

ISSN 2223-2966



**СОВРЕМЕННАЯ НАУКА:  
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ**

**ЕСТЕСТВЕННЫЕ  
И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

**№ 11 2016** (НОЯБРЬ)

Учредитель журнала

Общество с ограниченной ответственностью

**«НАУЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»**

**Редакционный совет**

*А.В. Царегородцев* — д.т.н., профессор, Московский государственный лингвистический университет

*Ю.Б. Миндлин* - к.э.н., доцент, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологий им. К.И. Скрябина

*М.М. Безрукова* — д.б.н., профессор, директор Института возрастной физиологии РАО

*Н.Н. Грачев* — профессор Московского государственного института электроники и математики (технический университет), доктор высшей ступени в области технических наук (Doctor Habilitatus),

*А.И. Гусева* — д.т.н., профессор Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»

*А.Я. Качанов* — д.воен.н., профессор Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ)

*И. Квасов* — д.т.н., профессор, академик Казахской Национальной Академии естественных наук, Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева

*С.М. Надежкин* — д.б.н., профессор Всероссийского НИИ селекции и семеноводства овощных культур Россельхозакадемии

*Б.А. Прудковский* — д.т.н., профессор, эксперт по высшему образованию группы компаний «ИНТЕРСЕРТИФИКА»

*С.Э. Саркисов* — д.м.н., профессор Научного центра акушерства, гинекологии и перинатологии

*В. Сергеевский* — д.х.н., профессор Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»

*А.П. Симоненков* — д.м.н., профессор Института хирургии им. Вишневского РАН

*Издатель:*

Общество с ограниченной ответственностью

**«Научные технологии»**

*Адрес редакции и издателя:*

109443, Москва, Волгоградский пр-т, 116-1-10

Тел/факс: 8(495) 755-1913

E-mail: [redaktor@nauteh.ru](mailto:redaktor@nauteh.ru)

<http://www.nauteh-journal.ru>

<http://www.vipstd.ru/nauteh>

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере массовых коммуникаций, связи и охраны культурного наследия.

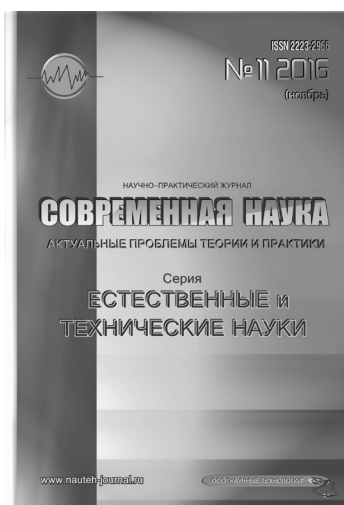
Свидетельство о регистрации

ПИ № ФС 77-44912 от 04.05.2011 г.

Научно-практический журнал

**Scientific and practical journal**

(БАК - 05.11.00, 05.12.00, 05.13.00, 03.02.00, 14.01.00)



**В НОМЕРЕ:**

ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ, ПРИБОРОСТРОЕНИЕ,  
МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-  
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ,  
РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ, ИНФОРМАТИКА,  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА  
И УПРАВЛЕНИЕ, КЛИНИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

Журнал издается с 2011 года

*Редакция:*

**Главный редактор**

А.В. Царегородцев

**Выпускающий редактор**

Ю.Б. Миндлин

**Верстка**

А.В. Романов

Подписной индекс издания  
в каталоге агентства «Пресса России» — 80016

В течение года можно произвести  
подписку на журнал непосредственно в редакции.

Авторы статей несут полную ответственность  
за точность приведенных сведений, данных и дат.

При перепечатке ссылка на журнал  
«Современная наука:

Актуальные проблемы теории и практики» обязательна.

Журнал отпечатан в типографии

ООО «КОПИ-ПРИНТ» тел./факс: (495) 973-8296

Подписано в печать 28.11.2016 г. Формат 84x108 1/16

Печать цифровая Заказ № 0000 Тираж 2000 экз.

ISSN 2223-2966



# СОДЕРЖАНИЕ

# CONTENTS

## ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ

- Каменец А.Ф.** — Изучение влияния ионов марганца (II) на уровень флуоресценции хлорофилла *scenedesmus quadricauda*  
*Kamenets A.* — Studying of influence of ions of manganese (II) on the level of fluorescence of the chlorophyll of *scenedesmus quadricauda* ..... 3
- Шаповалова А.А.** — Состояние ценопопуляций *Pulsatilla рbtens* (L.) Mill. в Балашовском районе Саратовской области  
*Shapovalova A.* — The state of coenopopulations of *Pulsatilla рbtens* (L.) Mill. in Balashov district of Saratov region ..... 6

## ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

- Антонов А.С., Бузников Н.А.** — Эффект магнитоимпеданса в магнитомягких пленках со слоистой структурой  
*Antonov A., Buznikov N.* — The magneto effect magnetic films with a layered structure ..... 12
- Иванов И.А., Панасик Д.С., Сафонов С.Н., Семенов А.Н., Увайсов С.У.** — Математическая модель зависимости точности измерения значений температуры от силы прижатия термодатчика к электрорадиоэлементу  
*Ivanov I., Panasik D., Safonov S., Semenenko A., Uvaysov S.* — Mathematical model of dependence of measurement accuracy temperature values from the pressing force of the temperature sensor to the electronic component ..... 19
- Панкратов В.М., Барулина М.А.** — Амплитудно-частотные характеристики роторного микромеханического датчика угловой скорости при расстройке парциальных частот  
*Pankratov V., Barulina M.* — The frequency response of robot type micromechanical gyroscope in conditions discordance of partial frequencies ..... 23

## РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

- Шапаренко В.С.** — Анализ статистики длительных нарушений в работе устройств телемеханики в региональной сетевой компании (РСК)  
*Shaparenko V.* — Analysis of long-term statistics of operational dispatch communication channels and remote control in the interregional distribution grid companies (IDGC) ..... 28

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

- Жолондиевский Э.Р.** — Датчики, используемые в связанных кольцевых сетях из нейронов Nvc  
*Zholondiyevsky E.* — The sensors used in associated ring network of neurons Nvc ..... 33

- Камалова Ю.Б.** — Распознавание изображений зёрен пыльцы, полученных с помощью растрового электронного микроскопа в контексте применения нейронных сетей  
*Kamalova Yu.* — The recognition of images of pollen grains obtained using a scanning electron microscope in the context of using neural networks ..... 38
- Марон М.А.** — Математическая модель возникновения ошибок в работах проекта  
*Maron M.* — Mathematical model for emergence of mistakes in works of the project ..... 44
- Нгуен Т.А.** — Обзор систем обнаружения мошенничества в телекоммуникационном предприятии  
*Nguyen T. A.* — A review of fraud detection systems in telecommunication company ..... 49
- Сервецкий А.И., Толстых В.В.** — Применение математического моделирования в прогнозировании военных действий  
*Servetskiy A., Tolstykh V.* — Application of mathematical modeling in forecasting of military operations ..... 55

## КЛИНИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

- Александрян Г.К.** — Электроимпедансная томография – перспективный и развивающийся метод медицинской визуализации  
*Alexanyan G.* — Electrical impedance tomography – a perspective and proceeding method of medical visualization ..... 60
- Виндерлих М.Е.** — Актуальные вопросы эффективности лечения и профилактики плоско-вальгусной стопы  
*Vinderlih M.* — Topical issues of the effectiveness of treatment and prevention of plano-valgus foot ..... 65
- Григоричева Л.Г., Харченко С.С., Ларина А.В., Кожевников В.В.** — Оценка качества жизни детей с ортопедической патологией на фоне дисплазии соединительной ткани  
*Grigoricheva L., Kharchenko S., Larina A., Kozhevnikov V.* — Quality of life of children with orthopedic pathology on the background of connective tissue dysplasia ..... 68
- Гурьева В.А., Кургузкина Е.А.** — Методы подготовки пациенток, страдающих хроническим эндометритом к программам ВРТ  
*Gurjeva V., Kurguskina E.* — Methods of preparation patients suffering from chronic endometritis programs ART ..... 74
- Иванов В.В., Саганов В.П.** — Противомикробная активность растительных лекарственных средств, используемых для лечения инфекций мочевых путей  
*Ivanov V., Saganov V.* — The antimicrobial activity of plant medicinal remedies using for urinary tract infections treatment ..... 81
- Курдгелия Т.М., Бокерия О.Л.** — Мобильные технологии в кардиологии  
*Kurdgeliya T., Bockeria O.* — Mobile technologies in cardiology ..... 85

## Информация

- Наши авторы / Our Authors ..... 93
- Требования к оформлению рукописей и статей для публикации в журнале ..... 94

# ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ИОНОВ МАРГАНЦА (II) НА УРОВЕНЬ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ХЛОРОФИЛЛА *SCENEDESMUS QUADRICAUDA*

**Каменец Алексей Федорович**

Аспирант, Саратовский государственный  
технический университет им. Гагарина Ю. А.  
kamenetsaf@yandex.ru

**STUDYING OF INFLUENCE OF IONS OF MANGANESE (II) ON THE LEVEL OF FLUORESCENCE OF THE CHLOROPHYLL OF *SCENEDESMUS QUADRICAUDA***

**A. Kamenets**

*Summary.* It is shown that presence at water systems of salts of manganese at concentration from 0,001 mg/l and exerts the significant negative effect on the level of vital activity *S. quadricauda* determined by decrease in intensity of fluorescence of a chlorophyll of seaweed in comparison with control above. At the same time low concentration of ions of manganese (0,001 and 0,005 mg/l) don't lead to acute toxicity of the water environment.

*Keywords:* influence, *Scenedesmus quadricauda*, concentration, manganese, toxicity, fluorescence.

*Аннотация.* Показано, что присутствие в водных системах солей марганца в концентрациях от 0,001 мг/л и выше оказывает существенное отрицательное влияние на уровень жизненной активности *S. quadricauda*, определяемое по снижению интенсивности флуоресценции хлорофилла водорослей по сравнению с контролем. При этом невысокие концентрации ионов марганца (0,001 и 0,005 мг/л) не ведут к острой токсичности водной среды.

*Ключевые слова:* воздействие, *Scenedesmus quadricauda*, концентрация, марганец, токсичность, флуоресценция.

## Введение

**М**еталлы в водной среде рассматриваются как потенциальная угроза для водных организмов [1]. Известно, что они способны нарушать целостность физиологических и биохимических процессов, вызывать серьезные изменения в метаболических реакциях у гидробионтов [2, 3].

Одним из основных свойств любой популяции, определяющим ее существование и развитие, является гетерогенность. Особи, составляющие популяцию, отличаются по возрасту, размерам, физиологической активности, скоростям роста, а также по реакциям на изменение условий обитания. Именно неоднородность качественного состава популяции обеспечивает ее устойчивость и адаптацию к внешним условиям [4, 5, 6].

Важной динамической переменной является уровень жизненной активности каждого отдельного организма (клетки), оценка которой дает основание судить о функционировании популяции. Токсическая нагрузка позволяет, с одной стороны, оценить общую резистентность клеток, входящих в популяцию, а с другой стороны, модифицирует их жизнестойкость [7].

Целью данной работы было исследовать влияние ионов марганца в различных концентрациях на численность микроводорослей *Scenedesmus quadricauda*.

## Материалы и методы исследования

В экспериментах использовалась лабораторная альгологически чистая культура *S. quadricauda* [8, 9]. Оценку степени воздействия ионов марганца на клетки проводили по стандартной методике биотестирования [10]. Клетки помещали в водные растворы  $MnCl_2$  и  $MnSO_4$  с концентрациями 0,001; 0,005; 0,01; 0,05; 0,1; 1; 3; 5 и 10 мг/л, их численность контролировали с помощью спектрофлуориметра до начала инкубирования и по окончании эксперимента [10].

После пересева и тщательного перемешивания водорослей в контрольных и испытуемых колбах перед началом эксперимента измерили интенсивность флуоресценции с помощью спектрофлуориметра.

В начале биотестирования (через 30 минут) в контроле и в растворах хлорида марганца интенсивность флуоресценции в относительных единицах составила 0,0495886 отн. ед., а в растворах сульфата марганца и в контроле — 0,0559252 отн. ед. Повторное измерение подавления интенсивности флуоресценции хлорофилла осуществлялось после установленного времени экспозиции (72 часа) контрольных и исследуемых вод в колбах в люминостате [10]. Опыт проводился в двух повторностях.

## Обсуждение результатов

Для каждого тестируемого раствора было определено относительное изменение численности клеток *S.*

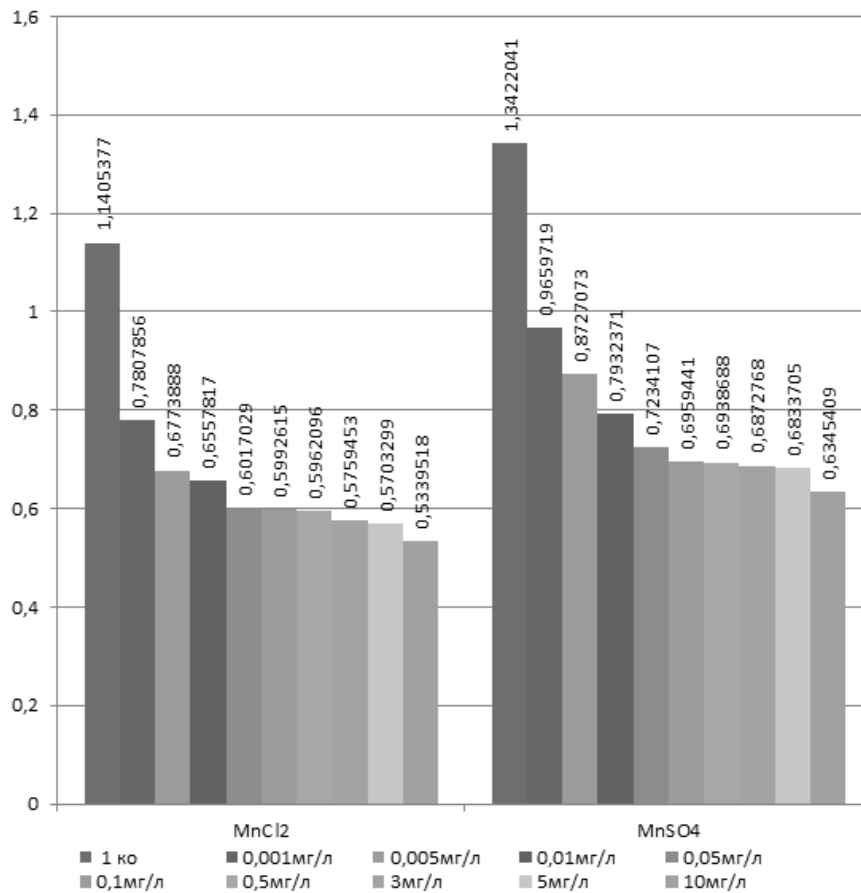


Рисунок 1. Среднее значение уровня флуоресценции *S. quadricauda*

*quadricauda* по сравнению с контролем. Известно, что при отклонении опытного значения от контроля менее чем на 20% среда считается нетоксичной для клеток, отклонения более 50% свидетельствуют о проявлении острой токсичности [10].

В каждой колбе измерялось подавление интенсивности флуоресценции хлорофилла водорослей по сравнению с контролем на спектрофлуориметре «Флюорат-02-Панорама» (при  $\lambda_{возб}=400$  нм,  $\lambda_{рег}=685$  нм) с последующим вычислением среднего арифметического.

Среднее значение острого токсического воздействия для каждого разведения по результатам двух параллельных определений вычисляли по формуле:

$$X = \frac{\sum X_i}{n}$$

где X — среднее значение тест-параметра (уровня флуоресценции или численности клеток);  $X_i$  — значения тест-параметра в *i*-том параллельном определении; *n* — количество параллельных определений.

В результате произведённые измерения показали уменьшение уровня флуоресценции в образце с концентрацией 10 мг/л в 2 раза, к этому значению приблизились образцы с концентрациями 0,01, 0,1, 0,5; 3; 5 мг/л, также существенное отрицательное воздействие на образцы наблюдалось и при концентрациях 0,001 и 0,005 мг/л. Результаты исследования показаны на рис. 1.

Расчёт относительного изменения (в процентах) уровня флуоресценции водорослей для каждого разведения по сравнению с контролем производился по формуле:

$$I = \frac{X_k - X_0}{X_k} \cdot 100\%$$

где  $X_k$  — среднее значение тест-параметра в контроле,  $X_0$  — среднее значение тест-параметра в опыте.

Расчёт относительного изменения (в процентах) уровня флуоресценции водорослей для каждого образца по сравнению с контролем выявил острую токсичность ионов  $Mn^{2+}$  при концентрации 10 мг/л, к ней

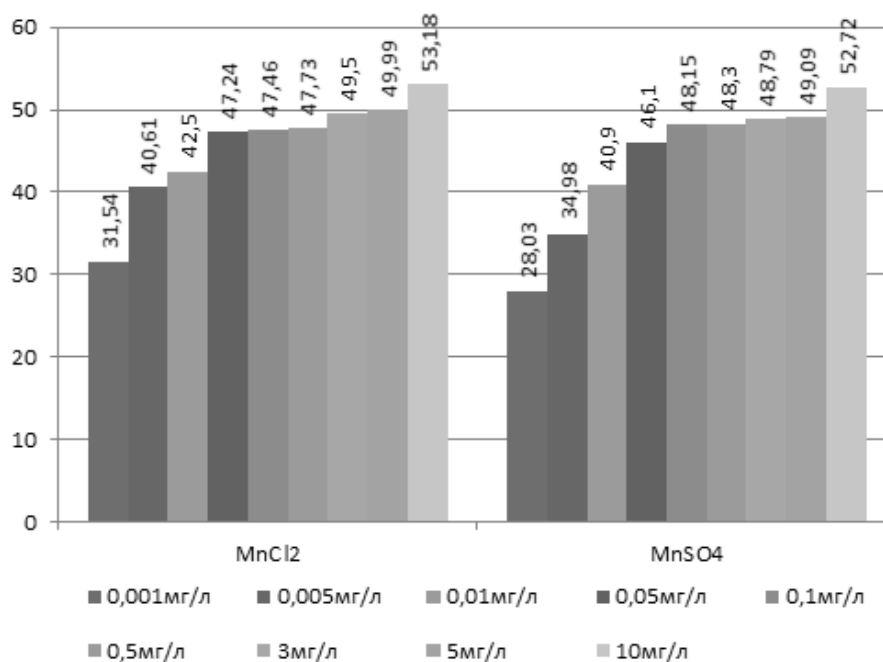


Рисунок 2. Относительного изменения (в процентах) уровня флуоресценции *S. quadricauda*

также приблизились концентрации 0,01, 0,1, 0,5; 3; 5 мг/л. Существенное негативное воздействие на образцы наблюдалось и при концентрациях 0,001 и 0,005 мг/л, хотя в этом случае острая токсичность, согласно методике, не была доказанной. Результаты приведены на рис 2.

### Заключение

Оценка воздействия ионов марганца (II) на *S. quadricauda* проводится по стандартной методике био-

тестирования водной среды, в которой критерием токсичности таковой является подавление интенсивности флуоресценции хлорофилла водорослей по сравнению с контролем. Острая токсичность воды была выявлена при концентрации ионов  $Mn^{2+}$ , равной 10 мг/л, к ней также приблизились концентрации 0,01, 0,5, 0,1; 1; 3, 5 мг/л. Существенное отрицательное воздействие на образцы наблюдалось и во всех остальных пробах (0,001 и 0,005 мг/л), однако в этом случае острая токсичность воды, согласно методике, не была доказанной.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Марушкина Е. В. 2005. Исследование состояния популяции водоросли *Scenedesmus quadricauda* в норме и при интоксикации методом микрокультур. Автореф. дисс. М. 24 с.
2. Успенская В. И. 1966. Экология и физиология питания пресноводных водорослей. М.: МГУ. 124 с.
3. Фелленберг, Г. Загрязнение природной среды. Введение в экологическую химию / Г. Фелленберг; пер. с нем. — М.: Мир, 1997. — 232с.
4. Строганов Н. С. 1973. Теоретические аспекты действия пестицидов на водные организмы // Эксп. вод. токсикология. Рига: Зинатне. Вып. 5. С. 11–37.
5. Гапочка Л. Д. 1981. Об адаптации водорослей к токсическому воздействию. М.: МГУ. 80 с.
6. Гроздинский Д. М. 1983. Надежность растительных систем. Киев: Наукова думка. 365 с.
7. Дмитриева А. Г., Кожанова О. Н., Дронина Н. Л. 2002. Физиология растительных организмов и роль металлов. М.: Изд-во МГУ. 160 с.
8. Владимирова М. Г., Семенов В. Е. 1962. Интенсивная культура одноклеточных водорослей. М.: Изд-во АН СССР. 59 с.
9. Филенко О. Ф., Дмитриева А. Г., Марушкина Е. В. 2004. Исследование структуры модельной популяции водоросли *Scenedesmus quadricauda* методом раздельного культивирования клеток // Сборник материалов. Международная научно-практическая конференция МГУ-СУНИ «Человечество и окружающая среда». 26–28 октября 2004 года, Россия, Москва, МГУ им. М. В. Ломоносова. С. 190–193.
10. ФР 1.39.2007.03223 Методика определения токсичности вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по изменению уровня флуоресценции хлорофилла и численности клеток водорослей.

# СОСТОЯНИЕ ЦЕНОПОПУЛЯЦИЙ *PULSATILLA PÁTENS* (L.) MILL. В БАЛАШОВСКОМ РАЙОНЕ САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

**Шаповалова Анна Алексеевна**

К.б.н., доцент, Балашовский институт (филиал)  
ФГБОУ «Саратовский государственный университет  
им. Н. Г. Чернышевского», г. Балашов, Саратовская обл.  
kupena07@rambler.ru

## THE STATE OF COENOPOPULATIONS OF *PULSATILLA PÁTENS* (L.) MILL. IN BALASHOV DISTRICT OF SARATOV REGION

**A. Shapovalova**

*Summary.* In 2014–2016 six coenopopulations of the rare and protected in Saratov region species of *Pulsatilla pátens* (L.) Mill. were studied. During the time of the research 165 temporary sample areas with a size of 1m<sup>2</sup> were made. In 2014 145 and in 2016 188 individuals of *P. pátens* were taken into account. The paper gives biometrical indications of *P. pátens* characteristic of Balashov district of Saratov region. Ontogenetic spectra of *P. Pátens* are made and the dynamics of the age structure of the coenopopulations is described. In age spectra of most coenopopulations of *P. pátens* middle-aged generative individuals are dominating, i.e. the ontogenetic spectrum characteristic of this species is being formed. However, the collective share of the pregenerative individuals of *P. pátens* in coenopopulations has decreased by more than 10% during the time of the research. The small amount of the individuals of the pregenerative age period is evidence of a vulnerable position of the species in the communities under study. The age index in coenopopulations is changed from 0,20 to 0,54, and the effectiveness index — from 0,51 to 0,97. According to the «delta-omega» classification all the coenopopulations of 2016 are mature.

*Keywords:* coenopopulations, age spectrum, *Pulsatilla pátens*, age index, effectiveness index.

*Аннотация.* В 2014–2016 гг. изучались шесть ценопопуляций редкого и охраняемого в Саратовской области вида *Pulsatilla pátens* (L.) Mill. Всего за время исследования было заложено 165 временных пробных площадок размером 1 м<sup>2</sup>. В 2014 г. учтено 145, а в 2016 г. — 188 особей *P. pátens*. В статье приведены биометрические показатели *P. pátens*, характерные для Балашовского района Саратовской области. Составлены онтогенетические спектры *P. pátens* и описана динамика возрастной структуры ценопопуляций. В возрастных спектрах большинства ценопопуляций *P. pátens* доминируют средневозрастные генеративные особи, то есть формируется характерный для данного вида онтогенетический спектр. Однако, совокупная доля прегенеративных особей *P. pátens* в ценопопуляциях за время исследования сократилась более чем на 10%. Малое количество особей прегенеративного возрастного периода свидетельствует об уязвимом положении вида в изучаемых сообществах. Индекс возрастности в ценопопуляциях изменяется от 0,20 до 0,54, а индекс эффективности — 0,51–0,97. По классификации «дельта-омега» все ценопопуляции в 2016 г. являются зрелыми.

*Ключевые слова:* ценопопуляция, возрастной спектр, *Pulsatilla pátens*, индекс возрастности, индекс эффективности.

## Введение

Сохранение биоразнообразия экосистем — одна из важнейших проблем современной биологической науки. Редкие и охраняемые виды — это наиболее уязвимая часть любой экосистемы. Прострел раскрытый (*Pulsatilla pátens* (L.) Mill.) — многолетнее, поликарпическое, розеточное, вертикально корневищное, травянистое растение. Цветет в конце апреля начале мая, плоды формируются в конце мая начале июня. Цветение растения начинается на 10–12 год жизни. Плод — многоорешек [3]. *P. pátens* занесен в региональные Красные книги Саратовской, Пензенской, Воронежской, Самарской, Волгоградской, Смоленской областей. В Саратовской области он имеет категорию и статус 2 V — уязвимый вид. В области обитает в умеренно влажных и сухих степях, в разреженных сосновых лесах, на опушках, песчаных и известняковых склонах. Ареал вида неуклонно сокра-

щается из-за недостаточного количества подходящих местообитаний, биологических особенностей вида, сбора населением как декоративного и лекарственного растения [4]. Состояние ценопопуляций *P. pátens* в Балашовском районе ранее не изучалось, поэтому такие исследования являются актуальными.

Целью данной работы явилось изучение возрастной структуры ценопопуляций *P. pátens* в Балашовском районе Саратовской области.

## Материалы и методы исследования

Исследования проводились в период с 2014 по 2016 гг. в Балашовском районе Саратовской области. Балашовский район располагается в степной зоне на западе Правобережья Саратовской области, в Окско-Донской низменности. Климат засушливый и умеренно

Таблица 1. Характеристика месторасположения ЦП *P. rápens*

№ ЦП	Ассоциация	Координаты ЦП		Кол-во заложённых площадок / учётных особей	
		широта	долгота	2014 г.	2016 г.
1	Дубрава ландышевая	51°32'001''	42°58'266''	10/23	14/29
2	Типчаковая ассоциация	51°32'361''	42°58'614''	13/21	9/16
3	Дубрава снытевая	51°36'118''	43°14'598''	15/40	13/34
4	Типчаково-раkitникова ассоциация	51°36'182''	43°14'168''	5/8	4/7
5	Дубрава типчаковая	51°36'040''	43°15'347''	27/33	31/65
6	Типчаковая ассоциация	51°36'563''	43°15'435''	9/17	13/35

Таблица 2. Биометрические показатели *P. rápens* в Балашовском районе

Биометрические показатели	Возрастные группы	j*	im	v	g1	g2	g3	se
Каудекс, шт		1	1	1	1–2	3–50	8–28	2–5
Высота растения, см		3–5	5–7	7–13	7–33	8–38	10–38	9–12
Длина цветоноса, см		0	0	0	3–22	1–24	2–18	0
Кол-во цветов, шт		0	0	0	1–2	2–50	3–21	0
Кол-во недоразвитых цветов, шт		0	0	0	0	0	до 7	0
Кол-во нецветущих побегов, шт		1	1	1	0	0	до 5	2–5
Длина листочков околоцветника, см		0	0	0	2,8–4,5	1,5–4,5	2,0–4,1	0

\* j — ювенильные, im — имматурные, v — виргинильные, g1 — молодые генеративные, g2 — средне генеративные, g3 — старые генеративные, se — сенильные особи.

континентальный. Продолжительность вегетативного периода в среднем составляет 168 дней. Среднее количество осадков Правобережье области — 452 мм в год.

Для изучения ценопопуляций (далее ЦП) *P. rápens* закладывались временные пробные площадки размером 1x1 м. На каждой такой площадке учитывалось количество особей *P. rápens*. У каждого растения описывались следующие признаки: кол-во и высота побегов в каудексе, длина цветоносов, количество цветущих побегов (цветов, бутонов, отцветших и недоразвитых цветов на особи), количество нецветущих побегов, длина листочков околоцветника, количество нецветущих побегов. На основании этих признаков определялись онтогенетические группы особей. Возрастные состояния особей *P. rápens* определялись по Д. Н. Зонтикову [3]. При определении возрастной структуры ЦП за учётную единицу принимали как особей семенного происхождения — генеты, так и особей вегетативного происхождения (образовавшиеся в результате старческой партикуляции) — ранеты. Для всех ЦП рассчитывались индексы возрастности и эффективности и определялся тип ЦП по классификации А. А. Уранова «дельта-омега» [1; 6].

## Результаты и обсуждение

Было исследовано шесть ЦП *P. rápens*. Координаты их месторасположения и количество заложённых площадок указаны в таблице 1. Возрастные спектры строились по результатам исследований в 2014 и в 2016 гг. Пространственное размещение особей прострела в пределах всех ЦП агрегированное (пятнистое).

В условиях Балашовского района каудекс особей *P. rápens* содержал от 1 до 50 побегов, высота растений в период цветения достигала 38 см, длина листочков околоцветника доходила до 4,5 см (табл. 2).

Первая ЦП располагается в разреженном дубовом лесу в окрестностях с. Николевка. Тип ассоциации — дубрава ландышевая. В древесном ярусе в качестве содоминантов *Quercus robur* L. встречается *Pinus sylvestris* L. и *Betula pendula* Roth. Сомкнутость крон древесного яруса — 0,5–0,6. Подлесок редкий из *Acer tataricum* L., *Euonymus verrucosa* Scop. и *Chamaecytisus ruthenicus* (Fisch. ex Wolf.) Klask. Травяной покров с проективным покрытием 100%, образован *Convallaria majalis* L., *Iris aphylla* L., *Festuca valesiaca* Gaud., *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Seseli*



Рис. 1. Возрастной спектр *P. pátens* в ЦП № 1. j — ювенильные, im — имматурные, v — виргинильные, g1 — молодые генеративные, g2 — средне генеративные, g3 — старые генеративные, se — сенильные особи.

*libanotis* (L.) Koch. и другими видами. Размер ценопопуляции *P. pátens* — 200 на 200 м.

Онтогенетический спектр *P. pátens* в ЦП № 1 в 2014 г прерывистый, двуворшинный с максимумами на ювенильных (33,3%) и средневозрастных генеративных особях (25%). В ЦП также представлены имматурные (16,7%), виргинильные (8,3%) и молодые генеративные особи (17%). В 2016 г. спектр полночленный, со значительным доминированием средневозрастной генеративной группы (67,7%), и резко сократившимся представительством особей прегенеративного возрастного периода (в сумме 19,4%). Встречены старые генеративные особи (3,2%) (рис. 1).

Вторая ЦП обнаружена на опушке разреженной дубравы в окрестностях с. Николевка. Ассоциация типчаковая. Здесь произрастают кустарники — *Euonymus verrucosa* Scop. и *Chamaecytisus ruthenicus* (Fisch. ex Wolf.) Klask, с общим проективным покрытием 15%. Травяной покров образован *Festuca valesiaca* Gaud., *Iris aphylla* L., *Polygonatum odoratum* (Mill.) Druce, *Convallaria majalis* L., *Lactuca tatarica* (L.) C. A. Mey, *Thalictrum minus* L., *Eryngium planum* L. и другими видами. Размер ЦП *P. pátens* — 150 на 100 м.

В 2014 г. возрастной спектр ЦП № 2 полночленный одновершинный с максимумом на средневозрастных генеративных особях. Имеются растения прегенеративного (8,6% в сумме) и постгенеративного (4,3%) возрастных периодов, хотя и в небольших количествах. В 2016 г. возрастной спектр данной ЦП фрагментарный (представлены только особи генеративного периода), с максимумом на средневозрастных генеративных особях (рис. 2).

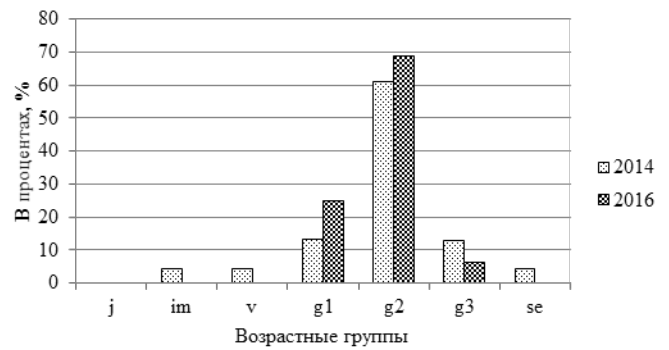


Рис. 2. Возрастной спектр *P. pátens* в ЦП № 2. j — ювенильные, im — имматурные, v — виргинильные, g1 — молодые генеративные, g2 — средне генеративные, g3 — старые генеративные, se — сенильные особи.

Третья ЦП располагается в снытевой дубраве в окрестностях с. Репное. В древостое кроме *Quercus robur* L. встречаются еще *Tilia cordata* Mill. и *Ulmus glabra* Huds. Сомкнутость крон — 0,8. Подлесок образован *Euonymus verrucosa* Scop. и имеет проективное покрытие — 20%. В травяном покрове заметно преобладает *Aegopodium podagraria* L., а также встречается *Urtica dioica* L., *Glechoma hederacea* L., *Chelidonium majus* L., *Anthriscus sylvestris* (L.) Hoffm., *Convallaria majalis* L., *Corydalis solida* (L.) Clairv, *Polygonatum odoratum* (Mill.) Druce. и другие. Размер ЦП — 150 на 200 м.

Возрастные спектры *P. pátens* в ЦП № 3 одновершинные с максимумами на средневозрастных генеративных особях (52,5% в 2014 г. и 55,9% в 2016 г.). Только в 2014 г. спектр полночленный, а в 2016 г. — фрагментарный (состоит только из особей генеративного возраста) (рис. 3).

Четвертая ЦП располагается на опушке дубового леса. Ассоциация — типчаково-ракетиниковая. В травяном покрове кроме *Festuca valesiaca* Gaud. встречается *Potentilla heptaphylla* Juslin, *Achillea millefolium* L., *Sedum maximum* (L.) Hoffm, *Iris aphylla* L., *Vicia sepium* L., *Tanacetum vulgare* L., *Dactylis glomerata* L. и др.

Возрастной спектр этой ЦП фрагментарный (рис. 4). В 2014 г. были обнаружены особи трех возрастных групп (виргинильной, молодой генеративной и средневозрастной генеративной). Максимальная доля в спектре приходилась на молодые генеративные особи — 50%. В 2016 г. зафиксированы особи только двух возрастных состояний (молодой генеративной — 28,6% и средневозрастной генеративной — 71,4%). Особей прегенеративного и постгенеративного возрастных периодов в этой ЦП 2016 г. не обнаружено.



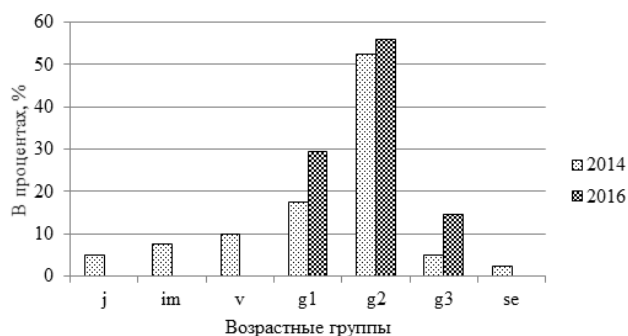


Рис. 3. Возрастной спектр *P. pátens* в ЦП № 3. j — ювенильные, im — имматурные, v — виргинильные, g1 — молодые генеративные, g2 — средне генеративные, g3 — старые генеративные, se — сенильные особи.

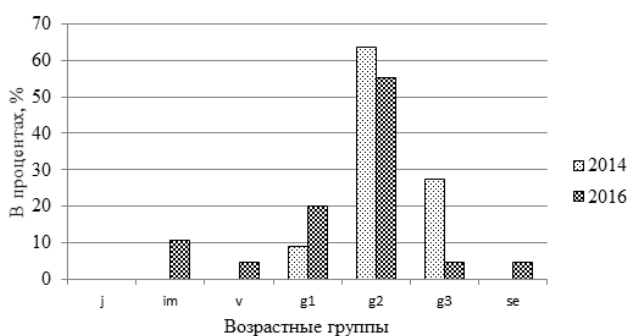


Рис. 5. Возрастной спектр *P. pátens* в ЦП № 5. j — ювенильные, im — имматурные, v — виргинильные, g1 — молодые генеративные, g2 — средне генеративные, g3 — старые генеративные, se — сенильные особи.

Пятая ЦП располагается на высоком (западном) берегу озера Трубочка в разреженном дубовом лесу. Ассоциация — дубрава типчаковая. В древесном ярусе кроме *Quercus robur* L. встречается *Pinus sylvestris* L. Подлесок образован *Chamaecytisus ruthenicus* (Fisch. ex Wolf.) Klask. В травяном покрове *Potentilla heptaphylla* Juslin, *Artemisia austriaca* Jacq., *Dactylis glomerata* L., *Sedum maximum* (L.) Hoffm., *Sempervivum ruthenicum* Schnittsp. et C. B. Lehm., *Iris arenaria* Waldst. et Kit. и др. ЦП *P. pátens* имеет размеры 300 на 300 м.

В 2014 г. возрастной спектр *P. pátens* в ЦП № 5 был фрагментарным (обнаружены только особи генеративного возрастного периода). В 2016 г. спектр полноценный — обнаружены особи прегенеративного (15,4%), генеративного (80%) и постгенеративного (4,6%) периодов (рис. 5). В обоих случаях доминируют средневозрастные генеративные особи (в 2014 г. — 63,6%, 2016 г. — 55,4%).

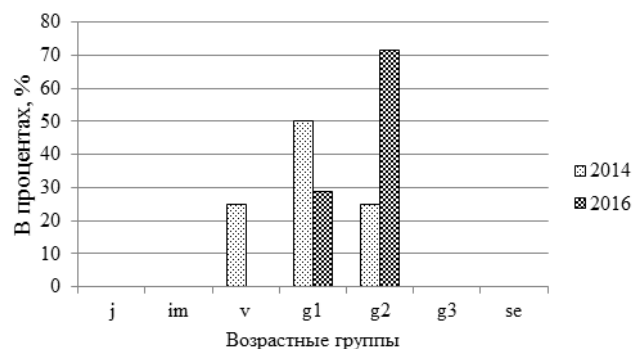


Рис. 4. Возрастной спектр *P. pátens* в ЦП № 4. j — ювенильные, im — имматурные, v — виргинильные, g1 — молодые генеративные, g2 — средне генеративные, g3 — старые генеративные, se — сенильные особи.

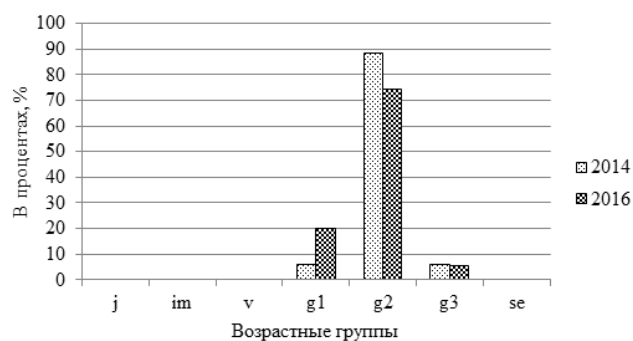


Рис. 6. Возрастной спектр *P. pátens* в ЦП № 6. j — ювенильные, im — имматурные, v — виргинильные, g1 — молодые генеративные, g2 — средне генеративные, g3 — старые генеративные, se — сенильные особи.

Шестая ЦП находится в окрестностях оз. Трубочка (северо-западный берег) и имеет размер 200 x 100 м. Это опушка дубового леса, типчаковая ассоциация. Травяной покров образуют *Festuca valesiaca* Gaud., *Melica picata* C. Koch, *Dactylis glomerata* L., *Fragaria viridis* Duch., *Lathyrus pisiformis* L., *L. vernus* (L.) Bernh., *Iris aphylla* L., *Fritillaria ruthenica* Wikstr., *Achillea millefolium* L., *Bromopsis inermis* (Leys.) Holub., *Thalictrum minus* L. и другие виды. Встречаются единичные кустарники — *Spiraea crenata* L., *Chamaecytisus ruthenicus* (Fisch. ex Wolf.) Klask, *Prunus spinosa* L.

Возрастной спектр шестой ЦП в обоих случаях фрагментарный — представлены только особи генеративного периода, с максимумом на средневозрастных генеративных особях (88,2% в 2014 г., и 74,3% в 2016 г.) (рис. 6.).

В онтогенетических спектрах большинства ЦП *P. pátens* за время исследования преобладали особи

Таблица 3. Демографические показатели ЦП *P. pátens*

№ ЦП	2014 г.			2016 г.		
	ИВ*	ИЭ**	Тип ЦП	ИВ	ИЭ	Тип ЦП
1	0,20	0,51	молодая	0,41	0,84	зрелая
2	0,48	0,85	зрелая	0,46	0,93	зрелая
3	0,39	0,77	зрелая	0,47	0,91	зрелая
4	0,29	0,75	зреющая	0,43	0,93	зрелая
5	0,54	0,92	зрелая	0,42	0,79	зрелая
6	0,50	0,97	зрелая	0,47	0,95	зрелая

\* ИВ — индекс возрастности, \*\* ИЭ — индекс эффективности

средневозрастной генеративной группы (рис. 1–6). По данным Л. Б. Заугольной средневозрастные генеративные особи могут доминировать в ценопопуляциях длительно живущих стержнекорневых многолетников. Резкое преобладание средневозрастных особей можно объяснить наибольшей длительностью этого возрастного состояния и наименьшей элиминацией в данном возрастном состоянии. В ЦП таких растений, как правило, низкое количество сенильных особей, так как в генеративном периоде они имеют значительную продолжительность жизни [2]. Таким образом, *P. pátens* формирует характерный для себя онтогенетический спектр.

Вызывает беспокойство недостаточное количество особей прегенеративного периода в ЦП *P. pátens* (а местами и их полное отсутствие). В 2014 г. доля особей прегенеративного периода была 18,6%, а в 2016 г. — 8,5% от общего числа зафиксированных особей. То есть, участие этих растений снизилась более чем на 10%.

Причины малого количества прегенеративной группы могут быть связаны с периодически случающимися неблагоприятными погодными условиями в период вегетации вида и с увеличивающейся антропогенной нагрузкой на сообщества с участием прострела (рубки, рекреация). Для прорастания семенам *P. pátens* нужна температура выше 20 °С. Отделяясь от материнского растения, они имеют недоразвитый зародыш. Поэтому в условиях теплой стратификации в морфологическом покое должно происходить доразвитие зародыша в семенах. Только после этого семена будут способны к прорастанию, которое может длиться больше месяца [5]. Поэтому из-за погодных условий в отдельные годы из спектра могут выпадать некоторые возрастные группы прегенеративного периода. Д. Н. Зонтиков с соавторами в своих исследованиях пришли к выводу, что антропогенная нагрузка может стать причиной выпадения целого ряда прегенеративных возрастных стадий в возрастном спектре *P. pátens* [3].

Если тенденция сокращения доли прегенеративных особей сохранится, это приведет к сокращению численности ценопопуляций этого редкого вида. В конечном счете, это может привести к потере видом способности к спонтанному самоподдержанию семенным и/или вегетативным путем (ценопопуляции перейдут в регрессивный тип). Важно продолжить мониторинговые исследования за ценопопуляциями *P. pátens* в Балашовском районе.

Индекс возрастности оценивает онтогенетический уровень ЦП в конкретный момент времени. Индекс изменяется в диапазоне 0–1. Чем выше его показатель, тем старше исследуемая ЦП [6]. Возрастность *P. pátens* в Балашовском районе динамична как во времени, так и в пространстве (табл. 3). Она варьируется от 0,20 до 0,54. Индекс эффективности — это энергетическая нагрузка на среду, называемая «средним» растением [1]. Он также изменяется от 0 до 1, и чем он выше, тем старше возрастная группа «среднего» растения. За время исследования этот показатель у *P. pátens* изменялся от 0,51 до 0,97 (табл. 3).

### Заключение

*P. pátens* в Балашовском районе формирует характерную для себя онтогенетическую структуру с доминированием средневозрастных генеративных особей. В изучаемых ценопопуляциях у него отмечены полночленные или фрагментарные типы спектра (и в лесных и опушечных фитоценозах). Но положение *P. pátens* в занимаемых им сообществах не является устойчивым из-за низкой доли особей прегенеративного возрастного периода.

У *P. pátens* в ЦП № 1–5 отмечена тенденция повышения индексов возрастности и эффективности (что говорит о «взрослении» данных ЦП), а в ЦП № 6 — их снижения. По критерию А. А. Уранова «дельта-омега» [6] в 2014 г. ЦП № 1 являлась молодой, ЦП № 4 — зреющей, а остальные — зрелыми. Все изученные ценопопуляции *P. pátens* в 2016 г. имеют зрелый тип ценопопуляции.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Животовский Л. А. Онтогенетические состояния, эффективная плотность и классификация популяций растений / Л. А. Животовский // Экология. 2001. № 1. С. 3–7.
2. Заугольнова Л. Б. Типы возрастных спектров нормальных ценопопуляций растений / Л. Б. Заугольнова // Ценопопуляции растений (основные понятия и структура). М.: Наука, 1976. С. 81–92.
3. Зонтиков Д. Н. Некоторые особенности онтогенеза и возрастной структуры популяций *Pulsatilla patens* (L.) Mill / Д. Н. Зонтиков, С. А. Зонтикова, В. П. Лебедев [и др.]. // Вестник Костромского государственного университета им. Н. А. Некрасова. Кострома: КГУ им. Н. А. Некрасова. 2013. С. 8–12.
4. Красная книга Саратовской области: Грибы. Лишайники. Растения. Животные / Комитет охраны окружающей среды и природопользования Саратов. обл. Саратов: Изд-во торгово-промышленной палаты Саратов. обл. 2006. 528 с.
5. Николаева М. Г. Справочник по прорастиванию покоящихся семян / М. Г. Николаева, М. В. Разумова, В. Н. Гладкова. Л.: Наука. 1985. 346 с.
6. Уранов А. А. Возрастной спектр фитоценопопуляций как функция времени и энергетических волновых процессов / А. А. Уранов // Биол. науки. 1975. № 2. С. 7–34.

© Шаповалова Анна Алексеевна ( kurena07@rambler.ru ). Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



# ЭФФЕКТ МАГНИТОИМПЕДАНСА В МАГНИТОМЯГКИХ ПЛЕНКАХ СО СЛОИСТОЙ СТРУКТУРОЙ<sup>1</sup>

## THE MAGNETO EFFECT MAGNETIC FILMS WITH A LAYERED STRUCTURE

**A. Antonov  
N. Buznikov**

*Summary.* Theoretically studied magneto effect multilayered nanostructured film. The film structure composed of a nonmagnetic highly conductive inner layer and two outer layers, in which soft magnetic films separated by nonmagnetic thin layers. A model for describing the dependency of the impedance of the film structure of the external magnetic field and the frequency, based on a joint decision of the linearized Maxwell's equations and the Landau-Lifshitz equation. The influence of the geometric parameters and physical properties of the layers in the magneto-size effect. The results can be used to create miniature sensors weak magnetic field.

*Keywords:* magneto effect, soft magnetic film, the model dependences of impedance

**Антонов Анатолий Сергеевич**

*Д.ф.-м.н., доцент, главный научный сотрудник,  
Институт теоретической и прикладной  
электродинамики РАН.*

**Бузников Никита Александрович**

*Д.ф.-м.н., главный научный сотрудник, Научно-исследовательский институт природных газов  
и газовых технологий — Газпром ВНИИГАЗ.  
n\_buznikov@mail.ru*

*Аннотация.* Теоретически исследован эффект магнитоимпеданса в многослойной наноструктурированной пленке. Пленочная структура состоит из внутреннего высокопроводящего немагнитного слоя и двух внешних слоев, в которых магнитомягкие пленки разделены тонкими немагнитными прослойками. Предложена модель для описания зависимостей импеданса пленочной структуры от внешнего магнитного поля и частоты, основанная на совместном решении линеаризованных уравнений Максвелла и уравнения Ландау–Лифшица. Исследовано влияние геометрических параметров и физических свойств слоев на величину эффекта магнитоимпеданса. Полученные результаты могут быть использованы для создания миниатюрных сенсоров слабого магнитного поля.

*Ключевые слова:* эффект магнитоимпеданса, магнитомягкие пленки, модель зависимостей импеданса.

## Введение

Явление магнитоимпеданса (МИ) заключается в изменении комплексного сопротивления ферромагнитного проводника, возбуждаемого переменным током, в присутствии внешнего магнитного поля. Этот эффект наблюдается во многих магнитомягких материалах с различной структурой и геометрией, в частности, в аморфных и нанокристаллических проводах и лентах, микропроводах в стеклянной оболочке и тонких пленках (см., например, [1]). Эффект МИ может быть описан в рамках классической электродинамики на основе представлений о скин-эффекте и зависимости толщины скин-слоя от магнитной проницаемости проводника. Вследствие высокой чувствительности эффект МИ представляет большой интерес для создания сенсоров слабого магнитного поля. Максимальные значения чувствительности МИ были достигнуты в магнитомягких аморфных проводах на основе кобальта и в микропроводах в стеклянной оболочке [1]. Однако с точки зрения миниатюризации сенсоров на основе МИ и их совместности с технологией интегральных схем особое внимание привлекают пленочные структуры.

Так как природа возникновения МИ связана со скин-эффектом, изменения импеданса во внешнем поле в однородных магнитомягких пленках толщиной порядка нескольких микрон малы вплоть до диапазона СВЧ [2]. Было установлено, что эффект МИ может быть увеличен при использовании трехслойных пленочных структур, состоящих из магнитомягких пленок, разделенных слоем высокопроводящего немагнитного металла [2–4]. В этом случае эффект МИ определяется индуктивностью внешних слоев и сопротивлением немагнитного слоя [5]. В результате чувствительность МИ к полю существенно возрастает в широком интервале частот возбуждающего тока.

Для достижения высокой чувствительности эффекта МИ в пленочных структурах необходимы низкая коэрцитивная сила, высокие значения намагниченности насыщения и наличие поперечной анизотропии, лежащей в плоскости магнитомягких слоев. Однако как было установлено, в магнитомягких пленках толщиной более 100 нм возникает анизотропия перпендикулярная поверхности, и происходит переход в так называемое «закритическое» состояние [6,7]. Возникновение пер-

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, проект N02.G25.31.0127.

пендикулярной анизотропии связано с формированием столбчатой микроструктуры при напылении магнитных пленок. Переход магнитных слоев в «закритическое» состояние приводит к увеличению коэрцитивной силы и к деградации магнитомягких свойств. Для решения этой проблемы и увеличения эффекта МИ было предложено структурирование магнитомягких пленок при помощи добавления тонких разделительных прослоек из высокопроводящего материала [8,9].

Эффект МИ в наноструктурированных многослойных пленках до настоящего времени теоретически не исследовался, хотя экспериментально он был изучен достаточно подробно [8–13]. В настоящей работе предложена модель для описания МИ в многослойных пленочных структурах. Распределение динамических электромагнитных полей и зависимости импеданса пленочной структуры от внешнего поля и частоты получены на основе совместного решения линеаризованных уравнений Максвелла и уравнения Ландау–Лифшица. Проанализировано влияние числа, толщины и отношения проводимостей слоев на эффект МИ в многослойной пленке.

### Модель

Рассмотрим многослойную пленку  $[F/C]_n/F/C/[F/C]_n/F$  длиной  $l$  и шириной  $w < l$ . В данной структурной формуле  $F$  означает слой магнитомягкого материала,  $C$  — слой высокопроводящего немагнитного материала, и квадратными скобками ограничены повторяющиеся элементы соответствующих слоев. Функционально такая пленочная структура включает в себя центральный немагнитный слой и два внешних магнитных слоя, структурированных для блокировки «закритического» состояния при помощи добавления тонких немагнитных прослоек. Толщина центрального слоя принимается равной  $2d_0$ , толщина немагнитных прослоек —  $d_1$  и толщина магнитомягких слоев —  $d_2$ .

Возбуждающий переменный ток  $I = I_0 \exp(-i\omega t)$  пропускается вдоль длинной стороны пленочной структуры, и внешнее постоянное магнитное поле  $H_e$  параллельно току. Будем полагать, что ширина пленочной структуры достаточно велика, и краевыми эффектами можно пренебречь. В этом приближении значения электромагнитных полей зависят только от координаты перпендикулярной плоскости образца (координаты  $z$ ). Вследствие симметрии пленочной структуры будем рассматривать далее только область значений  $z > 0$ .

Предполагается, что динамические магнитная индукция и магнитное поле в магнитомягких слоях линейно связаны между собой посредством локального тензора магнитной проницаемости. Значения компонент тензора

магнитной проницаемости зависят от множества факторов, таких как конфигурация доменной структуры, распределение осей анизотропии в магнитных слоях и т.д. Влияние этих факторов является достаточно сложным, что приводит к трудностям при моделировании для реальных материалов. В дальнейшем будем полагать, что все магнитомягкие слои имеют одинаковые физические свойства. При изготовлении многослойных пленок для создания поперечной анизотропии производится отжиг в присутствии магнитного поля. Предположим, что наведенная анизотропия в магнитных слоях лежит в плоскости пленки и близка к поперечной, а угол отклонения  $\psi$  оси анизотропии от поперечного направления мал.

Будем также полагать, что значения магнитной проницаемости слоев определяются только процессом вращения намагниченности. Такое приближение справедливо для не слишком низких частот, когда вклад в магнитную проницаемость за счет смещения доменных границ мал из-за влияния вихревых токов [1,14]. Кроме того, будем считать, что вследствие усреднения по доменной структуре тензор магнитной проницаемости магнитомягких слоев имеет квазидиагональную форму. В этом случае отклик МИ пленочной структуры определяется только поперечной магнитной проницаемостью [5].

Значение поперечной магнитной проницаемости  $\mu$  в магнитомягких слоях определяется при помощи стандартной процедуры решения линеаризованного уравнения Ландау–Лифшица, что приводит к следующему выражению [15]:

$$\mu = 1 + \frac{\gamma 4\pi M (\gamma 4\pi M + \omega_1 - i\kappa\omega) \sin^2 \theta}{(\gamma 4\pi M + \omega_1 - i\kappa\omega)(\omega_2 - i\kappa\omega) - \omega^2}, \quad (1)$$

где  $M$  — намагниченность насыщения,  $\gamma$  — гиромагнитное отношение,  $\kappa$  — параметр затухания Гилберта,  $\theta$  — равновесное значения угла вектора намагниченности в слоях по отношению к поперечному направлению,

$$\omega_1 = \gamma [H_a \cos^2(\theta - \psi) + H_e \sin \theta], \quad (2)$$

$$\omega_2 = \gamma [H_a \cos \{2(\theta - \psi)\} + H_e \sin \theta]$$

и  $H_a$  — поле анизотропии магнитомягких слоев.

Равновесный угол намагниченности  $\theta$  может быть найден при помощи минимизации свободной энергии магнитомягкого слоя, которая может быть представлена в виде суммы энергии анизотропии и энергии Зеемана во внешнем поле. Минимизация свободной энергии приводит к следующему уравнению для равновесного угла намагниченности  $\theta$ :

$$H_a \sin(\theta - \psi) \cos(\theta - \psi) = H_e \cos \theta. \quad (3)$$

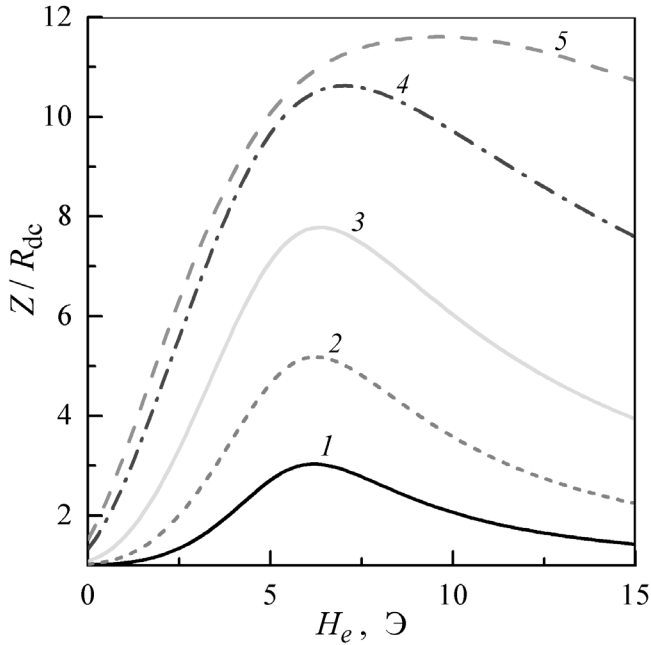


Рис. 1. Импеданс  $Z$  в зависимости от внешнего поля  $H_e$  при различных значениях частоты  $f = \omega/2\pi$ : 1 —  $f = 25$  МГц; 2 —  $f = 50$  МГц; 3 —  $f = 100$  МГц; 4 —  $f = 250$  МГц; 5 —  $f = 500$  МГц. Параметры, использованные при расчетах:  $2d_0 = 500$  нм,  $d_1 = 2.5$  нм,  $d_2 = 100$  нм,  $n = 4$ ,  $4\pi M = 7000$  Гс,  $H_a = 5$  Э,  $\psi = 0.05\pi$ ,  $\sigma_1 = 5 \cdot 10^{17}$  с-1,  $\sigma_2 = 10^{16}$  с-1,  $\kappa = 0.05$

При сделанных выше предположениях решение уравнений Максвелла для амплитуд продольного электрического поля и поперечного магнитного поля в немагнитных слоях пленочной структуры может быть представлено в виде

$$\begin{aligned} e_1^{(j)} &= (ck_1 / 4\pi\sigma_1)[A_1^{(j)}\text{ch}(k_1z) + B_1^{(j)}\text{sh}(k_1z)], \\ h_1^{(j)} &= A_1^{(j)}\text{sh}(k_1z) + B_1^{(j)}\text{ch}(k_1z). \end{aligned} \quad (4)$$

Здесь  $e_1^{(j)}$  и  $h_1^{(j)}$  — амплитуды электрического и магнитного полей в немагнитных слоях,  $j = 0, 1, \dots, n$  — номер слоя,  $A_1^{(j)}$  и  $B_1^{(j)}$  — постоянные,  $k_1 = (1-i)/\delta_1$ ,  $\delta_1 = c/(2\pi\omega\sigma_1)^{1/2}$ ,  $c$  — скорость света в вакууме и  $\sigma_1$  — удельная проводимость немагнитных слоев.

Амплитуды полей  $e_2^{(j)}$  и  $h_2^{(j)}$  в магнитомягких слоях описываются следующими выражениями:

$$\begin{aligned} e_2^{(j)} &= (ck_2 / 4\pi\sigma_2)[A_2^{(j)}\text{ch}(k_2z) + B_2^{(j)}\text{sh}(k_2z)], \\ h_2^{(j)} &= A_2^{(j)}\text{sh}(k_2z) + B_2^{(j)}\text{ch}(k_2z). \end{aligned} \quad (5)$$

Здесь  $A_2^{(j)}$  и  $B_2^{(j)}$  — постоянные,  $k_2 = (1-i)/\delta_2$ ,  $\delta_2 = c/(2\pi\omega\sigma_2)^{1/2}$  и  $\sigma_2$  — удельная проводимость магнитных слоев.

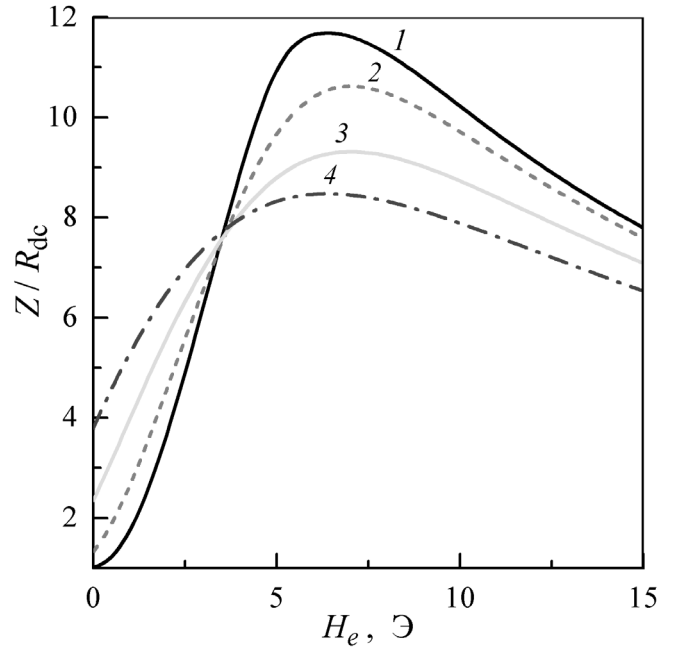


Рис. 2. Импеданс  $Z$  в зависимости от внешнего поля  $H_e$  при  $f = 250$  МГц и различных значениях угла оси анизотропии  $\psi$ : 1 —  $\psi = 0$ ; 2 —  $\psi = 0.05\pi$ ; 3 —  $\psi = 0.1\pi$ ; 4 —  $\psi = 0.15\pi$ . Остальные параметры, использованные при расчетах, такие же, как на Рис 1.

Постоянные  $A_1^{(j)}$ ,  $B_1^{(j)}$ ,  $A_2^{(j)}$  и  $B_2^{(j)}$  в выражениях (4) и (5) определяются из граничных условий. Вследствие симметрии пленочной структуры поперечное магнитное поле в центре образца ( $z = 0$ ) равно нулю:

$$h_1^{(0)}(0) = 0. \text{ Из этого условия получаем } B_1^{(0)} = 0. \quad (6)$$

На границах раздела немагнитных и магнитомягких слоев должны выполняться следующие условия непрерывности полей:

$$\begin{aligned} e_1^{(j)}(d_0 + jd_1 + jd_2) &= e_2^{(j)}(d_0 + jd_1 + jd_2), \\ h_1^{(j)}(d_0 + jd_1 + jd_2) &= h_2^{(j)}(d_0 + jd_1 + jd_2) \end{aligned} \quad (7)$$

при  $j = 0, 1, \dots, n$  и

$$\begin{aligned} e_2^{(j)}(d_0 + jd_1 + (j+1)d_2) &= e_1^{(j+1)}(d_0 + jd_1 + (j+1)d_2), \\ h_2^{(j)}(d_0 + jd_1 + (j+1)d_2) &= h_1^{(j+1)}(d_0 + jd_1 + (j+1)d_2) \end{aligned} \quad (8)$$

при  $j = 0, 1, \dots, n-1$ .

Кроме того, амплитуда магнитного поля на поверхности пленочной структуры определяется из условия возбуждения образца переменным током:

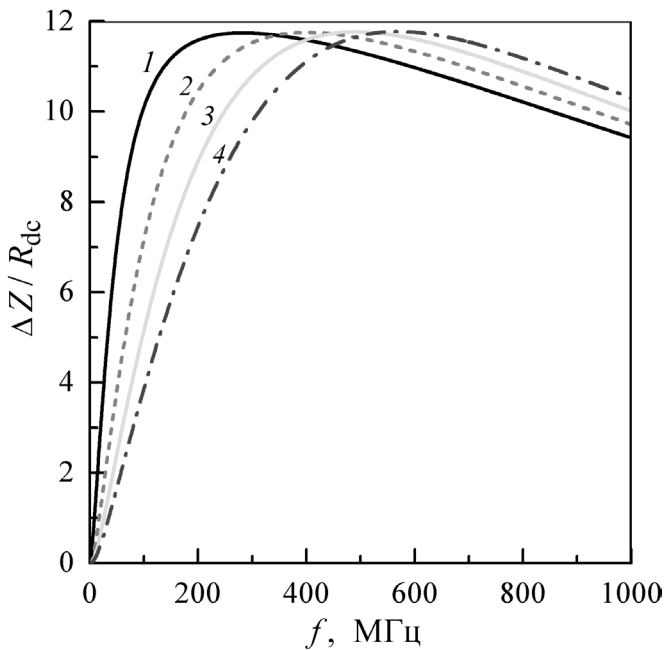


Рис. 3. Частотная зависимость относительного изменения импеданса  $\Delta Z$  при различных значениях поля анизотропии  $H_a$ : 1 —  $H_a = 2.5\text{Э}$ ; 2 —  $H_a = 5\text{Э}$ ; 3 —  $H_a = 7.5\text{Э}$ ; 4 —  $H_a = 10\text{Э}$ . Остальные параметры, использованные при расчетах, такие же, как на Рис 1.

$$h_2^{(n)}(d_0 + nd_1 + (n+1)d_2) = 2\pi I_0 / cw. \quad (9)$$

Таким образом, распределение динамических электромагнитных полей в многослойной пленочной структуре полностью описывается выражениями (4)–(9). Импеданс  $Z$  структуры может быть выражен через значение поверхностного импеданса [1,15,16]:

$$Z = \frac{2\pi l}{cw} \cdot \frac{e_2^{(n)}(d_0 + nd_1 + (n+1)d_2)}{h_2^{(n)}(d_0 + nd_1 + (n+1)d_2)}. \quad (10)$$

### Обсуждение результатов

На Рис. 1 показана зависимость импеданса  $Z$  многослойной пленочной структуры от внешнего поля  $H_e$ , рассчитанная при различных частотах. Значения импеданса отнесены к сопротивлению образца при постоянном токе  $R_{dc} = (l/w)[\sigma_1(2d_0 + nd_1) + \sigma_2(n+1)d_2]^{-1}$ . Результаты расчетов представлены только для области положительных внешних полей, так как в рамках рассматриваемой модели зависимость  $Z(H_e)$  симметрична по отношению к знаку внешнего поля. При не слишком высоких частотах импеданс достигает максимума вблизи поля анизотропии ( $H_e \cong H_a$ ). Такое поведение зависимости импеданса от внешнего поля является типичным для систем с поперечной анизотропией [1]. В этом диапазоне частот положение максимума в зависимости импеданса

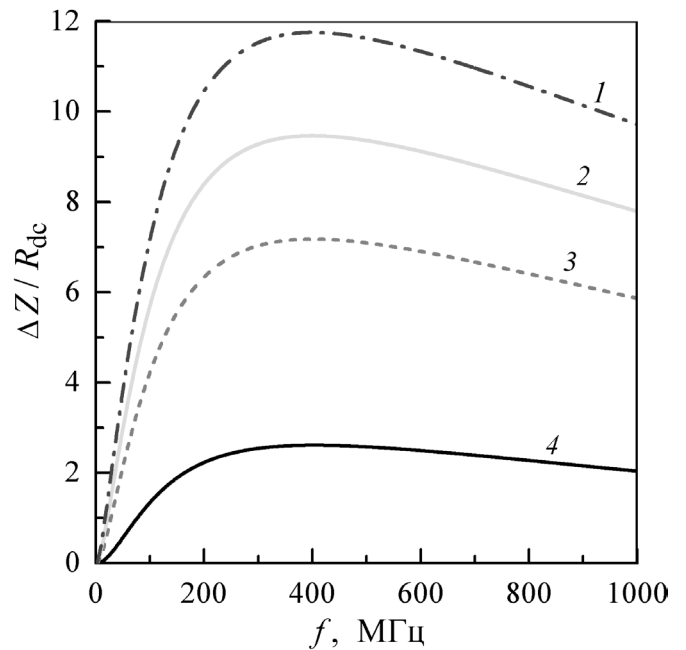


Рис. 4. Частотная зависимость относительного изменения импеданса  $\Delta Z$  при различных значениях  $d_0$ : 1 —  $2d_0 = 500\text{нм}$ ; 2 —  $2d_0 = 400\text{нм}$ ; 3 —  $2d_0 = 300\text{нм}$ ; 4 —  $2d_0 = 100\text{нм}$ . Остальные параметры, использованные при расчетах, такие же, как на Рис 1.

от внешнего поля практически не изменяется, а максимальные значения импеданса возрастают из-за уменьшения толщины скин-слоя. С увеличением частоты значение поля, при котором достигается максимальные значения импеданса, начинает возрастать вследствие ферромагнитного резонанса.

Отметим, что импеданс многослойной пленочной структуры является очень чувствительным к магнитным свойствам образца, в частности, к значению отклонения оси анизотропии в магнитомягких слоях от поперечного направления. Рис. 2 иллюстрирует влияние угла оси анизотропии на зависимость импеданса от поля. Значения импеданса и его чувствительность к внешнему полю возрастают с уменьшением угла  $\psi$ , и максимальная чувствительность достигается в случае поперечной анизотропии ( $\psi = 0$ ).

Для дальнейшего анализа введем относительное изменение импеданса  $\Delta Z$ , которое определяется как разность между значениями импеданса при поле анизотропии  $H_a$  и в нулевом поле:

$$\Delta Z = Z(H_a) - Z(0). \quad (11)$$

Рассчитанная частотная зависимость относительного изменения импеданса  $\Delta Z$  слоистой пленочной

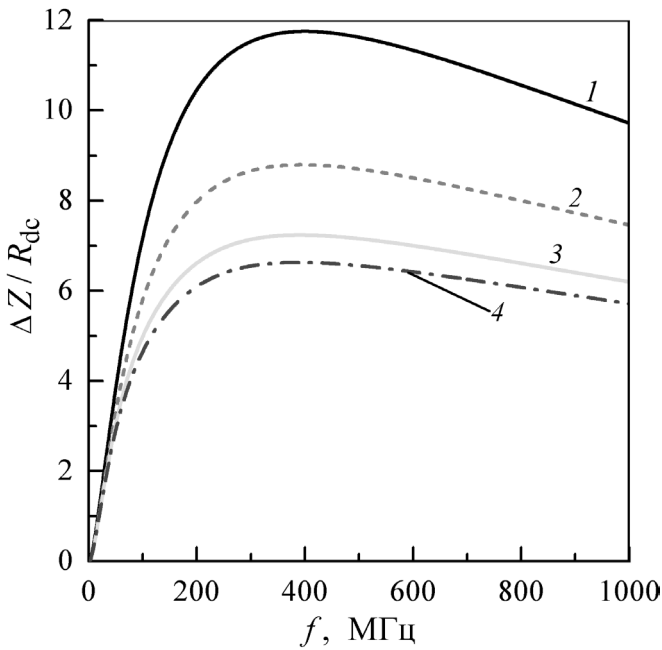


Рис. 5. Частотная зависимость относительного изменения импеданса  $\Delta Z$  для различных структур: 1 —  $n=4$ ,  $d_1=2.5\text{ нм}$ ,  $d_2=100\text{ нм}$ ; 2 —  $n=8$ ,  $d_1=5\text{ нм}$ ,  $d_2=50\text{ нм}$ ; 3 —  $n=16$ ,  $d_1=5\text{ нм}$ ,  $d_2=25\text{ нм}$ ; 4 —  $n=40$ ,  $d_1=2.5\text{ нм}$ ,  $d_2=10\text{ нм}$ . Параметры, использованные при расчетах:  $2d_0=500\text{ нм}$ ,  $4\pi M=7000\text{ Гс}$ ,  $H_a=5\text{ Э}$ ,  $\psi=0.05\pi$ ,  $\sigma_1=5 \times 10^{17}\text{ с}^{-1}$ ,  $\sigma_2=10^{16}\text{ с}^{-1}$ ,  $\kappa=0.05$ .

структуры при различных значениях поля анизотропии  $H_a$  магнитомягких слоев представлена на Рис. 3. С увеличением поля анизотропии положение максимального значения относительного изменения импеданса сдвигается в сторону более высоких частот. Это обстоятельство связано с тем, что снижение поля анизотропии приводит к возрастанию значения поперечной магнитной проницаемости, усилению скин-эффекта, и, соответственно, максимальные значения эффекта МИ достигаются при меньших частотах. Отметим также, что относительные изменения импеданса оказываются весьма значительными в широком интервале частот (см. Рис. 3).

На Рис. 4 показана частотная зависимость относительного изменения импеданса  $\Delta Z$  при различных значениях толщины центрального слоя  $2d_0$ . Относительное изменение импеданса достигает максимального значения при частоте примерно 400 МГц. Из Рис. 4 видно, что если толщина центрального немагнитного слоя уменьшается, то относительное изменение импеданса падает. Следует отметить, что снижение эффекта МИ при уменьшении толщины центрального слоя наблюдалось в экспериментах со слоистыми структурами NiFe/Cu [11].

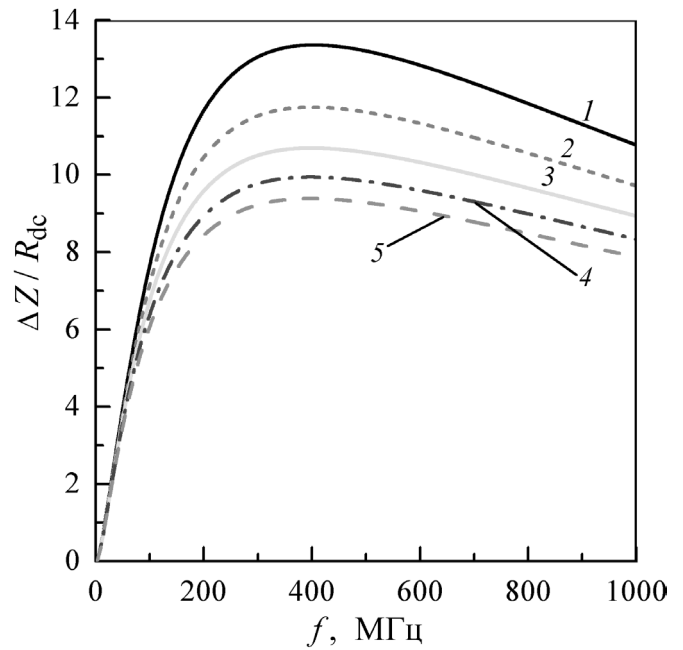


Рис. 6. Частотная зависимость относительного изменения импеданса  $\Delta Z$  при фиксированной толщине внешних слоев 510 нм и различных значениях  $d_1$ : 1 —  $d_1=0$ ; 2 —  $d_1=2.5\text{ нм}$ ; 3 —  $d_1=5\text{ нм}$ ; 4 —  $d_1=7.5\text{ нм}$ ; 5 —  $d_1=10\text{ нм}$ . Параметры, использованные при расчетах:  $2d_0=500\text{ нм}$ ,  $n=4$ ,  $4\pi M=7000\text{ Гс}$ ,  $H_a=5\text{ Э}$ ,  $\psi=0.05\pi$ ,  $\sigma_1=5 \times 10^{17}\text{ с}^{-1}$ ,  $\sigma_2=10^{16}\text{ с}^{-1}$ ,  $\kappa=0.05$ .

Рис. 5 иллюстрирует влияние числа магнитных слоев на относительное изменение импеданса  $\Delta Z$  пленочной структуры. Соотношения размеров магнитомягких слоев и немагнитных прослоек были выбраны таким образом, чтобы суммарная толщина внешних слоев составляла примерно 500 нм. Как следует из Рис. 5, с увеличением числа магнитных слоев и уменьшением их толщины относительное изменение импеданса снижается.

На Рис. 6 представлены результаты расчетов частотной зависимости относительного изменения импеданса пленочной структуры при различных значениях толщины немагнитных прослоек  $d_1$  и фиксированной толщине внешних слоев 510 нм. Максимальные значения относительного изменения импеданса достигаются в случае, когда немагнитные прослойки отсутствуют ( $d_1=0$ ). С увеличением толщины немагнитных прослоек относительное изменение импеданса уменьшается, но при достаточно больших значениях  $d_1$  значения  $\Delta Z$  слабо зависят от толщины немагнитных прослоек.

Влияние отношения проводимостей магнитного и немагнитного слоев на относительное изменение импеданса показано на Рис. 7. При снижении проводимости немагнитных слоев значения  $\Delta Z$  также уменьшаются.



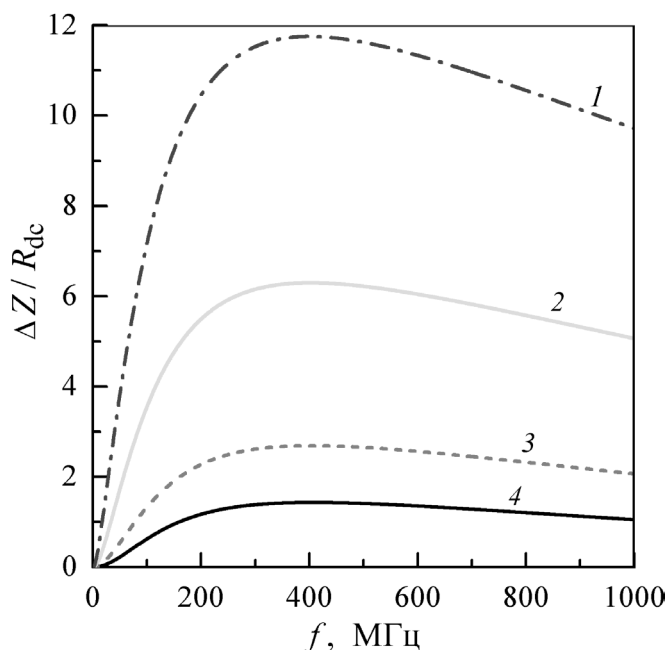


Рис. 7. Частотная зависимость относительного изменения импеданса  $\Delta Z$  при различных значениях  $\sigma_1$ : 1 —  $\sigma_1 = 5 \times 10^{17} \text{ c}^{-1}$ ; 2 —  $\sigma_1 = 2.5 \times 10^{17} \text{ c}^{-1}$ ; 3 —  $\sigma_1 = 10^{17} \text{ c}^{-1}$ ; 4 —  $\sigma_1 = 5 \times 10^{16} \text{ c}^{-1}$ . Остальные параметры, использованные при расчетах, такие же, как на Рис 1.

При этом относительное изменение импеданса существенно возрастает при  $\sigma_1/\sigma_2 > 10$ . Отметим, что аналогичный результат был получен ранее при анализе МИ в трехслойных пленочных структурах [5].

В рамках предложенной модели предполагается, что ширина пленочной структуры достаточно велика. В этом приближении магнитный поток, индуцированный возбуждающим током, заключен только в магнитомягких слоях, что позволяет рассматривать электродинамическую задачу как одномерную. В реальных образцах с конечной шириной магнитный поток замыкается на краях пленочной структуры через высокопроводящие слои. Как было показано для трехслойных пленочных структур, рассеяние магнитного потока через центральный немагнитный слой существенно уменьшает эффект МИ, когда ширина пленки меньше некоторого критического значения, которое зависит от поперечной магнитной проницаемости и толщины слоев [17,18]. Аналогичный эффект будет возникать и в рассматриваемых в настоящей работе многослойных пленках.

Необходимо отметить, что экспериментальные зависимости импеданса многослойных пленок от внешнего поля обычно имеют несимметричный характер по отношению к знаку поля и проявляют гистерезис. Это обстоятельство может быть связано с различием магнитных свойств слоев и с магнитоэлектронным взаимодействием между слоями. В частности, для трехслойной пленочной структуры, состоящей из магнитомягкой

и магнито жесткой пленок, разделенных слоем немагнитного высокопроводящего материала, магнитоэлектронное взаимодействие приводит к изменению распределения намагниченности в магнитомягкой пленке и к возникновению резкой асимметрии в зависимости импеданса от внешнего поля [19].

В последнее время большое внимание привлекают наноструктурированные многослойные пленки с несимметричной геометрией [20,21], которые могут быть использованы для разработки магнитных биосенсоров, предназначенных для регистрации неоднородных полей со сложным пространственным распределением. Несимметричные пленочные структуры создаются в процессе напыления разного количества верхних и нижних слоев. Симметричные пленочные структуры, как правило, позволяют получить наибольшее относительное изменение МИ. Однако несимметричные пленки могут иметь большую чувствительность импеданса к полю при высоких частотах. Отметим, что предложенная в настоящей работе модель может быть обобщена и на случай несимметричных многослойных пленочных структур.

## Заключение

В настоящей работе теоретически исследован эффект МИ в пленке со слоистой структурой, в которой магнитомягкие слои разделены немагнитными прослойками. Такое структурирование позволяет избежать перехода

магнитных слоев в «закритическое» состояние и увеличить чувствительность МИ [8,9]. Распределение электромагнитных полей по толщине пленочной структуры и импеданс образца получены на основе совместного решения уравнений Максвелла и уравнения Ландау–Лифшица. Разработанная модель позволяет исследовать влияние магнитной анизотропии, геометрии и проводимости слоев на зависимости импеданса многослойной пленки от внешнего магнитного поля и частоты. Проре-

монстрировано, что при типичных параметрах пленок в широком интервале частот относительное изменение импеданса достаточно велико и достигает нескольких сотен процентов. Предложенный подход может быть использован для анализа экспериментальных исследований эффекта МИ в многослойных пленочных структурах, а также для оптимизации параметров пленок при создании чувствительных элементов сенсоров магнитного поля.

## ЛИТЕРАТУРА

1. M.-H. Phan, H.-X. Peng. Giant magnetoimpedance materials: Fundamentals and applications // *Progress in Materials Science*. 2008. Vol. 53. N2
2. А.С. Антонов, С. Н. Гадецкий, А. Б. Грановский, А. Л. Дьячков, В. П. Парамонов, Н. С. Перов, А. Ф. Прокошин, Н. А. Усов, А. Н. Лагарьков. Гигантский магнитоимпеданс в аморфных и нанокристаллических мультислоях // *Физика металлов и металловедение*. 1997. Т. 83. № 6. С. 60–71.
3. K. Hika, L. V. Panina, K. Mohri. Magneto-impedance in sandwich film for magnetic sensor heads // *IEEE Transactions on Magnetics*. 1996. Vol. 32. N5. P. 4594–4596.
4. T. Morikawa, Y. Nishibe, H. Yamadera, Y. Nonomura, M. Takeuchi, Y. Taga. Giant magneto-impedance effect in layered thin films // *IEEE Transactions on Magnetics*. 1997. Vol. 33. N5. P. 4367–4372.
5. L.V. Panina, K. Mohri. Magneto-impedance in multilayer films // *Sensors and Actuators A*. 2000. Vol. 81. N1–3. P. 71–77.
6. А.В. Свалов, Г. В. Курляндская, Х. Хаммер, П. А. Савин, О. И. Тутынина. Изменение «закритического» состояния пленок Ni<sub>75</sub>Fe<sub>16</sub>Cu<sub>5</sub>Mo<sub>4</sub>, полученных радиочастотным напылением // *Журнал технической физики*. 2004. Т. 75. № 7. С. 97–100.
7. M. Coisson, F. Vinai, P. Tiberto, F. Celegato. Magnetic properties of FeSiB thin films displaying stripe domains // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 2009. Vol. 321. N7. P. 806–809.
8. G.V. Kurlyandskaya, L. Elbaile, F. Alves, B. Ahamada, R. Barrué, A. V. Svalov, V. O. Vas'kovskiy. Domain structure and magnetization process of a giant magnetoimpedance geometry FeNi/Cu/FeNi(Cu)/FeNi/Cu/FeNi sensitive element // *Journal of Physics: Condensed Matter*. 2004. Vol. 16. N36. P. 6561–6568.
9. M.A. Corrêa, A.D.C. Viegas, R.B. da Silva, A.M.H. de Andrade, R. L. Sommer. GMI in FeCuNbSiB/Cu multilayers // *Physica B*. 2006. Vol. 384. N1–2. P. 162–164.
10. M.A. Corrêa, F. Bohn, C. Chesman, R.B. da Silva, A.D.C. Viegas, R. L. Sommer. Tailoring the magnetoimpedance effect of NiFe/Ag multilayer // *Journal of Physics D: Applied Physics*. 2010. Vol. 43. N29. P. 295004 (7 pages).
11. S.O. Volchkov, E. Fernández, A. García-Arribas, J. M. Barandiaran, V. N. Lepalovskij, G. V. Kurlyandskaya. Magnetic properties and giant magnetoimpedance of FeNi-based nanostructured multilayers with variable thickness of the central Cu lead // *IEEE Transactions on Magnetics*. 2011. Vol. 47. N10. P. 3328–3331.
12. E. Fernández, A. Lopez, A. García-Arribas, A. V. Svalov, G. V. Kurlyandskaya, A. Barrainkua. High-frequency magnetoimpedance response of thin-film microstructures using coplanar waveguides // *IEEE Transactions on Magnetics*. 2015. Vol. 51. N1. P. 6100404 (4 pages).
13. García-Arribas, E. Fernández, A. Svalov, G. V. Kurlyandskaya, J. M. Barandiaran. Thin-film magneto-impedance structures with very large sensitivity // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 2016. Vol. 400. P. 321–326.
14. L. Kraus. GMI modeling and material optimization // *Sensors and Actuators A*, 2003. Vol. 106. N1–3. P. 187–194.
15. D.P. Makhnovskiy, A. N. Lagar'kov, L. V. Panina, K. Mohri. Effect of antisymmetric bias field on magneto-impedance in multilayers with crossed anisotropy // *Sensors and Actuators A*. 2000. Vol. 81. N1–3. P. 106–110.
16. A.S. Antonov, I. T. Iakubov. The high-frequency magneto-impedance of a sandwich with transverse magnetic anisotropy // *Journal of Physics D: Applied Physics*. 1999. Vol. 32. N11. P. 1204–1208.
17. D.P. Makhnovskiy, L. V. Panina. Size effect on magneto-impedance in layered films // *Sensors and Actuators A*. 2000. Vol. 81. N1–3. P. 91–94.
18. L.V. Panina, D. P. Makhnovskiy, D. J. Mapps, D. S. Zarechnyuk. Two-dimensional analysis of magnetoimpedance in magnetic/metallic multilayers // *Journal of Applied Physics*. 2001. Vol. 89. N11. P. 7221–7223.
19. N.A. Buznikov, A. S. Antonov. A model for asymmetric magnetoimpedance effect in multilayered bimagnetic films // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 2016. Vol. 420. P. 51–55.
20. G.V. Kurlyandskaya, A. A. Chlenova, E. Fernández, K. J. Lodewijk. FeNi-based flat magnetoimpedance nanostructures with open magnetic flux: New topological approaches // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 2015. Vol. 383. P. 220–225.
21. A.A. Chlenova, A. V. Svalov, G. V. Kurlyandskaya, S. O. Volchkov. Magnetoimpedance of FeNi-based asymmetric sensitive elements // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 2016. Vol. 415. P. 87–90.

# МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАВИСИМОСТИ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ОТ СИЛЫ ПРИЖАТИЯ ТЕРМОДАТЧИКА К ЭЛЕКТРОРАДИОЭЛЕМЕНТУ<sup>1</sup>

MATHEMATICAL MODEL  
OF DEPENDENCE OF MEASUREMENT  
ACCURACY TEMPERATURE VALUES  
FROM THE PRESSING FORCE  
OF THE TEMPERATURE SENSOR  
TO THE ELECTRONIC COMPONENT

*I. Ivanov*  
*D. Panasik*  
*S. Safonov*  
*A. Semenenko*  
*S. Uvaysov*

*Summary.* Brief description of the method of contact temperature measurement housing of electronic components are considered. The mathematical model of the thermal contact resistance «housing electronic component — thermocouple» considered. We defined a function influence of forces pressing on additional thermocouple temperature measurement error. Practical advice on the choice of measurement parameters are reported.

*Keywords:* temperature measurement, thermocouple, thermal contact resistance, an additional error, АСОНИКА-Т.

**Иванов Илья Александрович**

*К.т.н., ст. преподаватель,  
Национальный исследовательский университет  
«Высшая школа экономики»  
ivanov\_i\_a@mail.ru*

**Панасик Дарья Сергеевна**

*Магистрант, Национальный исследовательский  
университет «Высшая школа экономики»  
darya.panasik@mail.ru*

**Сафонов Сергей Николаевич**

*Ст. преподаватель, Национальный  
исследовательский университет «Высшая школа  
экономики»  
sns06@mail.ru*

**Семененко Александр Николаевич**

*Аспирант, Национальный исследовательский  
университет «Высшая школа экономики»  
matanmaniak@mail.ru*

**Увайсов Сайгид Увайсович**

*Д.т.н., профессор, Национальный исследовательский  
университет «Высшая школа экономики»  
uvaysov@yandex.ru*

*Аннотация.* Приведено краткое описание методики контактных измерений температур корпусов электрорадиоэлементов. Рассмотрена математическая модель теплового сопротивления контакта «корпус электрорадиоэлемента-термопара». Определена функция влияния силы прижатия термопары на дополнительную погрешность измерения температуры. Даны практические рекомендации по выбору параметров измерений.

*Ключевые слова:* измерение температуры, датчик температуры, контактное тепловое сопротивление, дополнительная погрешность, АСОНИКА-Т.

## Введение

**Т**емпература — один из главных дестабилизирующих факторов, влияющих на техническое состояние электронной аппаратуры (ЭА). Основные методы и средства, применяемые для оценки реальных температурных режимов ЭА, подразделяются на контактные и бесконтактные. У каждого из методов существуют свои ограничения. Например, активно развивающиеся бесконтактные методы измерения температуры подразумевают использование таких устройств, как термографы и ИК-пирометры, но их применение неприемлемо при анализе тепловых по-

лей внутри закрытого корпуса блока. В таких случаях используются устройства, измеряющие значения температуры контактным методом. Наиболее распространенным датчиком для контактных измерений является термопара.

Выявленные при испытаниях нарушения тепловых режимов могут привести к необходимости существенных изменений конструкции ЭА с соответствующими затратами ресурсов и времени. Поэтому, начиная с ранних этапов проектирования при заданных геометрических и теплофизических параметрах конструкции рассчитываются температуры элементов ЭА, предполагаемые

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 14-07-00422)

в реальных условиях эксплуатации. Расчет проводится с применением современных программ компьютерного моделирования тепловых процессов. Необходимые для оценки тепловых режимов мощности тепловыделений получают методами схемотехнического моделирования. При этом тепловое моделирование конструкции производится с учетом особенностей процесса измерения, а именно с учетом влияния теплопередачи через термопару на достоверность оценки реальной температуры электрорадиоэлемента (ЭРЭ). Термопара и ЭРЭ имеют геометрические размеры и теплофизические параметры одного порядка, и таким влиянием пренебречь нельзя.

Оценка степени вносимой погрешности осуществляется с помощью специальной математической модели теплового процесса взаимодействия «ЭРЭ — термопара», предложенной в [2]. Одним из основных параметров, определяющих адекватность модели, является величина теплового сопротивления в точке контакта ЭРЭ и датчика температуры. Это сопротивление в значительной степени зависит от силы прижатия контактирующей пары.

Таким образом, возникает необходимость изучения влияния силы прижатия датчика к электронному компоненту на точность измерения температуры.

#### Описание методики контактных измерений температур корпусов электрорадиоэлементов

Измерение температур ЭРЭ, смонтированных на печатном узле, выполняется в процессе разработки аппаратуры для оценки правильности выбора электрических и тепловых режимов. Температуры ЭРЭ измеряются, также, при выходном контроле и техническом обслуживании печатных узлов с целью выявления скрытых дефектов ЭРЭ и дефектов монтажа.

Методика контроля включает три этапа: моделирование тепловых режимов ЭРЭ (например, в подсистеме АСОНИКА-Т [1]) на стадии проектирования, измерение температур корпусов ЭРЭ, сравнение измеренных температур с расчетными значениями для выдачи заключения о наличии неисправностей.

Моделирование выполняется для получения расчетных температур ( $T_{1i}$ ) корпусов ЭРЭ при расположении печатных узлов в свободном пространстве. Далее рассчитываются температуры корпусов ЭРЭ ( $T_{2i}$ ) при контакте с термодатчиком [2]. В итоге определяются поправки для номинального теплового режима ЭРЭ

( $\Delta T_i = T_{1i} - T_{2i}$ ), учитывающие отвод теплоты через термодатчик.

Измерения температур реальных ЭРЭ выполняются контактным способом, в полученные значения ( $T_{87<.i}$ ) вносятся поправки для определения действительных температур корпусов ЭРЭ

$$(T_i = T_{87<.i} + \Delta T_i).$$

На основе сравнения действительных температур корпусов ( $T_i$ ) с расчетными температурами ( $T_{1i}$ ), которые хранятся в базе данных на исследуемый печатный узел, дается заключение о наличии скрытых дефектов ЭРЭ или дефектов монтажа на печатном узле.

#### Математическая модель теплового сопротивления контакта

При составлении модели в системе АСОНОКА-Т для расчета ( $T_{2i}$ ) назначаются параметры тепловых контактов термопары с поверхностями ЭРЭ, на основе которых рассчитываются контактные тепловые сопротивления (КТС). В результате отклонения параметров измерений от параметров, использованных в модели, возникают дополнительные погрешности.

Экспериментально было установлено, что наиболее значимым параметром, влияющим на результаты измерений контактным способом, является контактное тепловое сопротивление.

Тепловое сопротивление фактического контакта  $R_{\Phi К}$  в отраслевом стандарте [3] приведено к единице площади контакта и называется удельным тепловым сопротивлением

$$R_{\Phi К} = R_{\Phi К.0} \cdot \prod_{i=1}^4 K_i = R_{\Phi К.0} \cdot K_P \cdot K_{\lambda_{ПП}} \cdot K_H \cdot K_{\sigma}, \quad (1)$$

где

$R_{\Phi К.0} = 0,815 \cdot 10^{-4}$  — базовое значение теплового сопротивления фактического контакта,

$$\left[ \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}} \right];$$

$K_P$  — коэффициент, зависящий от контактного давления и определяемый выражением

$$K_P = 15,37 \cdot 10^6 \cdot P^{-1}; \quad (2)$$

$K_{\lambda_{ПП}}$  — коэффициент, зависящий от приведенного коэффициента теплопроводности материалов контактирующей пары и определяемый выражением

$$K_{\lambda_{ПП}} = 40,049732 \cdot \lambda_{ПП}^{-1,054012}; \quad (3)$$

$K_H$  — коэффициент, зависящий от суммарной величины микровыступов контактирующих поверхностей и определяемый выражением

$$K_H = \begin{cases} 1,906431 \cdot H^{0,058693}, & 0 < H \leq 17,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}; \\ 1, & H \geq 17,5 \cdot 10^{-6} \text{ м} \end{cases}; \quad (4)$$

$K_\sigma$  — коэффициент, зависящий от приведённого предела прочности материалов контактирующей пары и определяемый выражением

$$K_\sigma = 0,2 + 4 \cdot 10^{-9} \cdot \sigma_{ПП}. \quad (5)$$

Приведённый коэффициент теплопроводности и приведённый предел прочности двух материалов определяются из следующих выражений:

$$\lambda_{ПП} = 2 \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2}, \quad (6)$$

$$\sigma_{ПП} = 2 \frac{\sigma_1 \cdot \sigma_2}{\sigma_1 + \sigma_2}. \quad (7)$$

Для проведения аналитических расчетов графические представления коэффициентов в [3] были аппроксимированы аналитическими соотношениями (2) — (5).

Функция влияния силы прижатия термопары на дополнительную погрешность измерения температуры

В исходном соотношении (1) только коэффициент  $K_p$  зависит от контактного давления. Другие коэффициенты зависят от свойств материалов корпусов ЭРЭ и термодатчика, а также свойств их поверхностей. Для последующего анализа была выполнена аппроксимация коэффициента  $K_p$  соотношением (2):

$$K_p = c \cdot P^{-1}, \text{ где } c = 15,37 \cdot 10^6 \text{ — коэффициент, } \left[ \frac{H}{M^2} \right];$$

$$P \text{ — контактное давление, } \left[ \frac{H}{M^2} \right].$$

Отклонения контактного давления  $\Delta P$  в ходе измерений приводят к дополнительной погрешности. Функция влияния контактного давления на КТС имеет вид

$$\Delta K_p = \left( \frac{\partial K_p}{\partial P} \right) \cdot \Delta P = -c \cdot P^{-2} \cdot \Delta P. \quad (8)$$

Значения  $K_p$  в [3] определены в диапазоне контактных давлений от

$$P_1 = 1 \cdot 10^6 \frac{H}{M^2} \text{ до } P_2 = 7 \cdot 10^6 \frac{H}{M^2}.$$

Оценим значения функции влияния на указанных границах диапазона контактных давлений. Для этого зададим отклонения давлений на + 10% от номинальных значений.

$$\Delta K_{p1} = -c \cdot P_1^{-2} \cdot \Delta P_1 = -15,37 \cdot 10^6 \cdot (1 \cdot 10^6)^{-2} \cdot 0,1 \cdot 10^6 = -1,54. \quad (9)$$

$$\Delta K_{p2} = -c \cdot P_2^{-2} \cdot \Delta P_2 = -15,37 \cdot 10^6 \cdot (7 \cdot 10^6)^{-2} \cdot 0,7 \cdot 10^6 = -0,219. \quad (10)$$

Таким образом, отклонения контактного давления на +10% от номинальных значений могут приводить к отклонениям коэффициента  $K_p$  -154% до -21,9%.

Из соотношения (8) и оценок значений погрешностей (9) и (10) следует, что с целью уменьшения дополнительной погрешности измерения температуры желательно увеличивать контактное давление. При этом необходимо учитывать возможность повреждения поверхностей ЭРЭ или контактных площадок печатной платы, так как на них через корпус передается усилие прижатия термодатчика. Контактные давления ограничены механическими свойствами корпусов ЭРЭ, которые могут быть изготовлены из металлов, керамики, стекла, полимеров. Некоторые типы ЭРЭ имеют эмалевые покрытия.

Рекомендации по выбору параметров измерений

Результаты измерений температур ЭРЭ ИК-пирометром и термографом сопровождаются погрешностью, зависящей от степени черноты поверхностей ЭРЭ. Степени черноты поверхностей ЭРЭ находятся в диапазоне от 0,1 до 0,9, их уточнение при подготовке к контролю температур представляют трудоемкую задачу. Поэтому для оценки погрешностей контактного метода была использована выборочная проверка результатов изменений. Для минимизации отвода теплоты использовались диоды КД-520 в стеклянном корпусе, приклеенные на поверхности ЭРЭ. Подвод тока к ним выполнялся по проводам диаметром 0,3 мм. Регистрировался обратный ток диодов. Измерялись температуры поверхностей ЭРЭ в отсутствие термопары и при контакте с термопарой при изменении усилия прижатия. В результате было установлено, что при корректном задании параметров моделирования погрешности измерения температур поверхностей ЭРЭ с использованием термопары не превышают 10 0С на верхней границе диапазона.

В качестве термодатчика в прототипе установки использована термопара типа ТХК в связи с тем, что термопары имеют регламентированные номинальные

статические характеристики [4], износоустойчивую поверхность термоспая и выпускаются в миниатюрном исполнении.

Рабочий спай термопары, имеющий сферическую форму, сошлифовывался до диаметра плоской поверхности порядка 1 мм, что обеспечивает площадь контакта порядка 0,8 мм<sup>2</sup>. Плоская поверхность необходима для уменьшения теплового сопротивления контакта и придания определенности его параметрам. Площадь контакта термопары измерялась по отпечатку, оставленному на мастике, и вводилась в программу моделирования.

В экспериментальной установке термодара перемещается кареткой двухкоординатного стола на позиции, определенные по сборочному чертежу печатного узла, и прижимается к корпусам ЭРЭ на время, превышающее длительность переходных процессов установления температуры. Усилие прижима назначается исходя из контактного давления  $P$  и площади контакта  $S$ . Контактное давление, в общем случае, может быть выбрано в середине рекомендованного диапазона  $P = 0,5 \cdot (P_1 + P_2)$ , однако, его желательно корректировать с учетом механических свойств материалов корпусов ЭРЭ.

После подвода термопары к позиции контроля выполняется ее прижатие к корпусу ЭРЭ шаговым двигателем через винтовую передачу и спиральную калиброванную пружину. Каждый шаг двигателя обеспечивает

приращение усилия прижатия на известное значение. Перед перемещением термопары на следующую позицию контроля выполняется ее подъем для беспрепятственного движения над ЭРЭ. Структура аппаратно-программного комплекса, осуществляющего управление процессом измерения, описана в [5].

## ВЫВОДЫ

1. Контроль температур поверхностей ЭРЭ, установленных на печатных узлах, целесообразно выполнять в три этапа: моделирование тепловых режимов ЭРЭ, измерение температур корпусов ЭРЭ, сравнение измеренных температур с расчетными значениями для выдачи заключения о наличии неисправностей.

2. Учитывая большое количество параметров теплового контакта и сложность их расчетов перед моделированием, критерием наличия неисправности на печатном узле может служить превышение температуры ЭРЭ более чем на 10 °С над расчетным значением.

2. Для уменьшения дополнительной погрешности, вызванной непостоянством усилия прижатия термопары, необходимо стабилизировать усилие в процессе измерений на уровне, введенном в модель.

3. Форму рабочего спаия термопары целесообразно дорабатывать для получения плоской поверхности с известной площадью контакта.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Семенов А. Н., Линецкий Б. Л., Иванов И. А., Увайсов С. У. Методика применения системы АСОНИКА при моделировании тепловых процессов блоков и печатных узлов // Динамика сложных систем — XXI век. 2014. Т. 8. № 5. С. 3–9.
2. Аминев Д. А., Манохин А. И., Семенов А. Н., Увайсов С. У. Метод расчета погрешностей измерений температур электрорадиоэлементов печатного узла // Измерительная техника — 2015. № 5. С. 45–47.
3. ОСТ4 ГО.012.014. Расчёт контактного теплового сопротивления элементов и узлов. М.: Издательство стандартов. 23 с.
4. ГОСТ Р 8.585–2001. Государственная система обеспечения единства измерений. Термопары. Номинальные статические характеристики преобразования. М.: Издательство стандартов. 78 с.
5. Иванов И. А., Красивская М. И., Лышов С. М., Сафонов С. Н. Структура программно-аппаратного комплекса мониторинга температурных полей печатных узлов электронных средств // Качество. Инновации. Образование. 2015. № 12. С. 59–67.

© Иванов Илья Александрович (ivanov\_i\_a@mail.ru), Панасик Дарья Сергеевна (darya.panasik@mail.ru), Сафонов Сергей Николаевич (sns06@mail.ru),

Семенов Александр Николаевич (matanmaniak@mail.ru), Увайсов Сайгид Увайсович (uvaysov@yandex.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОТОРНОГО МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО ДАТЧИКА УГЛОВОЙ СКОРОСТИ ПРИ РАССТРОЙКЕ ПАРЦИАЛЬНЫХ ЧАСТОТ

## THE FREQUENCY RESPONSE OF ROTOR TYPE MICROMECHANICAL GYROSCOPE IN CONDITIONS DISCORDANCE OF PARTIAL FREQUENCIES

**V. Pankratov  
M. Barulina**

*Summary. The article discusses the impact discordance of partial frequencies on the natural frequencies of rotor type micromechanical gyroscope (RMMG). For this purpose the mathematical model of RMMG as a mechanical system with two degrees of freedom, consisting of two vibrational subsystems which interconnected by gyroscopic forces, was considered.*

*A mathematical model for the dependence of RMMG frequency response and tolerances on the values of the partial frequency of oscillations in the primary (forced oscillations) and secondary (measuring) channels was constructed. The discordance of these frequencies leads to the disturbance of the resonance tuning of RMMG natural frequencies and forced oscillations frequency, which directly affects the accuracy of the gyroscope. The analysis of dependence of the frequency response of the secondary oscillations of a micromechanical gyroscope sense element and the tolerance value for partial frequency was made. Results of this analysis allow at the stage of gyro designing to set reasonable requirements for tolerances on the RMMG geometric parameters, that determine the value of the partial frequencies.*

*Keywords: rotor type micromechanical gyroscope, frequency response, tolerance, partial frequencies, resonance, discordance of frequency.*

**Панкратов Владимир Михайлович**

*Д.т.н., профессор, Институт проблем точной механики и управления РАН, г. Саратов  
vmpank@mail.ru*

**Барулина Марина Александровна**

*К.т.н., старший научный сотрудник, Институт проблем точной механики и управления РАН, г. Саратов,  
marina@barulina.ru*

*Аннотация.* Рассмотрено влияние рассогласования парциальных частот на собственные частоты роторного гироскопа на основе математической модели гироскопа, как механической системы с двумя степенями свободы, состоящей из двух колебательных подсистем, связанных между собой гироскопическими силами. Построена математическая модель зависимости амплитудно-частотных характеристик чувствительного элемента роторного микромеханического гироскопа от допусков на значения парциальных частот колебаний в первичном (канале возбуждения) и вторичном (измерительном) каналах. Расстройка парциальных частот приводит к нарушению резонансной настройки этих частот с частотой возбуждения, что напрямую влияет на точность прибора. Выполненный анализ амплитудно-частотных характеристик вторичных колебаний чувствительного элемента микромеханического гироскопа в зависимости от величины допусков на парциальные частоты позволяют уже на этапе проектирования гироскопа выставить обоснованные требования к допускам на геометрические параметры датчика, определяющих значения его парциальных частот.

*Ключевые слова:* роторный микромеханический гироскоп, амплитудно-частотная характеристика, допуска, парциальные частоты, резонанс, рассогласование частот.

## Введение

**М**икромеханические гироскопы (ММГ) остаются на сегодня одними из перспективных датчиков инерциальной информации. Супермалые масса и габариты (доли грамм и единицы миллиметров), энергопотребление (доли ватт) и стоимость (десятки долларов) этих датчиков предопределили их использование в различных областях, таких как навигация и системы контроля и управления автомобилей; стабилизация положения и движения оптических устройств (биноклей, телескопов, видеокамер, прицелов), робототехника, устройства персональной навигации и дополненной реальности, медицинская техника. Тем не менее, на сегодня

низкая точность ММГ остается основным недостатком этих устройств.

В России получила распространение конструктивная схема роторного ММГ, общий вид которой показан на рис. 1. Роторный ММГ (РММГ) разрабатывается и производится, например, в ЦНИИ Электроприбор (С.-Петербург) [1,2].

Одним из факторов, влияющих на точность РММГ, является совпадение парциальных частот и частота возбуждения первичных колебаний инерционной массы ММГ. Под парциальными частотами в данном случае будем понимать следующее. Если рассма-

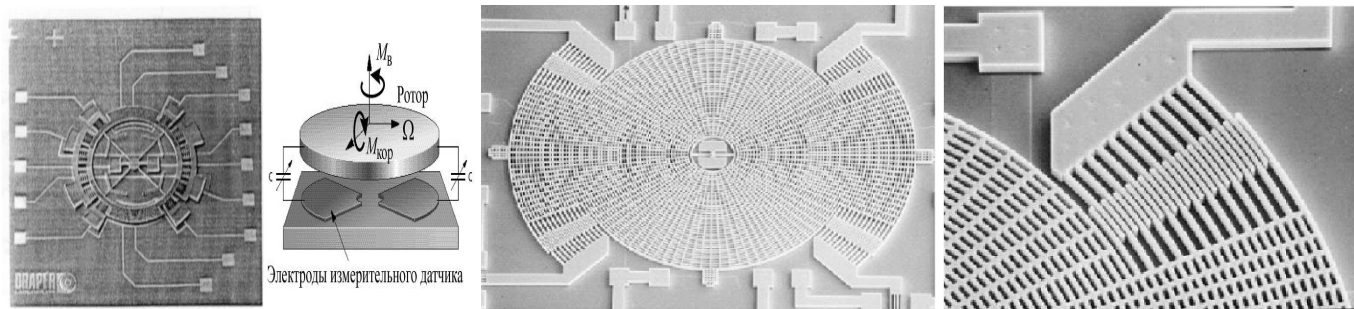


Рис. 1. Общий вид роторного ММГ

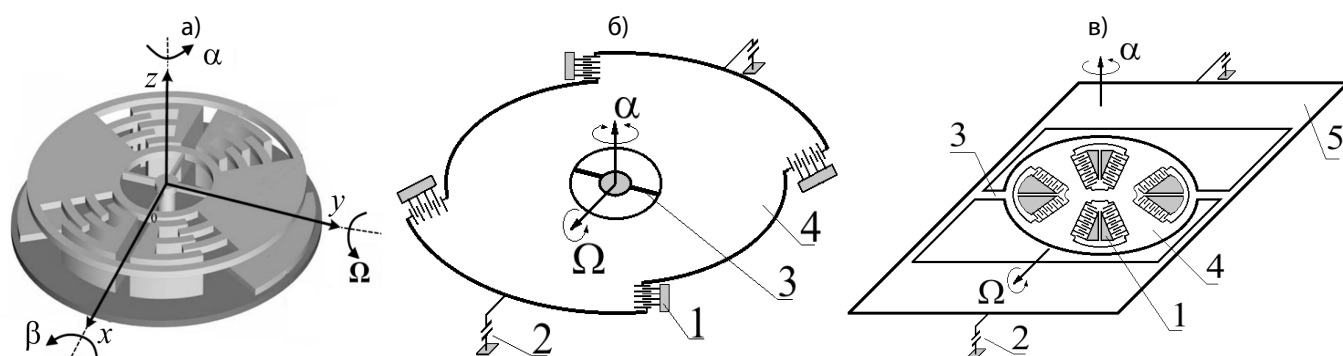


Рис. 2. Общий вид (а), кинематические схемы (б, в) роторного ММГ:

1 — вибропривод; 2 — датчик съема сигнала; 3- упругие элементы; 4 — ротор; 5 — рамка с ЧЭ

тривать математическую модель РММГ как динамическую дискретную систему с двумя степенями свободы, то она будет представлять собой систему двух обыкновенных дифференциальных уравнений, связанных между собой гироскопическими силами. Если пренебречь гироскопическими силами, то эта система преобразуется в совокупность двух независимых дифференциальных уравнений. Частоты этих уравнений называются собственными частотами парциальных систем или парциальными частотами. В силу специфики принципа действия роторного ММГ, для него особое значение приобретает точное совпадение частоты возбуждаемых первичных колебаний с собственными частотами парциальных систем. Величина парциальных частот в общем случае зависит от измеряемой угловой скорости, поэтому достижение точного равенства парциальных частот ММГ и частоты возбуждения представляется невозможным. В связи с этим представляет интерес вопрос, насколько и каким образом рассогласование парциальных частот влияет на собственную частоту роторного ММГ.

Целью работы является исследование влияния рассогласования парциальных частот роторного ММГ на его амплитудно-частотные характеристики (АЧХ).

Для достижения поставленной цели были поставлены и решены следующие задачи:

- ♦ получена операторная форма математической модели роторного ММГ; построено аналитическое выражение для исследования АЧХ датчика;
- ♦ проведены компьютерные эксперименты влияния рассогласования частот на АЧХ роторного ММГ, выработаны конкретные рекомендации по улучшению его характеристик.

#### Принцип действия и математическая модель роторного ММГ

Конструктивно роторный ММГ представляет собой ротор (чувствительный элемент — ЧЭ), упруго связанный с основанием (рис. 2) [1,2].

**Принцип действия** роторного ММГ заключается в измерении амплитуд угловых колебаний ротора по углу  $\beta$ . Эти колебания возникают из-за кориолисовых сил инерции при наличии переносной угловой скорости основания  $\Omega$  и первичных колебаний ротора по углу  $\alpha$ , возбужденных с заданной амплитудой на резонансной частоте измерительного канала (рис. 2а).



Уравнения движения роторного ММГ как механической системы с двумя степенями свободы, состоящей из ротора, совершающего вынужденные колебания и упруго связанного с  $\Omega$  основанием, вращающимся с постоянной угловой скоростью, известны [1,2] и имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} \ddot{\beta} + 2n_1\dot{\beta} + \omega_1^2\beta + b_1\dot{\alpha} &= 0, \\ \ddot{\alpha} + 2n_2\dot{\alpha} + \omega_2^2\alpha - b_2\dot{\beta} &= M_0 \cos pt, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\beta, \alpha$  — вторичные и первичные колебания ротора соответственно,

$$\begin{aligned} 2n_1 &= \mu_\beta/B_1, \quad 2n_2 = \mu_\alpha/C_1, \quad \omega_1^2 = [c_\beta + (A_1 - C_1)\Omega^2]/B_1, \\ M_0 &= L_0/C_1, \quad \omega_2^2 = [c_\alpha + (A_1 - B_1)\Omega^2]/C_1, \\ b_1 &= (A_1 - B_1 - C_1)\Omega/B_1, \quad b_2 = (A_1 - B_1 - C_1)\Omega/C_1, \end{aligned}$$

$A_1, B_1, C_1$  — возмущенные моменты инерции ротора;  $c_\pm, c_2$  — возмущенные жесткости упругого подвеса;  $\mu_\alpha, \mu_\beta$  — возмущенные коэффициенты демпфирования;  $L_0, p$  — амплитуда и частота момента вибрационного привода.

#### Амплитудно-частотные характеристики роторного ММГ

Введем в (1) безразмерное время  $\tau = t\omega_1$ . Тогда система (1) переписывается в виде:

$$\tilde{A}q'' + (\tilde{D} + \tilde{\alpha}')q' + \tilde{K}q = \tilde{F} \quad (2)$$

где

$$\begin{aligned} q &= \begin{pmatrix} \beta \\ \alpha \end{pmatrix}; \quad \tilde{A} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}; \quad \tilde{D} = \begin{pmatrix} 2n_1k_1 & 0 \\ 0 & 2n_2k_1 \end{pmatrix}; \\ \tilde{K} &= \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & k_2 \end{pmatrix}; \quad \Gamma = \begin{pmatrix} 0 & b_1k_1 \\ -b_2k_1 & 0 \end{pmatrix}; \quad \tilde{F} = \begin{pmatrix} 0 \\ M \cos(\phi\omega_1\tau) \end{pmatrix}; \\ k_1 &= 1/\omega_1, \quad k_2 = \omega_2^2/\omega_1^2, \quad q' = \frac{d}{d\tau}q, \quad q'' = \frac{d^2}{d\tau^2}q, \quad i = \overline{1,2} \end{aligned} \quad (3)$$

Характеристическое уравнение, соответствующее (1) будет иметь вид:

$$\lambda^4 + N_1\lambda^3 + N_2\lambda^2 + N_3\lambda + N_4 = 0 \quad (4)$$

где

$$N_1 = 2(n_1 + n_2); \quad N_2 = \omega_1^2 + \omega_2^2 + 4n_1n_2 + b_1b_2;$$

$$N_1 = 2(n_1 + n_2); \quad N_2 = \omega_1^2 + \omega_2^2 + 4n_1n_2 + b_1b_2;$$

Для приведения (2) к операторной форме, применим стандартный прием [3]. Для этого в (2) заменим сначала производные по  $\tau$  на символ  $p$ . Далее положим в (2)

$$\begin{aligned} p &= i\tilde{\omega}, \text{ и уравнение (2) примет вид:} \\ (\tilde{K} - \tilde{A}\omega^2 + (\tilde{D} + \tilde{\Gamma})i\omega)q &= \tilde{F} \end{aligned} \quad (5)$$

Тогда, как следует из (5), передаточная функция в изображениях Лапласа матричного уравнения (2) при нулевых начальных условиях будет иметь вид:

$$W(i\omega) = \frac{1}{\tilde{K} - \tilde{A}\omega^2 + i(\tilde{D} + \tilde{\Gamma})\omega} \quad (6)$$

Избавляясь в выражении (6) от иррациональности в знаменателе, получим следующее выражение для передаточной функции:

$$W(i\omega) = T + iH \quad (10)$$

где

$$\begin{aligned} T &= \frac{\tilde{K} - \tilde{A}\omega^2}{(\tilde{K} - \tilde{A}\omega^2)^2 + ((\tilde{D} + \tilde{\Gamma})\omega)^2}; \\ H &= \frac{(\tilde{D} + \tilde{\Gamma})\omega}{(\tilde{K} - \tilde{A}\omega^2)^2 + ((\tilde{D} + \tilde{\Gamma})\omega)^2} \end{aligned} \quad (11)$$

Амплитудно-частотная характеристика роторного ММГ будет в этом случае определяться соотношением [3]:

$$\Phi(\omega) = \sqrt{T^2 + H^2}, \quad (12)$$

где  $T$  и  $H$  определяются выражениями (11)

#### Компьютерные эксперименты и анализ результатов

При моделировании роторного ММГ коэффициенты уравнения (1) и компоненты матриц (3) принимались в соответствии с [2] следующими:

$$\begin{aligned} n_1 &= 100c^{-1}; \quad n_2 = 100c^{-1}; \\ b_1 &= 1.0c^{-1}; \quad b_2 = 1.0c^{-1}, \end{aligned} \quad (13)$$

Для визуализации и расчетов было использовано свободно распространяемое программное обеспечение SageMath [4]

При моделировании будем рассматривать наихудший случай, когда парциальные частоты  $\omega_1, \omega_2$  имеют

Таблица 1. Парциальные частоты и АЧХ при расстройке парциальных частот

$\Delta\omega, \%$	$\omega_1, \text{рад/с}$	$\omega_2, \text{рад/с}$	$A_{\Delta\omega}$	$A_{\Delta\omega}/A_0$
0	3141	3141	247	1
1	3172	3109	214	0.87
2	3203	3075	162	0.66
3	3234	3046	126	0.51
4	3266	3015	102	0.41
5	3297	2983	86	0.35

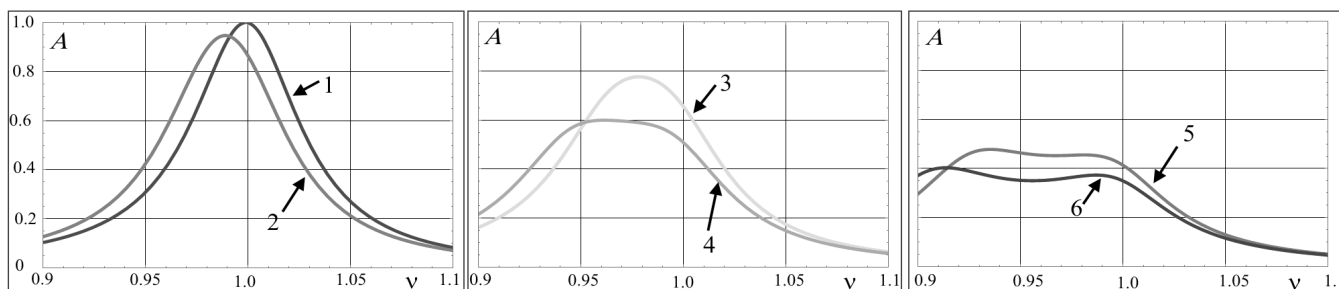


Рис. 3. Эволюция амплитудно-частотной характеристики роторного ММГ: 1 — при отсутствии расстройки частот; 2 —  $\Delta\omega=1\%$ ; 3 —  $\Delta\omega=2\%$ ; 4 —  $\Delta\omega=3\%$ ; 5 —  $\Delta\omega=4\%$ ; 6 —  $\Delta\omega=5\%$

технологические допуски или погрешности  $\Delta\omega$ , и их можно представить в виде:

$$\begin{aligned} \omega_1 &= \omega_1^0 + \Delta\omega \\ \omega_2 &= \omega_2^0 - \Delta\omega, \end{aligned} \quad (14)$$

где  $\omega_1^0, \omega_2^0$  — номинальные значения парциальных частот  $\omega_1, \omega_2$ ;  $\Delta\omega$  — допуск на значения  $\omega_1, \omega_2$ . Номинальные значения парциальных частот  $\omega_1^0$  и  $\omega_2^0$  принимались [2] равными 3142 Гц. Результаты расчетов парциальных частот  $\omega_1, \omega_2$  роторного ММГ при различной величине расстройки  $\Delta\omega$ , и значения АЧХ  $A_{\Delta\omega}$ , соответствующие этим частотам, приведены в таблице 1.  $A_{\Delta\omega}$  вычислялись при  $\omega=\omega_1$ , то есть при той частоте, когда предполагается достижение максимальной амплитуды колебаний.

Значение  $A_0$  в таблице 1 соответствует значению АЧХ, полученного при  $\Delta\omega=0\%$  и при параметрах (13).

Эволюция амплитудно-частотной характеристики в зависимости от величины допуска  $\Delta\omega$  на величину парциальных частот  $\omega_1, \omega_2$  показана на рис. 3. По оси абсцисс на рис. 3 отложена безразмерная частота  $\nu=\omega/\omega_1$ .

Как видно из таблицы 1 и рис. 3, при расстройке частот наблюдается сдвиг максимального значения амплитуды в сторону уменьшения безразмерной частоты. Расстройка частот в 2% приводит к тому, что при  $\omega=\omega_1$  АЧХ будет составлять около половины номинального значения, полученного при отсутствии расстройки частот. Другими

словами, наличие расстройки парциальных частот в 2% приводит к существенному уменьшению ожидаемой резонансной амплитуды почти в 2 раза. При расстройке парциальных частот, равной 5%, резонансная амплитуда будет меньше в 3 раз номинальной резонансной амплитуды. То есть при расстройке парциальных частот ротор рассматриваемого гироскопа будет совершать колебания с амплитудой в несколько раз меньше ожидаемой, что снижает точность измерения датчиком угловой скорости объекта.

Также представляет интерес вопрос влияния коэффициента демпфирования  $n_1$  в измерительном канале (первое уравнение системы (1)), на связь максимального значения АЧХ  $A$  и величины расстройки  $\Delta\omega$  парциальных частот. Амплитудно-частотная характеристика рассматриваемого РММГ как функция безразмерной частоты  $\nu$  и параметра  $n_1$  показана на рис. 4.

На рис. 4 значение  $n_1$  варьировалось от  $50\text{с}^{-1}$  до  $150\text{с}^{-1}$ . Значение АЧХ  $A$  нормировалось значением  $A_0$ .

Как видно из рис. 4, чем больше демпфирование, тем меньше значение АЧХ, что соответствует физике процесса. При этом соотношение между значением АЧХ, вычисленное при  $\omega=\omega_1$  и конкретном значении  $n_1$  в случае наличия расстройки парциальных частот, и значение АЧХ, полученное при  $\omega=\omega_1$  и том же значении  $n_1$  при отсутствии расстройки, остаются неизменным при любом значении  $n_1$ . То есть уменьшить влияние расстройки частот на амплитудно-частотную характеристику РММГ путем

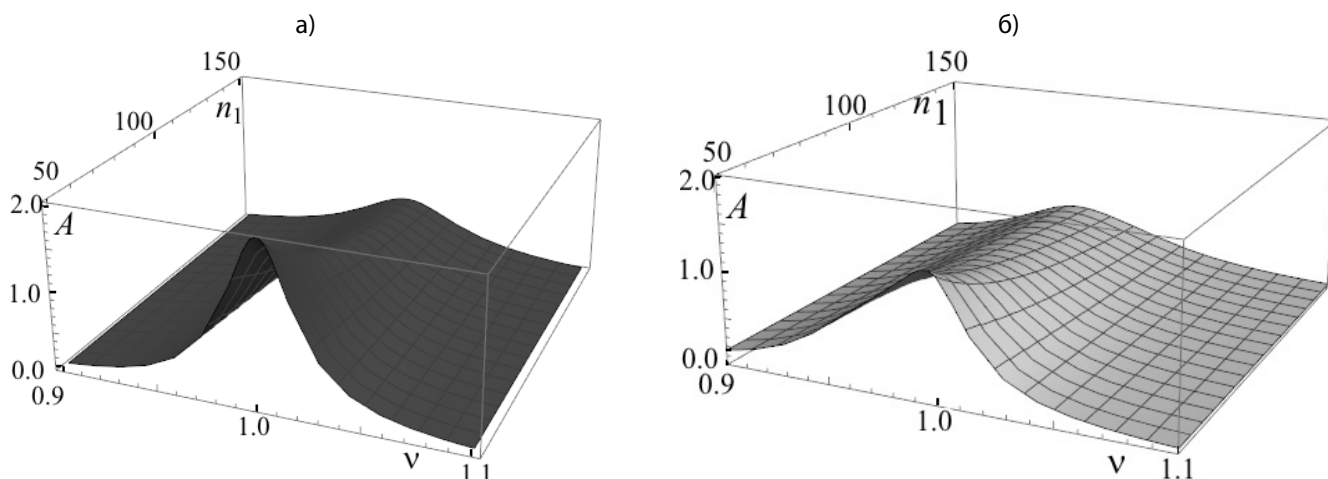


Рис. 4 АЧХ РММГ как функция безразмерной частоты  $\nu$  и коэффициента демпфирования  $n_1$ ; а —  $\Delta\omega=0\%$ ; б —  $\Delta\omega=2\%$

изменения величины демпфирования в измерительном канале не представляется возможным.

### Заключение

В работе рассмотрен роторный микромеханический гироскоп, функционирование которого предполагает совпадение собственных частот не только в канале первичных колебаний в измерительном канале, но и их совпадение с частотой возбуждения. При этом технологические погрешности при изготовлении РММГ могут привести к нарушению условий резонансной настройки парциальных частот с частотой возбуждения первичных колебаний. Что, в свою очередь, снижает точность измерения угловой скорости объекта в системе ориентации и стабилизации с гироскопами РММГ.

В работе показано, что при расстройке парциальных частот наблюдается сдвиг максимального значения амплитуды в сторону уменьшения частоты. То есть на предполагаемой резонансной частоте ротор гироскопа будет совершать колебания с амплитудой меньше ожидаемой

(в разы уже при  $\Delta\omega=2\%$ ) — что снижает точность измерения датчиком угловой скорости объекта.

Также показано, что уменьшить влияние расстройки частот на амплитудно-частотную характеристику РММГ путем изменения величины демпфирования в измерительном канале не представляется возможным.

Полученная математическая модель зависимости АЧХ РММГ от нарушения условий резонансной настройки позволяет обосновано, без необходимости в сложных математических расчетах и проведения компьютерного моделирования, отнести поставляемые заказчику РММГ к тому или иному классу точности. А на уровне проектирования и изготовления РММГ выставить обоснованные требования к допускам на конструктивные параметры, определяющие значения парциальных частот в каналах первичных и вторичных колебаний. Т.е. требования к допускам на геометрические размеры, плотность и упругие свойства используемых материалов при изготовлении РММГ.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 16-19-10290.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Распов В. Я. Микромеханические приборы. Учебное пособие. Тул. гос. университет. Тула, 2002 г. 392с.
2. Джашитов В. Э., Панкратов В. М. Датчики, приборы и системы авиакосмического и морского приборостроения в условиях тепловых воздействий. / Под общей редакцией академика РАН В. Г. Пешехонова. С.- Петербург: ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор», 2005. 404с.
3. Теория автоматического управления: Учеб. для ТЗЗ вузов по спец. «Автоматика и телемеханика». В 2-х ч. Ч. I. Теория линейных систем автоматического управления / Н. А. Бабаков, А. А. Воронов, А. А. Воронова и др.; Под ред. А. А. Воронова. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: издательство Высшая школа, 1986. 367 с.
4. SageMath <http://www.sagemath.org/>

# АНАЛИЗ СТАТИСТИКИ ДЛИТЕЛЬНЫХ НАРУШЕНИЙ В РАБОТЕ УСТРОЙСТВ ТЕЛЕМЕХАНИКИ В РЕГИОНАЛЬНОЙ СЕТЕВОЙ КОМПАНИИ (РСК)

**Шапаренко Виталий Сергеевич**

Начальник отдела развития АСТУ ПАО «МРСК Северо-Запада», аспирант, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет». vs-d@rambler.ru

## ANALYSIS OF LONG-TERM STATISTICS OF OPERATIONAL DISPATCH COMMUNICATION CHANNELS AND REMOTE CONTROL IN THE INTERREGIONAL DISTRIBUTION GRID COMPANIES (IDGC)

**V. Shaparenko**

*Summary.* The article is devoted to the comparative analysis of operational systems of remote control of the regional grid company. The analysis is performed by the classification of violations, depending on the generation equipment. The evaluation of the contribution of each class of technological violations in the total number of violations during the reporting period and the total duration of the recovery systems performance. This allows you to identify and rank the causes of damage to the existing remote control system, and also allows you to plan cost-effective measures to improve reliability.

*Keywords:* systems of remote control, technological disturbances, interregional distribution grid companies.

*Аннотация.* Статья посвящена сравнительному анализу нарушений в работе комплексов телемеханики региональной сетевой компании. Анализ проведен посредством классификации нарушений в зависимости от поколения оборудования. Выполнена оценка величины вклада каждого класса технологических нарушений в общее количество нарушений за рассматриваемый период и в суммарную длительность восстановления работоспособности комплексов. Это позволяет выявить и ранжировать причины повреждений существующих комплексов телемеханики, а также дает возможность планировать экономически эффективные мероприятия по повышению надежности.

*Ключевые слова:* устройства телемеханики, технологические нарушения, межрегиональная сетевая распределительная компания.

**М**ероприятия по модернизации в региональных сетевых компаниях в последнее время в основном были направлены на оснащение микропроцессорными программно-техническими комплексами наиболее важных с точки зрения обеспечения процессов оперативно-диспетчерского управления комплексов телемеханики в диспетчерских центрах и на подстанциях 110кВ и выше.

Для контроля результатов проводимой модернизации и своевременной корректировки плана мероприятий с целью повышения их эффективности важно периодически проводить анализ перечня нарушений в работе систем телемеханики.

Подробная статистика выявленных дефектов и повреждений, как правило, централизованно в энергетических компаниях не ведется. В журналах обычно фиксируются только длительные нарушения в работе каналов телемеханики в диспетчерский центр системного оператора.

При классификации дефектов, послуживших причиной технологических нарушений в работе

устройств телемеханики, важно избежать излишнего для проведения анализа увеличения размера классификатора и при этом иметь возможность сравнить влияние различных причин на количество нарушений в работе оборудования различных поколений и различного вида систем. Все нарушения классифицируем по группам:

1. МЭ — нарушения из-за дефектов микроэлектронных устройств;
2. МП — нарушения из-за дефектов устройств на базе микропроцессоров и микроконтроллеров;
3. ЭП — нарушения из-за дефектов устройств электропитания и коммутационных аппаратов в цепях электропитания;
4. КЛ — нарушения из-за дефектов во вторичных цепях, в частности повреждений станционных кабелей (контрольных, электропитающих и информационных), монтажных проводов и кроссовых соединений, клемм, ключей, переключателей, кроссов, розеток (информационных и электропитания).
5. ЧФ — нарушения из-за дефектов, возникших из-за прямого или косвенного воздействия человеческого фактора.

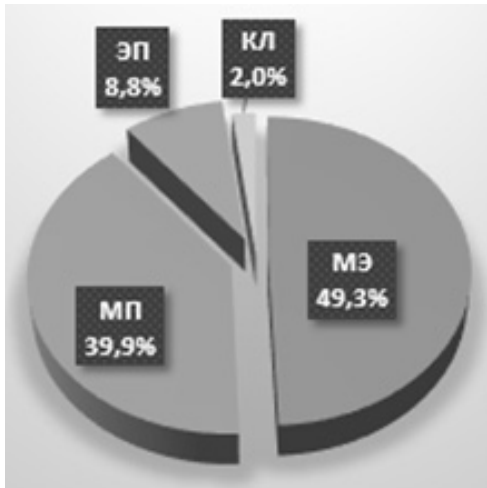


Рис.1. Соотношение количества отказов КТМ по виду причин отказа

Расширяя классификацию, использованную в [1], выделим основные группы оборудования по типу рассматриваемых систем, вследствие дефектов которых произошли технологические нарушения:

1. ЭМ-КТМ (неактуальная) — комплексы телемеханики на базе релейно-контактных и ламповых элементов. Такие КТМ уже выведены из эксплуатации и рассматриваться не будут.
2. МЭ-КТМ — комплексы телемеханики на базе магнитных и полупроводниковых элементов, на интегральных логических микросхемах малого и среднего уровня интеграции с поддержкой только аналоговых измерительных преобразователей.
3. МП1-СП — комплексы телемеханики на базе микропроцессоров и микроконтроллеров:
  - 1) МП1-КТМ — комплексы телемеханики с программным управлением на базе микропроцессоров и больших интегральных логических микросхемах (БИС), обеспечивающие сбор данных с цифровых измерительных преобразователей и обмен данными с другими комплексами по низкоскоростным цифровыми интерфейсам (RS-232, RS-485, CAN, физические линии, каналы ТЧ и др.).
  - 2) МП2-КТМ — комплексы телемеханики на базе микропроцессоров и цифровых измерительными преобразователей, обеспечивающие высокоскоростной сбор и обмен данными с другими комплексами по протоколам на базе IP (МЭК-60870-5-104, МЭК-61850, Modbus TCP и др.).
  - 3) МП1/2 — устройства МП1-КТМ, в состав которых опционально устанавливаются модули сбора данных с измерительных преобразова-

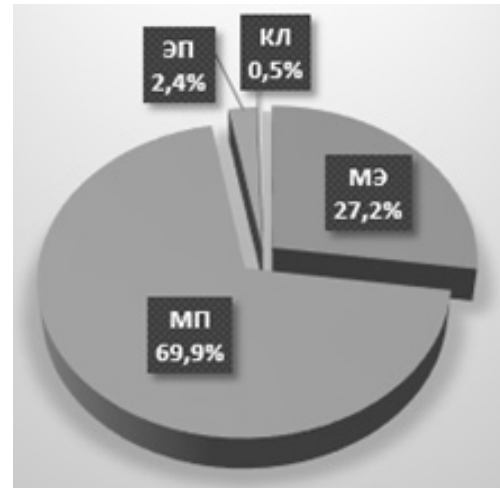


Рис.2. Соотношение времени устранения отказов КТМ по виду причин отказа

телей или организации каналов обмена данными с ДП, работающие по IP-протоколам.

Группа нарушений из-за дефектов электромеханических устройств (ЭМ) не будет рассматриваться вследствие отсутствия актуальности с точки зрения количества нарушений, но будет условно рассмотрена в классификаторе для покрытия системой классификации всех поколений устройств.

В группе КТМ определим подгруппы:

1. ПМ — платы и модули устройств телемеханики, включая собой встроенного программного обеспечения микропроцессорных устройств, самоустранившийся после перезагрузки;
2. ПО — сбой программного обеспечения серверов (ОИК, СУБД и др.), систем отображения (видеоцифровых) и автоматизированных рабочих мест (АРМ);
3. БП — блоки питания устройств.

В группе ЭП определим подгруппы:

1. ИБП — источники бесперебойного питания и системы гарантированного питания;
2. АВ — автоматические выключатели.

В группе СП определим подгруппы:

1. ПМ — платы и модули, сменные блоки;
2. БП — блоки питания устройств.

Рассмотрим статистику повреждений комплексов телемеханики.

Диаграммы на рис. 1 и рис. 2 свидетельствуют, что количество отказов МП устройств телемеханики

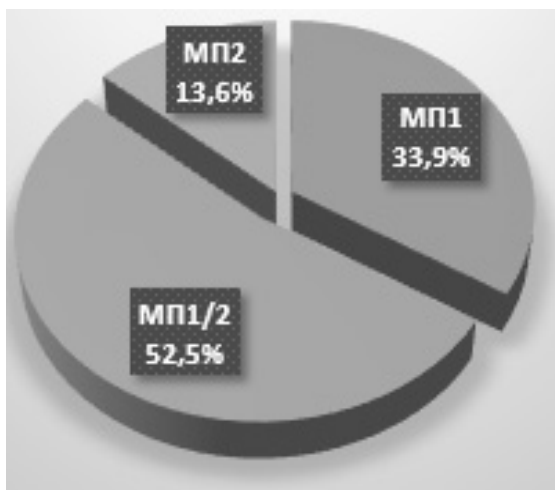


Рис.3. Соотношение количества отказов МП КТМ различных технологий

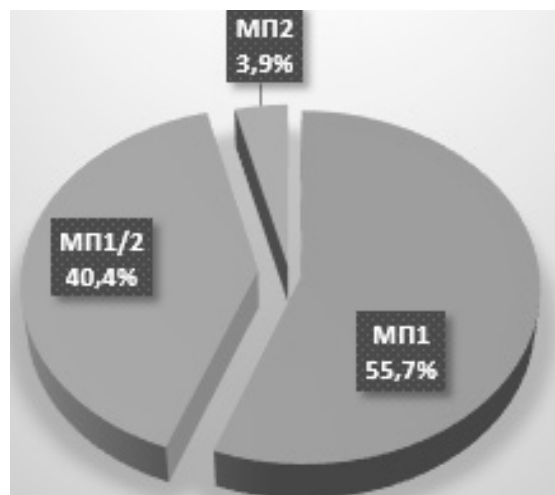


Рис.4. Соотношение времени устранения дефектов отказов МП КТМ различных технологий



Рис.5. Соотношение количества отказов МП КТМ в зависимости от элемента отказа

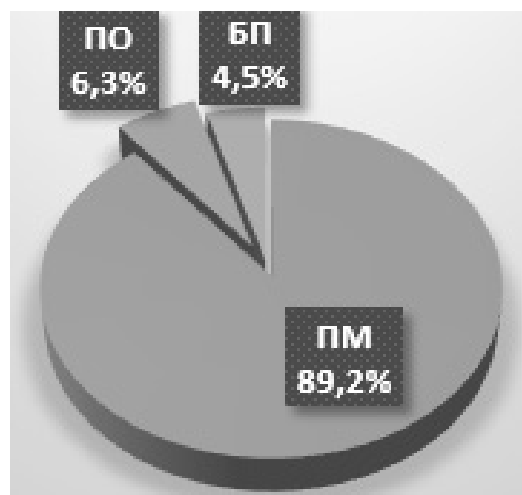


Рис.6. Соотношение времени восстановления МП КТМ после отказов в зависимости от элемента отказа

(КП, ПУ, ОИК) на 10% меньше количества отказов МЭ устройств в общем объеме, но время на их устранения затрачено в 2,6 раза больше чем у МЭ. Это в очередной раз подтверждает более низкий уровень ремонтпригодности МП устройств по сравнению с МЭ (ремонтпригодностью будем считать возможность оперативно восстановить работоспособность устройства).

Следует учесть, что в журнал дефектов в основном вносились отказы устройств телемеханики диспетчерских пунктов и ПС 110–150кВ, попадающих в зону диспетчерского управления или ведения РДУ. На этих объектах доля МП

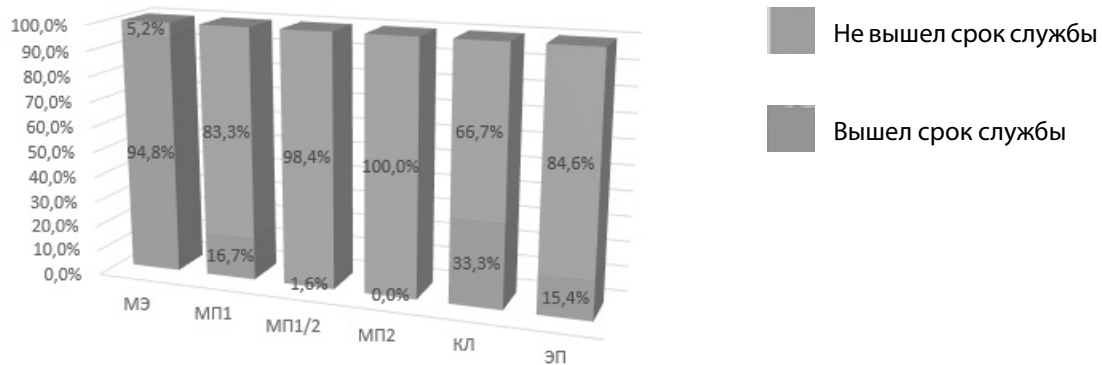
устройств телемеханики даже в начале рассматриваемого периода была значительно выше, чем МЭ, когда в целом по РСК МП устройств телемеханики было практически в 4 раза меньше, чем МЭ.

При сравнении диаграмм на рис. 3 и рис. 4 можно сделать вывод что устройства ранних поколений МП1 менее ремонтпригодны, чем устройства более поздних поколений МП2 и МП1/2.

Из диаграмм на рис. 5 и на рис. 6 видно, что основной вклад в отказы и время восстановления МП устройств

Таблица 1. Срок службы для различного оборудования.

№	Группа	Оборудование	Средний срок службы, лет	Нормативный документ, определяющий срок службы
1	МЭ	Микроэлектронные устройства	12	РД 153–34.3–35.613–00
2	МП	Микропроцессорные устройства	15	РД 153–34.3–35.613–00
3	АВ	Автоматы электропитания	10	ТУ 16–522.139–78 на АП50
4	КЛ	Кабели	20	ТУ
5	ЭП	Устройства гарантированного электропитания	10	Паспорта на устройства



вносят неисправности плат и модулей, то есть тех самых типовых элементов замены (ТЭЗ), диагностика которых должна производиться встроенной системой самодиагностики МП устройств, а замена из комплекта запасных частей должна оперативно производиться ремонтным персоналом.

Если рассматривать отдельно по группам, то отказы МП1-ТМ связаны в основном с аппаратной неисправностью плат КП телемеханики ранних поколений (90% нарушений и 93,5% времени восстановления). Отказы МП2-ТМ в половине случаев обусловлены программными сбоями КП и ЦППС последних поколений (50% нарушений и 42,9% времени восстановления), а для МП1/2 отказы из-за программных сбоев составили 24,2% нарушений и на них пришлось 11,5% времени восстановления.

Повреждения в группе КЛ КТМ в 95% случаев приходятся на повреждения контрольных кабелей, среднее время их восстановления составило 4,8 часа.

В подгруппе ЭП КТМ 88% случаев отказов и 96% времени восстановления приходилось на ИБП и СГЭ, при этом в 56% из них отказы происходили на диспетчерских пунктах ЦУС и ДП ПО до проведения реконструкции на них систем электроснабжения. Выявлено также немало случаев ошибочного срабатывания автоматических выключателей (АВ) вследствие неправильного выбора их параметров при реконструкции схем электропитания шкафов телемеханики.

С целью проведения оценки количества оборудования, отработавшего свой ресурс на момент выявления дефекта, определим срок службы для каждой из групп и подгрупп (Таблица 1).

Средний возраст отказавших МЭ устройств составил около 25 лет, что в два раза превышает срок их службы. При этом для подавляющей части (производства до 01.01.1991г) из них полный срок службы был установлен даже меньше взятого в расчет и составлял всего 9 лет [1]. В группах МП средний возраст отказавших устройств не превышает предельного и составляет для МП КТМ — 8,8 лет.

В целом складывается впечатление что внедрение МП устройств на текущий момент не обеспечило повышение уровня надежности систем телемеханики. Первые поколения МП устройств уже требуют замены вследствие физического износа или ограниченной функциональности, морально устарели и несовместимы с выпускаемыми ТЭЗ и системами управления для новых линеек. Ремонт блоков первых поколений МП устройств в большинстве случаев уже не выполняется производителями. В тоже время должного обслуживания (проверки и ревизии) устаревших МЭ и МП1 устройств телемеханики теперь в большинстве случаев не производится, а в случае полного отказа устаревшего МЭ или МП1 устройства КП при отсутствии ТЭЗ устанавливается собранный и готовый к использованию шкаф телемеханики из ЗИП.

В целом можно констатировать что микропроцессорные устройства телемеханики первых поколений (МП1) не обеспечивают необходимый уровень надежности.

Сравнительный анализ технологических нарушений в разных филиалах также показал неравномерные показа-

тели по филиалам вне зависимости от процентного соотношения нового и устаревшего оборудования. Это связано с тем, что количество нарушений напрямую зависит от качества проводимого обслуживания, а длительность восстановления в значительной степени зависит от уровня организации процесса аварийно-восстановительных работ.

---

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Руководящие Указания по критериям оценки технического состояния устройств телемеханики энергосистем с целью необходимости их замены или реконструкции [Текст]: РД 34.48.511–96. — утв. РАО «ЕЭС России» — М.: АО «Фирма ОРГРЭС», 1996 г.—3с.
2. Комплексы и устройства телемеханики. Общие технические условия [Текст]: ГОСТ 26.205–88. — утв. РАО «ЕЭС России» — М.: Издательство стандартов, 1989 г.—8с.

---

© Шапаренко Виталий Сергеевич ( vs-d@rambler.ru ). Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»





## ДАТЧИКИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В СВЯЗАННЫХ КОЛЬЦЕВЫХ СЕТЯХ ИЗ НЕЙРОНОВ NVC

### THE SENSORS USED IN ASSOCIATED RING NETWORK OF NEURONS NVC

*E. Zholondiyevsky*

*Summary.* this article discusses the direct control coupled ring networks of neurons Nvc, implementation on the basis of their stimulus — jet BEAM robots, is expected to further the use of stimulus — jet devices as a symbiotic robots. Introduces the concept of axonal and dendrites' interfaces of the first level.

*Keywords:* Nvc neurons; neural ring circuits; BEAM robot; stimulo — reactive devices; symbiotic robot; axonal and dendrites interface of the first level.

*Жолондиевский Эрнесто Робертович*

ЧОУ ВО «Тольяттинская академия управления»

*ambroz220@yandex.ru*

*Аннотация.* в статье рассматривается непосредственное управление связанными кольцевыми сетями из нейронов Nvc, реализация на их основе стимульно — реактивных BEAM роботов, предполагается дальнейшее использование стимульно — реактивных устройств в качестве симбиотических роботов. Вводится понятия аксонных и дендритных интерфейсов первого уровня.

*Ключевые слова:* Nvc нейроны; нейронные кольцевые цепи; BEAM робот; стимульно — реактивные устройства; симбиотический робот; аксонный и дендритный интерфейсы первого уровня.

**В** данной статье мы рассмотрим и дадим определение устройствам ввода информации среды, в которой функционирует BEAM система. Рассмотрим способы подключения по дендритному и аксонному интерфейсам, разницу функционирования датчиков при подключении по данным интерфейсам.

**Датчик** — это функциональное устройство, воспринимающее внешний информационный поток в виде физического (механического) воздействия и преобразующий его, как правило, в электрические сигналы.

Под внешним информационным потоком (воздействием), действующим на датчик мы будем понимать функциональную количественную характеристику объекта внешней среды, его свойство или качество, которые воспринимаются и преобразовываются датчиком или его составными частями (конвертерами) в электрические сигналы.

Основное назначение датчиков — внутреннее реагирование на комплексное информационное (физическое, механическое) воздействие внешней среды и конвертирование его в электрические сигналы, совместимые с BEAM системами. Таким образом, датчик — это устройство конвертирования физических величин внешней среды в электрические сигналы внутренней среды. Под определением *электрические сигналы* понимаются сигналы, которые могут быть проанализированы, обработаны и переданные внутрь BEAM системы. Выходные электрические сигналы датчиков физические измеряемые величины — напряжение, ток или заряд, имеющие такие характеристики как амплитуда, часто та, фаза. Этот набор физических величин определяется как *формат*

*выходного сигнала.* То есть, основной определяющей характеристикой датчика является суммарное наличие обрабатываемых датчиком входных параметров (существующей в данной среде физической природы) и сумма преобразованных в выходные электрические сигналы. Практически все датчики опосредованно рассматриваются нами как некие конвертеры физической энергии. Не зависимо от типа и природы измеряемой величины при взаимодействии датчика со средой взаимодействия BEAM системы происходит передача энергии, любой физической природы от объекта, существующего в среде взаимодействия к датчику.

Работа датчика по конвертации рассматривается нами, как передача внешней информации внутрь BEAM системы, а любая передача информации извне внутрь какой либо системы не зависимо от ее типа, связана с обработкой и передачей энергии, в зависимости от типа выбранного датчика. Необходимо отметить, что передача энергии от датчика к BEAM системе, может быть как с положительным воздействием, так и отрицательным, то есть действовать в двух направлениях. Физическое и функциональное определение *датчика* отличается от определения конвертер. Конвертер преобразует один или несколько типов энергии в другие, тогда как датчик преобразует любое внешнее предусмотренное этим датчиком и типом энергии воздействие в электрические сигналы. По существу датчик не что иное как устройство, состоящее из одного или нескольких конвертеров, в зависимости от функциональной потребности Рисунок 1. Датчик первого уровня, является датчиком прямого действия, то есть выходным конвертером. Конвертеры могут выполнять также функции *приводов электродвигателей, часто применяемых в BEAM систе-*

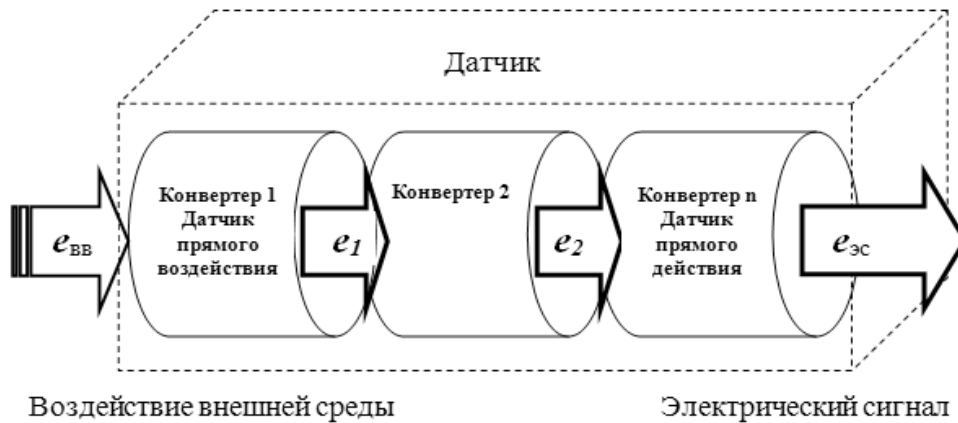


Рисунок 1. Датчик конструктивно возможен из нескольких конвертеров,  $e_1, e_2, \dots$  - различные типы энергии. Последний конвертер  $n$  схемы является датчиком прямого действия

мах, как исполнительное устройство. Привод можно рассматривать как сложное составное устройство, с элементами датчика, но противоположными свойствами, поскольку он конвертирует комплекс физических явлений, таких как электромагнитная индукция, магнитная энергия, электрическая энергия и т.д., в неэлектрическую энергию.

Датчики, сконструированные на физических эффектах, которые конвертируют непосредственно полученное от взаимодействия с внешней средой воздействие в виде энергии в электрические сигналы, называют датчиками прямого действия. При мерами таких прямых конвертаций датчиками являются фотоэффект и эффект Зеебека.

Из этого следует что, все датчики, используемые в ВЕАМ системах, можно разбить на два типа: датчики прямого (непосредственного) действия и составные сложные датчики. Датчики прямого (непосредственного) действия конвертируют внешнее воздействие среды напрямую в необходимый выходной электрический сигнал, используя соответствующий физический эффект для этого функционального преобразования. В сложных составных датчиках, прежде чем получить результат в виде выходных электрических сигналов на выходе окончательного конвертера необходимо осуществить ряд конвертаций энергии. При этом есть необходимость понимать, что входной датчик, это датчик прямого воздействия, а последний выходной датчик — датчик прямого действия.

В данной статье мы не будем рассматривать все существующие характеристики датчиков, такие как максимальный входной сигнал, диапазон выходных и измеря-

емых значений, погрешность измерений, калибровка, ошибка в калибровке, гистерезисные и нелинейные явления, насыщение, разрешающая способность и другие специальные характеристики со всеми этими характеристиками для каждого конкретного датчика можно ознакомиться при его практическом применении или ознакомиться с соответствующей справочной литературой.

Рассмотрим наиболее общие характеристики датчиков, вне зависимости от используемого ими функционала физической природы и количества промежуточных этапов конвертации.

Для рассматриваемых нами датчиков мы введем оптимальное (без учета погрешностей) соотношение, объединяющее входные и выходные сигналы. Идеально спроектированный датчик, при условии того что он изготовлен с максимальной точностью из идеальных материалов, с минимальными погрешностями и используемый в идеальных условиях, имел бы выходной сигнал который максимально точно соответствовал воздействию внешней среды взаимодействия. Полученное оптимальное соотношение между входным и выходным сигналом можно представить или описать с помощью таблицы, графика, или математически. Это математическое (оптимальное соотношение) выражение которое принято называть передаточной функцией (на данном этапе мы не вводим понятий сумма погрешностей). Передаточная функция математически описывает соотношение между внешним воздействием среды взаимодействия —  $e$  и выходным электрическим сигналом датчика  $E: E=f(e)$ . Рассматриваемая нами функция, в зависимости от протекающих физических процессов внутри датчика может быть линейной, степенной, экспоненциальной или логарифмической. В рассматриваемых нами примерах пере-

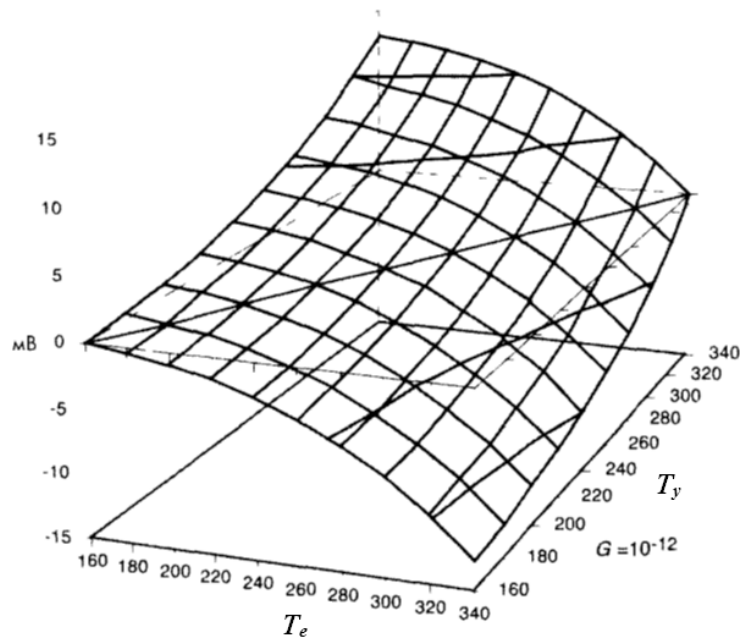


Рисунок 2. Передаточная функция температуры IR датчика в двумерном представлении

даточная функция — одномерна, то есть мы имеем соотношение выходного сигнала только с одним физическим внешним воздействием среды взаимодействия.

Представим одномерную линейную функцию в виде простого математического выражения:

$$E = x + ye,$$

где  $x$  — значение выходного сигнала при нулевом входном воздействии,  $y$  — чувствительность датчика. Параметр  $E$  — выходной сигнал, то есть совокупная характеристика электрического сигнала, которую BEAM система может воспринимать. В зависимости от используемой конструкции BEAM системы, датчика эта совокупная характеристика может быть амплитудной, частотной или фазовой. И может принимать следующие математические аппроксимационные выражения:

- ◆ логарифмическая передаточная функция:  
 $E = x + y \ln e,$
- ◆ экспоненциальная передаточная функция:  
 $E = x e^{ke},$

где  $E$  — выходной сигнал,  $e$  — входной сигнал,  $x$  — значение выходного сигнала при нулевом входном воздействии,  $e$  — число Эйлера;

- ◆ степенная передаточная функция:  
 $E = x_0 + x_1 e^k,$  где  $k$  — коэффициент

В зависимости от конструкции датчика передаточная функция, может быть более сложной и не может

быть описана простыми математическими аппроксимационными функциями. В этих случаях можно применить полиномиальные аппроксимационные функции более высоких порядков. Чувствительность датчика —  $y$  не является константой для полиномиальных передаточных функций, как это показано выше в случае с линейными зависимостями. Таким образом, для каждого входного сигнала со значением  $e_0$  эту передаточную функцию можно описать в виде:

$$y = \frac{dE(e_0)}{de}$$

В некоторых случаях нелинейные аппроксимационные передаточные функции датчиков могут быть линейными в ограниченном диапазоне значений. Для более точного построения всего диапазона значений, нелинейная передаточная функция может быть представлена в виде некоторого количества отрезков прямых, данный вид является кусочно-линейной аппроксимацией. Для понимания, может ли рассматриваемая передаточная функция быть описана в виде линейной функциональной зависимости, необходимо проанализировать в линейной и фактической (эмпирической) моделях изменение выходного сигнала при дискретном увеличении входного сигнала. При этом если разница сигналов не выходит за определенные допустимые пределы (описываемые линейными математическими выражениями) и линейна, то передаточную функцию датчика можно рассматривать как линейную.

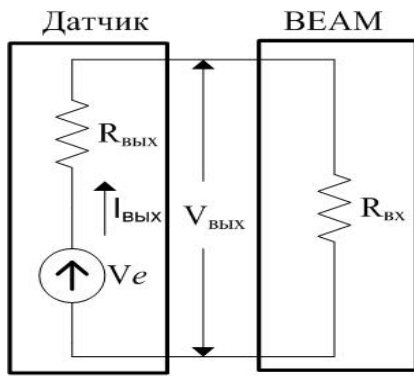


Рисунок 3. Датчик с выходным сигналом в виде напряжения

При воздействии на конечный (выходной) сигнал датчика несколько внешних физических факторов, его передаточная функция описывается как многомерная. Например, IR (инфракрасный) датчик является датчиком с двумерной передаточной функцией температуры. Его передаточную функцию связывают температуры:  $T_y$  — абсолютная температура объекта внешней среды взаимодействия и  $T_e$  — абсолютная температура поверхности IR элемента, с выходным напряжением датчика  $V$ . Таким образом, аппроксимационная передаточная функция будет, имеет следующий вид:

$$V = k(T_y^4 - T_e^4),$$

где  $k$  — константа. Полученное математическое выражение показывает, что описанная зависимость между выходным напряжением и температурой объекта внешней среды взаимодействия (передаточная функция) нелинейная и является параболой четвертого порядка, находится в зависимости от температуры поверхности IR элемента. Чтобы определить чувствительность IR датчика к температуре объекта внешней среды взаимодействия, необходимо взять частную производную от полученного выражения выше:

$$y = \frac{dV}{dT_y} = 4GT_y^3$$

На рисунке 2 полученная передаточная функция построена графически. Здесь показано, что определяемое значение выходного напряжения вычисляется по двум параметрам температурам. Стоит отметить что, рассматривая датчик как некий «черный ящик», как правило, передаточная функция описывается в виде зависимости «выход от входа».

Но в случае, количественного определения внешнего воздействия, появляется необходимость описать противоположную зависимость — «вход от выхода». Ин-

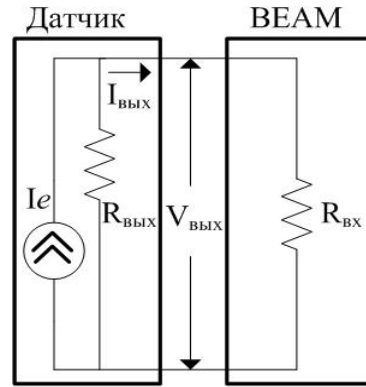


Рисунок 4. Датчик с токовым выходом

версная зависимость передаточной функции, когда она линейна, получается несложным путем. Но при наличии в системе некоторых нелинейностей это усложняется, и во многих случаях математическую модель, пригодную для простых вычислений, получить не удастся. Тогда необходимо снова обратиться к аппроксимационным методам вычисления.

Выходной импеданс  $R_{вых}$  — характеристика, указывающая как образом датчик будет, согласовывается с BEAM системой. Общее сопротивление датчика  $R_{вых}$ , соответствует выходному импедансу, и подключаются параллельно сопротивлению, характеризующему входной импеданс BEAM системы  $R_{вх}$ , — потенциальное соединение или последовательно — токовое соединение. Варианты подключений датчика к BEAM системе показаны на рисунках 3, 4.

Обычно входной и выходной импеданс представляется в схематическом виде, так как рассматриваются все активные и реактивные компоненты. Для подавления «шумов» в выходном сигнале датчика с токовым выходом, показанного на Рисунке 4 он должен иметь максимальный выходной импеданс, а BEAM система — минимальный входной импеданс. При потенциальном соединении Рисунок 3 датчик должен иметь низкий выходной импеданс, а BEAM система — высокий входной.

Рассмотренные нами в статье теоретические аспекты применения низкоранговых датчиков имеют практическое применение для BEAM роботов, в качестве непосредственного математического моделирования физических процессов и мгновенного реагирования на любые внешние изменения. Таким образом, мы подходим к простейшей реализации алгоритмических процессов в непосредственные физические, без участия цепочек преобразования в цифровой код, с последующими вычислительными функциями жестко заданного алгоритма и обратно.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Жолондиевский Э. Р. Поведенчески ориентированные схемы BEAM роботов, введение понятий  $N_v$  и  $N_u$  нейронов в зависимости от типа входных цепей. // Технические науки от теории к практике — по материалам LVI международной научно практической конференции: научное издание/ Э. Р. Жолондиевский — СибАК.: сб. статей № 3 Новосибирск, 2016. — С. 130–142.
2. Жолондиевский Э. Р. Схемы петлевых сетей из  $N_vC$  и  $N_vL$  нейронов введение понятий ведущая и ведомая двудерная схема. // Наука вчера, сегодня, завтра — по материалам XXXVI международной научно практической конференции: научное издание/ Э. Р. Жолондиевский — СибАК.: сб. статей № 7(29) Новосибирск, 2016. — С. 80–87.
3. Жолондиевский Э. Р. Модуль инжектора сигнала в оптически связанных кольцевых сетях из нейронов  $N_vC$ , дендритный интерфейс первого уровня в МИС. // Технические науки — от теории к практике — по материалам LX международной научно практической конференции: научное издание/ Э. Р. Жолондиевский — СибАК.: сб. статей № 7(55) Новосибирск, 2016. — С. 32–39.
4. Жолондиевский Э. Р. Оптически связанные кольцевые сети из нейронов  $N_vC$ , введение понятий аксонные и дендритные интерфейсы первого уровня. // Технические науки — от теории к практике — по материалам LX международной научно практической конференции: научное издание/ Э. Р. Жолондиевский — СибАК.: сб. статей № 7(55) Новосибирск, 2016. — С. 104–113.
5. Жолондиевский Э. Р. Поведенчески ориентированные схемы BEAM роботов, общая типология и классификация. // Естественные и математические науки в современном мире — по материалам XLV международной научно практической конференции: научное издание/ Э. Р. Жолондиевский — СибАК.: сб. статей № 8(43) Новосибирск, 2016. — С. 20–29.
6. Жолондиевский Э. Р. Различные связанные кольцевые сети из нейронов  $N_vC$ , введение понятий нейронных связанных сетей в зависимости от интерфейсных датчиков. // Наука вчера, сегодня, завтра — по материалам XXXVII международной научно практической конференции: научное издание/ Э. Р. Жолондиевский — СибАК.: сб. статей № 8(30) Новосибирск, 2016. — С. 20–27.
7. Кенио Т. Двигатели постоянного тока с постоянными магнитами: научное издание / Т. Кенио; Пер. с англ. А. Ю. Черкашина. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 184 с.
8. Brooks R. A. A robust layered control system for a mobile robot. [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: [http://beam-robot.ru/library/publishing/A\\_Robust\\_Layered\\_Control\\_System\\_For\\_A\\_Mobile\\_Robot\\_%28Brooks\\_1985%29.pdf](http://beam-robot.ru/library/publishing/A_Robust_Layered_Control_System_For_A_Mobile_Robot_%28Brooks_1985%29.pdf) (дата обращения: 17.06.16)
9. Tilden M. W. Living Machines. [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: [http://beam-robot.ru/library/publishing/Living\\_machines\\_%28Tilden\\_1994%29.pdf](http://beam-robot.ru/library/publishing/Living_machines_%28Tilden_1994%29.pdf) (дата обращения: 21.04.16)

# РАСПОЗНАВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЗЁРЕН ПЫЛЬЦЫ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ РАСТРОВОГО ЭЛЕКТРОННОГО МИКРОСКОПА В КОНТЕКСТЕ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

**Камалова Юлия Борисовна**

Аспирант, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова  
pmkk@istu.ru

## THE RECOGNITION OF IMAGES OF POLLEN GRAINS OBTAINED USING A SCANNING ELECTRON MICROSCOPE IN THE CONTEXT OF USING NEURAL NETWORKS

*Yu. Kamalova*

*Summary.* Application of neural networks in tasks of images of pollen grains obtained using a scanning electron microscope, is a regular task that is traditionally solved with the use, and accordingly, it causes a number of problems associated with the choice of neural network architecture, preparation of input and output data, determination of optimal learning algorithms. The solution of these issues is hampered by the lack of standards in this area and a significant amount of anecdotal knowledge about the use of neural networks in various branches of science and industry. Therefore, before the formulation of the implementation of the recognition of images of pollen grains obtained using a scanning electron microscope, it is advisable to see the classic application of neural networks and their methods of training that will allow in the future to avoid problems related to their learning and functioning.

*Keywords:* neural network, function, structure, material object, recognition, training an artificial intelligence.

*Аннотация.* Применение нейронных сетей в задачах распознавания изображений зёрен пыльцы, полученных с помощью растрового электронного микроскопа, не относится к классическим задачам, которые традиционно решаются с их помощью, и соответственно, это приводит к возникновению ряда проблем, связанных с выбором архитектуры нейронной сети, подготовкой входных и выходных данных, определением оптимальных алгоритмов обучения. Решение этих вопросов затруднено отсутствием стандартов в данной области и значительным количеством несистематизированных знаний об использовании нейронных сетей в различных отраслях науки и хозяйства. Поэтому перед постановкой задачи реализации распознавания изображений зёрен пыльцы, полученных с помощью растрового электронного микроскопа, целесообразно ознакомиться с классическим применением нейронных сетей и методов их обучения, что позволит в дальнейшем избежать проблем, связанных с особенностями их обучения и функционирования.

*Ключевые слова:* нейронная сеть, функционирование, структура, материальный объект, распознавание, обучение искусственного интеллекта.

**П**роцедура распознавания зерен пыльцы энтомофильных растений используется в палинологии, апитологии, апимониторинге и аллергодиагностике. Определение принадлежности зерна к виду растения высококвалифицированным оператором — дорогостоящая процедура, но до сих пор являющаяся наиболее точной и эффективной. Впервые применение автоматической системы классификации зерен пыльцы предлагал ввести Джон Фленлей в 1968 году. Однако эта идея была трудноразрешимой в то время из-за технологических ограничений. На сегодняшний день, возможность создания данной системы реальна благодаря успехам компьютерных технологий (в частности, различных задач распознавания — формирования обучающей выборки, обучения системы распознавания, снижения размерности пространства признаков, контроля качества распознавания и др.).

Автоматическое распознавание пыльцы лежит в основе развития полностью автоматизированных систем,

которые сочетают отбор проб, осаждения частиц на поверхность, подходящую для оптического анализа, автоматическую подготовку, микроскопические методы визуализации, распознавание и численную концентрацию пыльцы в воздухе. Так как число образцов достаточно ограничено и процесс распознавания должен протекать с возрастающей постепенно точностью, что автоматизация процесса распознавания должна основываться на самообучающихся структурах, которыми являются нейронные сети.

Одной из особенностей нейронных сетей является их способность к обучению. В широком понимании процесс обучения — это адаптация параметров и архитектуры сети для решения поставленной задачи путем оптимизации выбранного критерия качества. Чаще всего к параметрам, которые адаптируются относятся весовые коэффициенты нейронов, реже — архитектура сети и параметры функции активации. Все алгоритмы обучения можно разделить на два больших класса: детерми-

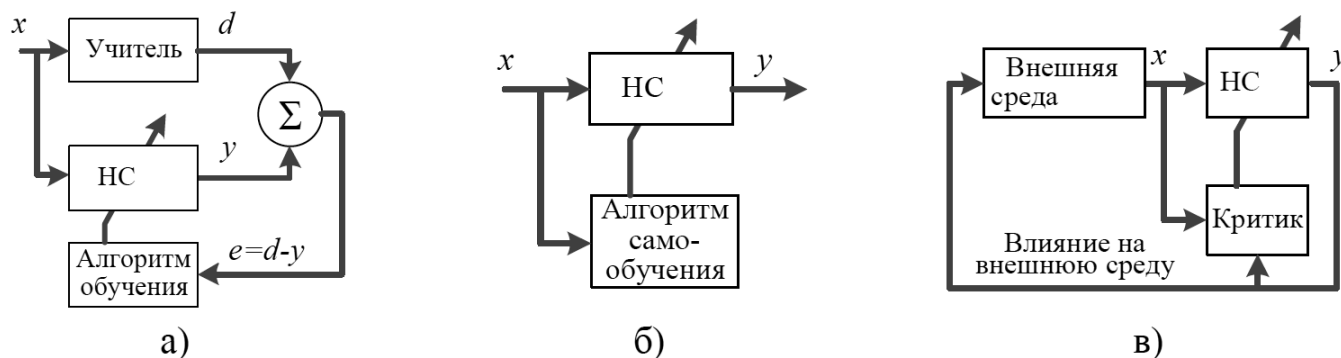


Рис. 1. Схематическое представление парадигм обучения, где вектор состояния среды;  $y$  — фактический выход сети;  $d$  — ожидаемый выход;  $e$  — сигнал ошибки

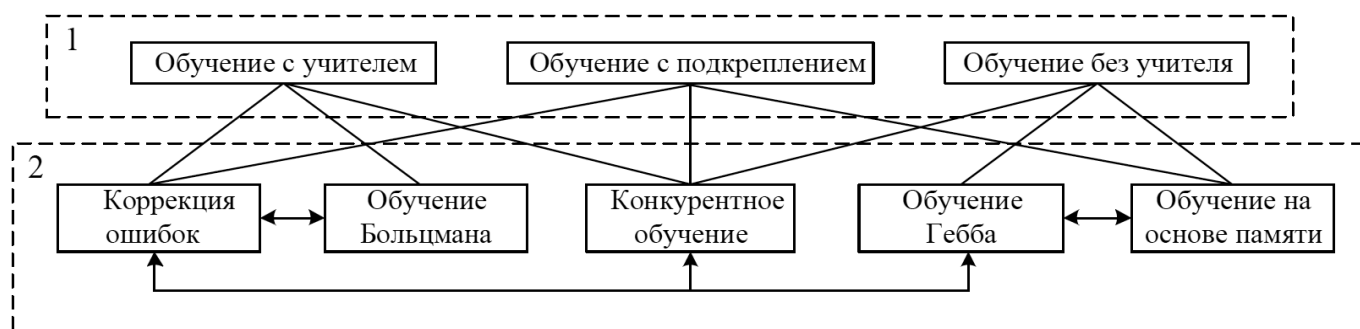


Рис. 2. Взаимосвязь парадигм и правил обучения

нированные и стохастические. Для алгоритмов первого класса характерно наличие жестких правил действий при адаптации параметров, а для второго характерны действия, которые подчиняются некоторому случайному процессу [7, с. 144].

На сегодня известно три парадигмы обучения нейронных сетей, в основу которых положены особенности машинного обучения: обучение с учителем {supervised learning}, обучение без учителя (unsupervised) (или обучение на основе самоорганизации {self-organized}) и обучение с подкреплением {reinforcement learning} [1], на рис. 1 изображено их схематическое представление.

Обучение с учителем предполагает, что для каждого входного вектора ( $X_i$ ) существует вектор выходных значений. Вместе эти два вектора называют учебной парой ( $X_i, \phi$ ), а множественное число учебных пар — обучающей выборкой (рис. 1а). Процесс обучения сводится к поочередной подаче на вход нейронной сети учебных пар, вычисление погрешности между действительным и желаемым значением нейронной сети  $S=y-d$  и корректировка параметров сети в сторону уменьшения этой погрешности.

Особенностью обучения без учителя (самообучение) является отсутствие информации о правиль-

ной реакцию сети на входные сигналы (рис. 1б), а сама сеть находит взаимосвязи между элементами обучающей выборки. Обучение без учителя применяется в задачах классификации, кластеризации, факторного анализа, сжатия данных и тому подобное [4, с. 95].

Обучение с подкреплением является промежуточным вариантом двух предыдущих парадигм. Вместо «учителя» в схему обучения вводится блок «критика» (рис. 1в), который отслеживает реакцию среды на входной сигнал и опираясь на нее определяет эвристическую погрешность, которая положена в процесс обучения сети.

Указанные парадигмы базируются на соответствующих правилах обучения, которые определяют основные особенности их применения. Известно пять правил: обучение на основе коррекции ошибок (err learning), обучение на основе памяти (memory-based learning), обучение Гейбба (Hebb's learning), конкурентное обучение (competitive learning) и обучение Больцмана (Boltzmann learning). Парадигмы и правила обучения тесно связаны друг с другом (рис. 2), что обусловлено их относительной универсальностью. Кроме связи с парадигмами, правила обучения взаимосвязаны между собой.

Обучение на основе коррекции ошибок — является типичным обучением с учителем. На основе этого правила разработано много различных алгоритмов обучения. Так для обучения однослойных сетей часто применяют дельта-правило (следует из правил Хебба), согласно которого весовые коэффициенты каждого синапса корректируются на величину произведения значения входа для конкретного синапса и значение погрешности его выхода, что в результате приводит к ее уменьшению.

Дельта-правило не применяется для многослойных сетей, ведь выходные значения нейронов известны лишь для последнего слоя, поэтому погрешность в явном виде для остальных слоев определить невозможно. Известно несколько методов решения этой проблемы. Первый заключается в расчете выходных сигналов для каждого слоя, но при сложных конфигурациях данный метод трудоемкий и не всегда может быть реализован. Второй метод заключается в динамическом подборе весовых коэффициентов синапсов, с отслеживанием изменения погрешности. Реализуется с помощью изменения слабых связей в ту или иную сторону, причем сохраняются только те изменения, которые привели к уменьшению погрешности, этот метод требует значительных расчетных мощностей. Оптимальным является третий метод — распространение значения погрешности от выхода сети к ее входу, который получил название алгоритма обратного распространения ошибки (*error back-propagation algorithm*). Этот алгоритм применяется для обучения большинства многослойных нейронных сетей прямого распространения, иногда для рекуррентных нейронных сетей. Создано много разновидностей данного алгоритма, которые направлены на ускорение обучения сети и избежания локальных минимумов [3, с. 8].

Правила на основе памяти и обучения Хебба относятся к обучению без учителя. Они базируются на нейрофизиологическом постулате, который определяет взаимосвязь между нейронами и синаптическими связями, а именно: если нейроны с обеих сторон синапса находятся в возбужденном состоянии, то сила связи между ними возрастает, и наоборот, если в разных состояниях или не возбуждены, то ослабляется.

В основу конкурентного учения положено правило «победитель получает все», то есть возбуждается выход только одного нейрона, выходной сигнал которого наибольший. Этот принцип используется в сетях адаптивного резонанса (ART) и самоорганизационных картах (SOM).

Обучение Больцмана является стохастическим правилом, в основе которого лежат принципы теоретической термодинамики (отжиг металла). Наличие

рандомизации весовых коэффициентов во время их корректировки предотвращает попадание сети в локальные минимумы, но при этом, конечно, возрастает время обучения.

На основе правил обучения разрабатываются алгоритмы их практической реализации. Количество алгоритмов обучения постоянно растет, и все чаще они сочетают в себе не только несколько правил, но и несколько парадигм, что вызвано ростом сложности задач, которые решаются с помощью нейронных сетей.

Выбор той или иной парадигмы, правила и алгоритма обучения (или их сочетания) зависит от архитектуры сети, ее основных задач, желаний, опыта и интуиции разработчика, и имеет влияние на скорость обучения и способность достижения результата с заданной достоверностью.

Широкое применение нейронных сетей в различных областях науки и техники обусловлено тремя характерными задачами, которые решаются с их помощью: классификация, ассоциация и аппроксимация.

Исторически первым применением нейронной сети распознавания образов. Сеть училась распознавать печатные буквы английского алфавита, для этого на ее вход, который представляет собой прямоугольную матрицу синапсов, подаются разбитые на элементарные пиксели изображения букв, а каждый выход сети отвечает за конкретную букву, после нескольких этапов обучения сеть начинала «узнавать» представленное на входе изображение. Подобным образом можно обучить простейшую однослойную сеть, но она начинает ошибаться в большинстве случаев как только изображение тестовой буквы отличается от изображения учебной, то есть такая сеть способна распознать исключительно те изображения, которые подавались на вход во время обучения.

Дальнейшим развитием стало применение нейронных сетей в задачах классификации образов, когда ей необходимо за счет накопления классификационных признаков отнести до заданного класса изображение, которое было подано на вход во время обучения. В большинстве случаев для решения этой задачи нейронная сеть должна состоять из двух частей. Первая — реализует задачу селекции и выделение признаков и учится без учителя, а вторая — учится с помощью учителя и несет информацию о принадлежности образа к определенному классу.

Такие нейронные сети применяют для распознавания речи, печатного и рукописного текста, для обработки изображений, в медицине для обработки кардиограмм и томограмм, в других отраслях, где необходимо обраба-



тивать большое количество фотографий или различных диаграмм и графиков.

Ассоциативная память в нейронных сетях реализуется в двух формах: автоассоциация и гетероассоциация. В первом случае сеть обучается на основе входных образов, которые могут быть искажены. Происходит выделение и запоминание основных признаков, на основе которых и происходит в дальнейшем восстановление (упоминание) образа. Гетероассоциация отличается от автоассоциации только наличием учителя, то есть каждому поданному тестовому образу соответствует определенный заданный исходный образ. Задача кластеризации тесно связана с ассоциацией. Алгоритм кластеризации основан на размещении близких образов в одном кластере. Применяется для добычи знаний, сжатия данных [6, с. 367].

Решение предыдущих задач возможно за счет способности нейронной сети определять функциональные зависимости между величинами исключительно на основе входных и соответствующих выходных значений, поэтому она считается универсальным аппроксимирующим аппаратом. Вынесение аппроксимации функции в отдельную задачу обусловлено широким применением нейронных сетей для аппроксимации явно и не явно выраженных функциональных зависимостей в широком круге прикладных задач, таких как: прогнозирование, фильтрация, сглаживание, оптимизация, управление объектами в условиях структурной и параметрической неопределенности, распознавания зерен пыльцы и тому подобное.

Практическое применение нейронных сетей, особенно в задачах распознавания зерен пыльцы, связано с решением проблем, вызванных особенностями, характерными именно для этой области, поэтому и подходы к их решению должны отличаться от классических.

Для аппроксимации функции традиционно применяются многослойную нейронную сеть с нелинейной функцией активации, которая обучается с помощью алгоритма обратного распространения. Доказано, что уже двух слоев нейронной сети достаточно для аппроксимации любой непрерывной функции, хотя оптимальным является использование трех слоев. Существует две основные проблемы при применении такой архитектуры и метода обучения, которые могут помешать достижению нужного результата аппроксимации: паралич сети и попадание алгоритма обучения до локального минимума.

Паралич сети вызывает значительный рост весовых коэффициентов синаптических связей в результате чего возрастают выходные значения нейрона (которые отвечают участкам с низкой крутизной функции активации). Это в свою очередь приводит к уменьшению значения

производной функции активации и, соответственно, уменьшается величина погрешности при обратном ходе, обучения замедляется почти до полной остановки.

Попадание в сети во время обучения до локального минимума обусловлено особенностями расчетного процесса (что часто проявляется во время использования, например, метода градиентного спуска). В точке локального минимума движение во всех направлениях будет приводить к росту погрешности обучения и сеть не способна самостоятельно из него выйти [5, с. 61].

Также значительной проблемой использования нейронных сетей, как аппроксимационных систем, является возникновение так называемого «проклятия размерности», т.е. экспоненциального роста необходимого количества входных данных из-за роста размерности пространства (в нейронных сетях размерность пространства напрямую зависит от количества слоев и нейронов в них). То есть для обеспечения требуемой гибкости сети, для аппроксимации сложной функции необходимо увеличивать количество нейронов, а это в свою очередь требует увеличения количества входных данных для удачного обучения сети.

Применение нейронных сетей для аппроксимации функции требует решения определенных задач еще на подготовительных этапах:

- ◆ выбор конфигурации сети: от количества слоев и нейронов в них зависит гибкость системы, а соответственно способность к аппроксимации сложных функций с заданной точностью, однако значительное увеличение количества нейронов приводит к переобучению сети и возникновению «проклятия размерности»;
- ◆ выбор алгоритма обучения: при неудачном выборе метода и алгоритма обучения время необходимое на аппроксимацию с заданной точностью может значительно возрасти, кроме того может возникнуть паралич сети или учебы остановится из-за попадания до локального минимума;
- ◆ формирование обучающей выборки: обучающая выборка должна содержать достаточное количество данных о всех экстремумах функции, при этом входные данные должны быть нормализованы и равномерно распределены в пространстве. Несоблюдение этого требования приводит к некорректному обучению сети, когда значение погрешности будет разным для разных участков характеристики.

На сегодня не существует универсальных методов решения поставленных проблем, особенно при применении сети в задачах проектирования, которые требуют аппроксимации функции многих переменных, поэтому

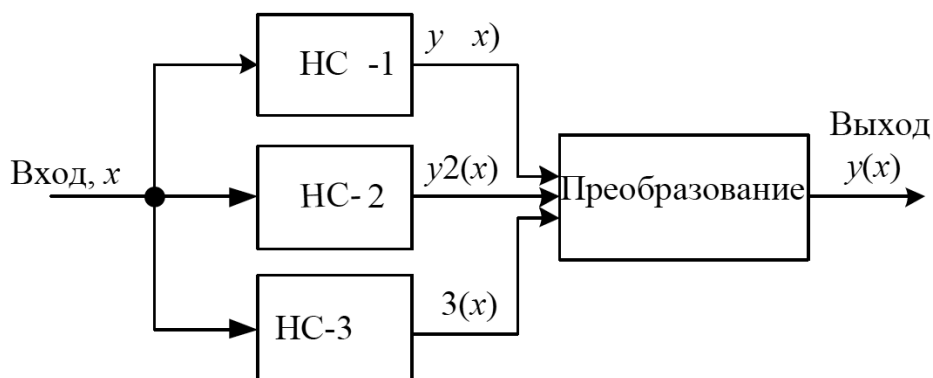


Рис. 3. Ансамбль нейронных сетей

в них часто возникают противоречия, связанные с получением достаточно гибкой системы в условиях ограниченного количества расчетных или экспериментальных входных данных [2, с. 34].

Так, для обеспечения требуемой гибкости сети можно увеличить количество слоев и нейронов в них, примером удачного применения могут быть работы, однако в таких сетях значительно возрастает возможность возникновения паралича сети, поэтому это решение нельзя считать универсальным. Также нейронную сеть можно использовать в качестве математической модели в алгоритмах распознавания зерен пыльцы. Предложено использование каскадных нейронных сетей (в которых количество нейронов скрытого слоя при необходимости увеличивается в процессе обучения) для аппроксимации функции, что позволяет построить оптимальную с точки зрения количества нейронов, архитектуру сети и избежать проблемы переобучения [1, с. 144].

Заслуживает особого внимания использование ансамбля нейронных сетей — объединение функционально независимых нейронных сетей в комплексы, что позволяет создавать гибкие системы направленные на решение конкретных задач и избежания проблем с учебой или эксплуатацией. Изоляция элементов ансамбля друг от друга позволяет создавать системы, которые не чувствительны к негативному воздействию слабосвязанных параметров друг на друга, а в сочетании с возможностью распределения входных и выходных значений способствует созданию нейронных сетей с более простой архитектурой. На рис. 3 изображен один из вариантов применения ансамбля нейронных сетей, в котором обработка данных происходит одновременно в нескольких сетях, которые могут отличаться как по архитектуре, так и по методу обучения. Объединяющий слой выполняет функцию выбора выхода в зависимости от того, какая сеть для текущих входных данных обеспечивает меньшую погрешность.

Применение ансамбля в задачах проектирования позволяет решить проблемы связанные с широким динамическим диапазоном входных и выходных значений и конструировать несложные по архитектуре сети, которые быстрее учатся и лучше подвергаются дополнительному обучению на этапе эксплуатации.

Нейронные сети, благодаря своей гибкости и универсальности, являются эффективным инструментом решения широкого круга прикладных задач. Однако их использование обычно связано с решением вопросов, специфических для конкретного практического применения.

Алгоритмы и правила обучения нейронных сетей, как правило, носят ситуационный характер — разрабатываются для решения определенных (или группы родственных задач, поэтому важным является понимание принципов и особенностей их работы, что позволит профессионально подходить к вопросу выбора готовых или создание новых алгоритмов обучения.

Использование нейронных сетей в задачах распознавания зерен пыльцы является отдельным направлением их теоретического исследования и практического применения через значительное отличие от классических задач, которые решались на протяжении развития этого инструментария.

Для целей распознавания зерен пыльцы перспективными являются ансамбли нейронных сетей, развитие которых позволит построить математические модели объектов, характеризующихся широким диапазоном изменения величины параметров и выходных характеристик, при существенной зависимости большинства этих характеристик от одного из параметров (например, зависимость характеристик микроволнового устройства от геометрических параметров структуры и частоты).

ЛИТЕРАТУРА

1. Герасименко М. А. Метод управления узлом сенсорной сети на основе нейронных сетей // В книге: Межвузовская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов им. Е. В. Арменского Материалы конференции. Московский институт электроники и математики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики». 2016. С. 144–145.
2. Козлов П.В., Южаков А. А. Преобразование исходного изображения для распознавания нейронной сетью на основе неокогнитрона // Вопросы защиты информации. 2016. № 2 (113). С. 32–34.
3. Лабинский А.Ю., Уткин О. В. К вопросу аппроксимации функции нейронной сетью // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2016. № 1 (17). С. 5–10.
4. Ле М. Х. Свёрточная нейронная сеть для решения задачи классификации // Труды Московского физико-технического института. 2016. Т. 8. № 3 (31). С. 91–97.
5. Мазуров М. Е. Распознавание сложных объектов избирательными нейронными сетями // В книге: XIV Всероссийская научная конференция «Нейрокомпьютеры и их применение» Тезисы докладов. Под редакцией А. И. Галушкина, А. В. Чечкина, Л. С. Куравского, С. Л. Артеменкова, Г. А. Юрьева, П. А. Мармалюка, А. В. Горбатова, С. Д. Кулика. 2016. С. 60–61.
6. Ольшанский А.М., Игнатенков А. В. О решении задачи управления искусственной нейронной сетью при квазипериодическом характере поведения сигнала ошибки // В сборнике: Перспективные информационные технологии труды Международной научно-технической конференции. 2016. С. 635–638.
7. Павлова А.И., Бобрикова К. А. Сравнение алгоритмов распознавания образов нейронными сетями Хопфилда // В мире научных открытий. 2016. № 5 (77). С. 134–145.

© Камалова Юлия Борисовна ( pmkk@istu.ru ). Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



# МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОШИБОК В РАБОТАХ ПРОЕКТА

## MATHEMATICAL MODEL FOR EMERGENCE OF MISTAKES IN WORKS OF THE PROJECT

*M. Maron*

*Summary.* Emergence of faults in the works is standard project's risk. For an assessment of consequences of this risk, it is desirable to know probabilities of faults. At the same time, property of uniqueness of a project, as a rule, does not allow to find required probabilities by means of statistical data. In this article offered the mathematical model for definition of probabilities of faults at implementation of the project. In this model accepted duration of work as a measure of its complexity, and the flow of the arising faults considered as Poisson.

*Keywords:* project's risk, probabilities of faults, Poisson flow.

**Марон Максим Аркадьевич**

Аспирант, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»  
mxxxx-fizik@mail.ru

*Аннотация.* Возникновение ошибок при выполнении работ является типовым проектным риском. Для оценки последствий этого риска желательно знать вероятности ошибок. Вместе с тем свойство уникальности проекта, как правило, не позволяет найти искомые вероятности с помощью статистических данных. В статье предложена математическая модель для определения вероятностей ошибок при выполнении проекта. В этой модели длительность работы принята в качестве меры её сложности, а поток возникающих ошибок считается пуассоновским.

*Ключевые слова:* проектный риск, вероятности ошибок, пуассоновский поток.

## Введение

Любой проект состоит из работ, выполняемых в определённой логической последовательности. Каждая работа должна иметь результат, отвечающий установленным требованиям. Если хотя бы одно из этих требований не удовлетворено, то работа выполнена с ошибкой. В частности, если результат такой работы — это элемент технической системы, то можно говорить, что результатом работы является неисправный или даже неработоспособный элемент. Для эффективного управления рисками желательно знать вероятности возникновения ошибок ещё на этапе планирования проекта [11]. Тогда можно принять обоснованные меры по снижению вероятностей ошибок в критических работах, а также разработать мероприятия по снижению последствий ошибок. Однако, по определению каждый проект уникален, даже если он является типовым. В противном случае это уже не проект, а повторяемый бизнес — процесс.

В силу этого определить искомые вероятности ошибок статистическими методами, как правило, невозможно. Даже если строительная компания осуществляет проекты возведения типовых жилых домов и для каждого реализованного проекта фиксирует при выполнении каких работ возникали ошибки, то всё равно этих данных недостаточно для правдоподобного определения искомых вероятностей. Причина здесь даже не в том, что частота сходится к вероятности достаточно медленно. Важнее, что ошибки мо-

гут возникать в нескольких работах проекта. Для  $n$  работ возможными являются  $n!$  вариантов. Собрать статистические данные для определения вероятности появления каждого из этих вариантов невозможно. В силу этого актуальной является проблема разработки математической модели возникновения ошибок в работах проекта. Такая модель предложена в данной статье.

Простейший поток событий и условия его применения для моделирования процесса возникновения ошибок в работах проекта

Предлагается построить математическую модель процесса возникновения ошибок в проекте на базе пуассоновского потока событий. Для этого процесс возникновения ошибок должен физически обладать свойствами: ординарности, отсутствия последовательности и стационарности [4]. Начнём с ординарности. Она заключается в том, ошибки должны возникать как одиночные, а не групповые события. В большинстве случаев это свойство выполняется. Даже если работы по графику производятся параллельно, то ошибки каждый исполнитель допускает самостоятельно. Ситуацией, когда, например, при строительстве может нарушиться ординарность является землетрясение, но это катастрофическое явление. Отсутствие последовательности состоит в том, что вероятность ошибки в очередной работе не должна зависеть от того, сколько ошибок уже возникло в ранее выполненных работах.

Это свойство будет соблюдаться, если разные работы выполняют разные исполнители. Если же исполнитель один, и никаких мер воздействий к нему в связи с допущенными ошибками не применяется, то свойство отсутствия последствия не будет выполнено. Стационарность состоит в том, что вероятность возникновения ошибки должна зависеть только от длительности работы и не должна зависеть от того, как расположена работа на графике проекта. Независимость от расположения на графике может нарушаться, если по мере приближения к сроку окончания проекта начинается аврал. Если же налажен бескомпромиссный контроль за ходом выполнения работ, а именно так должно быть, то можно считать, что независимость вероятности ошибки не зависит от её расположения на графике проекта соблюдается.

Можно утверждать, что если при реализации проекта не допускается ослабления контроля качества выполнения работ, даже по мере приближения запланированных сроков его окончания, к недобросовестным исполнителям своевременно применяются меры воздействия, заставляющие их соблюдать установленные требования; то поток ошибок в работах проекта можно считать ординарным, с отсутствием последствия и обладающим свойством индифферентности к расположению работы на временном графике проекта. Заметим, что требования к организации и контролю работ, обеспечивающие эти свойства указаны как обязательные не только в РМВоК [1], но и практически во всех стандартах управления проектами [2,5]. Сложнее обстоит дело, с тем, чтобы выполнялось первое условие стационарности — зависимость вероятности возникновения ошибки только от длительности работы. Оно заведомо выполняется, если все работы осуществляют квалифицированные специалисты, сопоставимыми по своим навыкам в порученных работах и с применением материалов сопоставимого качества. Тогда каждая ошибка — результат случайности. Если же заранее известно, что одна бригада лучше другой, то будет уместно предположить, что вероятность ошибки зависит не только от длительности работы. Заметим, что если серьёзных оснований для таких суждений нет, то следует считать, что стационарность выполняется. Предлагаемая ниже модель применима к проектам, при реализации которых выполнены указанные выше требования, обеспечивающие стационарность, отсутствие последствия и стационарность потока ошибок.

#### Расчёт вероятностей ошибок

Математическая модель процесса возникновения ошибок в работах проекта должна отвечать следующим требованиям.

1. Соответствовать реальностям процесса возникновения ошибок.
2. Быть удобной для проведения расчётов, связанных с диагностикой и анализом мер по снижению негативных последствий ошибок в работах проекта.
3. Параметры модели можно определить на основании реально доступных статистических данных о реализации аналогичных проектов.

Непреложным требованием является полное соответствие модели логике того раздела математики, на базе которого она создана. Предлагается следующая математическая модель процесса возникновения ошибок в работах проекта.

Имеется проект, состоящий из  $n$  работ. Длительность работы  $i$  равна  $t_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ). На выполняемые работы действует простейший поток ошибок. Интервал действия равен  $\tau$  — суммарному времени выполнения всех работ — сумме  $t_i$  по  $i$  от 1 до  $n$ . Заметим, что  $\tau$  отличается от времени выполнения проекта, поскольку работы могут выполняться параллельно. Тогда вероятность  $P_k$  того, что ровно  $k$  работ будут выполнены с ошибками можно найти по формуле Пуассона

$$P_k = \frac{a^k}{k!} e^{-a} \quad (1)$$

где

$a$  — среднее число ошибок за время  $\tau$

Величина  $a$  и интенсивность потока ошибок  $\lambda$  (среднее число ошибок в единицу времени) связаны соотношением

$$a = \lambda \cdot \tau \quad (2)$$

Если проект типовой, то вполне реально считать, что известен процент аналогичных проектов, выполненных без ошибок. Или, что тоже, известна  $P_0$  — вероятность того, что ошибок в проекте не будет. В соответствии с формулами (1) и (2) имеем

$$P_0 = e^{-\lambda\tau} \quad (3)$$

Откуда

$$\lambda = -\frac{\ln P_0}{\tau} \quad (4)$$

Естественно формула (4) не может применяться, если  $P_0 = 0$ . В этом случае интенсивность потока отказов придётся определять, основываясь на формуле Пуассона (1) при  $k \neq 0$ .

При простейшем потоке ошибок вероятность того, что работа  $i$  будет выполнена с ошибкой можно найти по формуле

$$p_i = p(t_i) = 1 - e^{-\lambda t_i} \quad (5)$$

Соответственно, вероятность того, что работа будет выполнена правильно — без ошибки можно найти по формуле

$$q_i = q(t_i) = e^{-\lambda t_i} \quad (6)$$

Нетрудно убедиться, что в соответствии с формулой (5), вероятность ошибки убывает при уменьшении длительности работы и в пределе стремится к нулю. С помощью предложенной модели можно найти вероятность любой из возможных комбинаций ошибок в работах. Также можно проверить, что вероятность возникновения хотя бы одной ошибки дополняет до единицы  $P_0$  — вероятность того, что ошибок в проекте не будет. Таким образом предложенная модель для расчёта вероятностей ошибок в работах проекта полностью соответствует логике теории случайных процессов [4], на базе которого она создана.

Предложенная модель соответствует реальностям процесса возникновения ошибок если при реализации проекта не допускается ослабления контроля качества выполнения работ, даже по мере приближения запланированных сроков его окончания, к недобросовестным исполнителям своевременно применяются меры воздействия, заставляющие их соблюдать установленные требования; и нет оснований предполагать, что одни исполнители работают лучше других. Для определения среднего числа проектов, выполненных без ошибок требуется намного меньше статистических данных, чем для определения вероятностей. Соответственно, параметры модели можно определить на основании реально доступных статистических данных о реализации аналогичных проектов. Покажем насколько удобна эта модель для решения задач диагностики проектов.

#### Перспективы использования предложенной модели для решения задач диагностики проектов

После завершения последней работы выполняется финальная проверка того, что результат проекта (новая техническая система или технологический процесс) соответствует всем установленным требованиям. Если обнаружено несоответствие хотя бы одному из установленных требований, то осуществляется поиск работ, выполненных с ошибками и их исправление. Чем больше работ надо проверить, тем на большее время будет задержано завершение проекта. Таким образом, существу-

ет риск — «Задержка завершения проекта из-за того, что после финальной проверки возникает необходимость поиска неправильно выполненных работ и устранения допущенных ошибок». Для краткости назовём его риском позднего обнаружения ошибок. Такой риск характерен для всех проектов. Его последствия можно уменьшить выполняя промежуточные проверки. Выбор мест проведения таких проверок в проектах представляет собой сложную задачу, она впервые решена в работе [8]. В работе [3] результат распространён на случай, когда возможны различные сценарии реализации проекта, отличающиеся составом работ. Методы, предложенные в работах [3,8], основаны на принципе Шеннона состоящем в том, что для уменьшения неопределённости надо проводить эксперименты, дающие максимально возможное количество информации, а также замеченной автором аналогии между сетевыми графиками проектов и функциональными моделями технических систем, используемыми в работах члена-корреспондента РАН П. П. Пархоменко, его учеников и коллег по основанной им лаборатории технической диагностики и отказоустойчивости ИПУ РАН, для решения задач технической диагностики [7].

Результаты работ [3,8] прямо применимы для диагностики проектов создания ответственных систем [6,10]. В таких проектах осуществляется жёсткий контроль за соблюдением технологии выполнения работ непосредственно при их выполнении. В силу чего можно пренебречь возможностью наличия кратных ошибок и считать, что если при финальной проверке зафиксирован факт несоответствия результата установленным требованиям, то это явилось причиной ошибки в одной работе. Предложенная в данной статье модель возникновения ошибок позволяет распространить результаты работ [3,8] на более широкий класс проектов, для которых вероятностями наличия ошибок в нескольких работах пренебречь нельзя [9]. Поясним идею использования предложенной математической модели на примере.

Имеется проект, сетевому графику которого соответствует ориентированный граф, представленный на рисунке 1. Длительности работ, в порядке их нумерации на рисунке, составляют {2;5;4;1;4;3} дней.

Вероятность выполнения проекта без ошибки  $P_0 = 0,33$ .

Для уменьшения последствий риска позднего обнаружения ошибок можно выполнить одну промежуточную проверку. Она может быть выполнена после любой из работ с номерами 1–5. При этом результат проверки  $P_i$  будет положительным, если работа  $i$  выполнена правильно и без ошибок выполнены все работы ей предшествующие, то есть те работы, которым соответствуют вершины графа, из которых вершина  $i$  достижима. В противном

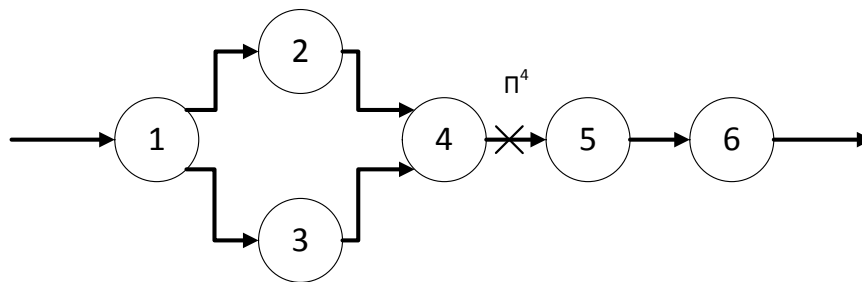


Рис. 1. Граф диагностируемого проекта

случае эта проверка будет иметь отрицательный результат. Обозначим положительный и отрицательный результаты проверки  $\Pi_i$  через  $\pi_0^i$  и  $\pi_1^i$  соответственно. Введём случайную величину  $N$  — «Номер комбинации наличия ошибок в работах проекта». В данном случае она имеет  $6! = 720$  возможных значений. Наибольшее количество информации о значении этой величины даст та из допустимых промежуточных проверок —  $\{\Pi_1; \Pi_2; \Pi_3; \Pi_4; \Pi_5\}$ , энтропия (неопределённость) результата которой максимальна. Соответственно, для её нахождения необходимо для каждой из допустимых промежуточных проверок рассчитать вероятности возможных результатов и найти энтропию по формуле Шеннона. Покажем, как это сделать на основании предложенной математической модели возникновения ошибок в работах проекта.

На основании заданного значения  $P_0$  по формуле (4) находим интенсивность ошибок  $\lambda$ , предварительно определив  $\tau$  как сумму длительностей работ проекта. Получим  $\lambda = 0,058$  [1/день]. Произведём расчёт энтропии результата проверки  $\Pi_4$ . Её результат будет положительным, если ни в одной из работ  $\{1;2;3;4\}$  ошибок не будет. Вероятность такого события равна

$$P(\pi_1^4) = e^{-\lambda t_1} \cdot e^{-\lambda t_2} \cdot e^{-\lambda t_3} \cdot e^{-\lambda t_4} = e^{-\lambda(t_1+t_2+t_3+t_4)} = 0,496$$

Вероятность отрицательного результата дополняет эту величину до 1. Энтропия  $H_4$  результата проверки  $\Pi_4$  будет равна

$$H_4 = -0,504 \cdot \ln 0,504 - 0,496 \cdot \ln 0,496 = 0,693 \text{ [нат]}$$

Рассчитав энтропии результатов других промежуточных проверок можно убедиться, что именно проверка  $\Pi_4$  является наиболее информативной. Можно показать на данном примере, что если увеличивается  $P_0$  — вероятность того, что ошибок в проекте не будет, то наиболее информативные проверки «перемещаются» к концу проекта. Если же  $P_0$  уменьшается, то наиболее информативные проверки перемещаются к началу. Это логично. Чем больше вероятность возникновения ошибок, тем раньше надо выполнять промежуточные проверки.

### Заключение

Изложенное позволяет сделать следующие выводы.

1. Разработана математическая модель возникновения ошибок в работах проекта. Модель соответствует реальностям процесса возникновения ошибок если: ошибки возникают независимо друг от друга; при реализации проекта не допускается ослабления контроля качества выполнения работ, даже по мере приближения запланированных сроков его окончания; к недобросовестным исполнителям своевременно применяются меры воздействия, заставляющие их соблюдать установленные требования; нет оснований предполагать, что одни исполнители работают лучше других.
2. С помощью предложенной модели можно рассчитать вероятности не только для одиночных ошибок, но и для любой их комбинации.
3. Модель позволяет применить информационный подход к диагностике проектов с учётом возможности возникновения ошибок в нескольких работах.

### ЛИТЕРАТУРА

1. A Guide to the Project Management Body of Knowledge: PMBOK Guide 5th edition. Pennsylvania: Project Management Institute, 2013. 589 p.
2. GAPPS (2006) A Framework for Performance Based Competency Standarts for Global Level 1 and 2 Project Managers. Sydney: Global Alliance for Project Performance Standarts. 2006. 47 p.
3. Maron M. A. The choice of control points of projects taking into account possible change of structure of works // Business Informatics. 2016, 2 (36), 57–61.
4. Вентцель Е. С. Исследование операций. М.: Советское радио. 1972. С. 200–206.
5. ГОСТ Р ИСО 21500–2014 Руководство по проектному менеджменту. М.: Стандартинформ. 2015. 52с

6. Грачёв Н. Н. Способ контроля качества сборки блоков радиоэлектронных средств // *Инновационные информационные технологии*, 2013. № 2. Т. 2. С. 160–166.
7. Карибский В. В., Пархоменко П. П., Согомонян Е. С., Халчев В. Ф. Основы технической диагностики. М.: Энергия, 1976. 464с.
8. Марон А.И., Марон М. А. Информационный подход к организации контроля проектов // *Бизнес-информатика*. 2012. № 4 (22). С. 54–60.
9. Миндлин Ю. Б. Управление системой качества на предприятии сферы услуг // *Тренды и управление*. 2013. № 1. С. 111–114.
10. Царегородцев А.В., Ермошкин Г. Н. Модель оценки рисков информационной безопасности информационных систем на основе облачных вычислений // *Национальная безопасность*. 2013. № 6. С. 46–54.
11. Ципес Г.Л., Товб А. С. Проекты и управление проектами в современной компании. М.: Олимп-Бизнес, 2009, 480 с.

---

© Марон Максим Аркадьевич ( maxxx-fizik@mail.ru ). Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»





# ОБЗОР СИСТЕМ ОБНАРУЖЕНИЯ МОШЕННИЧЕСТВА В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

## A REVIEW OF FRAUD DETECTION SYSTEMS IN TELECOMMUNICATION COMPANY

*T. Nguyen*

*Summary.* In the present fraud detection and prevention are properly mechanism to protect against fraud. This article presents the problems of implementation of fraud detection systems in the telecommunications company, methods for the detection of fraud and the proposed architecture of the fraud detection system in real time using big data technology.

*Keywords:* telecommunication fraud, fraud detection, machine learning, real time processing, batch processing, big data technique, data mining.

**Нгуен Туан Ань**

Аспирант, Волгоградский государственный  
технический университет  
anhtuank37@gmail.com

*Аннотация.* В настоящий день обнаружение и предотвращение мошенничества являются надлежащим механизмом защиты от мошенничества. В данной статье представлены проблемы реализации системы обнаружения мошенничества в телекоммуникационном предприятии, также методы обнаружения мошенничества, и предложена архитектура системы обнаружения мошенничества в реальном времени с использованием технологии больших данных.

*Ключевые слова:* телекоммуникационные мошенничества, обнаружения мошенничества, машинное обучение, обработка данных в реальном времени, пакетная обработка данных, методы интеллектуального анализа данных.

## Введение

**М**ошенничество телекоммуникаций — это проблема, которая становится актуальной проблемой за последние десять лет [1]. Мошенничество в области мобильных телекоммуникаций — это сложная и динамическая задача для операторов связи. Так как эти мошенничества угрожают предоплатные и пост-платные услуги. Кроме этого, мошенничество может быть совершенным на стационарные и мобильные телефонные линии [2]. Мошенничество стационарной телефонной линии совершенно противно телефонных компаний; Это как мошенник, который получает доступ к коммутатору и продаёт другим людям возможность, чтобы совершал звонки через коммутатор [3]. Мобильное мошенничество — несанкционированное использование, искажение или манипулирование для сотового телефона или услуги. Как правило, основная цель за совершение мошенничества в оба вида связи (фиксированной, мобильной линии) для получения услуги и звонков незаконными способами [2].

На основе обзора потери глобального мошенничества, объявленного коммуникацией ассоциацией по борьбе с мошенничеством (CFCA), в 2013 году потери от мошенничества был зафиксирован в 46,3 млрд. долларов, что на 15% больше, чем в 2011 году. В процентном отношении к глобальным телекоммуникационным доходам убытки от мошенничества составляют примерно 2,09% — увеличение 0,21% по сравнению с 2011 г. [4]. Это связано с большим количеством мо-

шенничества телекоммуникаций, записанного из разных категорий.

В данной работе будут представлены проблемы мошенничества телекоммуникаций и также методы обнаружения мошенничества телекоммуникаций в практике.

Классификация типов мошенничества в телекоммуникации

В [5] мошенничества телекоммуникаций сгруппированы на четыре категории:

- ◆ Договорное мошенничество (Contractual fraud): мошенник использует услуги связи без намерения оплатить услугу, например, абонентский фрод (subscription fraud) и Premium Rate Fraud.
- ◆ Хакерское мошенничество (hacking fraud) — проникновение в компьютерную систему безопасности для удаления механизмов защиты или переконфигурирования системы с целью несанкционированного использования сети, например, мошенничество учрежденческой автоматической телефонной станции (УАТС) и сетевая атака.
- ◆ Техническое мошенничество (technical fraud): мошенники в этой категории капитализируют на слабости, существующие в технологии мобильной системы. Такое мошенничество требует высоких технических знаний. Примеры такого мошенничества — клонирование (Cloning) и внутрикорпоративное техническое мошенничество (Technical Internal fraud). В последнем случае

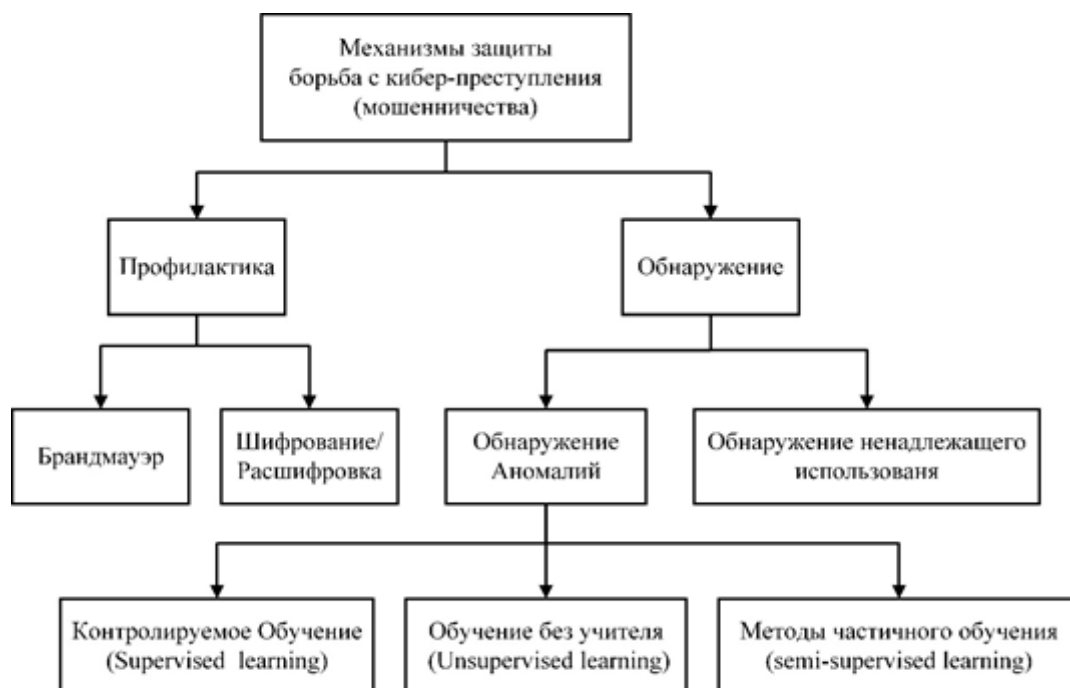


Рис. 1. Механизмы защиты от мошенничества

мошенник получает возможность пользования услугами связи по сниженной цене за счёт незаконного доступа к корпоративной системе. При осторожном использовании этот способ мошенничества наиболее сложен для обнаружения.

- ◆ Процедурное мошенничество (procedural fraud) — Мошенники в этой группе участвуют нападения на процедуры, которые используются для уменьшения риска мошенничества, и часто нападают на слабые места в бизнес-процедуры (например, биллинг), используемые для предоставления доступа к системе с целью уменьшения оплаты услуг связи. Примером такого мошенничества являются мошенничества в роуминге (Roaming fraud), дублирование ИД ваучера (Voucher ID duplication), и неисправные ваучеры (Faulty vouchers).

С другой стороны, работа [6] классифицирует мошенничества электросвязи по трём областям, которые являются:

Мотивом: основная причина за совершение мошенничества.

Средством: характер или форма мошенничества, используются для удовлетворения мотива.

Методами: средства и инструменты, которые используются для совершения мошенничества.

Существует множество видов мошенничества, которые угрожают телекоммуникационным секторам, которые считаются наиболее популярное место мошенничество. Подсчитано, что существует более 200 вариантов мошенничества телекоммуникаций, существующие в телекоммуникационной отрасли [7]. Существует много методов для решения этих проблем мошенничества [8].

#### Процессы обнаружения мошенничества в телекоммуникации

Мошенничество резко возрастает с прогрессированием современных технологий и глобальной коммуникации. В результате этого борьба с мошенничеством стала важным вопросом, который предлагается в [9] [10]. Как указано на рис. 1 механизмы обнаружения и профилактики используются по большей части для борьбы с мошенничеством. Следующие подразделы объясняют механизмы защиты от мошенничества.

Система предотвращения мошенничества является первым уровнем защиты, чтобы обезопасить технологические системы от мошенничества. Цель этой фазы состоит в том, что остановить мошенничество от происходящих в первую очередь. Механизмы в этой фазе ограничат, подавляют, уничтожают, разрушают, контролируют, удаляют, или предотвратят возникновение кибер-атак, в компьютерных системах, сетей и данных. Пример функционирования такого механизма включает в себя использование алгоритма шифрования, который

применяется для скремблирования данных. Другой механизм — межсетевой экран, где она образует блокады между внутренней частной сетью и внешними сетями. Она не только обеспечивает безопасность системы от несанкционированного доступа, но и позволяет организовать реализации политики сетевой безопасности трафика, проходящего между его сетью и интернетом [11] [10]. Однако этот уровень не всегда эффективный и сильный [12]. В ряде случаев уровень профилактики может быть нарушены мошенниками.

Следует, что необходимо создать системы обнаружения мошенничества (СОМ).

Система обнаружения мошенничества-это следующий уровень защиты. Обнаружение мошенничества пытается обнаружить и выявить мошеннические действия, когда они входят в системы и сообщать о них системному администратору [13]. В последние годы ручные методы аудита мошенничества, такие как выборка (sampling) обнаружения были использованы для обнаружения мошенничества, например, в [13]. Эти сложные и трудоемкие методы совершают операции с различными областями знаний, как экономикой, финансам, правом и деловыми практиками. Поэтому, для повышения эффективности обнаружения, компьютеризированной и автоматизированной СОМ был изобретён.

Однако, возможности СОМ были ограничены, поскольку обнаружение принципиально зависит от predetermined правил, которые заявили эксперты [14]. Более сложные СОМ, интегрирующие широкий спектр методов интеллектуального анализа данных, требуются и разрабатываются для эффективного выявления случаев мошенничества [15] [16] [17]. Интеллектуальный анализ данных (ИАД) включает статистические, математические, искусственного интеллекта и методы машинного обучения для извлечения и выявления полезной информации и последующего знаний из больших баз данных (систем поддержки принятия решений и интеллектуальных систем). Эти системы имеют несколько основных преимуществ: (1) Схема мошенничества получают автоматически из данных; (2) уточнение « вероятность мошенничества» для каждого конкретного случая, следовательно, что усилия в расследовании подозрительных случаев могут быть приоритетными; и (3) выявление новых видов мошенничества, которые не были определены [14].

Методы интеллектуального анализа данных состоит из шести основных категорий: классификации, кластеризации, регрессии, обнаружение выбросов, визуализация и прогнозирование [18]. Каждый из этих методов поддерживается конкретными методами. Например, искусственная нейронная сеть (ИНС) и метод опорных век-

торов (англ. SVM, support vector machine) используются для метода классификации. метод К-средних используется для кластеризации данных.

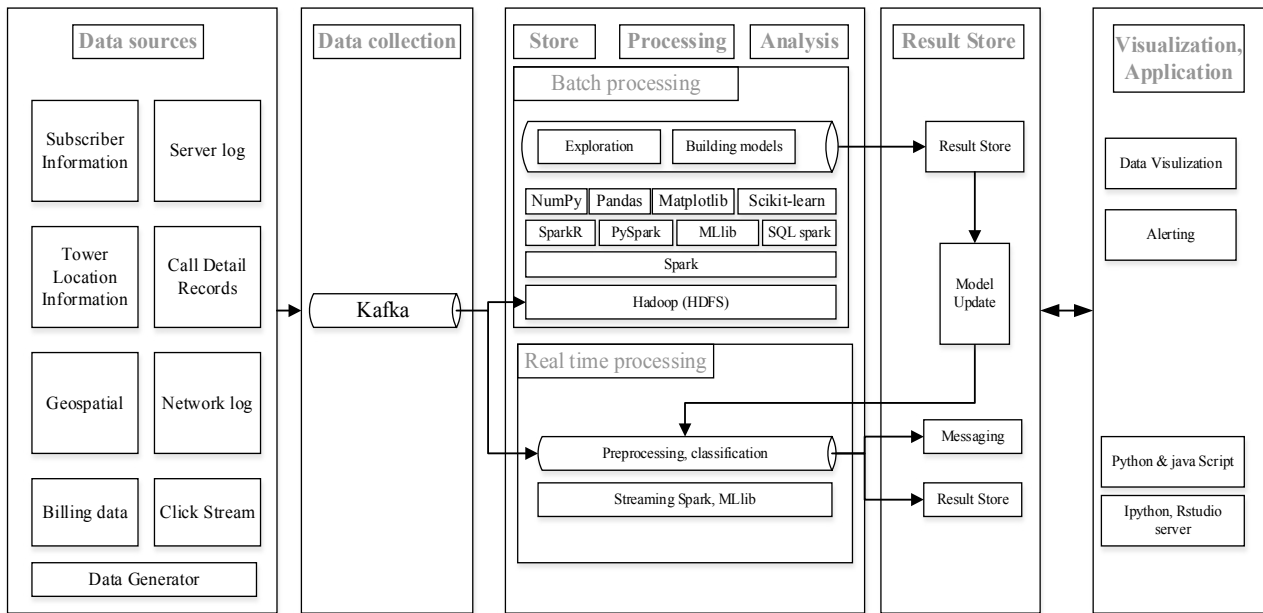
Кроме того, ИАД включил в себя многие приёмы из других областей, таких как статистика, машинное обучение, распознавание образов, базы данных и системы хранилища данных, информационный поиск, визуализация, алгоритмы, высокопроизводительные вычисления, и многие домены приложений [19]. В последнее время, обнаружение мошенничества интегрирует подход обнаружения на основе аномалии и неправильного использования методами ИАД [20].

В практике популярно используются методы обнаружения мошенничества на основе аномалия. Подход обнаружения аномалий и выбросов используется СОМ, и он опирается на поведенческие методы профилирования, где он моделирует каждую модель поведения индивидуума, контролирующегося на какие-либо отклонения от нормы [21]. СОМ на основе аномалии принимается многочисленными авторами в разных областях мошенничества [22]. СОМ на основе аномалия имеют потенциал для обнаружения нового мошенничества. Поэтому он в основном используется в литературы СОМ [23]. Этот метод может быть дополнительно классифицирован на три вида: контролируемый, без учителя, частичного обучения [24].

#### I. Контролируемый (Supervised)

Методы контролируемого обучения требуют набор данных, которые были помечены как «мошенничество» и « не-мошенничество» и включают в себя обучение классификатор. Это самый распространённый подход к обучению. Основным преимуществом контролируемого обучения является то, что все выходы классов, манипулированы алгоритмом этого подхода, являются значимыми для человека, и он может быть легко использован для классификации образов и регрессионного анализа данных. Однако, контролируемое обучение имеет ряд ограничений. Первое обусловлено трудностями сбора наблюдения или меток. Когда есть огромный объем входных данных, это слишком дорого, чтобы маркировать все из них. Во-вторых, иногда это чрезвычайно трудно найти отличительные метки, потому что существует неопределённости и неясности в наблюдение или метки. Эти ограничения могут препятствовать реализации подходов к контролируемому обучению в некоторых случаях. Таким образом, обучение без учителя и частичное обучение используются для преодоления этих недостатков [25]. Контролируемое обучение включает в себя многие алгоритмы:

- ◆ Алгоритмы классификации, например, искусственные нейронные сети (artificial neural



System Architecture for the telecommunication problems (Fraud Detection, Service Error)

Рисунок 2. Архитектура системы обнаружения мошенничества в телекоммуникации

network, ANN), Метод k ближайших соседей (k-nearest neighbors algorithm, k-NN), Дерево принятия решений, логистическая регрессия (logistic regression, LR), Наивный байесовский классификатор (Naïve–Bayes, NB) и метод опорных векторов (support vector machine, SVM).

- ◆ Алгоритмы регрессии (Regression algorithms), например, Линейная регрессия (Linear regression), простая линейная регрессия и логистическая регрессия.

### II. Без учителя (Unsupervised)

Методы обучения без учителя обнаруживают мошеннические в наборе немаркированных тестовых данных на основании предположения о том, что большинство случаев в наборе данных не является мошенничеством. В отличие от контролируемого метод, «без учителя» значит, что нет метки класса для построения модели. Основным преимуществом использования подхода без учителя является то, что оно не зависит на точной идентификации для данных метки, который часто не хватает или не существуют [26]. Существует два простых классических алгоритмов обучения без учителя:

- ◆ Алгоритмы кластеризации, такие как методы K-средних.
- ◆ Алгоритмы сокращения размерности, такие как метод главных компонент (principal component analysis, PCA)

### III. Частичного обучения (Semi-supervised)

Частичное обучение лежит между обучением и без обучения, поскольку оно включает в себя небольшое количество маркированных образцов и большое количество немаркированных образцов. Основная цель подхода частичного обучения состоит в том, чтобы наблюдали подход, чтобы обучить классификатор с обеих маркированных и немаркированных данных [27]. Частичное обучение имеет большее преимущество по сравнению с контролируемым обучением, поскольку оно достигает более высокую производительность за счёт использования как маркированных, так и немаркированных данных, но с меньшим количеством маркированных случаев. Кроме того, частичного обучения также предоставляет вычислительные модели для обучения категории человека, где большинство входных самоочевидно немаркированный [28].

Представленная архитектура системы обнаружения мошенничества в телекоммуникации

На рисунке 2 представлена архитектура системы обнаружения ТКМ. Системы состоит из 5 подсистем: S1 Подсистема источников данных; S2 Подсистема сбора данных; S3 Подсистема обработки и анализа данных; S4 Подсистема хранения результатов обработки данных; S5 Подсистема визуализации результатов. Исходные данные представляются собой подробные записи о вы-

зовах клиентов. В практике такие данные сохраняются во внутренней базе данных телекоммуникационного предприятия, то есть они не находятся в общем доступе. Поэтому, для испытания была разработана подсистема генерации ПЗВ-логов клиентов на основе технологии Kafka. Kafka кластер состоит из множества брокеров для сбора данных, потребителей (Customers) и производителей (Producers). Потребители формируют подписку на определенные брокеры для сбора данных. В подсистеме S1 создано несколько производителей для генерации данных и в подсистеме S2 создано несколько потребителей данных. Эта модель позволяет эмулировать работу по сбору данных в режиме реального времени.

В подсистеме S3 процессы обработки данных выполняются в двух режимах: (1) пакетном режиме и (2) потоковом режиме. В пакетном режиме осуществляется построение модели обнаружения ТКМ на основе технологического стека Hadoop с использованием методов

машинного обучения. Данные загружаются из Hadoop HDFS для обработки. Полученная модель сохраняется в подсистеме S4. В потоковом режиме осуществляется классификация ПМ на основе полученной в пакетном режиме модели. Также происходит обновление параметров модели на основе новых входных данных. В подсистеме S5 выполняется визуализация результатов в формате отчета «Прогнозирование ПМ».

## ВЫВОДЫ

Таким образом, в данной статье представлены проблемы при реализации системы обнаружения мошенничества в телекоммуникации, классификации системы обнаружения мошенничества и также методы обнаружения мошенничества на основе методов анализа интеллектуального анализа данных. В результате работы предложена архитектура системы обнаружения мошенничества в телекоммуникации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Hiyam A. E. T. Detecting Fraud in Cellular Telephone Networks (2010).
2. Claudio M. H. Subscription fraud prevention in telecommunications using fuzzy rules and neural networks/ Claudio M. Held, Claudio A. Perez, and Pablo A. Este. 2001
3. Action Fraud. 2015. UK's national fraud and internet crime reporting centre. 1 (2015), 1689–1699. DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
4. CFCA. Communications fraud control association (cfca) announces results of worldwide telecom fraud survey// Commun. Fraud Control Assoc. (2013), 0–1
5. Gosset P. Classification, detection and prosecution of fraud in mobile networks/ P. Gosset and M. Hyland // Proceedings of ACTS Mobile Summit, Sorrento, Italy, June 1999.
6. Luis C. Fraud Management Systems in Telecommunications: a practical approach/ Luis C. Filipe Martins, António R., and Pedro C. (2005).
7. Fugee T. Applying manufacturing batch techniques to fraud detection with incomplete customer information/ Fugee T., Zhihong Z., and Wei J.// IIE Trans. 39, 6 (March 2007), 671–680. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/07408170600897510>
8. Mahuya G. Telecoms fraud/ Mahuya G.// Comput. Fraud Secur. 2010 — № 7- с. 14–17. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S1361-3723\(10\)70082-8](http://dx.doi.org/10.1016/S1361-3723(10)70082-8)
9. Yufeng K. Survey of fraud detection techniques / Yufeng K., Chang L., и Sirirat S. // Netw. Sens. Control 2004 IEEE Int. Conf. 2, 3 (2004), с. 749–754.
10. Asherry M. Security, Prevention and Detection of Cyber Crimes/ Asherry M. // Tumaini University Iringa University College. Cyber Crime. Prepared by Asherry Magalla (LL. M–ICT LAW-10919) Supervised by Dr. Pulumu. (2013).
11. Rolf O. Internet Security: Firewalls and Beyond/ Rolf O.// Commun. ACM 40, 5 (May 1997), 92–102. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/253769.253802>
12. Orlando B. Applying User Signatures on Fraud Detection in Telecommunications Networks / Orlando B. и Carlos V. 2011 — с.286–299.
13. Mohammad B. Nature-Inspired Techniques in the Context of Fraud Detection. Mohammad B., Luigi B., Mohammed B., и Tim F.// IEEE Trans. Syst. Man, Cybern. Part C (Applications Rev. 42, 6 (November 2012), 1273–1290. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TSMCC.2012.2215851>
14. Guo T. A.O. Neural data mining for credit card fraud detection/ Guo T. A.O. and Gui-yang L.// July (2008), с. 12–15.
15. Sharon T. Claims auditing in automobile insurance: fraud detection and deterrence objectives/ Sharon T. and Pau F.// 2002- № 3 — с. 289–308.
16. John A. Data mining application for cyber credit-card fraud detection system/ John A. // In Lecture Notes in Engineering and Computer Science. 2013- с.1537–1542.
17. Hian C. K. Data Mining Applications in Healthcare/ Hian C. K. и Gerald T.// 2005–19, № 2 — с.64–72.
18. Saravanan P. Data Mining Approach For Subscription-Fraud Detection in Telecommunication Sector/ Saravanan P., Subramaniaswamy V., Sivaramakrishnan N., Prakash M. A. And, и Arunkumar T.// 2014–7, № 11 с. 515–522.
19. Noor N. M.M. A Review on a Classification Framework for Supporting Decision Making in Crime Prevention/ Noor N. M.M., Hamid S. H.a, Mohamad R., Jalil M., и Hitam M. S.// J. Artif. Intell. (2015). DOI: <http://dx.doi.org/10.3923/jai.2015.17.34>
20. Jiawei H. Data Mining Concepts and Techniques/ Jiawei H., Micheline K., и Jian P.// In Jiawei Han Micheline Kamber & Jian Pei, eds. Data Mining (Third Edition). The Morgan Kaufmann Series in Data Management Systems. Boston: Morgan Kaufmann, 585–631. DOI: <http://dx.doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-381479-1.00013-7>
21. Sasirekha M. A Defense Mechanism for Credit Card Fraud Detection/ Sasirekha M.// Int. J. Cryptogr. Inf. Secur. 2–2012 — № 3 — с. 89–100.
22. DOI: <http://dx.doi.org/10.5121/ijcis.2012.2308>

25. Jyothsna V. A Review of Anomaly based IntrusionDetection Systems / Jyothsna V. и Prasad V. V. R.// 28–2011- № 7 — с. 26–35.
26. Brause R. Neural data mining for credit card fraud detection / Brause R., Langsdorf T., и Hepp M.// Tools with Artif. Intell. 1999. Proceedings. 11th IEEE Int. Conf. (1999), 103–106. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TAI.1999.809773>
27. Bo S. Enhancing Security Using Mobility-Based Anomaly Detection in Cellular Mobile Networks/ Bo S., Fei Y., Kui W., Yang X.// 55, 2006- № 4 — с. 1385–1396.
28. Xu-ying L. Exploratory Undersampling for/ Xu-ying L., Jianxin W., and Zhi-hua Z.// 2012 — с.1–14.
29. Richard J. Unsupervised Profiling Methods for Fraud Detection/ Richard J. Bolton и David J.// Credit Scoring Credit Control. 2001- с.235–255.

---

© Нгуен Туан Ань ( [anhtuank37@gmail.com](mailto:anhtuank37@gmail.com) ). Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



# ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПРОГНОЗИРОВАНИИ ВОЕННЫХ ДЕЙСТВИЙ

## APPLICATION OF MATHEMATICAL MODELING IN FORECASTING OF MILITARY OPERATIONS

**A. Servetskiy  
V. Tolstykh**

*Summary.* Questions of application of mathematical modeling in support of a decision support of officials of organs of military control are considered, the analysis and classification of existing methods of forecasting of military operations is presented.

*Keywords:* forecasting, administrative processes, algorithm, a mathematical model, operation planning, operatively-strategic calculations.

**Сервецкий Андрей Игоревич**

*К.т.н., Военная академия Генерального штаба  
Вооруженных Сил Российской Федерации  
antey197@mail.ru*

**Толстых Владимир Владимирович**

*Соискатель ученой степени кандидата военных наук  
Военная академия Генерального штаба Вооруженных Сил  
Российской Федерации  
oficer.1978@mail.ru*

*Аннотация.* В статье рассмотрены вопросы применения математического моделирования в обеспечении поддержки принятия решений должностных лиц органов военного управления, представлен анализ и классификация существующих методов прогнозирования военных действий.

*Ключевые слова:* прогнозирование, процессы управления, алгоритм, математическая модель, планирование операции, оперативно-стратегические расчеты.

**В** современных условиях прогнозирование результатов военных действий различного масштаба в работе командиров (командующих) и штабов немислимо без использования методов математического моделирования. При этом назначение используемых моделей, их возможности, допущения и границы их применения, оперативные и технические требования к моделям и задачам различного назначения, применяемым для разных уровней управления, требуют дальнейшего углубленного изучения.

В связи с различным толкованием терминов, связанных с математическим моделированием, классификацией математических моделей и методов прогнозирования необходимо определить наиболее правильные и точные определения, что позволит уточнить методику и границы их применения.

В первую очередь следует определиться, что считать математической моделью, а что информационно-расчетной задачей, а также, чем отличается математическое моделирование от проведения оперативно-тактических расчетов. В справочной литературе существует достаточно большое количество определений рассматриваемых понятий. Так, в «Военной Энциклопедии» математическая модель трактуется как описание какого-либо явления (объекта) с помощью математической символики [1]. В «Военном энциклопедическом словаре» математическое моделирование в военном деле сформулировано как метод военно-теоретического или военно-технического исследования объекта (явления, системы, про-

цесса) путем создания и изучения его аналога (модели) с целью получения информации о реальной системе [2].

Оперативно-тактические расчеты в этом же словаре изложены как вычисления, проводимые личным составом управлений, объединений, соединений, частей и подразделений, цель которых определить количественные, качественные, временные и другие показатели для принятия решений на операцию (бой) или обоснования планирования применения войск и обеспечения управления.

Интернет дает свои формулировки понятий, относящихся к математическому моделированию. Так, задача в самой общей «канонической» форме — логическое высказывание типа: «даны заданные условия, требуется обеспечить достижение некоторой цели», а модель — логическое или математическое описание компонентов и функций, отображающих существенные свойства моделируемого объекта или процесса.

На основании приведенных в этом же источнике определений можно четко увидеть существенное различие между отдельной математической моделью, комплексом и системой моделей. Комплекс моделей — совокупность моделей, предназначенных для решения одной сложной задачи, каждая из которых описывает ту или иную сторону моделируемого объекта или процесса. Если же модели связаны так, что результаты одних оказываются исходными данными для других до получения общего результата, то комплекс обращается в систему моделей.



Рисунок 1. Классификация методов прогнозирования

Система моделей — совокупность взаимно связанных математических моделей для описания сложных систем, которые невозможно воспроизвести в одной модели.

Для планирования и прогнозирования поведения крупных объектов разрабатываются системы моделей, построенные обычно по иерархическому принципу, в несколько уровней. Они называются многоуровневыми системами. И, наконец, в действующем ГОСТе серии «РВ» приведены следующие определения математической модели и расчетной задачи. Математическая модель операции (боевых действий) — система математических зависимостей и логических правил, позволяющая с достаточной полнотой и точностью воспроизводить во времени наиболее существенные составляющие моделируемых боевых действий и рассчитывать на основе этого численные значения показателей прогнозируемого хода и исхода боевых действий.

Расчетная задача — совокупность математических зависимостей, алгоритмов и данных для выполнения оперативно-стратегических (оперативно-тактических) или специальных расчетов, позволяющая оценить обстановку, которая сложится в результате предполагаемых действий или рассчитать параметры управления, обеспечивающие достижение требуемого результата с вероятностью не ниже заданной.

Анализ данных определений показывает различие между математической моделью и информационно-расчетной задачей, заключающееся в том, что первые предназначены для прогноза развития ситуации при разных вариантах исходных данных, а вторые — преимущественно для проведения прямых расчетов в интересах

получения конкретного результата. Раньше информационно-расчетные задачи решались в основном вручную, а математические модели — на «больших» ЭВМ. С развитием средств автоматизации многие задачи были переложены в виде программ на ЭВМ, что позволило усложнить применяемый математический аппарат, количество учитываемых факторов, и привело к некоторому «стиранию» грани между математической моделью и информационно-расчетной задачей. Это является одной из причин недопонимания к применению математического моделирования в ходе проведения оперативно-тактических расчетов [3].

Далее внесем ясность в понимание методов прогнозирования, классификации и основных требований к применяемым математическим моделям в зависимости от уровня и места их применения.

В соответствии с руководящими документами основными функциями штабов является сбор информации и ее оценка, планирование операции (боя) и прогнозирование изменений обстановки. Планирование подразумевает преимущественно решение прямых и обратных информационно-расчетных задач. В то же время, для оценки обстановки, прогнозирования ее изменений, а также для сравнительной оценки спланированных вариантов применения войск (сил) требуется применение разнообразных математических методов прогнозирования (Рисунок 1).

Каждый из данных методов апробирован в различных областях управленческой деятельности и доказал свое право на существование. Но не все из них могут быть использованы в практической деятельности ко-



мандиров (командующих) и штабов при организации военных действий. Это обусловлено особенностями ведения вооруженной борьбы, заключающимися в существенной неопределенности исходных данных, необходимости учитывать огромное количество факторов и высокой «цены» ошибочных решений. Исходя из этого методы экстраполяции тенденций и некоторые виды моделей практически никогда не используются при организации военных действий. Иное дело — экспертные методы и математическое моделирование, но и на их применение оказывают существенное влияние вышеперечисленные особенности.

Формально любой из отображенных на рисунке подходов к прогнозированию можно отнести к моделированию процессов и определению тенденций: логическому, мысленному, математическому. Но исходя из специфики моделирования вооруженного противоборства, определения математической модели, применяемого в ГОСТ серии «РВ», целесообразно, говоря о моделировании, рассматривать именно математические модели, описывающие процессы вооруженного противоборства, его составных частей и отдельных форм. Далее речь пойдет преимущественно о таких моделях.

Классификация математических моделей влияет на требования к ним, на формирование перечней математических моделей и информационно-расчетных задач, обеспечивающих поддержку принятия решений должностных лиц органов военного управления. По своему назначению математические модели принято разделять на исследовательские и штабные.

Исследовательские модели предназначены как для обеспечения проведения исследований, связанных с развитием вооружения, разработкой новых способов ведения операций и боевых действий, так и для анализа результатов расчетов при заблаговременном планировании. Основное требование к ним — обеспечение необходимой точности математического описания исследуемых процессов. Менее жесткие требования предъявляются к оперативности моделирования.

Штабные модели — это математические модели операций (боевых действий), предназначенные для обеспечения практической деятельности штабов. К ним предъявляются два основных требования: первое — возможность применения в реальном режиме времени, вписывающемся в алгоритм работы штаба; второе — обеспечение существенного повышения объективности и обоснованности решений, принимаемых по управлению войсками.

По форме описания процесса вооруженного противоборства математические модели подразделяются

на аналитические и стохастические. И те, и другие могут быть как штабными, так и исследовательскими.

По получаемому результату моделирования модели наиболее значимо разделяются на прямые (описывающие) и прескриптивные (оптимизирующие или предписывающие). Первые позволяют ответить на вопрос: «что будет если...», вторые: «как сделать, чтобы получилось так». Наиболее часто в военном деле применяются описывающие модели. Применению прескриптивных моделей, более перспективных с точки зрения поддержки принятия решений, препятствует ряд объективных и субъективных факторов [4].

Объективным является то, что при большом количестве учитываемых факторов очень сложно сформулировать формальную задачу поиска оптимального решения. Не менее сложно интерпретировать полученные результаты. Субъективные факторы: нежелание должностных лиц доверять поиск решения программе, принципы работы которой им неизвестны. Встречается также мнение, что алгоритм работы прескриптивной модели можно вычислить, и, зная его, просчитать результат решения. Это мнение, несомненно, ошибочно, так как даже при известном алгоритме работы модели невозможно вычислить результат моделирования, не имея точных сведений о вводимых в модель исходных данных.

При аналитическом моделировании все случайные величины заменяются их числовыми характеристиками, и устанавливается однозначная связь между исходными данными и результатами (с использованием алгебраических уравнений, обыкновенных дифференциальных уравнений, уравнений с частными производными и т.д.). С помощью аналитических моделей удастся с удовлетворительной точностью описать только сравнительно простые системы, т.е. те для которых приняты значительные упрощения и допущения, а число взаимодействующих элементов не велико. Достоинствами аналитических моделей является их универсальность, высокая степень общности и значимости результатов.

Недостатками аналитических моделей является их чувствительность к степени сложности системы (высокая точность результатов несовместима с большой сложностью систем и находится в обратной пропорциональной зависимости от нее) и неадекватность реальной системе, действующей в условиях случайных внешних возмущений.

В имитационной модели законы функционирования всей системы в целом могут быть неизвестны (достаточно знания алгоритмов, описывающих поведение отдельных элементов системы и связей между ними), связи между параметрами и характери-

ками системы выявляются, а значения исследуемых характеристик определяются в ходе имитационного эксперимента на ЭВМ, действие случайного фактора имитируется при помощи датчика случайных чисел, и поэтому на выходе получаются различные результаты даже при одних и тех же исходных данных, которые затем анализируются. Такие модели точнее описывают реальный процесс, но при этом значительно возрастают требования к информационным и вычислительным ресурсам.

Достоинством данной системы является возможность представить и исследовать сложную систему на различных уровнях её детализации, определяемых целью исследования; исследования динамики взаимодействия элементов системы во времени и в пространстве параметров системы и оценивать характеристики системы в заданные моменты времени. К недостаткам можно отнести то, что результаты имитационного моделирования обладают меньшей степенью общности по сравнению с аналитическим моделированием и не позволяют выявить общие закономерности функционирования классов систем. Сущность имитационного моделирования вооруженного противоборства состоит в розыгрыше действий и взаимного влияния (воздействия) расположенных в пространстве и времени объектов согласно заданным (прогнозируемым) планам их действий [5].

Исходное расположение объектов для моделирования в виртуальном пространстве и времени задается как вручную, так и автоматизированным способом — по данным, поступающим от разведывательных органов (за объекты противника), и по докладом о положении и состоянии своих войск (объектов).

В процессе моделирования имитационные модели объектов вооруженного противоборства имитируют выполнение боевых задач (планов), взаимодействуют между собой и со средой, в результате чего достигаются определенные результаты в соответствии со сложившимися условиями обстановки.

К сожалению, дать общих рекомендаций по выбору конкретного типа математической модели не представляется возможным, так как одни и те же задачи могут быть решены на основе различных математических моделей. С другой стороны каждая математическая модель позволяет решать довольно широкий круг задач, поэтому к выбору типа математической модели следует подходить исходя из конкретных условий.

Разработка математической модели при ведении военных действий должна включать в себя следующие основные этапы:

- ◆ постановку задачи и формулировку целей исследования;
- ◆ разработку формализованного описания исследуемого процесса управления войсками (силами);
- ◆ разработку алгоритма модели;
- ◆ выбор критериев оценки результатов моделирования;
- ◆ составление программы модели;
- ◆ отладку программы на ЭВМ и ее уточнение;
- ◆ оценку точности получаемых результатов;
- ◆ реализацию модели.

В методическом отношении помимо разработки алгоритма модели наиболее трудным этапом является выбор критериев оценки результатов моделирования. На наш взгляд, на сегодняшний день, наиболее достоверный источник для количественной оценки качественных факторов — статистические материалы, получаемые на учениях.

В то же время, мы должны понимать, что возможность алгоритмизации тех или иных задач интеллектуальной поддержки решений определяется достигнутым уровнем познания закономерностей мыслительной деятельности человека. Однако сегодня не представляется возможным создать алгоритмы управления, способные полностью заменить командира, особенно при решении им творческих задач, например таких, как оценка замысла противника, прогнозирование его вариантов поведения и т.п. Поэтому единственно возможным является разумное распределение функций управления между командиром (штабом) и АСУ. Это распределение функций необходимо осуществить так, чтобы обеспечить минимум времени принятия решений при максимальной их эффективности с учетом имеющихся ограничений на производительность информационно — вычислительных систем. В этом огромное значение будет иметь математическое моделирование. При этом, следует понимать, что собственно модель не может обеспечить выработку единственно верного и всесторонне обоснованного решения в конкретно складывающихся условиях обстановки, а является всего лишь инструментом поддержки мыслительной и творческой деятельности командующих, командиров и должностных лиц штабов. И это вполне обоснованно.

Общеизвестно, что планирование любой операции или боя является воплощением военного искусства командующего или тактической подготовки командира наряду с их способностью единолично, на основе своего опыта и интуиции принять наиболее соответствующее условиям обстановки решение.

Методы математического моделирования же в данном случае является вспомогательным инструментом поддержки данного процесса и оценки возможных альтернатив. Реализуемый математический аппарат и алгоритмы охватывают собой множество сложных процессов, факторов и условий, непосредственно влияющих на результаты моделирования. Часть из них задается количественно, например боевой и численный состав противостоящих группировок войск, виды и характеристики вооружения и военной техники, выделяемые ресурсы, физико-географические и метеорологические условия и т.д. Вторую часть исходных данных по объективным причинам невозможно представить в количественном измерении и учесть в модели, ибо они затрагивают когнитивную сферу человека и его морально-боевой дух.

Создать модель для некоторого физического процесса (в данном случае для ведения военных действий) значит подобрать такой математический процесс, который обладает следующими свойствами:

- 1) Между элементами математического процесса и объектами физического процесса установлено некоторое соответствие;
- 2) Интервалы изменения времени у обоих процессов одинаковы;
- 3) Измерение состояния каждого элемента математического процесса определяются зависимостями, являю-

щимися математическими образами закономерностей изменения соответствующего объекта физического процесса.

Несмотря на объективную необходимость использования математических моделей при организации военных действий, на их применение существенное влияние оказывают субъективные факторы, связанные с отношением должностных лиц к результатам моделирования. В этом случае необходимо понимать, что модель не средство непосредственной выработки решений на применение войск (сил) или обоснования путей развития системы вооружений, а лишь инструмент, обеспечивающий осуществление одного из этапов этого процесса — проведение сравнительной оценки качества принимаемых решений. Этот инструмент разрабатывается под определенные задачи и условия с некоторыми допущениями и имеет соответствующую область применения. Не всегда возможно и необходимо разрабатывать некую универсальную модель, часто целесообразнее иметь набор инструментов, применяемых для решения конкретных задач на определенных рабочих местах (уровнях управления), приспособленных к конкретным условиям работы. Только такое понимание позволит сформировать правильный подход к применению модельных технологий в органах военного управления и вывести организацию операций, боевых действий ВС РФ на качественно новый, соответствующий требованиям ведения современной войны уровень.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Военная Энциклопедия. Т. 5. / Гл. ред. комиссии И. Д. Сергеев и др. М.: Воениздат, 2001. 575 с.
2. Военный энциклопедический словарь. Т. 2. / Авт.-сост. Ю. Т. Аверьянов, Т. А. Арсенюк, В. И. Бормотова. М.: РИПОЛ классик, 2001. 815 с.
3. Ткаченко П. Н. Математические модели боевых действий / П. Н. Ткаченко, Л. Н. Куцев, Г. А. Мещеряков и др. М.: Советское радио, 1969. 240 с.
4. Сухоруков Ю. С., Донсков Ю. Е., Меркулов С. Н., Фомин, В. В. Проблемы автоматизации интеллектуальной поддержки принятия решений общевойсковыми командирами в тактическом звене / Ю. С. Сухоруков, Ю. Е. Донсков, С. Н. Меркулов, В. В. Фомин // Военная мысль. 2009. № 9. С. 43–53.
5. Ахмеров Д. Е., Беломытцев А. В., Васкецов С. Л. О роли упрощенных оптимизационных моделей / Д. Е. Ахмеров, А. В. Беломытцев, С. Л. Васкецов // Военная мысль. 2008. № 1. С. 57–61.

© Сервецкий Андрей Игоревич ( antey197@mail.ru ), Толстых Владимир Владимирович ( oficer.1978@mail.ru ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ЭЛЕКТРОИМПЕДАНСНАЯ ТОМОГРАФИЯ — ПЕРСПЕКТИВНЫЙ И РАЗВИВАЮЩИЙСЯ МЕТОД МЕДИЦИНСКОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ<sup>1</sup>

## ELECTRICAL IMPEDANCE TOMOGRAPHY — A PERSPECTIVE AND PROCEEDING METHOD OF MEDICAL VISUALIZATION

G. Alexanyan

**Summary:** The paper deals with the analysis of current and emerging diagnostic methods, namely, electrical impedance tomography (EIT). The use of EIT devices is possible in health care facilities, medical diagnostic centers, veterinary clinics; research institutes and centers; institutions of higher education for the diagnosis of human functional state, the determination of the spatial distribution of the internal organs, the reconstruction of images of biological objects, etc. It can be used as an additional functional units of medical equipment. EIT methods and algorithms can find application in the biological and technical detection systems, the detection of internal features of an object.

**Keywords:** medical examination, diagnostic information, medical equipment, bioimpedance, electrical impedance tomography.

**Алексанян Грайр Каренович**

К.т.н., доцент, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова (Новочеркасск)  
graer@yandex.ru

**Аннотация.** В статье приведен анализ нынешних и развивающихся методов диагностики, а именно электроимпедансной томографии (ЭИТ). Применение устройств ЭИТ возможно в лечебно-профилактических учреждениях, медицинских диагностических центрах, ветеринарных клиниках; научно-исследовательских институтах и центрах; высших учебных заведениях для диагностики функционального состояния человека, определением пространственного распределения внутренних органов, реконструкцией изображения биологических объектов и т.п. Возможно использование результатов работ как дополнительные функциональные модули медицинской техники. Методы и алгоритмы для ЭИТ могут найти применение как в биологических, так и в технических системах обнаружения, детектирования внутренних особенностей объекта.

**Ключевые слова:** медицинское обследование, диагностическая информация, медицинская техника, биоимпедансометрия, электроимпедансная томография.

## Введение

**Д**иагностика функционального состояния человека во многом определяется объективной и достоверной информацией, получаемой в ходе медицинского обследования. Одними из информативных параметров, используемых в клинической практике, являются геометрические размеры, местоположение, состав, электропроводимость, форма и плотность органов и биотканей. Особенно важным является применение неинвазивных и безвредных методов получения диагностической информации.

Для этих целей в настоящее время разработаны и находят широкое клиническое применение сложные высокоинтеллектуальные технические средства медицинской визуализации, основанные на различных принципах действия. К ним можно отнести магниторезонансные томографы, компьютерные рентгеновские томографы, медицинские термографы, ультразвуковые устройства. Данные системы позволяют повысить эффективность работы медицинского персонала, достоверность диагностирования заболевания, оптимизировать существующие методики, а также развивать

перспективные терапевтические и хирургические методы и подходы для комплексной оценки и мониторинга состояния человека.

В последние годы для получения количественной и качественной информации о состоянии биообъекта (например, человека) используется такой метод измерения, как биоимпедансометрия (БИМ) [1, 2]. Сфера применения БИМ с каждым годом расширяется и охватывает различные области биологии и медицины. Одним из перспективных направлений применения БИМ является получение информации о внутренней структуре биологических тканей (определение уровня дегидратации организма человека, компонентного состава мышечной ткани, определение состояния клеточных структур, костной ткани, баланс водных сред и т.п.). Биоимпедансометрия также применяется для комплексного анализа состава тела человека [1, 2]. Имеются научные рецензированные труды по использованию методов БИМ для характеристики текущего состояния и физического развития группы людей (популяций), а также оценки распространенности избыточной массы тела, ожирения и истощения, других нарушений нутритивного статуса и рисков заболеваемости [3]. В настоящее время

<sup>1</sup> Работы выполняются в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых МК 4856.2015.8

мя серийно выпускаются биоимпедансные анализаторы для здравоохранения и биологии, например, такие как «ABC-01 МЕДАСС» [4], ДИАМАНТ-АКТ [5], Tanita BC-543, Omron HBF-306 [6], Biospace InBody [7], приборы фирмы Seca [8] и многие др.

Измерение импеданса человека (или биообъекта) положено также и в основу метода электроимпедансной томографии. Электроимпедансная томография (ЭИТ) [9] представляет собой метод медицинской визуализации распределения удельного сопротивления тела человека (или внутренних органов). В общем виде ЭИТ, как метод медицинской визуализации [10], относится к так называемой квазистатической томографии [11] и включает в себя алгоритмы двумерной и трехмерной реконструкции и визуализации [10,11].

В общем случае суть метода заключается в следующем. На исследуемый объект посредством поверхностных токоподводящих электродов подается высокочастотный электрический ток. Путем регистрации напряжения на поверхности тела оценивается распределение электрической проводимости внутренних структур биообъекта в томографических сечениях [11, 12]. В этой связи технология ЭИТ обладает значительным потенциалом для получения необходимых результатов при диагностике общего функционального состояния человека, исследовании динамических процессов сердечно-сосудистой деятельности, наблюдении онкологических образований, мониторинга дыхательной системы, оценке гипертермии и т.п. Электроимпедансная томография относится к неинвазивным, безвредным и высокоэффективным техническим средствам современного медицинского приборостроения, так как позволяет избавить человека от комплекса болевых и неприятных ощущений, в процессе обследования не используются радиоизотопные и рентгенологические методов, исключается внесение во внутреннюю среду организма человека болезнетворных вирусов и бактерий, чужеродных веществ (например, эндоскопические процедуры) [13].

В настоящее время серийно выпускаются и используются в клинической практике следующие виды электроимпедансной медицинской техники [12]:

1. Электроимпедансный маммограф «МЭМ» [14,15] предназначен для применения в условиях специализированных отделений больниц и клиник учреждений здравоохранения для скрининговых исследований молочной железы. Производитель ООО «Импедансные медицинские технологии», Российская Федерация.
2. Электроимпедансный томограф Swisstom BB2 [16] разработано специально для непрерывного мо-

нитинга работы легких у пациентов отделений интенсивной терапии, которым проводится искусственная вентиляция легких (ИВЛ). Производитель Swisstom AG, Швейцария.

3. Электроимпедансный томограф PulmoVista® 500 [17] позволяет вести динамический мониторинг функции легких прямо у постели больного. Томограф предназначен для применения в повседневной клинической практике. Производитель Drägerwerk AG & Co. KGaA, Германия.
4. Электроимпедансный томограф серии Elisa 800 [18], представляет собой комплекс, в котором интегрированы функциональные возможности аппарата ИВЛ и технологии ЭИТ. Производитель SALVIA medical GmbH & Co. KG, Германия.
5. *Гинекологический импедансный томограф «ГИТ»*, [15] диагностический прибор, основанный на методе ЭИТ, позволяющий без инвазивного вмешательства визуально оценивать и получать количественные показатели электропроводности влажалищной части шейки матки на глубине до 1–1,5 см. Прибор находится в стадии клинических испытаний. Ожидаемое начало продаж — 2015 год. Производитель ООО «Импедансные медицинские технологии», Российская Федерация.

Широкое распространение метод ЭИТ получил благодаря развитию радиоэлементной базы, микропроцессорных технологий, а также появлению соответствующих математических аппаратов и специализированных программных систем для обработки и анализа томографических данных. Например, EIDORS, Maxwell, ANSIS, RES2DINV, GREIT. Существуют работы по использованию пакета MicroCap для задач ЭИТ [19].

К достоинствам метода ЭИТ можно отнести следующее:

- ♦ Безвредность для обслуживающего персонала и пациента. Это позволяет проводить частые обследования и обнаруживать заболевания на самых ранних стадиях.
- ♦ По сравнению с компьютерной томографией и магниторезонансной томографией устройства ЭИТ требуют меньшей квалификации обслуживающего персонала.
- ♦ Одним из основных преимуществ устройств, основанных на принципе ЭИТ, является цена. Стоимость магниторезонансных томографов на рынке варьируется нескольких десятков миллионов рублей. При этом дешевые магниторезонансные томографы дают низкогокачественное изображение с обилием шумов и низким разреше-

Таблица 1. Направлений исследований за рубежом по тематике ЭИТ

Направление исследований	Кол-во статей
Маммография	4
MREIT	25
Моделирование и анализ контакта электрода с кожей и его положения	13
Исследование мочевого пузыря методом ЭИТ	1
Мониторинг гидратации методом ЭИТ	1
Алгоритмы реконструкции изображения и их оценка	24
Двумерная и трехмерная оценка вентиляции легких методом ЭИТ	27
Визуализация грудной клетки методом ЭИТ	5
Исследование мозга методом ЭИТ	13
Анализ костной ткани при ЭИТ	2
Повышение качества изображения и компенсация ошибок	9
Оценка погрешности визуализации	5
Исследования влияния травм и операций на импеданс биоткани	2
Трехмерная ЭИТ и оптимизация методов трехмерной визуализации	8
Клиническая и экспериментальная оценка результатов исследований методом ЭИТ	3
Исследование сердца методом ЭИТ	2
Гинекологическая ЭИТ	1
Визуализация предстательной железы и простаты	5
FDEIT	2
Системы электроимпедансной томографии	7
Обнаружение внутренних кровотечений методом ЭИТ	1
Исследование брюшной полости методом ЭИТ	1
Оценка жировых отложений методом ЭИТ	2
Источник тока для ЭИТ	2
Физические и математические модели для исследований в области ЭИТ	7
Ангиография методом ЭИТ	2
Исследование печени методом ЭИТ	1
Визуализация ноги методом ЭИТ	1

нием. Рентгеновские компьютерные томографы стоят от нескольких единиц миллионов рублей за 2-срезовый до нескольких десятков миллионов рублей за 128-срезовый.

- ◆ Существенным преимуществом являются массогабаритные показатели. Так, аппараты для магниторезонансной томографии весят от 1,5 тонн, а аппараты для рентгеновской компьютерной томографии от 1 тонны, а устройство на ЭИТ — несколько килограмм.

Однако, несмотря на многочисленные достоинства данному методу присущи недостатки, к которым можно отнести: сложность математического аппарата реконструкции и визуализации, специализированное программное обеспечение, отсутствие широкого применения в клинической диагностической практике устройств ЭИТ, позволяющих количественно определять параметры органа (биообъекта, человека). Одной из главных проблем

ЭИТ является отсутствие единого универсального подхода для биоимпедансных томографических исследований. Это обусловлено спецификой и сложностью биологического объекта, его пространственной структурой, механизмами функционирования, физиологическими процессами, протекающими в нем, анатомическими особенностями каждого биообъекта, его возраста, положения, условий окружающей среды, случайных внешних воздействий и т.п.

На основании обзора и анализа современного состояния проблемы [12] можно сделать вывод, что существует необходимость в разработке новых подходов, математических моделей и устройств для повышения точности измерений, разработки и исследовании алгоритмов визуализации пространственного распределения. Перспективным направлением в данной области является комплексное использование экспериментальных исследований, моделирования и компьютерных технологий для получения необходимой информации [11, 12, 20, 21].

Таблица 2. Перечень выявленных журналов, в которых опубликованы научные работы российских в области ЭИТ за 2009–2014 гг.

Наименование	ISSN	Количество статей по теме
1 Медицинская техника	0025–8075	2
2 Медицинская визуализация	1607–0764	5
3 Вестник Томского государственного университета. Математика и механика	1998–8621	2
4 Биомедицинская радиоэлектроника	1560–4136	11
5 Поликлиника	<b>2311–2441</b>	1
6 Российский физиологический журнал	0869–8139	1
7 Вычислительные методы и программы	0507–5386	1
8 Гинекология	2079–5696	1
9 Хирург	2074–0190	7
10 Вестник Российского Научного Центра рентгенодиагностики	1999–7264	2
11 Прикладная математика и информатика	0032–8235	1
12 Журнал вычислительной математики и математической физики	0044–4669	3
13 Биотехнические системы в медицине и экологии		1
14 Сибирский математический журнал	0037–4474	1
15 Дифференциальные уравнения	0374–0641	1
16 Научный вестник НГТУ	1814–1196	1
17 Вопросы онкологии	0507–3758	1
18 Врач скорой помощи	2074–742X	1
19 Радиология	2071–9426	1
20 Автометрия	0320–7102	3
21 Вычислительные технологии	1560–7534	2
22 Современные проблемы науки и образования	2070–7428	1
23 Фундаментальные исследования	1812–7339	3
24 Анестезиология и реаниматология	0201–7563	1
25 Бюллетень экспериментальной биологии и медицины	0365–9615	1
26 Медицинская радиология и радиационная безопасность	0025–8334	1

Развитию направления исследований и расширения областей применения свидетельствует количество публикаций по теме ЭИТ как в Российской Федерации, так и за рубежом. Так, в рамках проведенных исследований по соглашению о предоставлении субсидии № 14.574.21.0029). (уникальный идентификатор проекта RFMEFI57414X0029, Министерство образования и науки Российской Федерации) за 2009–2014 гг. выявлены следующие направления исследований зарубежных научно-технических коллективов (табл. 1). Перечень выявленных журналов, в которых опубликованы научные работы российских в области ЭИТ за 2009–2014 гг. приведен в таблице 2.

### Заключение

Метод ЭИТ претерпевает бурное развитие в различных областях здравоохранения и биологии. С каждым годом увеличивается количество применяемых

в врачебной деятельности устройств, основанных на принципах данного метода. Несмотря на то, что в настоящее время ЭИТ отличает ряд существенных недостатков, ограничивающих ее повсеместное применение, данный подход зарекомендовал себя как эффективный метод мониторинга и качественной и количественной оценки ряда физиологических параметров биологических объектов, а в некоторых случаях позволил достичь принципиально новых результатов (например, при мониторинге вентиляции легких). Исследования по данной тематике ведутся более чем в 20 странах мира, регулярно проводятся специализированные конференции и семинары. Производители ЭИТ устройств открыты для диалога и находятся в постоянном взаимодействии с практикующими врачами и специалистами по данной проблеме. Появление новых алгоритмов и подходов в области ЭИТ позволит вывести данный метод на научно-технический уровень.

ЛИТЕРАТУРА

1. Николаев Д. В. Биоимпедансный анализ состава тела человека / Д. В. Николаев, А. В. Смирнов, И. Г. Бобринская, С. Г. Руднев. — М.: Наука, 2009. — 392 с. — ISBN 978-5-02-036696-1 (в пер.).
2. Мартиросов Э. Г. «Технологии и методы определения состава тела человека» / Э. Г. Мартиросов, Д. В. Николаев, С. Г. Руднев. — М.: Наука, 2006. — 248 с.
3. Bioimpedance study of body composition in the Russian population / S. G. Rudnev, N. P. Soboleva, S. A. Sterlikov, D. V. Nikolaev, O. A. Starunova, S. P. Chernykh, T. A. Eryukova, V. A. Kolesnikov, O. A. Melnichenko, E. G. Ponomareva. — М.: RIO TSNIIOIZ, 2014. — 493 p.
4. Medass [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.medass.ru>, свободный.
5. diamant.spb [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.diamant.spb.ru>, свободный.
6. OMRON [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://omron.ru>, свободный.
7. inbody [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.inbody.com>, свободный.
8. seca [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.seca.com>, свободный.
9. Пеккер Я. С. Электроимпедансная томография. — Томск: Изд-во НТЛ, 2004. — 298 с.
10. Алексанян Г. К., Тарасов А. Д., Кучер А. И. Методы медицинской визуализации внутренних структур биообъекта. Научно-техническая конференция и выставка инновационных проектов, выполненных вузами и научными организациями ЮФО в рамках участия в реализации федеральных целевых программ и внепрограммных мероприятий, заказчиком которых является Минобрнауки России: сб. материалов конф., г. Новочеркасск, 14–16 дек. 2014 г. / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т им. М. И. Платова. — Новочеркасск: Лик, 2014. — С. 400–401
11. Корженевский А. В. Квазистатическая электромагнитная томография для биомедицины [текст]: дис. ... д-ра физ.-мат. наук: 01.04.01 / Корженевский Александр Владимирович. — М., 2009. — 255 с.
12. Aleksanyan G. K., Gorbatenko N. I., Tarasov A. D. Modern Trends in Development of Electrical Impedance Tomography in Medicine — Biosciences Biotechnology Research Asia. — 2014. — Vol. 11. — P. 85–91
13. Electrical impedance tomography [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: <http://www.eit.org.uk/>, свободный.
14. ПКФ «СИМ-Техника» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.impedance.ru>, свободный.
15. Компания «Импедансные медицинские технологии» (ООО «ИМТ») [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.medimpedance.ru/>, свободный.
16. Swisstom AG [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.swisstom.com>, свободный.
17. Drägerwerk AG [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.draeger.com>, свободный.
18. SALVIA medical [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://salvia-medical.de>, свободный.
19. Алексанян Г. К., Кучер А. И., Нгуен М. К., Чан Н. Ф. Применение MicroCap и EIDORS в задачах электроимпедансной томографии. Вьетнамо-российская Междунар. науч. конф., ГТУ им. Ле Куи Дона, 02–03 апр. 2015 г.: тез. докл. / ГТУ им. Ле Куи Дона. — Ханой: ЛКД изд-во, 2015. — С. 50–51
20. Aleksanyan G. K., Gorbatenko N. I., Tarasov A. D. Development of Hardware-Software Complex for Electrical Impedance Tomography of Biological Objects. Research Journal of Applied Sciences. — 2014. — Vol. 9, Issue 12. — P. 1030–103
21. Aleksanyan G. K., Lankin M. V., Lankin A. M., Narakidze N. D. Development Of Principles Of Computer Appliance Functioning, Determination Of Characteristics Of The Biological Object. International Journal of Applied Engineering Research. — 2015. — Vol. 10, № 3. — P. 6489–6498

© Алексанян Грайр Каренович ( [graer@yandex.ru](mailto:graer@yandex.ru) ). Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»





## АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕЧЕНИЯ И ПРОФИЛАКТИКИ ПЛОСКО-ВАЛЬГУСНОЙ СТОПЫ

### TOPICAL ISSUES OF THE EFFECTIVENESS OF TREATMENT AND PREVENTION OF PLANO-VALGUS FOOT

*M. Vinderlih*

*Summary.* Foot deformities are considered to be the most frequently occur pathology among children. Actual problem is finding of optimal and modern diagnostic methods of this pathology. Questions of the conservative detachable correction and rational selection of shoes are studied.

*Keywords:* foot pathology, plano-valgus deformaty, diagnostic methods, individual orthopedic correction.

**Виндерлих Марина Евгеньевна**

Аспирант, ГБОУ ВО Ижевская Государственная  
Медицинская Академия  
utx@mail.ru

*Аннотация.* Одной из наиболее распространенных патологий у детей являются деформации стоп. Поиск оптимальных и современных методов диагностики данной патологии остаётся актуальной проблемой. Изучены аспекты консервативной ортезной коррекции и рационального подбора обуви.

*Ключевые слова:* патология стоп, плосковальгусная деформация, методы диагностики, индивидуальная ортопедическая коррекция.

**В** последние два десятилетия в России по данным официальной статистики и ряда исследователей отмечается стойкая тенденция ухудшения состояния здоровья детей и подростков [2,3]. Важным индикатором здоровья и качества жизни детского населения является распространённость заболеваний костно-мышечной системы, в частности деформации стоп. Высокий уровень заболеваемости плоскостопием, отмеченный в основном у лиц дошкольного и школьного возраста, с тенденцией к росту определяет не только медицинскую, но и высокую социальную значимость этой проблемы. Распространённость плоскостопия варьирует от 0,6% до 77,9%, что объясняется различными критериями диагностики и наличием сопутствующей патологии [4,14,16]. Ребёнок рождается с плоскостопием, что обусловлено анатомическими особенностями стопы: мягкая, эластичная и легко деформируемая хрящевая ткань вместо костной, более подвижные суставы при слабом связочном аппарате свода стопы снижают приспособляемость к статическим нагрузкам, поэтому в состоянии физиологического плоскостопия находится 90% детей 2 летнего возраста [13,18].

Физиологическое плоскостопие рассматривается как нормальный этап развития стопы и имеет тенденцию к полной спонтанной коррекции и остаётся лишь у 3% взрослого населения [6,7,12]. Формирование нормального продольного свода стопы начинается с 3–5 лет и завершается к 10–11 годам, в связи с этим распространённость плоскостопия у детей 2–6 лет составляет 37%–59,7%, у 8–13 летних 4%–19,1% [4,13]. Однако в 16–18 летнем возрасте функциональные и статические деформации стопы как изолировано,

так и в сочетании с патологией осанки и функций органов таза, грудной и брюшной полостей носят необратимый характер, что в тяжелых случаях приводит к инвалидизации, значительно затрудняет общественную активность, накладывает ограничения в выборе профессии и является причиной негодности к службе в армии [9,10,16].

Ухудшение экологической обстановки, ограничение двигательной активности, занятость родителей и их недостаточное внимание к формированию здоровья ребенка в семье приводят к тому, что дети приходят в дошкольное учреждение с неправильной установкой стоп. Приказ Минздрава России от 21.12.2012 N1346н «О Порядке прохождения несовершеннолетними медицинских осмотров, в том числе при поступлении в образовательные учреждения и в период обучения в них» не регламентирует обязательность осмотра ребёнка травматологом-ортопедом перед поступлением в детские дошкольные учреждения (ДДУ) [1].

Отсутствие скрининговых осмотров ортопедом с 3-месячного возраста до 7 лет приводит к выявлению патологии стоп, нарушения осанки, укорочения нижних конечностей и сколиоза только во время диспансерного осмотра перед поступлением в школу. В настоящее время нет единого мнения относительно использования ряда методов диагностики для оценки тяжести анатомических и биомеханических особенностей деформации стопы [5,14]. По мнению Carr JB [14], клинический осмотр позволяет выявить только 30% патологии обнаруженной методом плантографии, в связи с чем считается не достаточно объективным и полноценным.

Таблица 1. Динамика патологии стопы у 3 и 6–8-летних пациентов в ходе ортопедической коррекции

	3 года n=240		6–8 лет n=240	
	мальчики n=115	девочки n=125	мальчики n=115	девочки n=125
плоско-вальгусные стопы	49–42,6%	27–21,6%	9–3,6%	4–1,6%
плоскостопие	-	-	26–10,4%	12–4,7%
здоровые	66–57,4%	98–78,4%	80–69,6%	109–87,2%

Особенно актуальной является организация скрининговых осмотров детей в дошкольных и школьных учебных заведениях в рамках диспансеризации с целью ранней диагностики плоскостопия адекватными и доступными методами [9,10]. Это позволит раньше выявить плоскостопие и легче его вылечить.

Настоящее исследование проведено с целью изучения заболеваемости детей 3-х летнего возраста плоско-вальгусной стопой и оценки эффективности лечения в 6–8 летнем возрасте перед поступлением в школу.

#### Материалы и методы исследования

Материалом ретроспективного исследования послужили статистические формы 026-у 240 детей в возрасте 3-х лет перед поступлением в ДДУ г. Йошкар-Олы и проспективное рандомизированное клиническое исследование этой же группы детей в возрасте 6–8 лет перед поступлением в школу. Всем детям в ходе обследования были проведены подометрия и подография. Диагностика рессорных свойств стопы проведена с использованием плантографии с помощью ПлантоПодоСкопа (ПлантоГрафа) зеркального, универсального Кузнецова С.В по стандартной методике (измерение по Штритеру), которая заключалась в получении отпечатка стопы — плантограммы. Описание плантограммы осуществляли в ходе построения чертежа с нанесением касательной АБ к наиболее выступающим точкам медиального края отпечатка стопы, из середины которой в точке В восстанавливали перпендикуляр, пересекающий медиальный край отпечатка в точке Г, а латеральный- в точке Д. Проводили измерение полученных отрезков ВД и ГД (в см). Для оценки продольного свода стопы использовалась формула:

$$I = \frac{ГД * 100}{ВД},$$

где I — индекс Штритера,

ГД — отрезок перпендикуляра (в см),

ВД — отрезок перпендикуляра (в см),

Полученный индекс оценивали таким образом: от 0 до 36% — экскавированная стопа, от 36,1 до 43% — субэкскавированная стопа, от 43 до 50% — нормальная стопа, от 50,1 до 60% — уплощение свода, от 60,1 до 70% — плоскостопие.

#### Результаты и обсуждение

Ретроспективный анализ форм 026у перед поступлением детей 3-летнего возраста в ДДУ выявил только плоско-вальгусные стопы у 76 (31,7%) детей, в том числе у 49 (42,6%) мальчиков и 27 (21,6%) девочек (табл. 1).

Родителям даны рекомендации по коррекции мобильного плоскостопия с использованием консервативных методов, улучшающих метаболические процессы, кровообращение и микроциркуляцию, укрепляющих мышцы и связки стопы и удерживающих свод [8,9,14] таких как: ношение ортопедической обуви, лечебная физкультура, физиотерапевтические процедуры.

Мобильный (гибкий) тип плоскостопия, характерный для раннего детского возраста, относят к доброкачественным физиологическим состояниям, обусловленным уменьшением высоты свода стопы в положении стоя под воздействием собственного веса. Прекращение статической нагрузки или подъем на цыпочки приводит к восстановлению медиального продольного свода [7]. Такая патология зачастую бессимптомна, улучшается с возрастом и требует коррекции при болевом синдроме, уменьшении устойчивости к физическим нагрузкам и нарушении походки [17].

Благодаря обоснованной и своевременной коррекции мобильного плоскостопия нехирургическими методами в ходе диспансерного осмотра этой же группы пациентов в возрасте 6–8 лет перед поступлением в школу выявлена позитивная динамика в виде нормального формирования стопы у 25 детей, в том числе 8 (3,2%) девочек и 17 (6,6%) мальчиков (табл. 1). По данным наше-

го исследования распространённость патологии стопы составила у 3-летних 31,7%, против 37%-59,7% по литературным данным и в возрасте 6–8 лет –31,3%, против 4–19,1% той же возрастной группы других исследователей [4,13]. В ходе исследования этой же группы детей в возрасте 6–8 лет выявлено плоскостопие у 38 детей, в том числе 26 (10,4%) мальчиков и 12 (4,7%) девочек с индексом Штритера  $66 \pm 0,93$ .

Таким образом, не смотря на дискуссии в среде травматологов-ортопедов относительно сроков и методов консервативного или оперативного лечения деформаций стопы, существует единое мнение, что предупредить плоскостопие намного легче, нежели его лечить [5,9,10,11]. Профилактика плоскостопия должна начинаться с момента стояния и первых шагов ребенка в ком-

фортной просторной обуви на низком каблуке и жесткой задней частью.

## ВЫВОДЫ

1) выявлены гендерные особенности заболеваемости плоскостопием: в исследуемых группах детей 3-х и 6–8 лет у мальчиков деформация стоп встречается в 2 раза чаще, чем у девочек;

2) данное исследование показало эффективность своевременной ортопедической консервативной коррекции для правильного формирования сводов стопы, что позволяет дать научное обоснование необходимости проведения диспансерного осмотра детей ортопедом в возрасте 3-х лет перед поступлением в ДДУ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. О Порядке прохождения несовершеннолетними медицинских осмотров, в том числе при поступлении в образовательные учреждения и в период обучения в них: Приказ Минздрава России от 21.12.2012 N1346н <https://www.rosminzdrav.ru/documents/5450-prikaz-minzdrava-rossii-ot-21-dekabrya-2012-g-n-1346n>
2. Баранов А.А., Намазова-Баранова Л.С., Ильин А. Г. Медико-организационные проблемы педиатрии. Справочник педиатра. 2010.5.21–31.
3. Баранов А.А., Ильин А. Г. Основные тенденции состояния здоровья детей в Российской Федерации. Пути решения проблем. Вестник Российской академии медицинских наук. 2011.2.8–11
4. Большаков О.П., Котов И.Р., Полякова Е. Л. Форма стопы детей 2–5 лет по данным плантометрии и голографической интерферометрии// Морфология. 2014. 146(4). С. 64–69.
5. Большаков О. П., Котов И. Р., Полякова Е.Л. Возможности голографической интерферометрии в ранней диагностике плоскостопия у детей/ Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. Том III. Выпуск 1. 2015. С. 50–56.
6. Корж Н.А. Структурно-функциональные особенности стопы как органа опоры и передвижения/Н.А. Корж, Д. А. Яременко//Ортопедия, травматология и протезирование. —2003.-№ 3-С.36–41.
7. Кенис В. М., Лапкин Ю. А., Хусаинов Р. Х, Сапоговский А. В. Мобильное плоскостопие у детей (обзор литературы)/ В. М. Кенис, Ю. А. Лапкин, Р.Х. Хусаинов, А. В. Сапоговский //Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. 2014. Том 2. Вып. № 2. С. 44–54.
8. Комачева О. А. Коррекция плоскостопия у детей 5–7 лет средствами адаптивной физической культуры с применением игрового метода / О. А. Комачева: Автореф. Смоленск, 2012. 24с.
9. Лашковский В. В., Мармыш А. Г. Детская и поростковая подиатрия — современные подходы к диагностике и лечению заболеваний стоп/ В. В. Лашковский, А. Г. Мармыш // Новости хирургии. Том 19. № 2. 2011. С. 94–100.
10. Логачева Г.С., Малиновская Е. В. Опыт реабилитации детей с нарушениями опорно-двигательного аппарата в условиях детского дошкольного учреждения/ Г. С. Логачева, Е. В. Малиновская //Медицина и образование в Сибири. 2014. № 5. С. 26.
11. Мармыш А.Г., Горбузов В. Н., Болтрукевич С. И., Аносов В. С. Возможности педобарографии в диагностике и ортопедической коррекции продольного плоскостопия/ А. Г. Мармыш, В. Н. Горбузов, С. И. Болтрукевич, В. С. Аносов//Журнал Гродненского государственного медицинского университета. 2010. № 2. С. 59–64.
12. Мицкевич В. А. Подиатрия/ В. А. Мицкевич, А. Д. Арсеньев. -М.: Бином, 2006.136с.
13. Мицкевич В. А. Ортопедия первых шагов. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. 2013. 359 с.
14. Carr JB2nd, Yang S, Lather LA. Pediatric Pes Planus: A State-of-the-Art Review. Pediatrics. 2016 Mar;137(3):1–10. doi: 10.1542/peds.2015–1230. Epub 2016 Feb 17.
15. Gonul Y, Yucele O, Eroglu M, Senturk I, Eroglu S, Dikici O, Cartilli O, Ulasli M. Ultrasonographic evaluation of Achilles tendon in children with flatfoot: A case-control morphometric study. Diagn Interv Imaging. 2016 Mar 16. pii: S2211–5684(16)00074–7. doi: 10.1016/j.diii.2016.02.005. [Epub ahead of print]
16. Foot Health Facts. The official consumer website of American College of Foot and Ankle Surgeons™. <http://www.foothhealthfacts.org/footankleinfo/pediatric-flatfoot.htm> (accessed 03/04/2016).
17. Hosl M, Bohm H, Multerer C, Doderlein L. Does excessive flatfoot deformity affect function? A comparison between symptomatic and asymptomatic flatfeet using the Oxford Foot Model.Gait Posture. 2014;39:23–28. doi: 10.1016/j.gaitpost.2013.05.017.[PubMed] [Cross Ref]
18. Kelikian S. Anatomy of the foot and ankle, descriptive, topographic, functional. 2011. Reprinted copy. Lippincott Williams and Wilkins. 759 p.

# ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЖИЗНИ ДЕТЕЙ С ОРТОПЕДИЧЕСКОЙ ПАТОЛОГИЕЙ НА ФОНЕ ДИСПЛАЗИИ СОЕДИНИТЕЛЬНОЙ ТКАНИ

## QUALITY OF LIFE OF CHILDREN WITH ORTHOPEDIC PATHOLOGY ON THE BACKGROUND OF CONNECTIVE TISSUE DYSPLASIA

**L. Grigorieva  
S. Kharchenko  
A. Larina  
V. Kozhevnikov**

*Summary.* Quality of life is an integrated characteristic of the physical, psychological, emotional and social functioning of a child patient, based on his subjective perception. Patients with connective tissue dysplasia (CTD) fall into a group of high psychological risk due to vegetovascular dysfunctions, asthenic syndrome, cosmetics syndrome, and psychiatric disorders. The purpose of this work is a comprehensive analysis of a psychological quality of life of children with orthopedic pathology associated with connective tissue dysplasia. The results were evaluated with 58 children on the basis of PedsQL Generic Core Scale questionnaire indicators and psychometric scales of anxiety, self-esteem, and needs frustration. With the reduction of the overall quality of life indicators, the changes are observed in their psychological structure which can lead to the development of adaptation disorders. This fact should be taken into account when planning and carrying out treatment and rehabilitation.

*Keywords:* children, connective tissue dysplasia, psychological features, quality of life, PedsQL Generic Core Scale.

**Григоричева Людмила Григорьевна,**

*К.м.н., главный врач ФГБУ «Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования» Минздрава России (г. Барнаул).  
297501@mail.ru*

**Харченко Светлана Сергеевна**

*Врач-педиатр ФГБУ «Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования» Минздрава России (г. Барнаул).*

**Ларина Алёна Владимировна,**

*Медицинский психолог ФГБУ «Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования» Минздрава России (г. Барнаул).*

**Кожевников Вадим Витальевич,**

*К.м.н., заведующий детским травматолого-ортопедическим отделением ФГБУ «Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования» Минздрава России (г. Барнаул)*

*Аннотация.* качество жизни — интегральная характеристика физическо-го, психологического, эмоционального и социального функционирования больного ребенка, основанная на его субъективном восприятии. Пациенты с дисплазией соединительной ткани (ДСТ) относятся к группе повышенного психологического риска из-за вегетососудистых дисфункций, астенического синдрома, косметического синдрома и нарушений психической сферы. Целью настоящей работы является комплексная оценка психологической структуры качества жизни детей с ортопедической патологией на фоне дисплазии соединительной ткани. Результаты оценены у 58 детей на основе показателей опросника PedsQL Generic Core Scale и психометрических шкал тревожности, самооценки, фрустрации потребностей. На фоне снижения общих показателей качества жизни наблюдаются характерные изменения их психологической структуры, что может приводить к развитию нарушений адаптации. Данный факт необходимо учитывать при планировании и проведении лечебно-реабилитационных мероприятий.

*Ключевые слова:* дети, дисплазия соединительной ткани, психологические особенности, качество жизни, PedsQL Generic Core Scale.

## Введение

**А**нализ официальных статистических данных по Алтайскому краю показал, что за период с 2007 по 2014 годы на фоне снижения уровня первичной (с 36,9 до 32,0 на тысячу детского населения) и общей заболеваемости болезнями костно-мышечной системы и соединительной ткани у детей (с 71,5 до 60,2 на тысячу детского населения), процент детей, получивших инвалидность с ортопедической патологией, остается высоким (до 9,2% от общего числа детей-инвалидов данной возрастной группы) [1, 2].

В настоящее время в этиологии большинства ортопедических заболеваний значимым фактором считают дисплазию соединительной ткани [3]. Дисплазия соединительной ткани (ДСТ) — это гетерогенная группа заболеваний многофакторной природы, обусловленная вовлечением в патогенез общих ферментных систем и различных структурных белков внеклеточного матрикса соединительной ткани [4]. Кроме того, как общий синдром, ДСТ объединяет патологические изменения всех органов и систем и, в ряде случаев, требует проведения оперативного вмешательства. Оперативное лечение ортопедической патологии является для

детей неоспоримым стрессом. Это увеличивает вероятность возникновения эмоционально-поведенческих расстройств на фоне повышенного психологического риска из-за вегетосудистых дисфункций, астенического синдрома, косметического синдрома и нарушений психической сферы. Л. С. Выготский подчеркивал, что болезнь, вызывая нарушения биологической линии развития, создает препятствие для нормального социально-психологического развития личности ребенка [5]. При этом уровень социально-психологической адаптированности детей с ДСТ может быть различным, как и у здоровых людей — высоким, средним или низким [6]. Для оценки здоровья детей, в том числе уровня социально-психологической адаптированности, в последнее десятилетие в исследованиях используется критерий качества жизни [7].

Качество жизни (КЖ) — интегральная характеристика физического, психологического, эмоционального и социального функционирования больного ребенка, основанная на его субъективном восприятии [8]. Традиционные медицинские методы оценки лечения не позволяют в полной мере оценить степень тяжести заболевания и эффективность терапии, так как не затрагивают мнения самого больного о своем самочувствии. Определив качество жизни, можно индивидуализировать подход к пациенту за счет выявления наиболее значимых для него компонентов нормальной жизнедеятельности. Однако проблема психологической структуры качества жизни относится к числу наименее изученных, по сравнению с другими ее составляющими аспектами [9]. От психологического состояния зависит не только клиническое течение основного заболевания, но и то, насколько эффективным будет проводимое лечение и реабилитация. Иногда именно психологические факторы могут являться причиной замедленного выздоровления ребёнка. ДСТ следует рассматривать не как стрессогенное событие, а как постоянно присутствующий стрессогенный фон, влияющий не только на формирование актуального психического состояния, но и на становление особенностей личности.

### Цель исследования

Комплексная оценка психологической составляющей качества жизни детей с ортопедической патологией на фоне дисплазии соединительной ткани.

### Материалы и методы

В исследовании приняли участие 58 детей с фенотипическими проявлениями дисплазии соединительной ткани, имеющие сохранённые возможности интеллектуального развития. Для выявления соединительнотканых изменений использовались «пошаговые» алгорит-

мы диагностики ДСТ (проект Российских рекомендаций, 2014г) [4].

Средний возраст пациентов составил  $12,2 \pm 3,3$  лет, из них мальчиков — 23 (39,6%), девочек — 35 (60,4%). Все дети поступали в ДТОО ФГБУ «ФЦТОЭ» г. Барнаула для проведения планового оперативного лечения. Обработка результатов опросников показала, что дети с признаками ДСТ наиболее часто госпитализировались для проведения оперативного лечения по поводу ортопедической патологии следующей локализации: врожденные аномалии развития конечностей (25,9%), деформации позвоночника (25,9%), патологии тазобедренного сустава (24,1%), приобретенные деформации стоп (24,1%).

Оценка качества жизни проводилась при помощи детских и родительских версий общего опросника Pediatric Quality of Life Inventory (PedsQL) 4.0 Generic Core Scale для детей 5–7 лет, 8–12 и 13–18 лет. PedsQL Generic Core Scale является адаптированным общим опросником [10, 11] и состоит из 23 вопросов, которые объединены в следующие шкалы:

- ◆ физическое функционирование — 8 вопросов (оценивается подвижность, ходьба, бег, болевой синдром);
- ◆ эмоциональное функционирование — 5 вопросов (оценивается сон, беспокойство, настроение, чувство страха, грусти);
- ◆ социальное функционирование — 5 вопросов (оценивается взаимодействие с другими детьми);
- ◆ ролевое функционирование — 5 вопросов (оценивается жизнь в детском саду/школе, частота пропусков занятий).

Для оценки ответов использовалась 5-балльная шкала Ликерта. Общее количество баллов рассчитывалось по 100-балльной шкале: чем выше итоговая величина, тем лучше КЖ ребенка. Для сравнения отчетных результатов использовались общероссийские нормативы [12].

Для оценки психологических особенностей были использованы методы:

1) Шкала явной тревожности для детей (The Children's Form of Manifest Anxiety Scale — CMAS) в адаптации А. М. Прихожан. Специфика детского варианта в том, что о наличии симптома свидетельствуют только утвердительные варианты ответов. Кроме того, детский вариант дополнен 11 пунктами контрольной шкалы, выявляющей тенденцию испытуемого давать социально одобряемые ответы. Показатели этой тенденции выявляются с помощью как позитивных, так и негативных ответов.

2) Шкала оценки уровня тревожности Ч. Д. Спилберга — Ю. Л. Ханина — построена как шкала самооценки

**Показатели качества жизни детей в нозологических группах (%)**

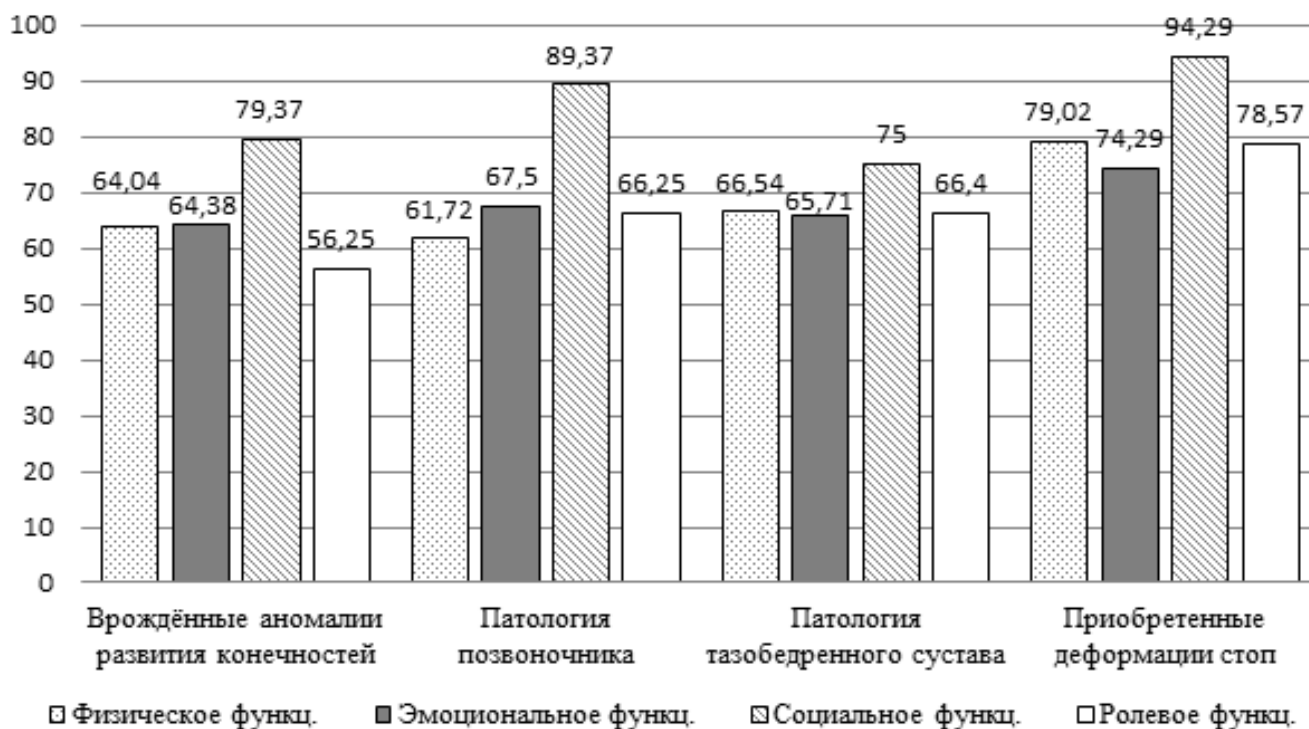


Рис. 1. Показатели качества жизни детей в нозологических группах с ортопедической патологией на фоне ДСТ по результатам PedsQL Generic Core Scale

уровня тревожности и состоит из двух частей. Позволяет дифференцировано измерять тревожность и как личностное свойство, и как состояние. Оценивается реактивная тревожность (1–20 вопрос) и личностная тревожность как устойчивая характеристика человека (21–40 вопрос).

3) Исследование самооценки по методу Дембо-Рубинштейн в модификации А. М. Прихожан основана на оценивании непосредственно детьми ряда личных качеств, таких как здоровье, способности, характер, авторитет у сверстников, умение многое делать своими руками, внешность, уверенность в себе. Методика позволяет определить не только высоту самооценки, но и уровень притязаний по представленным шкалам.

4) Тест фрустрации потребностей Розенцвейга — методика предназначена для исследования реакций на неудачу и способов выхода из ситуаций, препятствующих деятельности или удовлетворению потребностей личности. Материал теста состоит из серии 24 рисунков, представляющих каждого из персонажей во фрустрационной ситуации. Ситуации, представленные в тексте, можно разделить на две основные группы: ситуации «препятствия» — в этих случаях какое-либо препятствие,

персонаж или предмет, обескураживают, сбивает с толку словом или еще каким-либо способом; ситуация «обвинения» — субъект служит объектом обвинения. Ответы оцениваются по критериям направленности реакции личности и типа реакции.

Достоверность оценивалась по t-критерию Стьюдента для независимых выборок. Различия считались статистически значимыми при уровне  $p \leq 0,05$ .

**Результаты и обсуждения**

Во всех нозологических формах выявлен высокий уровень висцеральных и внешних признаков ДСТ. Наиболее часто встречается сопутствующая патология сердечно-сосудистой, нервной и мочеполовой систем [13]. Внешние признаки, такие как деформация грудной клетки, гипермобильность суставов, эктодермальные изменения носят косметический характер и, несомненно, влияют на эмоционально-психологическое состояние детей. Дети с ортопедической патологией на фоне ДСТ чаще склонны демонстрировать социально одобряемое поведение и избегать конфликтных ситуаций, чтобы не привлекать к себе лишнего внимания и не стать объектом возможных насмешек из-за физического недостатка [14].

Таблица 1. Показатели качества жизни детей с ортопедической патологией на фоне ДСТ в возрастных группах

Параметры качества жизни	Здоровые дети 5–7 лет	Дети 5–7 лет с ДСТ	Здоровые дети 8–12 лет	Дети 8–12 лет с ДСТ	Здоровые дети 13–17 лет	Дети 13–17 лет с ДСТ
Физическое функционирование (ФФ)	78,1 ± 13,6	61,46 ± 20,7*	82,8 ± 12,7	64,3 ± 18,5*	84,0 ± 14,5	66,9 ± 17*
Эмоциональное функционирование (ЭФ)	80,7 ± 15,0	65 ± 25,9**	71,9 ± 16,8	69,5 ± 13,6	71,2 ± 17,6	69,1 ± 19
Социальное функционирование (СФ)	84,6 ± 11,2	76,7 ± 17,5**	83,0 ± 15,1	77,5 ± 29,18	88,7 ± 11,9	87,7 ± 15,6
Ролевое функционирование (РФ)	77,0 ± 11,7	68,3 ± 17,2**	72,2 ± 15,0	66 ± 22,33	70,9 ± 16,0	66,8 ± 13,5
Психосоциальное здоровье (ПСЗ)	80,8 ± 12,6	70 ± 6,1**	75,7 ± 15,6	71 ± 5,9	76,9 ± 15,2	74,5 ± 11,5
Общий балл (ОБ)	79,8 ± 9,4	67,9 ± 6,5*	76,7 ± 13,8	69,3 ± 5,8**	78,0 ± 12,7	72,6 ± 10,1**

\* — достоверные различия в ответах детей с ДСТ и здоровыми детьми,  $p < 0,001$   
 \*\* — достоверные различия в ответах детей с ДСТ и здоровыми детьми,  $p < 0,05$

При оценке физического функционирования статистически достоверно низкий показатель наблюдается в группе детей с патологией позвоночника ( $p < 0,05$ ) (рис. 1). Это свидетельствует о том, что удовлетворенность ребенка своим физическим функционированием в значительной степени связана с субъективным отношением к собственным физическим возможностям [15]. В данной группе у 69,2% детей отмечается взаимосвязь низких показателей по шкалам самооценки и высоких требований к себе при невозможности им соответствовать в силу заболевания. Это влияет на чувство неудовлетворенности собой и, вероятно, повышает уровень тревожности (61,5% детей), что в дальнейшем может привести к нарушению адаптации и возникновению психологических проблем. В ответах теста фрустрации потребности доминируют реакции, фиксированные на самозащите, внешнеобвиняющие. Часто такая стратегия поведения рассматривается как неадаптивная, но она помогает справиться с внутренней тревожностью и обеспечивает способность личности определенным образом сопротивляться трудностям, дистанцироваться, создать иллюзию контроля над ситуацией и, тем самым, уменьшить эмоциональное напряжение [16].

Показатель социального функционирования определяется достоверно ниже у пациентов в группе с патологией тазобедренного сустава ( $p < 0,05$ ) (рис. 1). При физических ограничениях самостоятельного передвижения (ходьбе), у детей с данной патологией формируется уз-

кий социальный круг общения, состоящий в основном из членов семьи. Это влияет на формирование социальных навыков у ребенка. Особенность данной категории детей — повышенный уровень личной и ситуативной тревожности (76,5%). Показатель самооценки по шкале «способности» у пациентов определяется ниже среднего. При исследовании психологических особенностей выявлено, что у детей с низкой самооценкой в тесте Розенцвейга чаще прослеживается фрустрация своих потребностей, конформизм, желание соответствовать требованиям окружающих. Отмечается стереотипность эмоционального реагирования, его направленность на самого себя, как на виновника происходящего. Из-за неустойчивости самооценки такие дети очень ранимы, у них угнетена способность к отстаиванию собственной позиции, снижена субъективная оценка собственных возможностей [6]. Испытывая потребность в общении, но боясь стигматизации и отвержения социумом, ребенок идет на уступки другим, пренебрегая своими потребностями.

При статистическом анализе ролевого функционирования достоверно низкий показатель наблюдается у детей с врожденными аномалиями развития конечностей ( $p < 0,05$ ) (рис. 1). Учитывая врожденный характер патологии и, зачастую, необходимость в повторном оперативном вмешательстве, данные дети, не имеющие, в общем, ограничений к посещению школы, вынуждены пропускать занятия, что, в последующем, может приводить

к трудностям выполнения школьных заданий. В тесте Розенцвейга доминируют внешнеобвиняющие, связанные с повышенными требованиями к окружающим, реакции. Дети данной группы в ответах чаще уклоняются от выполнения своих обязанностей, склонны перекладывать их на окружающих. Выражены реакции, фиксированные на самозащите, а также реакции, фиксированные на препятствии. В данной группе у 53,8% обследуемых отмечается высокий уровень тревожности. По шкале самооценки чаще наблюдаются средние показатели и заниженный уровень притязаний.

В показателях эмоционального функционирования достоверных различий в нозологических группах не выявлено ( $p > 0,05$ ) (рис. 1).

Наиболее высокие показатели качества жизни в исследовании наблюдаются у группы детей с приобретёнными деформациями стоп. Что, в сравнении с пациентами из других групп, объясняется менее грубыми функциональными нарушениями.

При анализе показателей качества жизни в группах детей, сформированных по возрастному критерию, выявлено, что уровень качества жизни зависел от возраста. Дети 5–7 лет оценивают негативно свое качество жизни по всем физическим и психосоциальным характеристикам (табл. 1). У пациентов 8–12 лет показатели улучшаются, и достоверно отличаются от здоровой группы лишь по параметру физического функционирования, соответственно снижая общий балл. В группе детей 13–17 лет сохраняется тенденция к низким показателям, однако достоверные различия также наблюдаются только в показателях физического функционирования и общего балла.

При сравнении результатов шкал детской и родительской версий опросника PedsQL Generic Core Scale не выявлены статистически достоверные различия в оценке показателей функционирования ( $p > 0,05$ ). В целом, родители оценивают показатели качества жизни своих детей ниже, чем сами дети. Это можно рассмотреть с двух сторон: с одной стороны, дети в силу возраста не могут комплексно в полной мере оценить свое состояние; с другой стороны, для родителей свойственно чрезмерно опекать своих детей. Родители так же могут иметь неадекватные представления о тяжести заболевания ребенка и преувеличивать симптомы. На мнение родителей может влиять

и то, что они сравнивают своего ребёнка с особенностями развития и здорового ребенка по неадекватным критериям, т.е. имеют завышенные требования, которым ребенок не в состоянии соответствовать.

## ВЫВОДЫ

Результаты исследования оценки качества жизни у детей с ортопедической патологией на фоне ДСТ демонстрируют снижение всех параметров качества жизни. Однако степень выраженности физических и психосоциальных нарушений зависит от функциональных возможностей ребёнка, а не от конкретной локализации патологии.

В дошкольном возрасте, по мнению детей, страдают все виды функционирования. Возможно, это связано с социализацией детей и осознанием проблем взаимоотношений. В школьном возрасте у детей с ортопедической патологией на фоне ДСТ снижено только физическое функционирование, с сохранением психосоциальных параметров. Этот факт объясняется адаптацией пациентов к своим особенностям.

В целом для детей с ортопедической патологией на фоне ДСТ наиболее выраженными психологическими характеристиками являются повышенный уровень тревожности, заниженная самооценка и субъективная оценка собственных возможностей, эмоциональная лабильность, сниженное настроение и конформное поведение. Кроме того, у детей наблюдаются низкий социометрический статус в группе сверстников в сравнении со здоровыми детьми. Наиболее часто встречаются два типа реакций на фрустрацию потребностей: внешнеобвиняющие и конформные.

Проведенное исследование показывает, что для формирования интегральной оценки состояния пациента необходимо учитывать не только физические показатели, но и мнение ребенка о своем состоянии и его психологические особенности. Мультидисциплинарный подход при планировании и проведении лечебно-реабилитационных мероприятий у данных пациентов с привлечением команды специалистов (травматолог-ортопед, педиатр, психолог, врач ЛФК) позволит предупредить возникновение дезадаптационных срывов в условиях ортопедического стационара.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Григоричева Л.Г., Кожевников В.В., Грядунова Л.В. Оказание высокотехнологичных видов медицинской помощи детям со сложной ортопедической патологией в условиях Федерального центра травматологии, ортопедии и эндопротезирования. / Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Врожденная и приобретенная патология нижних конечностей у детей (диагностика, лечение, реабилитация)»; Май 29–30, 2015; Барнаул. С. 5–7.



2. Соловьева К.С., Битюков К. А. Медицинская реабилитация детей-инвалидов с врожденной ортопедической патологией в амбулаторных условиях. // Стационарзамещающие технологии: Амбулаторная хирургия. — 2006. — № 4 — С. 39–42.
3. Adib H, Davies K, Grahame E, et al. Joint hypermobility syndrome in childhood. A not so benign multisystem disorder. *Rheumatology (Oxford)*. 2005; 44 (6): 703–704.
4. Наследственные и многофакторные нарушения соединительной ткани у детей. Алгоритмы диагностики, тактика ведения. // Педиатрия. Журнал имени Г. Н. Сперанского. — 2014. — № 5 (приложение 2) — С. 1–40.
5. Выготский, Л. С. Собрание сочинений / Л. С. Выготский. — в 6 т. — М.: Педагогика, 1983.
6. Харченко С.С., Ларина А. В. Социально-психологические особенности качества жизни детей с ортопедической патологией на фоне дисплазии соединительной ткани. // Российский вестник перинатологии и педиатрии. — 2015. — Т. 60. — № 4 — С. 140.
7. Fayers P.M., Machin D. *Quality of life: assessment, analysis, and interpretation*. New York: Wiley. 2000.
8. Новик А.А., Ионова Т. И. Руководство по исследованию качества жизни в медицине / Под ред. Шевченко Ю.Л.. — М.: ЗАО «ОЛМА Медиа Групп»; 2007.
9. Папура А. А. Категория «качество жизни» в психологических исследованиях [Электронный ресурс] // Прикладная психология и психоанализ: электрон. науч. журн. — 2014. — № 3. URL: <http://ppip.idnk.ru> (дата обращения: 28.02.2016)
10. Varni, J. W., Beaujean, A., & Limbers, C. A. Factorial invariance of pediatric patient self-reported fatigue across age and gender: A multigroup confirmatory factor analysis approach utilizing the PedsQL™ Multidimensional Fatigue Scale. *Quality of Life Research*, 2013; 22: 2581–2594.
11. Денисова Р.В., Алексеева Е. И., Альбицкий В. Ю., и др. Надежность, валидность и чувствительность русских версий опросников PedsQLGenericCoreScale и PedsQLRheumatologyModule // Вопросы современной педиатрии. — 2009. — Т. 8. — № 1 — С. 30–40.
12. Винарская И. В. Качество жизни детей как критерий оценки состояния здоровья и эффективности медицинских технологий: Автореф. дис. докт. мед. наук. М., 2008. — 44 с.
13. Харченко С.С., Ларина А. В., Григоричева Л. Г. Структура и частота встречаемости признаков недифференцированной дисплазии соединительной ткани у пациентов детского ортопедо-травматологического отделения. / Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции «Превентивная медицина 2015. Инновационные методы диагностики, лечения и реабилитации пациентов с заболеваниями опорно-двигательного аппарата»; Октябрь 29, 2015; Москва. С. 109–111.
14. Попков А.В., Фогель Н. Н. Особенности психологического статуса детей с ортопедической патологией // Вестник ЮУрГУ № 3, Серия «Образование, здравоохранение, физическая культура». — 2006. — Т. 2. — № 7 — С. 247–250.
15. Пятакова Г.В., Виссарионов С. В. Исследование качества жизни подростков с тяжелыми деформациями позвоночника. // Хирургия позвоночника. — 2009. — № 4 — С. 38–43.
16. Федотова С. А. Социально-психологические факторы, обеспечивающие подросткам с дисплазией соединительной ткани высокий уровень адаптированности // Медицинская психология в России: электрон. науч. журн. — 2015. — N2(31). — С. 10.

© Григоричева Людмила Григорьевна ( 297501@mail.ru ). Харченко Светлана Сергеевна, Ларина Алёна Владимировна, Кожевников Вадим Витальевич.  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



## МЕТОДЫ ПОДГОТОВКИ ПАЦИЕНТОК, СТРАДАЮЩИХ ХРОНИЧЕСКИМ ЭНДОМЕТРИТОМ К ПРОГРАММАМ ВРТ

### METHODS OF PREPARATION PATIENTS SUFFERING FROM CHRONIC ENDOMETRITIS PROGRAMS ART

**V. Gurjeva  
E. Kurguskina**

*Summary.* The article presents the clinical data the effectiveness of therapy 23 patients with chronic endometritis in preparation for the IVF program with activated laser irradiation of natural photosensitizer — radohlorofilla (first group) and a combination of a photosensitizer with a low dosage of systemic ozone therapy (the second group). The efficacy of therapy in the comparison groups was evaluated by Raman spectroscopy, luminescence (RL) representing the rapid analysis of organic substances (molecules) in the epithelium of the endometrium by criteria: Intensity of microcirculation, aerobic and anaerobic metabolism, structural and functional state of the endometrium and with conventional ultrasonic criteria (M-echo) Doppler study of uterine artery (basal, spiral, radial) and ovarian. According to a study set a more pronounced effect in the second group received -with activated form radohlorofilla laser irradiation combined with ozone therapy. Efficacy in this group due to the proven impact of low dosed ozone due to the optimization of the microcirculation, metabolic processes, immunomodulation in endometrial tissues and activated antimicrobial effect of chlorophyll.

*Key words:* infertility, chronic endometritis, endometrial morphostructure, IVF failures, ozone therapy, radohlorofill, laser irradiation, fluorescent Raman spectroscopy.

**Гурьева Валентина Андреевна**

*Д.м.н., профессор, Алтайский государственный  
медицинский университет  
vgurjeva@yandex.ru*

**Кургускина Екатерина Александровна**

*Аспирант, Алтайский государственный медицинский  
университет  
kat-kurguskina@yandex.ru*

*Аннотация.* В статье представлены клинические данные эффективности терапии 23 пациенток с хроническим эндометритом при подготовке к программам ЭКО с помощью активированного лазерным облучением природного фотосенсибилизатора — радохлорофилла (первая группа) и сочетания фотосенсибилизатора с системной низко дозированной озонотерапией (вторая группа). Эффективность терапии в группах сравнения оценивалась с помощью люминесцентной рамановской спектроскопией (ЛРС), представляющей экспресс-анализ органических веществ (молекул) в эпителии эндометрия по критериям: интенсивность микроциркуляции, аэробного и анаэробного метаболизма, структурно- функционального состояния эндометрия, а также с помощью традиционных ультразвуковых критериев (М-эхо), доплерометрии маточных артериях (базальных, спиральных, радиальных) и яичниковых. По данным исследования установлен более выраженный эффект во второй группе — при приеме активированной формы радохлорофилла лазерным облучением в сочетании с озонотерапией. Эффективность в этой группе обусловлена доказанным воздействием низко дозированного озона вследствие оптимизации микроциркуляции, метаболических процессов, иммуномодуляции в тканях эндометрия и антимикробным эффектом активированного хлорофилла.

*Ключевые слова:* бесплодие, хронический эндометрит, морфоструктура эндометрия, неудачи ЭКО, озонотерапия, радохлорофилл, лазерное облучение, люминесцентная рамановская спектроскопия.

**В**о всем мире увеличивается количество бесплодных супружеских пар, нуждающихся в применении вспомогательных репродуктивных технологий (ВРТ). Около 30% бесплодных супружеских пар, проходящих лечение, сталкиваются с повторными неудачами ЭКО [5, 9]. Одной из частых причин неудач в программе экстракорпорального оплодотворения и переноса эмбриона (ЭКО и ПЭ) является хронический эндометрит (ХЭ), обуславливающий нарушение процессов nidации и имплантации blastocysts, который в 70% случаев сочетается с трубно — перитонеальным бесплодием [13, 18]. В условиях длительного течения воспалительного процесса происходят значительные изменения морфоструктуры эндометрия, т.к персистенция микробного агента в ткани является препятствием для завершения заключительной фазы воспаления. [7,19]. В связи с чем являются актуальными поиски методов реабилитации хронического эндометрита, которые будут решать про-

блемы элиминации возбудителей и восстановления морфоструктуры эндометрия. В последние годы всё большее значение и распространение приобретают физиотерапевтические методы лечения. Возможность дифференцированного и целенаправленного действия на различные звенья патогенеза заболевания, дозирование физио воздействия по всем параметрам, повышение адаптационных возможностей при минимальном риске развития побочных реакций делает их применение весьма привлекательным для врачей. В настоящее время, при терапии хронического эндометрита завоевал признание метод системной низко дозированной озонотерапии [1,3,20]. Данное признание обусловлено прежде всего, учитывая многофакторное воздействие озона, способствующее восстановлению морфоструктуры эндометрия [4,8]. Так же, среди современных методов лечения воспалительных процессов весьма востребованной является фотодинамическая терапия (ФДТ), получены

доказательства в эксперименте [2,9], эффективности при лечении хронического эндометрита с помощью активации «Радохлорофилла-С» лазерным облучением, что приводило к увеличению зоны подавления роста микроорганизмов, соизмеримое с использованием антибиотика (цефепима 30мг/мл) и, что не наблюдалось при применении неактивированного препарата в различных концентрациях. В настоящее время разработана комплексная медицинская технология (диагностическая и терапевтическая) лазерной раман-спектральной диагностики и лазерного лечения на основе физико-химической фотоактивации («Радохлорофилла-С»). Ценность данной технологии состоит в возможности одновременно получать лечение и проводить контроль терапии путем оценки метаболических и морфометрических изменений эндометрия, происходящих на фоне терапии, информативность которых сравнима с данными гистологических исследований в 80% случаев [10,14]. **Цель исследования** — оценить эффективность прегравидарной подготовки с помощью сочетания озона и «Радохлорофилла-С» активированного лазерным облучением у женщин с хроническим эндометритом в программах ЭКО

## Материалы и методы

Исследования проведено у 23 пациенток, обратившихся с диагнозом — бесплодие за помощью в Барнаульский центр репродуктивной медицины сети ARTMedGroup (главный врач — к.м.н., Борисова О.Г.). Исследование одобрено Региональным этическим комитетом Алтайского медицинского университета, и все участники подписали информированное согласие. **Критерии включения пациенток в исследование:** возраст до 43 лет, трубно-перитонеальный фактор бесплодия в сочетании с хроническим эндометритом, неудачные попытки ЭКО и ПЭ в анамнезе, анатомически нормальная полость матки, отсутствие эндокринной патологии, наличие регулярного овуляторного менструального цикла, фертильность супруга. **Критерии исключения:** врожденные пороки развития или приобретенные деформации полости матки, при которых невозможна имплантация эмбрионов или вынашивание беременности; доброкачественные опухоли матки, требующие оперативного лечения, острые воспалительные заболевания любой локализации, инфертильность супруга, соматические заболевания, являющиеся противопоказаниями для вынашивания беременности и родов. В процессе обследования всем женщинам была выполнена минигистероскопия (МГС) на 5–7 день менструального цикла с целью уточнения состояния эндометрия и полости матки. Все пациентки были разделены на две группы в зависимости от проведенного лечения: 1-я группа в качестве прегравидарной подготовки женщин с хроническим эндометритом

и трубно-перитонеальным бесплодием получали курс системной низкодозированной озонотерапии. Один курс озонотерапии включал в себя 7 ежедневных внутривенных капельных инфузий 200 мл озонированного 0,9% раствора хлорида натрия. Насыщение физиологического раствора озонном проводилось с помощью аппарата Медозонс-ВМ АОТ-Н-01-АРЗ-01». Внутривенное капельное введение 200 мл озонированного физиологического раствора (ОФР) проводили непосредственно после окончания 15-минутного барбатирования стерильного флакона с физиологическим раствором озон-кислородной смесью при скорости газопотока 1 л/мин. Калибровка аппарата осуществляется таким образом, чтобы концентрация озона в физиологическом растворе составляла 400 мкг/л. При этом разовая доза озона, введенная в сосудистое русло в течении одной инфузии составляла 160 мкг, курсовая — 800 мкг. Озонированный раствор вводили в локтевую вену в стандартных условиях процедурного кабинета со скоростью 8–10 мл/мин, при этом длительность процедуры составляла 25 минут

У женщин 2-й — группы прегравидарную подготовку проводили путем озонотерапии в сочетании с приемом природного фотосенсибилизатора «Радохлорофилла-С» (Фотостима). После его накопления в эндометрии по истечении 2–3 недель, проводили его активацию 3 дня путем лазерного облучения эндометрия. Курс терапии «Фотостимом» рассчитан на 2 менструальных цикла (6–8 недель непрерывного приема), начинали его в конце цикла на 25–30 день, начальная доза составляла 4 капли, дозу увеличивали ежедневно по 2 капли — до 18 капель в сутки. В качестве терапии у женщин 2-й группы и диагностики у пациенток обеих групп использовали программно-аппаратный комплекс, состоящий из лазерного терапевтического излучателя с длиной волны 0,63 мкм и выходной мощностью 5–15 мВт, спектрометра «ИнСпектр М» для регистрации и индикации ЛКД-характеристик тканей (флуоресцентная или раман- флуоресцентная составляющая). В качестве критерия диагностики и установления момента готовности эндометрия к выполнению программы ПЭ использована люминесцентная рамановская спектроскопия (ЛРС). ЛРС- неинвазивный метод экспресс-анализа органических веществ (молекул) в клетках эпителия эндометрия, при этом метод прост для использования - время выполнения диагностики менее 1 мин, и время расшифровки не более 1 мин. Метод позволяет оценить структурные, функциональные и метаболические нарушения. С помощью ЛРС определялись: клеточная пролиферативная активность, интенсивность микроциркуляции, интенсивность аэробного и анаэробного метаболизма (оксигенация) эндометрия, мониторинг клеточных и тканевых изменений, а именно- эффективность лечения по мор-

фологическим характеристикам эндометрия, восстановлению структурно функционального состояния эндометрия (структурированность) на фоне озонотерапии и сочетанной терапии озона и «Фотостима» с лазерным облучением эндометрия. Контроль терапии проводился в динамике, дважды – до начала лечения и после полного курса терапии в обеих группах сравнения. Оценку спектральной характеристики эндометрия проводили в 3-х разных точках (дно, середина полости матки, область внутреннего зева матки). В качестве эталона брали реперную точку (область сравнения и нормировки исследуемых показателей — на внутренней поверхности бедра). Контроль эффективности терапии в группах сравнения также проводился по двум параметрам УЗИ: М-эхо и доплерометрии с оценкой кровотока в маточных артериях (базальных, спиральных, радиальных) и яичниковых артериях. При ультразвуковом исследовании использовали вагинальный датчик, (сканеры фирмы Simiens). Статистическая обработка полученных данных осуществлялась с использованием программ Microsoft Office Excel 2003, Statistica 6.1. Результаты исследования оценивались методом вариационной статистики с применением критерия Фишера. Статистически значимыми принимались различия при  $p < 0,05$ .

### Результаты исследования и обсуждение

Средний возраст пациенток составил  $36,6 \pm 5$  лет в первой группе и  $36,9 \pm 4$  года во второй. Все пациентки имели в анамнезе неудачные попытки ЭКО и ПЭ (от 2 до 6). Длительность бесплодия в группах не различалась: в первой группе составляла  $7,4 \pm 3,5$  лет, во второй –  $7,1 \pm 4$  года ( $p < 0,830$ ). Средний возраст менархе в основной группе составил  $12,9 \pm 07$  лет, в группе сравнения —  $12,6 \pm 08$  лет ( $p < 0,431$ ). Менструальный цикл установился сразу у большинства женщин в обеих группах — в 91% случаев в основной группе и в 75% — в группе сравнения, что также не имело различий ( $p < 0,649$ ). Средняя продолжительность менструального цикла составила в основной группе —  $28,4 \pm 1,56$  дней, в группе сравнения —  $27,9 \pm 1,53$  ( $p < 0,640$ ) с колебаниями в пределах нормальных критериев продолжительности менструального цикла от 24 до 38 дней в обеих исследуемых группах. Длительность менструального кровотечения составила в основной группе —  $3,4 \pm 1$  в группе сравнения —  $3,3 \pm 1$  ( $p < 0,802$ ). Скудные менструации (менее 50 мл) отмечены в 27% случаях в первой группе и в 25% ( $p < 0,725$ ) во второй; умеренные менструации (в пределах 80 мл) наблюдались в группах сравнения с частотой — 64% в первой группе и у 75% ( $p < 0,890$ ) во второй; обильных менструаций (более 80мл) в группах не наблюдалось. У пациенток обеих групп установлен двухфазный менструальный цикл, который подтвержден тестами функциональной диагностики и гормональным скринингом, проводимым пред ЭКО

Акушерско-гинекологический анамнез был отягощен у женщин обеих групп: первичное бесплодие наблюдалось в 45% случаев у пациенток в первой группе и у 25% женщин — во второй ( $p < 0,326$ ), кроме того у 27% и 33% женщин, соответственно было привычное невынашивание беременности ( $p < 0,337$ ); (неразвивающиеся беременности или самопроизвольные выкидыши от 2 до 4-х). Вследствие такого анамнеза абсолютное большинство (88% и 83%) женщин в обеих группах имели, как правило, неоднократные выскабливания матки ( $p < 0,701$ ), что явилось одной из причин формирования морфо-функциональной несостоятельности эндометрия (МФНЭ) и утраты способности к имплантации. Полученные результаты подтверждают ведущую роль в развитии женского бесплодия такой патология, как воспаление и эндометриоз. Так из гинекологических заболеваний наиболее часто встречались хронические воспалительные заболевания придатков матки у пациенток первой и второй групп — у 82% и 75% женщин, соответственно ( $p < 0,912$ ), менее частой патологией явился аденомиоз — у 18% женщин первой группы и 33% -второй ( $p < 0,725$ ). Преимущественное большинство – 82% женщин первой группы и 92% -второй, включенных в исследование перенесли различные оперативные вмешательства ( $p < 0,506$ ); (сальпингоовариолизис– 64% и 25% женщин ( $p < 0,148$ ); двустороннюю тубэктомия — 45% и 75%, ( $p < 0,161$ ) пациенток, соответственно).

В процессе обследования всем женщинам была выполнена минигистероскопия (МГС) на 5–7 день менструального цикла с целью уточнения состояния эндометрия и полости матки. Гистологическая верификация диагноза была подтверждена у 55% женщин в первой группе и у 42% второй ( $p < 0,842$ ); У 27% пациенток в первой группе и у 50% во второй была выявлена гипоплазия эндометрия ( $p < 0,491$ );

При ультразвуковом исследовании у 82% женщин в первой группе и 83% во второй –до лечения имело место несоответствие толщины эндометрия фазе менструального цикла, в I фазу средняя толщина составила  $4,8 \pm 0,13$  мм, во II —  $5,6 \pm 0,11$  мм. ( $p < 0,165$ );

По данным доплерометрии изменение кровотока были выявлены у 63% и 78% женщин в группах сравнения до лечения, при этом наиболее частыми проявлениями были снижения уровня кровотока в маточных артериях.

С помощью ЛРС установлено, что у 13% женщин первой группы и у 11% -второй было отмечено несоответствие клинического проявления хронического эндометрита, данных минигистероскопии, УЗИ с доплерометрией и спектроскопии. Так, при отсутствии патологических признаков при минигистероскопии, яв-

Таблица 1. Эффективность терапии в группах сравнения по критериям люминесцентной рамановской спектроскопии

Критерии оценки	1 группа n=11		2 группа n=12		P(критерий достоверности)
	до лечения	после лечения	до лечения	после лечения	
Пролиферация (отн.ед)	1,3	1,4	1,3	1,45	0,173 <b>0,027**</b> 0,043***,
Оксигенация (отн. ед.)	1,05	1,2	1,1	1,3	0,010* 0,147 <b>0,023***</b>
Микроциркуляция (отн. ед.)	0,201	0,310	0,194	0,436	0,659 0,002** <b>0,001***</b>
Структурированность (%)	18	45	22	78	0,158 0,186 0,013***
Метаболизм (%)	17	31	19	53	0,041* 0,051 0,011***

\* — статистически значимые различия между основной и группой сравнения после лечения; уровень значимости, по сравнению с исходными данными:  $p < 0,05$ .  
 \*\* — статистически значимые различия по сравнению с результатами до и после лечения (1 группа); уровень значимости, по сравнению с исходными данными:  $p < 0,05$ ;  
 \*\*\* — статистически значимые различия по сравнению с результатами до и после лечения (2 группа); уровень значимости, по сравнению с исходными данными:  $p < 0,05$ ;

ных признаков патологии при УЗИ и доплерометрии, по данным спектроскопии были установлены существенные изменения пролиферации, оксигенации и метаболизма эндометрия. И напротив, при доплерометрии было отмечено снижение кровотоков в маточной артерии, а спектральный анализ констатировал удовлетворительные значения микроциркуляции и оксигенации. Вероятно, в этом случае имеет значение проявление эффективности коллатералей, которые обеспечивают дополнительную перфузию кислорода в ткани, тем самым оптимизируя микроциркуляцию и оксигенацию тканей и, что указывает на более высокую информативность ЛРС по сравнению с доплерометрией и результатами минигистероскопии.

С помощью спектроскопии (табл. 1) установлено, что до лечения у подавляющего большинства больных — 88% и 78% в группах соответственно, исходно были снижены показатели структурно-функционального состояния эндометрия различной степени. Показатели пролиферации в первой группе (нормированные показатели интенсивности флюоресценции) при первичном обследовании, в среднем, составили 1,3 отн.ед. После курса системной низкодозированной озонотерапии по данным спектральной диагностики наблюдалось улучшение пролиферации с достоверной значимостью до 1,4 (на 15%), также озонотерапия

оптимизировала процессы микроциркуляции с достоверной значимостью (0,201 до 0,310), метаболизма до 48% (с 2–3 до 4–5 отн.ед.), при этом наблюдалась положительная динамика оксигенации и структурированности эндометрия, однако без достоверных различий. У женщин второй группы на фоне сочетанного лечения: озонотерапии и приема «Фотостима» с лазерным облучением эндометрия была получена большая эффективность. Данные ЛРС показали, что в результате сочетанной терапии улучшались все контролируемые параметры с более выраженными различиями по сравнению с озонотерапией. Так процессы оксигенации повышались с 1,1 до 1,3–1,4 отн.ед, показатели микроциркуляции повышались в два раза (0,194–0,436), пролиферации на 38% (с 1,3 до 1,45 после) и метаболизма на 68% (2–3 отн.ед. до 5–6 отн.ед.и после) в эндометрии.

Проведенная сравнительная оценка результатов эффективности — сравнение критериев эффективности после проведенного лечения в двух группах показали статистически более значимые данные в группе, в которой проводилась озонотерапия в сочетании с приемом природного фотосенсибилизатора «Фотостима». Различия установлены по двум критериям: оксигенации и метаболизма, которые статистически значимы У женщин при сочетании двух методов (табл. 1).

Таблица 2. Ультразвуковые критерии состоятельности эндометрия до и после лечения у женщин групп сравнения

Критерии оценки	1 группа n=11		2 группа n=12		P(критерий достоверности)
	до лечения	после лечения	до лечения	после лечения	
Толщина эндометрия	4,8±0,2	5,2±0,3	5,4±0,2	7,2±0,8	0,165 0,011** <b>0,001***</b>
Допплерометрия (ИР на 11 день цикла)	0.73 ±0,2	0.81 ±0,2	0.74 ±0,2	0.88 ±0,2	0,635 0,720 0,040***

\* — статистически значимые различия между основной и группой сравнения после лечения; уровень значимости, по сравнению с исходными данными:  $p < 0,05$ .  
 \*\* — статистически значимые различия по сравнению с результатами до и после лечения (1 группа); уровень значимости, по сравнению с исходными данными:  $p < 0,05$ ;  
 \*\*\* — статистически значимые различия по сравнению с результатами до и после лечения (2 группа); уровень значимости, по сравнению с исходными данными:  $p < 0,05$ ;

По данным УЗИ (табл. 2) после лечения у пациенток на фоне озонотерапии имело место улучшение эхоструктуры эндометрия в I фазе цикла в виде структуризации, появления четких контуров, достоверного увеличения толщины эндометрия в 36% случаев, при этом прирост составил 0,4 мм (с  $4,8 \pm 0,3$  мм до  $5,2 \pm 0,8$  мм) (P 0,165) и нормализация его эхоструктуры (в 45% случаев) во 2 фазу менструального цикла (P 0,158). На фоне озонотерапии также наблюдалось улучшение кровотока ( $0.73 \pm 0,2$  и  $0.81 \pm 0,2$ ) на 11 день менструального цикла, однако без достоверных различий (табл.2).

При использовании сочетанной терапии (табл. 2) у женщин второй группы — наблюдалось более значимое увеличение толщины эндометрия — на 1,8 мм (M –эхо с  $5,4 \pm 0,1$  мм до  $7,2 \pm 1$  мм) (P 0,011), имело место существенное улучшение эхоструктуры эндометрия в I фазе цикла в виде структуризации, появления четких контуров, и нормализация эхоструктуры во 2 фазу менструального цикла, более вырвжено было повышение кровотока с достоверной значимостью ( $0,74 \pm 0,2$  и  $0,88 \pm 0,2$ ). При этом улучшение кровотока в крупных сосудах у 22% женщин клинически выражалось в увеличении продолжительности и объема менструального кровотечения, увеличении толщины и появлении секреторной трансформации эндометрия во II фазу цикла, появлении «трехслойности» эндометрия по данным УЗИ, улучшении или нормализации общего кровотока в сосудах матки и яичников по результатам доплерометрии.

Более выраженная эффективность на этапе преградарной подготовки с помощью сочетания методик озонотерапии и фотодинамической терапии с лазерным облучением эндометрия вероятно обусловлена была вследствие прежде всего доказанного на сегодня потенцирующего влияния низких доз озона на все эта-

пы окислительного метаболизма (аэробный гликолиз, цикл Кребса, митохондриальная дыхательная цепь), способствующее нивелированию энергетического дефицита [16,17], что было подтверждено в нашем исследовании. Также его мембраностабилизирующим эффектом [11,19], его высокой антиоксидантной активностью [15,17]. Другим аргументом в пользу обоснованности применения озонотерапии следует считать многочисленные факты, подтверждающие индукцию озоном и его производными синтеза различных классов цитокинов [3,19], оптимизацией ультраструктурных характеристик микроциркуляторного русла [4], положительного влияния на реологические показатели крови [4,12], «мягкого» антикоагулянтного эффекта, затрагивающего практически все звенья многоступенчатого процесса гемостаза [4,19]. Имеются данные о нормализующем влиянии терапевтических концентраций озона на содержание в тканях простогландинов [3]. и противовоспалительного действия озона, отмечаемое многими авторами [3,20]. Важен также иммуномодулирующий эффект воздействия озона[6].

Активированный путем лазерного облучения «Радохлорофилл-С» оказывает антимикробный эффект. Все известные на сегодняшний день фотосенсибилизаторы условно делятся на три группы: на основе хлорина, порфирина и красители. При этом все фотосенсибилизаторы обладают способностью поглощать определенную достаточно узкую полосу длин волн облучения (порядка 10 нм), среди которых есть длина волны, где наблюдается пик поглощения. Именно поэтому успешным в решении задач активации фотохимической реакции является применение лазерной техники, имеющей узкую полосу длин волн излучения (порядка 3 нм). Применение иных источников света представляется менее оправданным, поскольку ши-

рокий спектр излучения приводит в значительной степени к тепловому воздействию на биоткань. Активированный «Радохлорофилл-С» взаимодействует с кислородом клетки образует активную форму кислорода, которая вызывает гибель (внутреннее сгорание) поражённой клетки, ее распознавание иммунной системой и естественный вывод из организма. Активированный «Радохлорофилл-С» также стимулирует формирование антител к микровозбудителям, грибам благодаря чему тормозится рост инфекционного очага, таким образом, проявляется антимикробный эффект [2,9]. Необходимо отметить, что в настоящее время получены успешные экспериментальные данные [9,14], показывающие эффект увеличения зоны подавления роста микроорганизмов, соизмеримое с использованием антибиотика (цефепима 30мг/мл) и, что не наблюдалось при применении не активированного препарата в различных концентрациях, в связи с чем эффект во второй группе можно объяснить дополнительным антимикробным эффектом «Фотостима», что не характерно для низкой концентрации озона, которую ис-

пользовали в комплексной терапии пациенток второй группы, в связи с чем сочетание двух методик удачно дополняют друг друга, обеспечивая патогенетическую направленность терапии.

Таким образом, сочетание низкодозированной озонотерапии с выраженными метаболическим, иммуномодулирующим воздействием и антимикробным эффектом активированного хлорофилла является патогенетическим методом у пациенток с хроническим эндометритом, на этапе прегравидарной подготовки к программам ЭКО. Использование люминесцентной рамановской спектроскопии в качестве мониторинга терапии оправдано в силу неинвазивности метода и широкой возможности оценки структурно-функционального состояния эндометрия по критериям состояния аэробности, пролиферации, метаболизма и микроциркуляции. Диагностика относится к экспресс — методу, достаточно проста в использовании и интерпритации, может воспроизводиться многократно, отражая динамику течения реабилитационного процесса и условия планирования беременности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Абубакирова А.М., Федорова Т. А., Фотеева Т. С. и др, «Применение медицинского озона в клинике акушерства и гинекологии» Акушерство и гинекологи, 2002- — St 6. — С- 5457
2. Александров М.Т., Зуев В. М., Кукушкин В. И., Сатушева Е. В., Тимурзиева А. Б., Кургускина Е. А., Попов С. Н. «Применение активированных хлорофиллсодержащих препаратов (Радохлорофилл А) для антимикробной терапии при хронических эндометритах (экспериментальное обоснование)» Архив акушерства и гинекологии им. В. Ф. Снегирева. 2015; 2 (4): 51.
3. Белянин, И. И. Биологические и лечебные свойства озона: авторизованный аналитический обзор / И. И. Белянин. — М., 1999. — 17с.
4. Бояринов, Г. А. Озонированное искусственное кровообращение (экспериментальное обоснование и результаты клинического применения) / Г. А. Бояринов, В. В. Соколов //Озон и методы эфферентной терапии в медицине: тез. докл. III Всерос. науч.-практ. конф. смежных. участи ем. — Н. Новгород, 1999. — 318с.
5. Вартамян Э.В., Мартышкина Е. Ю., Цатурова К. А. «Роль сочетанной патологии в неудачных протоколах ЭКО.» Акушерство, гинекология и репродукция. 2011; N4: с.40–43
6. Гречканев Г.О. «Научное обоснование использования медицинского озона в комплексном лечении некоторых акушерских осложнений и гинекологических заболеваний». Дисс. докт. мед. наук. — Москва, 2003.
7. Гурьева В.А., Дударева Ю. А. «Оценка эффективности озонотерапии на этапе прегравидарной подготовки при угрозе прерывания в I триместре беременности.» Журнал акушерства и женских болезней. — 2006. — Т. LV. — Вып. 3. — С. 17–24.
8. Гурьева В.А., Дударева Ю. А. «Сравнительная характеристика исходов и осложнений беременности при лечении медицинским озоном на этапе прегравидарной подготовки В сборнике: Немедикаментозные методы лечения и актуальные вопросы в акушерско-гинекологической практике Межрегиональная научно-практическая конференция. 2006. С. 25–26.
9. В.М. Зуев, Е. А. Калинина, М. Т. Александров, Ю. И. Пиманчева «Несостоятельный эндометрий в программах ЭКО: патогенез, диагностика и реабилитация» XXV Юбилейная международная конференция РАРЧ «Репродуктивные технологии сегодня и завтра» с 51–52
10. Зуев В.М. и др. Внутриматочная озонлазерная терапия хронических эндометритов. Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции «Озон и методы эфферентной терапии в медицине», 2001, с. 108.
11. Козлов Д. В. Дозозависимый эффект озона на структурно-функциональные свойства мембран эритроцитов / Д. В. Козлов, К. Н. Контрщикова // Озон и методы эфферентной терапии в медицине: тез. докл. III Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участ. — Н. Новгород, 1998. — С. 14.
12. Куликов, А. Г. Влияние озонотерапии на показатели микроциркуляции по данным доплерной флоуметрии / А. Г. Куликов, С. Д. Максимов // Озон и методы эфферентной терапии в медицине: тез. докл. III Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участ. — Н. Новгород, 1998. — С. 107–108.
13. Рудакова Е. Б. Лобода О. А. «Хронический эндометрит в аспекте результативности программ экстракорпорального оплодотворения» // Лечащий врач № 112012 г.
14. Хомерики Т.А., Бабынина Е. М., Кукушкин В. И., Кургускина Е. А. Хронический эндометрит и его роль в женском бесплодии // Сборник конкурсных работ международного интеллектуального конкурса студентов и аспирантов, Москва, 25 апреля 2016 г. С 236–266

15. Alvares, I. G. The erythrocyte GST and its relation to endvenous ozone therapy / I. G. Alvares, F. Hernandez, M. Gonzales // 2nd International Symposium on OzonApplication. Abstracts. — Havana, 1999. — Part 1. — P. 49.
16. Bocci, V. Ozone as a bioregulator. Pharmacology and toxicology of ozonotherapy today / V. Bocci // J. of Biological Regulators and Homeostatic Agents. — 1997. — Vol.10, N2/3. — P. 31–53.
17. Menendez, S. Biochemical mechanisms present in medical ozone applications / S. Menendez // 2nd International Symposium on Ozon Application. Abstracts. — Havana, 1999. — Part2. — P. 42.
18. Salamonsen L. A. Cytokines and chemokines during human embryo implantation: roles in implantation and early placentation. / Salamonsen L. A., Hannan N. J., Dimitriadis E. / Semin. Reprod. Med. 2007. — Vol.25, № 6. -P.437–444.
19. Richelmi, P. Ossigeno-ozonoterapia / P. Richelmi, M. Frazini, L. Valdenassi. — Pavia-Bergamo, 1999. — 80 p.
20. Corcho, I. Immune system changes in inflammatory process during ozone therapy application / I. Corcho, F. Hernandez, N. Reyes et al. // 2nd International Symposium on Ozon Application. Abstracts. — Havana, 2000. — Part 1. — P.41.

---

© Гурьева Валентина Андреевна (vgurjeva@yandex.ru), Кургускина Екатерина Александровна (kat-kurguskina@yandex.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»





# ПРОТИВОМИКРОБНАЯ АКТИВНОСТЬ РАСТИТЕЛЬНЫХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ СРЕДСТВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ ИНФЕКЦИЙ МОЧЕВЫХ ПУТЕЙ

## THE ANTIMICROBIAL ACTIVITY OF PLANT MEDICINAL REMEDIES USING FOR URINARY TRACT INFECTIONS TREATMENT

V. Ivanov  
V. Saganov

*Summary.* The results of the antimicrobial activity by plant medical remedies: herbal tea «Baikal's № 6» and «Phythoprost» were analyzed. The plant medical remedies have bacteriostatic, anti-adhesive, synergistic with antibiotics activity.

*Keywords:* plant medical remedies, UTI, antimicrobial activity.

**Иванов Виктор Викторович**

К.м.н., заведующий урологическим отделением, ГБУЗ ГК  
БСМП им. В. В. Ангапова

**Саганов Владислав Павлович**

Д.м.н., заведующий кафедрой госпитальной хирургии,  
Бурятский государственный университет  
uromed-lkc@mail.ru

*Аннотация.* Проведено изучение противомикробной активности растительных лекарственных средств in vitro: фиточая «Байкальский — 6» и «Фитопроста». Исследуемые фитосредства обладают бактериостатическим, антиадгезивным, синергидным с антибиотиками действием.

*Ключевые слова:* Фитопрепараты, ИМП, противомикробное действие.

### Введение

**Т**радиционно, в комплексном лечении и профилактике инфекций мочевых путей (ИМП) используют растительные лекарственные средства, обладающие противомикробным, диуретическим действием [6]. Перспективным направлением является использование фармакологических средств из арсенала традиционной тибетской медицины, обладающей большим количеством препаратов природного происхождения, применяемых для лечения и профилактики заболеваний органов мочевыделительной системы [5].

### Цель исследования

Изучение противомикробной активности растительных лекарственных средств: фиточая «Байкальский — 6», «Фитопроста» созданных по рецептам традиционной тибетской медицины.

### Материалы и методы исследования

В отделе биологически активных веществ Института общей и экспериментальной биологии СО РАН (ИОЭБ СО РАН) для лечения и профилактики ИМП разработаны комплексные растительные средства — фиточай «Байкальский — 6» и «Фитопрост» [3,4].

Фиточай «Байкальский — 6» состоит из следующих видов растительного сырья: побегов толокнянки обыкновенной (*Arctostaphylos uva ursi* L.), листа брусники

обыкновенной (*Vaccinium vitis idaea* L.), травы горца птичьего (*Polygonum aviculare* L.), цветков календулы лекарственной (*Calendula officinalis* L.), листа крапивы двудомной (*Urtica dioica* L.). Растительное средство обладает суммой лекарственного воздействия, исходя из составляющих его компонентов, взятых в соотношении 3,0: 2,0: 2,0: 1,5: 1,5 массовых частей [4].

В состав «Фитопроста» входят следующие компоненты: травы горца птичьего (*Polygonum aviculare* L.), ортосифона тычиночного (*Orthosiphon stamineus* Benth.), побегов толокнянки обыкновенной (*Arctostaphylos uva ursi* L.), корней солодки голой (*Glycyrrhiza glabra* L.), цветков календулы лекарственной (*Calendula officinalis* L.). Средство обладает суммой лекарственного воздействия, исходя из составляющих его компонентов, взятых в соотношении 7,0: 6,0: 4,0: 2,0: 1,0 массовых частей [3].

Для исследования, фиточай «Байкальский-6» и «Фитопрост» готовили в виде отвара сбора трав, в соотношении 1:10.

Противомикробную активность растительных лекарственных средств изучали в три этапа: 1. Определяли противомикробную активность фитосредств в водной среде; 2. Определяли синергидную активность растительных лекарственных средств по отношению к антибактериальным препаратам; 3. Изучали противоадгезивную активность растительных лекарственных средств на модели эритроцитов человека.

Таблица 1. Чувствительность штаммов микроорганизмов к фитосредствам

Группы	St. aureus	Pr. vulgaris	E. coli	Str. faecalis	Ps. aeruginosa
Контроль	++++	++++	++++	++++	++++
Фиточай «Байкальский-6»	+	+++	+	+	++
«Фитопрост»	++	++	+++	++	+++
Отвар листьев толокнянки обыкновенной (ОЛТО)	++	+++	+++	+++	+++

Рост бактерий в среде по степени мутности:  
 (-) — отсутствие роста;  
 (+) — слабый рост, сильное бактериостатическое действие;  
 (++) — средний рост, бактериостатическое действие;  
 (+++) — хороший рост, слабое бактериостатическое действие;  
 (++++) — обильный рост, отсутствие бактериостатического действия.

Оценку противомикробной активности фиточая «Байкальский-6» и «Фитопроста» проводили методом двукратных серийных разведений в жидкой среде [2]. В качестве тест-объектов использовали музейные штаммы следующих видов микроорганизмов: *Staphylococcus aureus* 209 p, *Proteus vulgaris* H50, *Escherichia coli* 408, *Streptococcus faecalis*, *Pseudomonas aeruginosa*. Микробная нагрузка составляла 250 тыс. клеток в 1 мл. Культуры бактерий, с исследуемым фитосредством, инкубировали в термостате при 37°C в течение 20 часов. В качестве препарата сравнения использовали отвар листьев толокнянки обыкновенной (ОЛТО). Контролем служили культуры бактерий без добавления растительного средства.

Для оценки синергидного с антибиотиками действия использовали метод диффузии в агар с применением стандартных дисков. Для этого применяли диски фабричного производства с ампициллином, гентамицином и цефазолином. В качестве тест-бактерий использовали штаммы *Escherichia coli* 408 и *Staphylococcus aureus* 209P. С этой целью на тест-штаммах *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, исследовали изменение минимальной подавляющей (МПК) и минимальной бактерицидной (МБК) концентраций антибиотиков в присутствии растительных лекарственных средств. Предварительно, определяли МПК и МБК для каждого антибиотика в отдельности. Фитосредства изучали в концентрациях, используемых для их клинического применения. При определении антимикробной активности смеси антибиотиков и растительных лекарственных средств, каждый компонент вносили в культуру бактерий в дозе, равной МПК или МБК антибиотика. Показатель эффективности влияния фитосредства на антимикробное действие антибиотиков рассчитывали как отношение МПК (или МБК) антибиотика к МПК (или МБК) смеси антибиотика с фитосредством.

Влияние растительных лекарственных средств на адгезивность микроорганизмов на поверхности эритроцитов периферической крови изучали по методике Бриллис В. И. и соавторов [1], с использованием дважды отмытых буферным раствором донорских эритроцитов 0(I) группы крови Rh +. В опытах использовали музейные штаммы *Escherichia coli*: B 3254 и ATCC25922 ГИСК им. Тарасевича.

Материалом для получения эритроцитов служила венозная кровь здоровых людей. В качестве антикоагулянтов использовали гепарин (3,0 ЕД/мл крови). Не позднее 24 часов после взятия крови эритроциты трижды отмывали десятикратным объемом стерильного 0,9% раствора хлорида натрия путём центрифугирования при 3000 об/мин. в течение 10 минут на центрифуге ОПН-3.

Готовили бактериальную взвесь микроорганизма в концентрации 1 млрд/мл и взвесь эритроцитов в концентрации 1млн/мл. Сливали равные объемы указанных взвесей в пробирки, содержимое тщательно перемешивали и инкубировали в течение 2 часов при температуре 37,0 С, с периодическим повторным перемешиванием, путём переворачивания пробирок. При изучении антиадгезивной активности фитопрепаратов, в суспензию добавляли жидкость, содержащую исследуемое вещество.

Готовили мазки крови на предметных стеклах. Мазок окрашивали по Грамму. Подсчитывали количество адгезированных микроорганизмов на 50 эритроцитах.

Определяли средний показатель адгезии — среднее число микробов, адгезированных на одном эритроците — СПА. Адгезия считалась слабовыраженной при СПА < 2 ед.; средней степени выраженной — от 2 до 4 ед.; высокой выше 4 ед.

Таблица 2. Влияние растительных лекарственных средств, в сочетании с антибиотиками, на рост *Escherichia coli* 408 и *Staphylococcus aureus* 209P на твердой питательной среде

Антибиотик	Диаметр зоны угнетения роста, мм		
	Контроль	Фиточай «Байкальский –6»	«Фитопрост»
<b><i>Escherichia coli</i> 408</b>			
Ампициллин	15±1,18	17±0,78*	16±1,01
Гентамицин	17±0,91	19±1,11*	18±0,19
Цефазолин	17±1,01	19±0,78*	19±0,56*
<b><i>Staphylococcus aureus</i> 209P</b>			
Ампициллин	15±1,10	17±0,16*	16±0,98
Гентамицин	22±0,88	24±2,01*	23±1,11
Цефазолин	20±1,26	24±1,23*	23±0,77*

\* —  $p < 0,05$  — достоверность различий результатов по сравнению с контролем.

Рассчитывали коэффициент адгезии (К) — процент эритроцитов, участвующих в адгезивном процессе и индекс адгезивности микроорганизмов (ИАМ). Коэффициент участия эритроцитов в адгезивном процессе (К) — процент эритроцитов, имеющих на своей поверхности адгезированные микробы. (К) считался значимым при показателе более 50%. Индекс адгезивности микроорганизмов (ИАМ) — число адгезированных микробов на одном участвующем в адгезивном процессе эритроците.

Данные были подвергнуты статистическому анализу. Результаты обработаны с помощью стандартного программного пакета Microsoft Excel для Windows.

### Результаты и их обсуждение

Полученные данные по противомикробной активности приведены в таблице 1.

Как отражено в таблице 1, большую бактериостатическую активность показывает фиточай «Байкальский-6», меньшую — «Фитопрост». Фиточай «Байкальский — 6», проявляет сильное бактериостатическое действие по отношению к стафилококку, стрептококку, кишечной палочке, бактериостатическое действие к синегнойной палочке, слабое бактериостатическое действие — к протею. «Фитопрост» показал бактериостатическое действие по отношению к протею, стафилококку, стрептококку. Слабое бактериостатическое действие по отношению к кишечной и синегнойной палочке. Антибактериальная активность фиточая, превосходят таковую у препарата сравнения — отвара листьев толокнянки обыкновенной (ОЛТО). Отвар «Фитопроста» по антибактериальной активности сходен с ОЛТО.

Установлено, что растительные лекарственные средства обладают синергидным действием с антибиоти-

ками. Достаточно выраженный эффект растительные средства показали в сочетании с полусинтетическими пенициллинами и цефалоспоридами по отношению к кишечной палочке и золотистому стафилококку (таблица 2).

При определении синергидного действия фиточая «Байкальский –6» с антибиотиками выявлено, что его сочетанное использование с ампициллином, цефазолином, гентамицином, достоверно ( $p < 0,05$ ), угнетает рост *E. coli* и *St. aureus*, по сравнению с контрольными дисками. «Фитопрост» показал синергидное с цефазолином действие по отношению к *E. coli* и *St. aureus*.

Таким образом, анализ результатов изучения бактериостатического действия всех трех антибиотиков в присутствии фитопрепаратов (МПК) показал, что в большинстве вариантах, исследуемые растительные средства усиливали антимикробное действие антибиотиков. При этом, противомикробная синергидная активность фиточая «Байкальский –6» оказалась выше, чем у «Фитопроста».

В таблице 3 показаны данные антиадгезивной активности фиточая «Байкальский-6», «Фитопроста» по отношению к музейным штаммам кишечной палочки, на донорских эритроцитах O(I) группы крови Rh+.

Как отражено в таблице 3, фиточай «Байкальский-6» обладает антиадгезивной активностью к исследуемым микроорганизмам. «Фитопрост», достоверно, этой активностью не обладает.

Можно предположить, что усиление антимикробного действия антибиотиков, в присутствии растительных лекарственных средств, связано с увеличением проницаемости оболочки бактерий для антибиотиков. Нельзя исключить влияние растительных средств на стабили-

Таблица 3. Показатели адгезивности *Escherichia coli* (B 3254 и ATCC25922) к эритроцитам 0(I) группы крови Rh+ под воздействием фиточая «Байкальский-6», «Фитопрост» (M±m)

Исследуемые растворы	Показатели адгезивности		
	СПА (ед.)	K(%)	ИАМ (ед.)
Фиточай «Байкальский-6»	2,55±0,19*	58,1±3,3*	2,66±0,10*
«Фитопрост»	3,25±0,24	69,1±2,4	2,91±0,12
Контроль (дистиллированная вода)	3,44± 0,65	77,2 ± 119	3,9±021

\* —  $p < 0,05$  — достоверность различий результатов по сравнению с контролем

зацию клеточных мембран. Применение антибиотиков, вместе с фитопрепаратами, позволяет снизить МПК и МБК антибактериальных препаратов. Данный факт может быть использован в клинике для снижения разовой и курсовой дозы антибиотиков.

### Выводы

1. Фиточай «Байкальский-6», «Фитопрост», в концентрациях для клинического применения, обладают слабым бактериостатическим, синергидным с антибиотика-

ми противомикробным действием. При этом, большую противомикробную и синергидную активность проявляет фиточай «Байкальский-6», меньшую — «Фитопрост».

2. Фиточай «Байкальский-6» снижают микробную адгезию к эритроцитам человека. «Фитопрост» указанным свойством не обладает.

3. Имеется прямая зависимость между противомикробным действием фитопрепарата и его антиадгезивными свойствами.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Бриллис, В.И., Брилене Т.А., Ленцнер Х.П. Методика изучения адгезивного процесса микроорганизмов // Лабораторное дело. — 1986. — № 4. — С. 210.
2. Навашин С.М. Некоторые аспекты химиотерапии бактериальных инфекций // Журн. Микробиологии, 1984, № 9. — С. 37–45.
3. Патент РФ № 2413527 от 10.03.2011. Лекарственное средство, обладающее противовоспалительным и антибактериальным действием / С.М. Николаев, Л.Н. Шантанова, Г.Г. Николаева, А.Г. Мондодоев, И.Г. Николаева, О.В. Нагаслаева, В.Е. Хитрихеев, М.П. Николаев.
4. Патент РФ № 2237488 от 22.01.2004. Средство «чай Байкальский-6», обладающее диуретической активностью и способ его получения /Е.Д. Югдурова, А.А. Маркарян, Г.Г. Николаева, Л.А. Нагаслаева, А.Г. Мондодоев, С.М. Николаев, Т.Д. Даргаева.
5. Николаев С.М., Шантанова Л.Н., Мондодоев А.Г., Матханов И.Э., Маркарян А.А. Экспериментальная фитотерапия повреждений почек. Улан-Удэ, 2003. — 184с.
6. Перепанова Т.С., Козлов Р.С., Руднов В.А., Синякова Л.А. Антимикробная терапия и профилактика инфекций почек, мочевыводящих путей и мужских половых органов. М., 2015. — 72с.

© Иванов Виктор Викторович, Саганов Владислав Павлович ( uomed-lkc@mail.ru ).  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



## МОБИЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В КАРДИОЛОГИИ

### MOBILE TECHNOLOGIES IN CARDIOLOGY

**T. Kurdgeliya  
O. Bockeria**

*Summary.* unlike traditional approaches to tracking changes in behavior in patients, now we can use the advances in mobile technology, to study their efficacy in improving behavioral and clinical outcomes. In this new era of almost universal possession of a mobile phone in the world, mobile technologies offer unprecedented potential in the prevention and self-management of chronic diseases. This article analyzes the research over the last 5 years on the use of mobile technologies in the prevention, treatment and rehabilitation of patients with diseases of the cardiovascular system.

*Keywords:* congestive heart failure, telemonitoring, sms-messages, cardiovascular system, hypertension, high blood pressure.

**Курдгелия Тамуна Мелориевна**

Аспирант, ФПДО Научный центр сердечно-сосудистой хирургии им. А. Н. Бакулева  
kurdgelya@mail.ru

**Бокерия Ольга Леонидовна**

Д.м.н., профессор, главный научный сотрудник, заместитель заведующего отделения хирургического лечения интерактивной патологии в Научном центре сердечно-сосудистой хирургии им. А. Н. Бакулева; профессор кафедры сердечно-сосудистой хирургии и интервенционной кардиологии, Московский государственный медико-стоматологический университет

*Аннотация.* в отличие от традиционных подходов к отслеживанию изменения поведения у пациентов, теперь мы можем использовать достижения в области мобильных технологий, чтобы изучить их эффективность в улучшении поведенческих и клинических результатов. В эту новую эру почти повсеместного владения мобильным телефоном во всем мире, мобильные технологии предлагают беспрецедентный потенциал в профилактике и самоуправлении хроническими заболеваниями. В данной статье проведен анализ исследований за последние 5 лет, посвященных применению мобильных технологий в профилактике, лечении и реабилитации пациентов с заболеваниями сердечно-сосудистой системы.

*Ключевые слова:* хроническая сердечная недостаточность, телемониторинг, sms-сообщения, сердечно-сосудистая система, гипертоническая болезнь, артериальное давление.

**З**аболевания сердечно-сосудистой системы (ССС) являются ведущей причиной смерти во всем мире и забирают больше жизней, чем все формы рака вместе взятые [1]. Глобальная смертность от сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) увеличилась на 41% в период с 1990 года по 2013 год в результате роста и старения населения [2]. У больных с ССЗ, вторичная профилактика включает в себя комплексный подход к управлению факторов риска, который может быть достигнут с помощью различных мероприятий, таких как улучшение выживаемости, уменьшение рецидивов заболевания, уменьшение потребности в реваскуляризации, а также улучшение качества жизни [3]. Тем не менее, самоконтроль больных затруднен из-за сложности лекарственных схем лечения, трудности в изменении образа жизни (таких как физическая активность, диета, отказ от курения, и снижение веса) [4].

В последнее десятилетие мобильные телефоны были представлены в качестве потенциально эффективного механизма изменения поведения во вторичной профилактике хронических заболеваний. Мобильные технологии предлагают персонализированный и недорогой способ коммуникации, участия, личного отслеживания

данных о состоянии здоровья, а также напоминания для активного поведения. Использование мобильных технологий может обеспечить инновационный и эффективный подход к профилактике и лечению ССЗ.

Обмен текстовыми сообщениями, или услуга коротких SMS — сообщений и мобильные приложения — две популярные формы мобильного здоровья (м-Здоровья), которые могут быть использованы для коммуникации с пациентами. Обмен текстовыми сообщениями широко используются во всех возрастных группах. Тем не менее, мобильные приложения предлагают гораздо больше возможностей, чем SMS — сообщения и могут использовать всю вычислительную мощь в области сбора и анализа данных, связанных со здоровьем в режиме реального времени [6,7]. В последнее десятилетие возник большой интерес использования мобильных приложений для укрепления здоровья и фитнеса. Большинство пользователей мобильных телефонов заинтересованы в использовании приложений м-Здоровья. В настоящее время более 165000 мобильных приложений, связанных со здравоохранением, доступны для потребителей. Тем не менее, коммерческие мобильные приложения не подкреплены обоснованными

Таблица 1. Ниже приведены рандомизированные контролируемые исследования в которых изучалось влияние технологий мобильных телефонов на профилактику сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ).

Автор, год, страна	Заболевание, контролируемые параметры	Мобильные технологии, дизайн, объем выборки, возраст.	Результаты
Antypas K. 2014 Норвегия	ХСН; физическая активность.	SMS, e-mail, website; РКИ, n=69, возраст =59.	В течение 1 месяца не было никаких существенных различий в общей физической активности. На третьем месяце, общая физическая активность была выше в исследуемой группе, чем в контрольной (5613 против 1356 метр /минут / неделю; p = 0,02).
Blasco A. 2012 Испания	ХСН; ЧСС в покое, АД, ИМТ, курение, ЛПНП и гликированный гемоглобин.	SMS, website; РКИ, n=203, возраст =61.	Снижение факторов риска в исследуемой группе выше, чем в контрольной (70% против 51%, p = 0,01). В исследуемой группе достижение целевых показателей АД и гликированного гемоглобина было лучше, но не ЛПНП, или отказ от курения. ИМТ был ниже в исследуемой группе.
Chow C.K. 2015 Австралия	ХСН; АД, ИМТ, ЛПНП, физическая активность, курение	SMS; РКИ, n=710, возраст = 58 ± 9,2.	Через 6 месяцев, ЛПНП были ниже в исследуемой группе, чем в контрольной (79 против 84 мг / дл; p = 0,04). Систолическое АД, ИМТ, физическая активность, и курение были значительно лучше в исследуемой группе.
Frederix I. 2015 Бельгия	ХСН; Пиковое потребление кислорода, физическая активность, КЖ.	SMS, e-mail; РКИ, n=140, возраст =61.	Через 24 недели, пиковое потребление O2 было выше в исследуемой группе, чем в контрольной группе (24 против 22; p<0), физическая активность также была выше (1371 против 627 средняя метр/минут/неделю; p = 0,01). КЖ выше в исследуемой группе, по сравнению с контрольной группой. Однако значимой разницы по весу, АД, гликированному гемоглобину и ЛПНП не было.
Golshahi J. 2015 Иран	Гипертензия; АД.	SMS; РКИ, n=180, возраст =56.8 ± 8.9	Значимой разницы обнаружено не было.
Kamal A.K. 2015 Пакистан	Цереброваскулярные события; Соблюдение медикаментозной терапии, АД.	SMS; РКИ, n=200, возраст исследуемой группы = 56 ± 1,5, контрольной группы = 57.6 ± 1,3.	Соблюдение медикаментозной терапии было лучше в исследуемой группе, разницы АД не было выявлено.
Khonsari S. 2015 Малайзия	ОКС; Соблюдение медикаментозной терапии, частота повторных госпитализаций, смертность.	SMS; РКИ; N=62; возраст = 57.9 ± 12.64.	Соблюдение медикаментозной терапии в исследуемой группе было выше по сравнению с контрольной группой (65% против 13%; p<0,001). Функциональное состояние было лучше в исследуемой группе, чем в контрольной (84% против 32%; p<0,001)
Киселев А.Н. 2012 Россия	Гипертензия; АД, количество выкуренных сигарет, ИМТ.	SMS; ИМТ; N=199; возраст в исследуемой группе 49, в контрольной 51.	Целевые значения АД достигнуты у 77% в исследуемой группе и в контрольной группе 12% (p<0,05). Разницы по ИМТ и по курению не было.
Koehler F. 2011 Германия	ХСН; Первичная: смерть от всех причин. Вторичная: смертность от ССЗ, госпитализация по поводу ХСН.	Телемониторинг по мобильному телефону; РКИ, N=710; возраст в исследуемой группе 66,9 ± 10,8, в контрольной 66,9 ± 10,5	Не было существенных различий в общей смертности (ОР = 0,97; 95% ДИ от 0,67 до 1,41; p = 0,87), сердечно-сосудистой смерти, или госпитализации по поводу ХСН (ОР = 0,89; 95% ДИ, от 0,67 до 1,19; p = 0,44) в исследуемой группе по сравнению с контрольной группой.
Сокращения: ОШ — отношение шансов, ИМТ — индекс массы тела. КЖ — качество жизни, BNP — мозговой натрий — уретический пептид. АД — артериальное давление, ХСН — хроническая сердечная недостаточность, ДИ — доверительный интервал, ССС — сердечно — сосудистая система, ЦВС — цереброваскулярные события; СН — сердечная недостаточность, LDL — С — липопротеины низкой плотности; ФВ ЛЖ — фракция выброса левого желудочка, МЕТ — метаболический эквивалент; NYHA — Нью — Йоркская ассоциация сердца. РКИ — рандомизированное контролируемое исследование. SMS — службы коротких сообщений (текстовые сообщения); VO2 — пиковое потребление кислорода.			

Автор, год, страна	Заболевание, контролируемые параметры	Мобильные технологии, дизайн, объем выборки, возраст.	Результаты
Logan A.G. 2007 Канада	Гипертензия, Сахарный диабет 2 типа; АД.	Телемониторинг по мобильному телефону; пилотное исследование, N=31; возраст в исследуемой группе 58,1 ± 9,9.	АД в среднем снизилось на 11,5 мм рт.ст. (p<0.001).
Maddison R. 2015 Новая Зеландия	ХСН; Толерантность к физической нагрузке, физическая активность	SMS, видеосвязь через веб-сайт; РКИ; N=171; Возраст = 60,2 ± 9,3.	Не было существенных различий толерантности к физической нагрузке. Время физической активности было больше в исследуемой группе (383 против 273 минут в неделю, p=0,04), прогулка пешком была больше в исследуемой группе (512 против 361 минут в неделю, p=0,02). В экспериментальной группе зарегистрировано значительное улучшение самочувствия и общего здоровья.
Martin S.S. 2015 США	ХСН, сахарный диабет; физическая активность	Мобильное приложение, SMS; РКИ, N=48; возраст = 58 ± 8	Общая активность составила 9670 шагов в день. Отслеживание активности не привело к значимому улучшению активности. Однако SMS уведомление увеличило количество шагов на 2534 шага, и на 3376 со слепой контрольной группой (p<0,01 для обеих групп).
Park L.G. 2014 США	ХСН; Соблюдение медикаментозной терапии	SMS; РКИ; N=90; возраст в исследуемой группе = 58,2 ± 10,6, в контрольной = 61,1±9,1.	По данным электронного мониторинга у 93,7% респондентов, которые получали sms-сообщения для обучения и напоминания, вовремя принимали антиагрегантную терапию, 95,8% среди пациентов где sms-сообщения использовались для обучения, 79,1% в группе, где sms-сообщения не использовались (p=0,03).
Pfaeffli Dale L. 2015 Новая Зеландия	ХСН; Поведение, Соблюдение медикаментозной терапии	SMS; РКИ; N=123; возраст = 59,5 ± 11,1.	Соблюдение медикаментозной терапии через 3 месяца было выше в исследуемой группе по сравнению с контрольной (ОШ 2,55, 95%; ДИ 1,12–5,84).
Quilici J. 2013 Франция	ХСН; Соблюдение медикаментозной терапии	SMS; РКИ; N=521; возраст 64.	Соблюдение антиагрегантной терапии было лучше в исследуемой группе, чем в контрольной группе (94,8% против 88,8%, p=0,01).
Scherr D. 2009 Австрия [120]	ХСН; Смертность, госпитализация	Телемониторинг по мобильному телефону; РКИ, N=120; возраст 66	Зарегистрирована незначительная разница в смертности и госпитализации по СН в исследуемой группе по сравнению с контрольной (17% против 33%, p=0,06).
Seto E. 2012 Канада	ХСН; Первичная: BNP, самообслуживание, и КЖ. Вторичная: ФВ, класс по NYHA, лекарства, повторные госпитализации, экстренная госпитализация, смертность	Телемониторинг по мобильному телефону; РКИ, N=100; возраст в исследуемой группе 55,1 ± 13,7, в контрольной 52,3±13,7.	КЖ (p = 0,05) и самообслуживание (p = 0,03) были значительно выше в исследуемой группе по сравнению с контрольной группой. При анализе подгрупп, из тех, кто присутствовал в клинике более 6 месяцев, исследуемая группа имела значительное улучшение BNP (p = 0,02), ФВ (p = 0,005) и самообслуживание (p = 0,05).
Varnfield M. 2014 Австралия	ХСН; Соблюдение медикаментозной терапии, соблюдение и завершение программы реабилитации	Мобильное приложение, SMS, аудио и видео портал. РКИ, N=120; возраст = 56,	Исследуемая группа имела более «высокий прием» препаратов (80% против 62%), соблюдение также было выше (94% против 68%) и завершение программы (80% против 47%), (p<0,05). Однако, не было никаких существенных различий толерантности к физической нагрузке в исследуемой и контрольной группах через 6 недель (570 против 584) на тесте 6 — минутной ходьбы). КЖ, связанное со здоровьем было лучше в исследуемой группе, чем в контрольной (p = 0,01).

Сокращения: ОШ — отношение шансов, ИМТ — индекс массы тела. КЖ — качество жизни, BNP — мозговой натрий — уретический пептид. АД — артериальное давление, ХСН — хроническая сердечная недостаточность, ДИ — доверительный интервал, ССС — сердечно — сосудистая система, ЦВС — цереброваскулярные события; СН — сердечная недостаточность, LDL — С — липопротеины низкой плотности; ФВ ЛЖ — фракция выброса левого желудочка, МЕТ — метаболический эквивалент; NYHA — Нью — Йоркская ассоциация сердца. РКИ — рандомизированное контролируемое исследование. SMS — службы коротких сообщений (текстовые сообщения); VO2 — пиковое потребление кислорода.

Автор, год, страна	Заболевание, контролируемые параметры	Мобильные технологии, дизайн, объем выборки, возраст.	Результаты
Vuorinen A.L. 2014 Финляндия	ХСН; Первичная: госпитализация по поводу СН. Вторичная: клинический статус, использование медицинских ресурсов и пользовательский опыт.	Мобильное приложение, устройства телемониторинга. РКИ, N=94; возраст в исследуемой группе = 58,3 ± 11,6, в контрольной = 57,9 ± 11,9.	В исследуемой группе было использовано больше ресурсов здравоохранения (p<001). Значимых различий в продолжительности госпитализации и клиническом статусе, способности к самообслуживанию больных выявлено не было.
Wald D.S. 2014 Англия	Гипертензия; Соблюдение медикаментозной терапии	SMS; РКИ; N=303; возраст в исследуемой группе = 60,0 ± 7, в контрольной = 61 ± 10.	При сравнении исследуемой и контрольной групп, в исследуемой группе менее часто встречалось нарушение режима приема препаратов (9% против 25%, p<0,001), (использовали менее 80% должных препаратов).

**Сокращения:** ОШ — отношение шансов, ИМТ — индекс массы тела. КЖ — качество жизни, BNP — мозговой натрий — уретический пептид. АД — артериальное давление, ХСН — хроническая сердечная недостаточность, ДИ — доверительный интервал, ССС — сердечно — сосудистая система, ЦВС — цереброваскулярные события; СН — сердечная недостаточность, LDL — С — липопротеины низкой плотности; ФВ ЛЖ — фракция выброса левого желудочка, МЕТ — метаболический эквивалент; NYHA — Нью — Йоркская ассоциация сердца. РКИ — рандомизированное контролируемое исследование. SMS — службы коротких сообщений (текстовые сообщения); VO2 — пиковое потребление кислорода.

данными доказательной медицины, и было проведено всего несколько исследований по использованию мобильных приложений для профилактики и лечения ССЗ [8, 9, 10, 11].

В мировой литературе за последние 5 лет опубликовано 28 исследований, посвящённых применению мобильных технологий в профилактике, лечении и реабилитации пациентов с ССЗ. В целом, 22 из 28 исследований (79%) продемонстрировали, что использование функций мобильного телефона (текстовые сообщения, мобильные приложения, телемониторинг с помощью мобильных телефонов) была эффективна в улучшении поведенческих и клинических результатов. Данный обзор включает в себя исследования, направленные на различные ССЗ: ИБС (n=12) [12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22], хроническая сердечная недостаточность (ХСН) (n=6) [23, 24, 25, 26, 27], ГБ (n=5) [28, 29, 30, 31, 32], инсульт (n=2) [33], острый коронарный синдром (ОКС) (n=1) [34], сердечно-сосудистые заболевания (n=1) [35] и метаболический синдром (n=1) [36].

Большинство исследований посвящены изучению клинических исходов медикаментозного лечения заболеваний ССС (10 исследований), в то время как другие исследования были посвящены изучению физической активности, сердечной реабилитации, или же сочетанию факторов риска ССЗ (артериальное давление (АД), общий холестерин, индекс массы тела (ИМТ), вес). Четыре рандомизированных контролируемых исследований и одно наблюдательное исследование, посвящённых изучению клинических исходов при ХСН, ИБС и инсульте, не нашли существенных различий между экспериментальной и контрольной группами в смертности, частоте

госпитализаций или продолжительности госпитализации [22,23,26,27,37].

В основном было использовано текстовое сообщение (18 из 28, 64%). У двенадцати из 28 исследований (43%) были применены технологические возможности смартфонов. В частности, в семи исследованиях были использованы смартфоны для получения и передачи данных в рамках телемониторинга [23,25,26,27,30,36,37]. Во всех исследованиях было сообщено о высокой степени удовлетворенности пациентов, легкой осуществимости контактов с исследователями в повседневной жизни.

Шесть исследований имели нулевые результаты (не было выявлено связи эффективности лечения с применением мобильных технологий). В первом из шести исследований с нулевым результатом в качестве мониторинга использовался обмен текстовыми сообщениями с пациентами с ГБ в 26 медицинских центрах первичного звена в Испании [31]. В данном исследовании, текстовые сообщения отправлялись только два раза в неделю. Частота передачи данных в данном исследовании является самой низкой среди исследований, в которых использовался обмен текстовыми сообщениями как способ мониторинга.

В трех других исследованиях изучали применение телемониторинга с помощью мобильных телефонов у больных с ХСН, у которых первичными конечными точками была смерть, госпитализация [23,26,37]. В одном из этих исследований наблюдались 710 пациентов с ХСН в течение 24 месяцев [23], в то время как в двух других исследованиях пациентов наблюдали в течение 6 месяцев (N = 94, N = 120) [26,37]. Четвёртое нулевое исследование (Южная Корея) включало использование мобильного



приложения и устройства мониторинга у пациентов, перенесших инсульт [35]. Пациенты использовали мобильное приложение, в течение 60 из 180 дней наблюдения. Результаты вторичной конечной точки (АД, гликированный гемоглобин, окружность талии, частота курения, режим приема лекарств, физическая активность) значительно не различались между двумя группами пациентов. В другом исследовании сравнивали самоконтроль пациентов с гипертонией (прием лекарств, физическая активность и диета) и изменение АД, пациенты были разделены на четыре группы: а) обучение самоконтролю, восемь часовых занятий; б) обучение самоконтролю с помощью четырех брошюр; в) обучение самоконтролю через восемь SMS, и г) обычное ведение. В группе обучения самоконтролю через восемь SMS не было каких-либо изменений. Однако следует отметить, что всего восемь SMS были получены в течение 8 недель 28.

Некоторые закономерности наблюдались как в положительных, так и в отрицательных исследованиях, в которых применялся обмен текстовыми сообщениями. Факторы, связанные с положительными результатами, как правило, имеют по крайней мере один из следующих параметров: 1) высокая частота отправки текстовых сообщений; 2) персонализированное содержание текстового сообщения с индивидуальными советами; 3) двусторонний обмен сообщениями (запрос ответного текстового сообщения от участника); 4) частота отправки данных коррелирует с количеством лекарственных препаратов; и 5) использование нескольких методов (т.е. SMS, мобильные приложения).

В большинстве исследований с применением текстовых сообщений, SMS-сообщение содержало персонализированные данные, такие как имена пациентов, названия лекарств и / или дозировки, сроки их приема на основе рецепта пациента, индивидуализированные сообщения, связанные с состоянием участника, мотивационные тексты с указанием цели, а также индивидуальные барьеры участника (такие как забывчивость, боязнь побочных эффектов лекарств). В большинстве исследований участники отвечали с помощью текстовых сообщений или ввода данных в предложенное программное обеспечение, и все эти исследования обнаружили положительные клинические исходы. Эти модели показывают важность высокой частоты обмена информацией, интерактивности моделей с использованием м-Здоровья, индивидуализированного обмена сообщениями.

Были проведены 19 рандомизированных клинических исследований, одно рандомизированное кластерное исследование, одно проспективное клиническое испытание, пять пилотных исследований. Методы получения клинических данных от участников варьировались от самоотчета (электронное, по телефону, анкеты,

интервью), телемониторинга, трекинг устройств (например, электрокардиограмма (ЭКГ) в домашних условиях, мониторы АД, акселерометры, глюкометры) до биомаркеров (т.е. нагрузочные упражнения, лабораторные тесты). Размер выборки варьировал от 6 до 710 участников. Пятнадцать из 28 исследований (54%) имели размер выборки из 100 участников или меньше. Средний возраст участников составлял от 49 до 66,7 лет во всех исследованиях.

В шести исследованиях использовали мобильное приложение для мониторинга, в то время как у других шести исследований использовали смартфоны для телемониторинга. Три исследования с использованием мобильных приложений были наблюдательными [21,22,38], в то время как остальные три были рандомизированными исследованиями [17,20,37]. В двух из этих рандомизированных исследованиях методы мониторинга были комбинированными, то есть применялось мобильное приложение наряду с другими способами, такими как: обмен текстовыми сообщениями и телефонная голосовая связь [20,39].

Наш обзор из 28 исследований с применением мобильных телефонов показал, что подавляющее большинство исследований были эффективными в улучшении поведения и клинических исходов у взрослых пациентов с заболеваниями ССЗ. В большинстве исследований использовался обмен текстовыми сообщениями, а в остальных исследованиях использовали технологические возможности смартфонов в виде мобильных приложений и телемониторинга. Четверть исследований использовали несколько способов взаимодействий с пациентами, которые могут иметь широкое распространение в будущем (Таблица 1).

#### Применение возможностей мобильных телефонов в профилактике ССЗ.

Факторы риска ССЗ в 80% составляют поведенческие факторы риска, к которым относятся курение, малоподвижный образ жизни и нездоровое питание. Они являются накопительными, поэтому усилия по профилактике ССЗ должны быть направлены на снижение данных факторов риска на всех этапах жизни для эффективного уменьшения заболеваемости и смертности от ССЗ [40,41]. Профилактика должна начинаться с детства и должна быть направлена на предотвращение возникновения факторов риска заболевания путем пропаганды здорового образа жизни. Первичные меры профилактики, например, поощрение потребления фруктов и овощей. Первичные и вторичные меры профилактики помогают поддерживать здоровый вес, увеличение физической активности, борьбы с курением, поддержание

АД, содержание глюкозы и липидов в крови в пределах целевых показателей.

Опубликованные в последнее время данные позволяют предположить, что мобильные технологии в здравоохранении в целом могут быть эффективным средством снижения некоторых сердечно-сосудистых факторов риска заболевания. Например, обмен текстовыми сообщениями и использование интернета являются важными компонентами успешных профилактических программ в области управления веса и отказа от курения [42]. Тем не менее, их долгосрочную эффективность еще предстоит определить [43].

*Потеря веса:* Одно рандомизированное контролируемое исследование показало, что мобильное приложение для контроля веса у взрослых пациентов с избыточным весом достигает лучшего снижения, индекса массы тела и процента жира в теле по сравнению с веб-сайтом или бумажным дневником [44]. Большие многоцентровые рандомизированные контролируемые исследования с целью оценки эффективности мобильных приложений в снижении массы тела продолжаются [45,46].

*Увеличение физической активности:* Переносные датчики и приложения для самоконтроля повседневной деятельности являются мотивационными «инструментами» для повышения физической активности. Недавний систематический обзор по использованию системы мониторинга активности показал, что он может способствовать увеличению физической активности и способствовать снижению массы тела [47].

*Отказ от курения:* Два проведенных анализа приложений для отказа от курения выявили, что эти мобильные программы, как правило, не основаны на доказательных принципах для отказа от курения, или содержат методы изменения поведения, которые не были признаны эффективными [48]. Кроме того, Ноеррпер и соавт. обнаружили, что приложения доступные в открытом доступе по отказу от курения обычно не обеспечены достаточной обратной связью [49]. Тем не менее, появляются новые приложения, включающие различные методики в помощи отказа от курения, например, изменение поведения. В рандомизированном исследовании приложение под названием Smart quit показало, что оно на 60% эффективнее, чем приложение по отказу от курения Национального Института Рака [50]. Наконец, компания Pfizer (Нью-Йорк, США) в партнерстве с «Американской Ассоциацией легких» разрабатывают приложение Quitter's Circle, которое помогает курильщикам бросить курить при поддержке семьи и друзей.

*Контроль уровня глюкозы в крови:* Существует большая гетерогенная популяция приложений смарт-

фонов, связанных с диабетом, ориентированных на различные аспекты лечения диабета с различными результатами. Безопасность и эффективность большинства этих приложений не оценены [42]. В настоящее время продолжает существовать все большее число мониторов глюкозы крови, синхронизированных с приложениями, направленными на дальнейшее совершенствование лечения диабета. Новые технологии продолжают появляться, что позволяет контролировать содержание глюкозы в крови на основе спектроскопии с использованием камеры смартфона, измерения оптической плотности глюкозы в крови для определения его концентрации. Эта технология позволяет дешево, удобно, и безопасно контролировать уровень глюкозы в крови.

*Гипертония:* Электронная консультация значительно снижает дневное систолическое АД у больных с ГБ с более значительными улучшениями в отдаленные сроки (6–12 месяцев) [51]. Также разрабатываются приложения с возможностью автоматизированной интерпретации показаний АД. Ну-Result представляет собой приложение для самостоятельной интерпретации результатов мониторинга АД в домашних условиях, и было показано, что результаты так же точны, как у врача [52].

*Дислипидемия:* Исследования показали, что снабжение пациентов смартфонами с возможностью беспроводного (по технологии Bluetooth) контроля АД, глюкозы привело к снижению общего холестерина [42]. Технологии домашнего контроля общего холестерина остаются редкостью, так как в настоящее время коммерческие образцы являются дорогостоящими и неудобными в использовании. В последнее время, Oncescu и соавт. разработали устройство, которое работает в сочетании с камерой смартфона и сопровождающего приложения для измерения уровня холестерина [53]. Это устройство тестирования общего холестерина в домашних условиях более доступным, точным способом и имеет потенциал широкого распространения. Необходимы дальнейшие систематические исследования в этой развивающейся области.

*Реабилитация:* Сердечно-сосудистая реабилитация является ключевым компонентом вторичной профилактики ССЗ. Несмотря на убедительные доказательства преимуществ вторичной профилактики в домашних условиях, доступность и участие в программах вторичной профилактики являются неоптимальным, с уровнем участия всего 15–30% [43]. Widmer и соавт. обнаружили, что при использовании в качестве дополнения к стандартным методам кардиологической реабилитации приложений смартфонов, число повторных госпитализаций сокращается на 40% [22]. Также сохранялась тенденция к снижению повторной госпитализации

на 30% у пациентов, использующих приложения смартфонов после трёх месяцев сердечной реабилитации 54.

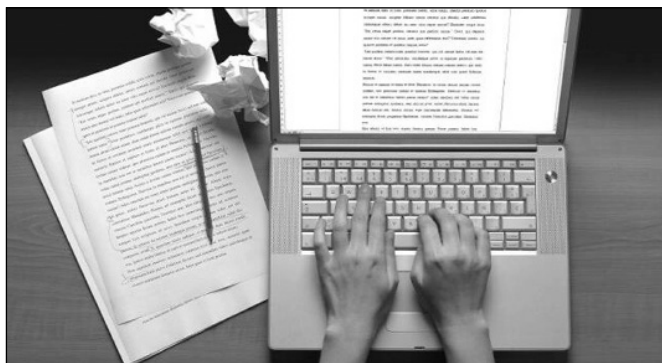
В заключении следует отметить, что мобильные телефоны имеют большой потенциал положительного воздействия на вторичную профилактику ССЗ. Подавляющее большинство исследований продемонстрировали

положительные результаты в исследуемой популяции взрослых пациентов с ССЗ. Тем не менее, по-прежнему трудно сделать выводы об эффективности этих мер в отношении долгосрочной перспективы и улучшении основных клинических результатов, например, смертность.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Bockeria L.A., Stupakov I. N. Successes and problems of the Russian cardiac surgery. *Health*. 2012. 4. P. 24–34. Russian: (Бокерия Л. А., Ступаков И. Н. Успехи и проблемы российской кардиохирургии. *Здравоохранение*. 2012. 4. С. 24–34.)
2. Bockeria L.A., Stupakov I. N. Coronary heart disease and risk factors: comparison of rates in the countries of Europe, the USA, and Russia). *Thoracic and Cardiovascular Surgery*. 2007. 4. P.:6–10. Russian: (Бокерия Л. А., Ступаков И. Н. Ишемическая болезнь сердца и факторы риска (сравнение показателей в странах Европы, США и России). *Грудная и сердечно-сосудистая хирургия*. 2007. № 4. С.: 6–10.)
3. Smith S.C., Jr, Benjamin E. J., et al. AHA/ACC secondary prevention and risk reduction therapy for patients with coronary and other atherosclerotic vascular disease: 2011 update: a guideline from the American Heart Association and American College of Cardiology Foundation endorsed by the World Heart Federation and the Preventive Cardiovascular Nurses Association. *J Am Coll Cardiol*, 2011. 58(23): p. 2432–46.
4. Piette J.D., List J., et al. Mobile Health Devices as Tools for Worldwide Cardiovascular Risk Reduction and Disease Management. *Circulation*, 2015. 132(21): p. 2012–27.
5. Clark A.M., Hartling L., et al. Meta-analysis: secondary prevention programs for patients with coronary artery disease. *Ann Intern Med*, 2005. 143(9): p. 659–72.
6. Kumar S., Nilsen W. J., et al. Mobile health technology evaluation: the mHealth evidence workshop. *Am J Prev Med*, 2013. 45(2): p. 228–36.
7. Teyhen D.S., Aldag M., et al. Incentives to create and sustain healthy behaviors: technology solutions and research needs. *Mil Med*, 2014. 179(12): p. 1419–31.
8. Breton E.R., Fuemmeler B. F., Abrams L. C. Weight loss—there is an app for that! But does it adhere to evidence-informed practices? *Transl Behav Med*, 2011. 1(4): p. 523–9.
9. Nilsen W., Kumar S., et al. Advancing the science of mHealth. *J Health Commun*, 2012. 17 Suppl 1: p. 5–10.
10. Riley W.T., Rivera D.E., et al. Health behavior models in the age of mobile interventions: are our theories up to the task? *Transl Behav Med*, 2011. 1(1): p. 53–71.
11. Beatty A.L., Fukuoka Y., Whooley M. A. Using mobile technology for cardiac rehabilitation: a review and framework for development and evaluation. *J Am Heart Assoc*, 2013. 2(6): p. e000568.
12. Antypas K., Wangberg S. C. An Internet- and mobile-based tailored intervention to enhance maintenance of physical activity after cardiac rehabilitation: short-term results of a randomized controlled trial. *J Med Internet Res*, 2014. 16(3): p. e77.
13. Blasco A., Carmona M., et al. Evaluation of a telemedicine service for the secondary prevention of coronary artery disease. *J Cardiopulm Rehabil Prev*, 2012. 32(1): p. 25–31.
14. Chow C.K., Redfern J., et al. Effect of Lifestyle-Focused Text Messaging on Risk Factor Modification in Patients With Coronary Heart Disease: A Randomized Clinical Trial. *JAMA*, 2015. 314(12): p. 1255–63.
15. Frederix I., Hansen D., et al. Medium-Term Effectiveness of a Comprehensive Internet-Based and Patient-Specific Telerehabilitation Program With Text Messaging Support for Cardiac Patients: Randomized Controlled Trial. *J Med Internet Res*, 2015. 17(7): p. e185.
16. Maddison R., Pfaeffli L., et al. A mobile phone intervention increases physical activity in people with cardiovascular disease: Results from the HEART randomized controlled trial. *Eur J Prev Cardiol*, 2015. 22(6): p. 701–9.
17. Martin S.S., Feldman D. I., et al. mActive: A Randomized Clinical Trial of an Automated mHealth Intervention for Physical Activity Promotion. *J Am Heart Assoc*, 2015. 4(11).
18. Park L.G., Howie-Esquivel J., et al. A text messaging intervention to promote medication adherence for patients with coronary heart disease: a randomized controlled trial. *Patient Educ Couns*, 2014. 94(2): p. 261–8.
19. Quilici J., Fugon L., et al. Effect of motivational mobile phone short message service on aspirin adherence after coronary stenting for acute coronary syndrome. *Int J Cardiol*, 2013. 168(1): p. 568–9.
20. Varnfield M., Karunanithi M., et al. Smartphone-based home care model improved use of cardiac rehabilitation in postmyocardial infarction patients: results from a randomised controlled trial. *Heart*, 2014. 100(22): p. 1770–9.
21. Worringham C., Rojek A., Stewart I. Development and feasibility of a smartphone, ECG and GPS based system for remotely monitoring exercise in cardiac rehabilitation. *PLoS One*, 2011. 6(2): p. e14669.
22. Widmer R.J., Allison T. G., et al. Digital Health Intervention as an Adjunct to Cardiac Rehabilitation Reduces Cardiovascular Risk Factors and Rehospitalizations. *J Cardiovasc Transl Res*, 2015. 8(5): p. 283–92.
23. Koehler F., Winkler S., et al. Impact of remote telemedical management on mortality and hospitalizations in ambulatory patients with chronic heart failure: the telemedical interventional monitoring in heart failure study. *Circulation*, 2011. 123(17): p. 1873–80.
24. Nundy S., Razi R. R., et al. A text messaging intervention to improve heart failure self-management after hospital discharge in a largely African-American population: before-after study. *J Med Internet Res*, 2013. 15(3): p. e53.

25. Piotrowicz E., Jasionowska A., et al. ECG telemonitoring during home-based cardiac rehabilitation in heart failure patients. *J Telemed Telecare*, 2012. 18(4): p. 193–7.
26. Scherr D., Kastner P., et al. Effect of home-based telemonitoring using mobile phone technology on the outcome of heart failure patients after an episode of acute decompensation: randomized controlled trial. *J Med Internet Res*, 2009. 11(3): p. e34.
27. Seto E., Leonard K. J., et al. Mobile phone-based telemonitoring for heart failure management: a randomized controlled trial. *J Med Internet Res*, 2012. 14(1): p. e31.
28. Golshahi J., Ahmadzadeh H., et al. Effect of self-care education on lifestyle modification, medication adherence and blood pressure in hypertensive adults: Randomized controlled clinical trial. *Adv Biomed Res*, 2015. 4: p. 204.
29. Kiselev A.R., Gridnev V. I., et al. Active ambulatory care management supported by short message services and mobile phone technology in patients with arterial hypertension. *J Am Soc Hypertens*, 2012. 6(5): p. 346–55.
30. Logan A.G., Mclsaac W.J., et al. Mobile phone-based remote patient monitoring system for management of hypertension in diabetic patients. *Am J Hypertens*, 2007. 20(9): p. 942–8.
31. Marquez Contreras E., de la Figuera von Wichmann M., et al. [Effectiveness of an intervention to provide information to patients with hypertension as short text messages and reminders sent to their mobile phone (HTA-Alert)]. *Aten Primaria*, 2004. 34(8): p. 399–405.
32. Wald D.S., Bestwick J. P., et al. Randomised trial of text messaging on adherence to cardiovascular preventive treatment (INTERACT trial). *PLoS One*, 2014. 9(12): p. e114268.
33. Kamal A.K., Shaikh Q., et al. A randomized controlled behavioral intervention trial to improve medication adherence in adult stroke patients with prescription tailored Short Messaging Service (SMS)-SMS4Stroke study. *BMC Neurol*, 2015. 15: p. 212.
34. Khonsari S., Subramanian P., et al. Effect of a reminder system using an automated short message service on medication adherence following acute coronary syndrome. *Eur J Cardiovasc Nurs*, 2015. 14(2): p. 170–9.
35. Dale L.P., Whittaker R., et al. Cardiovascular Disease Self-Management: Pilot Testing of an mHealth Healthy Eating Program. *J Pers Med*, 2014. 4(1): p. 88–101.
36. Stuckey M., Fulkerson R., et al. Remote monitoring technologies for the prevention of metabolic syndrome: the Diabetes and Technology for Increased Activity (DaTA) study. *J Diabetes Sci Technol*, 2011. 5(4): p. 936–44.
37. Vuorinen A.L., Leppanen J., et al. Use of home telemonitoring to support multidisciplinary care of heart failure patients in Finland: randomized controlled trial. *J Med Internet Res*, 2014. 16(12): p. e282.
38. Seo W.K., Kang J., et al. Feasibility of using a mobile application for the monitoring and management of stroke-associated risk factors. *J Clin Neurol*, 2015. 11(2): p. 142–8.
39. Pfaeffli Dale L., Whittaker R., et al. Text Message and Internet Support for Coronary Heart Disease Self-Management: Results From the Text4Heart Randomized Controlled Trial. *J Med Internet Res*, 2015. 17(10): p. e237.
40. Weintraub W.S., Daniels S. R., et al. Value of primordial and primary prevention for cardiovascular disease: a policy statement from the American Heart Association. *Circulation*, 2011. 124(8): p. 967–90.
41. Smith S.C., Jr., Benjamin E. J., et al. AHA/ACC Secondary Prevention and Risk Reduction Therapy for Patients with Coronary and other Atherosclerotic Vascular Disease: 2011 update: a guideline from the American Heart Association and American College of Cardiology Foundation. *Circulation*, 2011. 124(22): p. 2458–73.
42. Burke L.E., Ma J., et al. Current Science on Consumer Use of Mobile Health for Cardiovascular Disease Prevention: A Scientific Statement From the American Heart Association. *Circulation*, 2015. 132(12): p. 1157–213.
43. Neubeck L., Lowres N., et al. The mobile revolution — using smartphone apps to prevent cardiovascular disease. *Nat Rev Cardiol*, 2015. 12(6): p. 350–60.
44. Carter M.C., Burley V. J., et al. Adherence to a smartphone application for weight loss compared to website and paper diary: pilot randomized controlled trial. *J Med Internet Res*, 2013. 15(4): p. e32.
45. Recio-Rodriguez J.I., Martin-Cantera C., et al. Effectiveness of a smartphone application for improving healthy lifestyles, a randomized clinical trial (EVIDENT II): study protocol. *BMC Public Health*, 2014. 14: p. 254.
46. Granado-Font E., Flores-Mateo G., et al. Effectiveness of a Smartphone application and wearable device for weight loss in overweight or obese primary care patients: protocol for a randomised controlled trial. *BMC Public Health*, 2015. 15: p. 531.
47. Lewis Z.H., Lyons E. J., et al. Using an electronic activity monitor system as an intervention modality: A systematic review. *BMC Public Health*, 2015. 15: p. 585.
48. Abroms L.C., Lee Westmaas J., et al. A content analysis of popular smartphone apps for smoking cessation. *Am J Prev Med*, 2013. 45(6): p. 732–6.
49. Hoepfner B.B., Hoepfner S. S., et al. How Smart are Smartphone Apps for Smoking Cessation? A Content Analysis. *Nicotine Tob Res*, 2016. 18(5): p. 1025–31.
50. Bricker J.B., Mull K. E., et al. Randomized, controlled pilot trial of a smartphone app for smoking cessation using acceptance and commitment therapy. *Drug Alcohol Depend*, 2014. 143: p. 87–94.
51. Liu S., Dunford S. D., et al. Reducing blood pressure with Internet-based interventions: a meta-analysis. *Can J Cardiol*, 2013. 29(5): p. 613–21.
52. Vinay N.P., Bobrie G., et al. Lb03.06: Automated Interpretation of Home Blood Pressure Assessment (Hy-Result(R) Software) Versus Physician's Assessment. A Validation Study. *J Hypertens*, 2015. 33 Suppl 1: p. e127.
53. Oncescu V., Mancuso M., Erickson D. Cholesterol testing on a smartphone. *Lab Chip*, 2014. 14(4): p. 759–63.
54. Sasson C., Magid D. J. Bystander-initiated CPR by design, not by chance. *N Engl J Med*, 2015. 372(24): p. 2349–5.



## НАШИ АВТОРЫ

## OUR AUTHORS

**Alexanyan G.** — South-Russian State Technical University (NPI) of the M.I. Platov (Novocherkassk)  
e-mail: graer@yandex.ru

**Antonov A.** — Institute of Theoretical and Applied Electrodynamics, Russian Academy of Sciences

**Barulina M.** — Ph.D., Senior Researcher, Institute of Precision Mechanics and Control, Russian Academy of Sciences, Saratov  
e-mail: marina@barulina.ru

**Bockeria O.** — Doctor of medical Sciences, professor, chief researcher, deputy head of the department of surgical pathology interactive of the Scientific center of A.N. Bakoulev Scientific Centre for Cardiovascular Surgery, Professor, Department of cardiovascular surgery and interventional cardiology of the Moscow state medicostomatological University

**Buznikov N.** — Scientific-Research Institute of Natural Gases and Gas Technologies - Gazprom VNIIGAZ  
e-mail: n\_buznikov@mail.ru

**Grigoričeva L.** — Candidate of Medical Sciences, head physician Federal State Budgetary Institution «Federal Center of Traumatology, Orthopedics and Endoprosthesis» of the Russian Federation Health Ministry (Barnaul)  
e-mail: 297501@mail.ru

**Gurjeva V.** — Doctor of medical Sciences, Professor, head. Department of obstetrics and gynecology, Altai state medical University  
e-mail: vгурјева@yandex.ru

**Ivanov I.** — PhD, Senior teacher, National Research University Higher School of Economics  
e-mail: ivanov\_i\_a@mail.ru

**Ivanov V.** — Candidate of medical sciences, head of urological department, V.V. Angapov Republic Clinical Hospital of First Aid

**Kamalova Yu.** — Post-graduate student, Kalashnikov Izhevsk State Technical University  
e-mail: pmkk@istu.ru

**Kamenets A.** — Saratov State Technical University of Y. A. Gagarin  
e-mail: kamenetsaf@yandex.ru

**Kharchenko S.** — Pediatrician Federal State Budgetary Institution «Federal Center of Traumatology, Orthopedics and Endoprosthesis» of the Russian Federation Health Ministry (Barnaul)

**Kozhevnikov V.** — Candidate of Medical Sciences, Head of Department of pediatric traumatology and orthopedics Federal State Budgetary Institution «Federal Center of Traumatology, Orthopedics and Endoprosthesis» of the Russian Federation Health Ministry (Barnaul)

**Kurdgeliya T.** — Postgraduate student of the Department of cardiovascular surgery and interventional cardiology FPDO, A.N. Bakoulev Scientific Centre for Cardiovascular Surgery  
e-mail: kurdgelya@mail.ru

**Kurguskina E.** — Post-graduate student. Department of obstetrics and gynecology of the faculty, Altai state medical University  
e-mail: kat-kurguskina@yandex.ru

**Larina A.** — Clinical psychologist Federal State Budgetary Institution «Federal Center of Traumatology, Orthopedics and Endoprosthesis» of the Russian Federation Health Ministry (Barnaul)

**Maron M.** — Postgraduate Student, National Research University Higher School of Economics (Moscow)  
e-mail: maxxx-fizik@mail.ru

**Nguyen T.** — Graduate student, Volgograd State Technical University  
e-mail: anhtuank37@gmail.com

**Panasik D.** — Undergraduate, National Research University Higher School of Economics  
e-mail: darya.panasik@mail.ru

**Pankratov V.** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Institute of Precision Mechanics and Control Russian Academy of Sciences, Saratov  
e-mail: vmpank@mail.ru

**Safonov S.** — Senior teacher, National Research University «Higher School of Economics»  
e-mail: sns06@mail.ru

**Saganov V.** — Doctor of medical sciences, The Chief of a Surgical Chair, professor, Buryat State University  
e-mail: uromed-lkc@mail.ru

**Semenenko A.** — Graduate student, National Research University «Higher School of Economics»  
e-mail: matanmaniak@mail.ru

**Servetskiy A.** — Candidate of Technical Sciences Military Academy of the General Staff of the Armed Forces of the Russian Federation, Moscow  
e-mail: antey197@mail.ru

**Shaparenko V.** — Head of Division of development of automated process management systems of IDGC  
e-mail: vs-d@rambler.ru

**Shapovalova A.** — Balashov institute (branch) of Federal State Budgetary Educational Institution "Saratov state university named after N.G. Chernyshevsky", Balashov, Saratov region  
e-mail: kupena07@rambler.ru

**Tolstykh V.** — The competitor of a scientific degree of candidate of military Sciences Military Academy of the General Staff of the Armed Forces of the Russian Federation, Moscow  
e-mail: oficer.1978@mail.ru

## Требования к оформлению статей, направляемых для публикации в журнале



Для публикации научных работ в выпусках серий научно-практического журнала «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики» принимаются статьи на русском языке. Статья должна соответствовать научным требованиям и общему направлению серии журнала, быть интересной достаточно широкому кругу российской и зарубежной научной общественности.

Материал, предлагаемый для публикации, должен быть оригинальным, не опубликованным ранее в других печатных изданиях, написан в контексте современной научной литературы, и содержать очевидный элемент создания нового знания. Представленные статьи проходят проверку в программе «Антиплагиат».

### **За точность воспроизведения дат, имен, цитат, формул, цифр несет ответственность автор.**

Редакционная коллегия оставляет за собой право на редактирование статей без изменения научного содержания авторского варианта.

Научно-практический журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики» проводит независимое (внутреннее) рецензирование.

### **Правила оформления текста.**

- ◆ Текст статьи набирается через 1,5 интервала в текстовом редакторе Word для Windows с расширением “.doc”, или “.rtf”, шрифт 14 Times New Roman.
- ◆ Перед заглавием статьи указывается шифр согласно универсальной десятичной классификации (УДК).
- ◆ Рисунки и таблицы в статью не вставляются, а даются отдельными файлами.
- ◆ Единицы измерения в статье следует выражать в Международной системе единиц (СИ).
- ◆ Все таблицы в тексте должны иметь названия и сквозную нумерацию. Сокращения слов в таблицах не допускаются.
- ◆ Литературные источники, использованные в статье, должны быть представлены общим списком в ее конце. Ссылки на упомянутую литературу в тексте обязательны и даются в квадратных скобках. Нумерация источников идет в последовательности упоминания в тексте.
- ◆ Список литературы составляется в соответствии с ГОСТ 7.1-2003.
- ◆ Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

### **Правила написания математических формул.**

- ◆ В статье следует приводить лишь самые главные, итоговые формулы.
- ◆ Математические формулы нужно набирать, точно размещая знаки, цифры, буквы.
- ◆ Все использованные в формуле символы следует расшифровывать.

### **Правила оформления графики.**

- ◆ Растровые форматы: рисунки и фотографии, сканируемые или подготовленные в Photoshop, Paintbrush, Corel Photopaint, должны иметь разрешение не менее 300 dpi, формата TIF, без LZW уплотнения, CMYK.
- ◆ Векторные форматы: рисунки, выполненные в программе CorelDraw 5.0-11.0, должны иметь толщину линий не менее 0,2 мм, текст в них может быть набран шрифтом Times New Roman или Arial. Не рекомендуется конвертировать графику из CorelDraw в растровые форматы. Встроенные - 300 dpi, формата TIF, без LZW уплотнения, CMYK.

По вопросам публикации следует обращаться к шеф-редактору научно-практического журнала «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики» ( e-mail: [redaktor@nauteh.ru](mailto:redaktor@nauteh.ru) ).