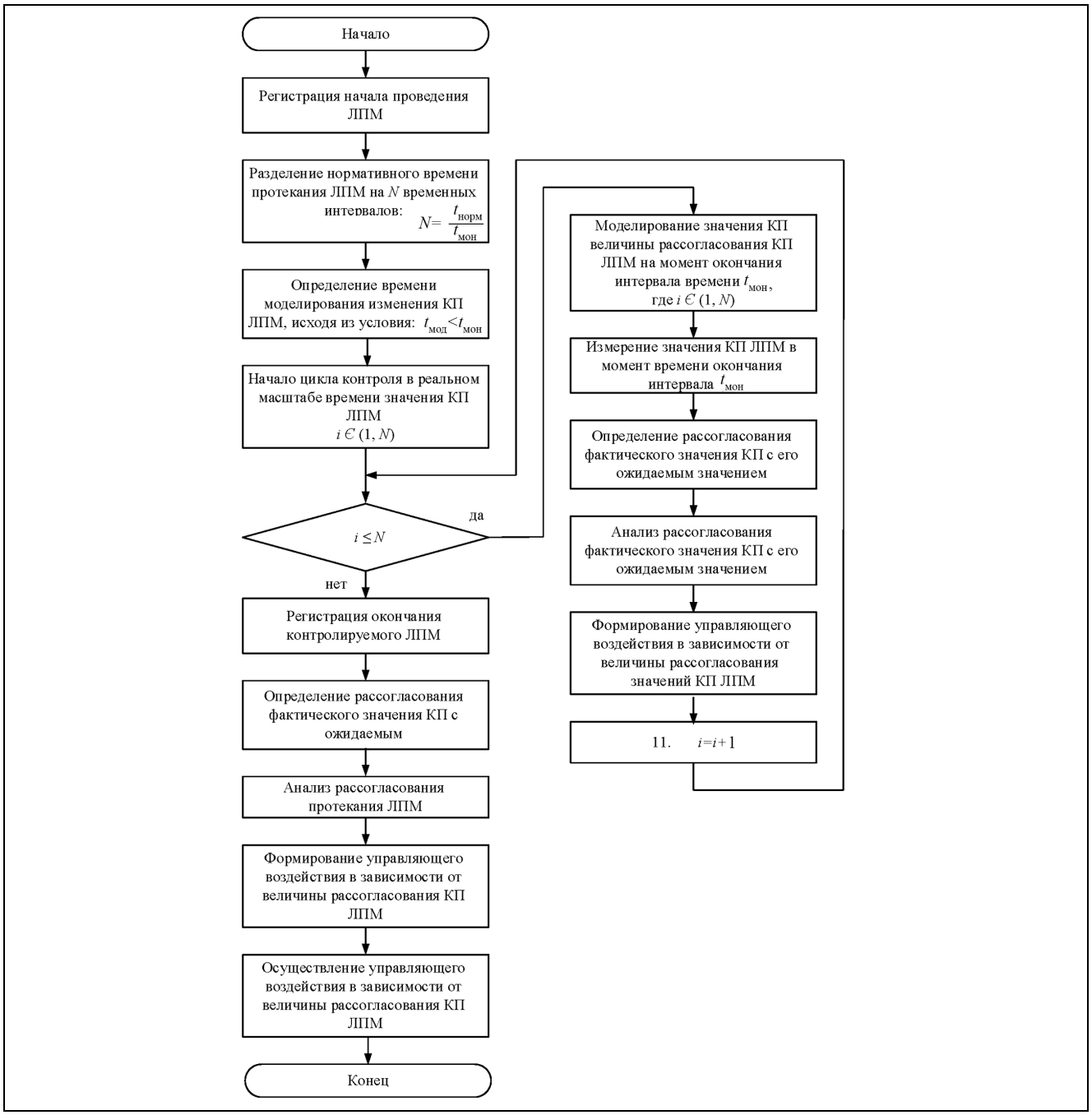


Рис. 3. Схема алгоритма управления в системе «Здоровье»

Fig. 3. A diagram of the control algorithm in the “Health” system

Предлагаемый способ позволяет производить контроль значений ЭСЗ, а также эффективности ЛПМ по значениям КП, времени осуществления мероприятий, их количеству.

Цель оперативного контроля – при необходимости, корректировка процесса осуществления ЛПМ в реальном масштабе времени путем управления КП в ходе мероприятия.

Для эффективного контроля и управления КП в реальном масштабе времени и корректировки хода ЛПМ авторы предлагают разделить нормативное время протекания мероприятия $t_{норм}$, на N временных интервалов по формуле

$$N = \frac{t_{норм}}{t_{мон}}, \quad (3)$$

где $t_{норм}$ – нормативное время протекания мероприятия; $t_{мон}$ – временной интервал мониторинга мероприятия.

При этом задание времени моделирования изменения КП в ходе мероприятия осуществляют с учетом условия $t_{мод}$ $t_{мон}$ цикл от 1 до N контроля в реальном масштабе времени значения КП мероприятия.

В случае выполнения условия $i \le N$ осуществляют моделирование КП на момент окончания текущего интервала времени $t^i_{мон}$.

Измерение значения КП в момент окончания интервала $t^i_{мон}$ позволит определить рассогласование фактического значения КП с его ожидаемым значением, а также скорректировать ход ЛПМ на каждом интервале $t^{i+1}_{мон}$.

Анализ рассогласования фактического значения КП с его ожидаемым значением позволяет сформировать и осуществить управляющее воздействие в зависимости от величины рассогласования фактического значения КП с его ожидаемым значением (рис. 4).

Разработанный способ позволяет обнаруживать рассогласование фактического значения КП в ходе осуществления текущего ЛПМ и оказывать управляющее воздействие до его окончания, на каждом из интервалов $t^i_{мон}$.

Решение задач

В рамках реализации предложенных способов и средств разработан алгоритм оценки показателей в системе «Здоровье» на основе первого закона Фика (рис. 5).

Отличительной особенностью алгоритма стала прогностическая оценка динамики уровня здоровья человека.

Пример – пациент С., мужчина 28 лет, при обследовании и сборе данных по ЭСЗ выявлено, что он имеет слабую наследственность (у родственни-

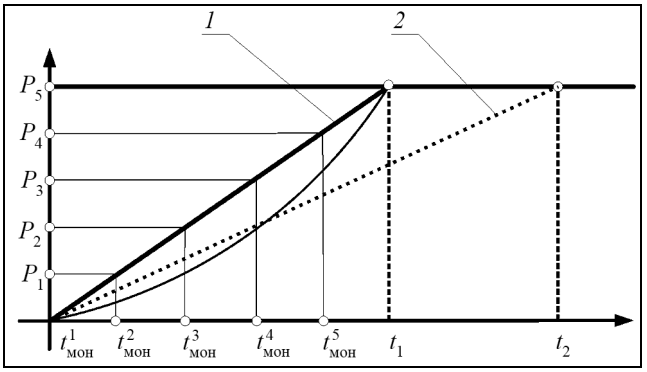


Рис. 4. Диаграмма сравнения времени протекания ЛПМ: *1* – с коррекцией; *2* – без коррекции КП

Fig. 4. A diagram of the comparison of the LPM flow time with correction (*1*) and without correction (*2*) CP

Рис. 5. Схема алгоритма оценки показателей в системе «Здоровье» на основе первого закона Фика

Fig. 5. A diagram of the algorithm for evaluating indicators in the Health system based on Fick's first law

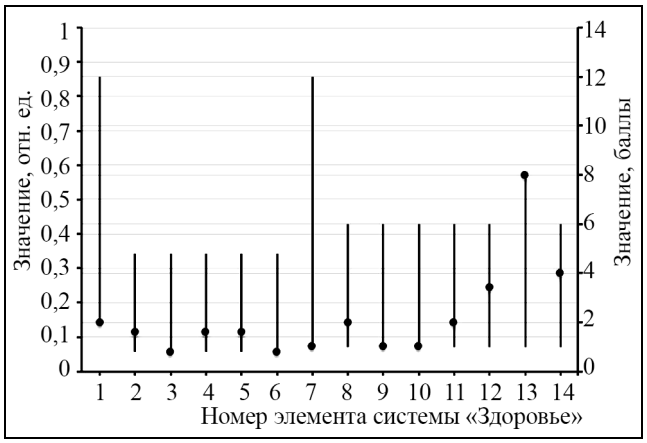


Рис. 6. Диаграмма элементов системы «Здоровье»

Fig. 6. A diagram of the elements of the "Health" system

ков нет случаев дожития более 60 лет), низкую физическую активность (менее 1 часа в день), диагноз (сахарный диабет 1 типа, декомпенсированный, кетоацидоз), стаж болезни (3–4 года), проживание в экологически неблагоприятном районе (ПДК более 100), низкие резервные возможности организма (по данным велоэнергометрии) объем выполненной работы составил 1800 кгм/мин, низкий уровень неспецифической резистентности (содержание в крови иммуноглобулина «джи» составило 910 мг/л и Т лимфоцитов – 51%).

Перевод этих данных в совокупность ЭСЗ, выраженную в баллах, позволяет получить результаты, представленные в таблице и на рис. 6.

Таблица. ***Значения элементов системы «Здоровье» для пациента С***

№	Элемент системы «Здоровье»	
	Наименование	Значение, балл
1	Наследственность	2
	Образ жизни:	
2	физическая активность	1,40
3	функция кишечника	0,60
4	длительность сна	1,40
5	длительность трудовой деятельности (ежедневно)	1,40
6	наличие вредных привычек и профессиональной вредности	0,60
7	Уровень грамотности и физического развития	1
8	Функциональное состояние организма	2
9	Уровень неспецифической резистентности и иммунной защиты	1
10	Уровень мотивационных установок здоровья	1
11	Болезнь или дефект развития	2
12	Уровень культуры общественных отношений	3,4
13	Внешняя среда	8
14	Уровень доступной медико-санитарной помощи	4
Общая сумма баллов		29,8

Полученный результат, в соответствии с алгоритмом, приведенным на рис. 6, соответствует минимальному уровню здоровья, следовательно, прогностическая оценка – отрицательная динамика развития здоровья.

Очевидно, что необходимо проводить в отношении пациента С ЛПМ, перечень и периодичность которых определяется соответствующими стандартами и порядками оказания медицинской помощи, а также клиническими рекомендациями и контролем эффективности ЛПМ по формуле (3).

Заключение

Предложенные способы и средства в информационно-измерительной системе «Здоровье» обеспечивают в реальном масштабе времени мониторинг состояния здоровья человека, с учетом зоны проживания, и тем самым обосновывают выбор ЛПМ в случае необходимости.

Список источников

1. Указ Президента РФ от 6 июня 2019 г. №254 «О Стратегии развития здравоохранения в Российской Федерации на период до 2025 года».
2. Указ Президента РФ от 07.05.2024 №309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года».
3. Патент № 2119768 (РФ). Способ интегральной оценки здоровья человека / А.Н. Щетинин. 1998.

4. *Fuentes M.* Entropy. 2018. V. 20(9). P. 649.
5. *Orlov Y. N., Fedorov S. L.* Planka. TRUDY MFTI. 2016. V. 8(2). P. 126–133. [Rus]
6. *Леушина А.П., Данилов Д.Н.* Молекулярно-кинетические свойства дисперсных систем. Седиментационный анализ: учебное пособие. Киров: Изд-во ВятГУ. 2008. 54 с.
7. Патент № 2782525 (РФ). Способ и система зонирования территории по уровню риска для здоровья населения в условиях воздействия химически опасных веществ / О.Е. Безбородова, О.Н. Бодин, В.В. Шерстнев, А.О. Холуденева, Д.В. Мартынов. 2022.
8. Патент № 2835476 (РФ). Способ автоматизированного управления технологическими процессами / М.Ю. Рудюк, А.О. Холуденева, О.Е. Безбородова, О.Н. Бодин, В.В. Шерстнев, Д.В. Мартынов. 2025.

Информация об авторах

Олег Николаевич Бодин – д.т.н., профессор
SPIN-код: 3024-1393
Оксана Евгеньевна Безбородова –д.т.н., доцент
SPIN-код: 3519-3682
Василий Маратович Жигачев – к.т.н., доцент
SPIN-код: 7718-0729
Кристина Дмитриевна Мишина – аспирант
SPIN-код: 9459-8170
Дмитрий Владиславович Мартынов – аспирант
SPIN-код: 2436-0836
Алексей Анатольевич Трофимов – д.т.н., доцент
SPIN-код: 5714-9850

Статья поступила в редакцию 15.05.2025
Одобрена после рецензирования 05.06.2025
Принята к публикации 22.06.2025

Original article

Evaluation of indicators in the information and measurement system "Health"

O. N. Bodin[1], **O. E. Bezborodova**[2], **V.M. Zhigachev**[3], **K.D. Mishina**[4], **D.V. Martynov**[5], **A.A. Trofimov**[6]

[1, 3, 5] Penza State Technological University (Penza, Russia)
[2, 4, 6] Penza State University (Penza, Russia)
bodin_o@inbox.ru

Abstract

The article presents the results of the development of a method for assessing the patient's health level, taking into account Fick's first law (diffusion equation) and the information and measurement system implementing it.

Goal – the purpose of the article is to create a system for assessing and monitoring the health status of the population, including taking into account the impact of the environmental situation in their area of residence.

The distinctive features of the proposed method and system are the use of zoning of the residential area depending on the quality of the environment and the determination of the diffusion coefficient based on it, which characterizes the dynamism of changes in controlled parameters. As well as the operational management of controlled parameters based on the analysis of the mismatch of planned and actual values of controlled parameters.

The proposed methods and means in the Health system provide real-time monitoring of a person's health status, taking into account their area of residence, and thereby justify the choice of therapeutic and preventive measures, if necessary.

Keywords

i telemedicine, public health, health factors, health indicators, diffusion equation

For citation

Bodin O.N., Bezborodova O.E., Zhigachev V.M., Mishina K.D., Martynov D.V., Trofimov A.A. Evaluation of indicators in the information and measurement system "Health". Biomedicine Radioengineering. 2025. V. 28. № 5. P. 158–166. DOI: https:// doi.org/10.18127/ j15604136-202505-32 (In Russian)

References

1. Ukaz Prezidenta RF ot 6 iyunya 2019 g. №254 «O Strategii razvitiya zdravoohraneniya v Rossijskoj Federacii na period do 2025 goda» (In Russian).
2. Ukaz Prezidenta RF ot 07.05.2024 №309 «O nacional'nyh celyah razvitiya Rossijskoj Federacii na period do 2030 goda i na perspektivu do 2036 goda» (In Russian).
3. Patent № 2119768 (RF). Sposob integral'noj ocenki zdorov'ya cheloveka / A.N. Shchetinin. 1998 (In Russian).
4. *Fuentes M.* Entropy. 2018. V. 20(9). P. 649.
5. *Orlov Y. N., Fedorov S. L.* Planka. TRUDY MFTI. 2016. V. 8(2). P. 126–133. [Rus]
6. *Leushina A.P., Danilov D.N.* Molekulyarno-kineticheskie svojstva dispersnyh sistem. Sedimentacionnyj analiz: uchebnoe posobie. Kirov: Izd-vo VyatGU. 2008. 54 s. (In Russian).
7. Patent № 2782525 (RF). Sposob i sistema zonirovaniya territorii po urovnyu riska dlya zdorov'ya naseleniya v usloviyah vozdejstviya himicheski opasnyh veshchestv / *O.E. Bezborodova, O.N. Bodin, V.V. Sherstnev, A.O. Holudeneva, D.V. Martynov*. 2022 (In Russian).
8. Patent № 2835476 (RF). Sposob avtomatizirovannogo upravleniya tekhnologicheskimi processami / *M.Yu. Rudyuk, A.O. Holudeneva, O.E. Bezborodova, O.N. Bodin, V.V. Sherstnev, D.V. Martynov*. 2025 (In Russian).

Information about the authors

Oleg N. Bodin – Dr. Sc. (Eng.), Professor
Oksana E. Bezborodova – Dr. Sc. (Eng.), Associate Professor
Vasily M. Zhigachev – Ph.D. (Eng.), Associate Professor
Kristina D. Mishina – Post-graduate Student
Dmitry V. Martynov – Post-graduate Student
Alexey A. Trofimov – Dr. Sc. (Eng.), Associate Professor

The article was submitted 15.05.2025
Approved after reviewing 05.06.2025
Accepted for publication 22.06.2025