

СОВРЕМЕННАЯ НАУКА :  
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИЕСТЕСТВЕННЫЕ И  
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

№ 7 2016 (июль)

Учредитель журнала  
Общество с ограниченной ответственностью  
«НАУЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»**Редационный совет**

- А.В. Царегородцев** – д.т.н., профессор Российский государственный гуманитарный университет
- Ю.Б. Миндлин** – к.э.н., доцент Московский государственный машиностроительный университет
- 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)
- А.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.В. Сергиевский** – д.х.н., профессор Национального исследовательского ядерного университета "МИФИ"
- А.П. Симоненков** – д.м.н., профессор Института хирургии им. Вишневского РАМН

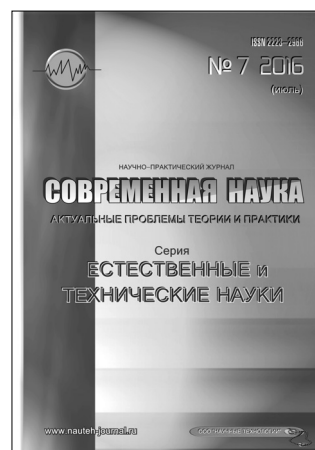
**Издатель:**

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  
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.

Scientific and practical journal

**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

VIP Studio ИНФО ( <http://www.vipstd.ru> )Подписной индекс издания  
в каталоге агентства «Пресса России» – 80016В 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 31.07.2016 г.  
Формат 84x108 1/16  
Печать цифровая  
Заказ № 0000  
Тираж 2000 экз.

ISSN 2223-2966



## ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ

**В.Ю. Бахолдина, К.Н. Благова, М.А. Самородова, Е.П. Титова, А.С. Шимановская** – Два метода оценки состава тела: сравнение результатов с помощью корреляционного анализа  
*V. Bakholdina, K. Blagova, M. Samorodova, E. Titova, A. Shimanovskaya* – Two methods of assessing body composition: comparison of results using correlation analysis .....3

**Петрищева Т.Ю.** – Экофизиологическая пластичность микромицетов рода *trichoderma* в черноземной зоне  
*T. Petrishcheva* – Ecological characteristic of a condition of populations of some rare ornamental plants of the Lipetsk region ....7

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

**И.А. Чепайкин** – Обзор мирового рынка приборов разрушающего контроля. Гамма-дефектоскопия  
*I. Chepaykin* – Overview of the global market of non-destructive control devices. Gamma flaw .....10

## РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

**Н.Н. Грачев, С.Н. Сафонов** – Анализ уровней электромагнитных излучений радиосредств сотовых сетей и их соответствия предельно допустимым уровням и нормам  
*N. Grachev, S. Safonov* – Analysis of the levels of electromagnetic radiation of radio cellular networks and their compliance with limit values and norms .....17

**В.О. Калинин, В.И. Носов** – Оценка эффективности линейно-усредняющей и медианной фильтраций при корреляционном приеме в короткоимпульсных сверхширокополосных системах радиосвязи  
*V. Kalinin, V. Nosov* – Evaluation of linear averaging and median filtering with correlational reception in the short-pulse ultra-wideband radio systems .....22

**Ю.А. Ковалгин, Д.Р. Фадеев** – Исследование психоакустических моделей кодеков с компрессией цифровых аудиоданных  
*Yu. Kovalgin, D. Fadeev* – A study of the psychoacoustic models of codecs with compression of the digital audio data .....29

**Т.К. Шогенов** – Влияние помехового сигнала систем радиоподавления радиолиний управления взрывом на работоспособность спутниковых навигационно-мониторинговых систем  
*T. Shogenov* – The influence of the interfering system signal jamming radio links control explosion on the performance of satellite navigation systems and monitoring .....39

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

**В.В. Близнюк, Н.В. Березовская, В.А. Паршин, А.Е. Тарасов** – Методика количественного анализа диаграммы направленности излучения лазерного диода на фундаментальной моде  
*V. Bliznyuk, N. Berezovskaya, V. Parshin, A. Tarasov* – Quantitative analysis of the radiation of the laser diode at fundamental mode .....45

**Е.Н. Выголова** – Алгоритмы оптимизации факторов, влияющих на гармонизацию систем оборота опасных химических веществ  
*E. Vygolova* – Algorithms of optimization of the factors influencing harmonization of systems of the turn of dangerous chemicals .....51

**И.В. Дмитриев, Е.В. Погудина** – Системно-аналитический подход к управлению системой массового вовлечения и удержания детей и молодежи в процессе научно-технического творчества и проектной деятельности  
*I. Dmitriev, E. Pogudina* – System and analytical approach to the management of the system of mass involvement and deduction of children and youth in the process of scientific and technical work and project activities .....56

**А.Б. Пунь** – Аппаратная реализация модуля однопроходного алгоритма анализа связанных компонент  
*A. Pun* – Hardware sales unit single-pass analysis algorithms related components .....62

**В.П. Рязанский** – О вычислении вероятностей успеха в схеме Бернулли с помощью функции плотности  $t$ -распределения  
*V. Ryazansky* – On the calculation of the probability of success in a Bernoulli scheme with the help of the density function of  $t$ -distribution .....66

**Н.В. Черепанов** – Анализ информационных связей в процессе разработки изделий машиностроительного предприятия  
*N. Cherepanov* – The analysis of information relations in the product development process of machine-building enterprise .....69

## КЛИНИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

**М.В. Артемов, А.А. Станжевский** – Возможности магнитно-резонансной морфометрии в диагностике болезни Альцгеймера  
*M. Artemov, A. Stanzhevsky* – MRI morphometry possibilities in the diagnosis of Alzheimer's disease .....74

**Н.О. Навджавонова, К.В. Стегний, С.В. Удалова, А.П. Гулевич** – Результаты диагностики и лечения пациентов с бессимптомной патологией ВЖП  
*N. Navdzhavonova, K. Stegnyy, S. Udalova, A. Gulevich* – The results of the diagnosis and treatment of patients with asymptomatic pathology VZHP .....79

**А.М. Самсонова, А.В. Левин, Н.А. Гаврилова** – Сравнительный анализ применения рефлексотерапии и компьютерной рефлексотерапии в восстановительном лечении пациентов с хроническим аутоиммунным тиреоидитом, гипотиреозом  
*A. Samsonova, A. Levin, N. Gavrilova* – A comparative analysis of the use of acupuncture and computer reflexotherapy for the rehabilitative treatment of patients with chronic autoimmune thyroiditis, hypothyroidism .....82

**Г.В. Степанов, А.А. Дикова, Л.Г. Ульянова** – Создание места в боковом отделе верхнего зубного ряда с помощью нового ортодонтического устройства при лечении пациентов с дистальной окклюзией  
*G. Stepanov, A. Dikova, L. Ulyanova* – Making space in the posterior or upper teeth with new orthodontic device in the treatment of patients with distal occlusion .....88

**А.С. Утюж, А.В. Юмашев, Р.М. Лушков, В.В. Загорский, И.В. Неведова** – Клинические аспекты биомеханики включенных в блок имплантатов  
*A. Utyuzh, A. Yumashev, V. Zagorskij, R. Lushkov, I. Nefedova* – Clinical aspects of biomechanics for implants joined in unit .....92

**Р.Р. Хайбуллина, Л.Т. Гильмутдинова, Л.П. Герасимова** – Лечение хронического генерализованного пародонтита с применением программы медицинской реабилитации  
*R. Khaybullina, L. Gilmutdinova, L. Gerasimova* – Dopplerography of vessels of the parodontal tissues on the background of rehabilitation of patients with chronic generalized parodontitis .....98

## ИНФОРМАЦИЯ

Наши Авторы / Our Authors .....104

Требования к оформлению рукописей и статей для публикации в журнале .....106

# ДВА МЕТОДА ОЦЕНКИ СОСТАВА ТЕЛА: СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ С ПОМОЩЬЮ КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА

## TWO METHODS OF ASSESSING BODY COMPOSITION: COMPARISON OF RESULTS USING CORRELATION ANALYSIS

*V. Bakholdina  
K. Blagova  
M. Samorodova  
E. Titova  
A. Shimanovskaya*

### Annotation

The study of the body composition using an instrumental method of bioelectrical impedance analysis (BIA) requires consideration of many factors, so the researchers again turn to the assessment of somatic components using analytical method based on anthropometry and compare the results of both methods for different groups. In our study, the comparison of two methods of assessing body composition was conducted in the group of students of Moscow State University (147 females and 78 males from 18 to 27 years). The examination included anthropometry with further quantitative assessment of somatic components by the estimated equations of J. Matiegka, and bioelectrical impedance analysis with the analyzer ABC-01 "Medass". For comparison of the results obtained by both methods, correlation analysis was applied. The analysis confirms high and statistically significant correlations of the results of two methods.

**Keywords:** body composition, anthropometry, bioelectrical impedance analysis, correlation analysis.

*Бахолдина Варвара Юрьевна  
Д.биол.н., профессор,  
Московский государственный  
университет им. М.В. Ломоносова  
Благова Ксения Николаевна  
Аспирант, Московский государственный  
университет им. М.В. Ломоносова  
Самородова Маргарита Александровна  
Магистрант, Московский государственный  
университет им. М.В. Ломоносова  
Титова Елена Петровна  
Доцент, Российский университет  
дружбы народов им. Патриса Лумумбы  
Шимановская Анна Сергеевна  
Аспирант, Московский государственный  
университет им. М.В. Ломоносова*

### Аннотация

Изучения состава тела человека с помощью инструментального метода биоэлектрического импедансного анализа (БИА) требует учёта многих факторов, в связи с чем исследователи вновь обращаются к аналитическому методу оценки соматических компонентов, основанному на антропометрии, и сравнивают результаты обоих методов для разных половозрастных групп. В нашем исследовании сравнение двух методов оценки компонентного состава тела было проведено в группе студентов Московского государственного университета (147 девушек и 78 юношей от 18 до 27 лет). Обследование включало антропометрию с дальнейшей количественной оценкой соматических компонентов по расчетным уравнениям J. Matiegka и биоэлектрический импедансный анализ состава тела с применением анализатора ABC-01 "Медасс". Для сравнения результатов, полученных обоими методами, был применён корреляционный анализ. Проведённый анализ показал наличие высоких и статистически достоверных корреляций результатов оценки основных соматических компонентов, полученных двумя методами.

### Ключевые слова:

Состав тела, антропометрия, биоэлектрический импедансный анализ, корреляционный анализ.

### Введение

Изучение компонентного состава тела широко применяется сегодня в медицине и антропологии. Наиболее доступным и распространенным инструментальным методом в подобных исследованиях служит биоимпедансный анализ (БИА), основанный на измерении электрической проводимости тканей организма [1–3].

Быстрота, безопасность и отсутствие необходимости длительной специальной подготовки способствует применению этого метода для оценки компонентного состава тела как в научных исследованиях, так и в бытовой практике контроля состояния личного здоровья. В последние годы в научной литературе широко обсуждается вопрос о факторах, влияющих на результаты БИА: возраст, пол, положение тела в процессе измерений, воз-

возможные неточности в оценке массы тела, время потребление еды и питья относительно времени проведения исследований, уровень физической активности перед измерениями, температура окружающей среды, индивидуальные особенности, а также популяционная и этническая принадлежность испытуемых [4–6]. В связи с этим многие исследователи сегодня задаются вопросом, насколько оценка компонентного состава тела на основе БИА может быть сопоставима с более ранним, аналитическим, методом оценки соматических компонентов по известным формулам J. Matiegka [7], основанным на данных антропометрии [8–11]. Предметом статьи стали результаты исследования, где в выборке студентов Московского государственного университета были применены оба метода, и результаты сравнивались путём расчёта корреляций между ними.

#### Цель исследования

Сравнение результатов оценки состава тела двумя методами с целью подтвердить возможность применения, наряду с инструментальными современными методами, аналитического метода расчёта соматических компонентов по формулам J. Matiegka на основе данных антропометрии.

#### Материал и методы

Было обследовано 225 человек – студентов МГУ 1–6 курсов в возрасте от 18 до 27 лет; 147 девушек и 78 юношей. Все материалы были собраны с соблюдением правил биоэтики и, согласно закону о защите персональных данных, при дальнейшей обработке были деперсонифицированы.

Обследование включало антропометрию с измерением продольных размеров: длины тела и высоты над полом

нескольких антропометрических точек; поперечных размеров: плечевого и тазового диаметров, поперечного и сагиттального диаметров груди, диаметров дистальных эпифизов плеча и бедра; обхватов груди, талии, бёдер и сегментов конечностей; жировых складок на туловище и конечностях; массы тела [12].

На основе полученных данных по методике J. Matiegka [7] была произведена количественная оценка жировой, мускульной и костной массы.

Анализ компонентного состава тела проводился также методом БИА с применением биоимпедансного анализатора ABC–01 "Медасс". Полученные данные регистрировались и обрабатывались на персональном компьютере с помощью программы ABC–03612. С целью сравнения результатов, полученных обоими методами, был проведен корреляционный анализ в программе STATISTICA 8.0.

#### Результаты исследования

Результаты анализа представлены в табл. 1. Корреляционный анализ проводился для длины и массы тела, соматических компонентов, полученных по расчетным уравнениям J. Matiegka, и для показателей, полученных методом БИА. В таблице приведены лишь те признаки, для которых получены коэффициенты корреляции, достоверные при уровне значимости  $P < 0,01$ .

Согласно данным таблицы 1, и в группе юношей, и в группе девушек высокие корреляции наблюдаются между массой тела и обоими соматическими компонентами, полученными методом БИА, но у девушек степень связи массы тела с жировой массой, оценённой инструментальным методом, оказывается выше.

Таблица 1.

Коэффициенты корреляции между длиной тела, массой тела и соматическими компонентами, оценёнными двумя методами.

	Юноши		Девушки	
	ТМ (БИА)	ЖМ (БИА)	ТМ (БИА)	ЖМ (БИА)
Длина тела	0,39*	0,30*	0,67*	0,52*
Масса тела	0,83*	0,83*	0,83*	0,90*
Масса костной ткани по Matiegka	0,50*	0,51*	0,76*	0,58*
Масса мышечной ткани по Matiegka	0,80*	0,40*	0,72*	0,70*
Масса жировой ткани по Matiegka	0,26	0,85*	0,61*	0,81*

Примечания: \* - корреляции достоверны при  $P < 0,01$ . Сокращения в таблице: ТМ - тощая масса; ЖМ - жировая масса; БИА - биоимпедансный анализ.

У юношей и девушек различается и степень связи между длиной тела и компонентами тела по БИА. У юношей соответствующие коэффициенты корреляции достоверны, но более чем в два раза меньше по абсолютной величине, чем коэффициенты связи с массой тела. У девушек длина тела также в меньшей степени связана с соматическими компонентами, чем масса тела, но различия с коэффициентами для массы тела не столь велики, и связь длины тела с тощей и жировой массой у девушек существенно выше, чем у юношей.

Корреляции между оценками компонентов тела с применением обоих методов высоки и статистически достоверны.

### Обсуждение

Сравнение результатов для двух методов оценки компонентного состава тела само по себе представляет определённую методическую проблему. Расчёт жирового, мышечного и костного компонентов тела по формулам J. Matiegka основан на измерении морфологических структур, в то время как формулы, встроенные в компьютерную программу ABC-03612 биоимпедансного анализатора "Медасс", основаны на различной электрической проводимости тканей человеческого организма [1]. Поэтому абсолютные оценки компонентов тела, выполненные обоими методами, представляют собой разные величины, и прямое сравнение их затруднительно. В связи с этим авторы используют в данном случае корреляционный анализ как способ статистического сравнения результатов применения обоих методов.

Обращает на себя внимание высокий уровень связи между массой тела и обоими соматическими компонентами, изученными методом БИА, и существенно более низкий уровень связи соматических компонентов с длиной тела. Эти результаты согласуются с результатами, полученными и другими исследователями, в частности, с итогами работы, проведённой коллективом лаборатории ауксологии НИИ антропологии МГУ [8], где длина тела по итогам статистического анализа вообще не фигурирует в списке предикторов отдельных соматических компонентов. Авторы объясняют этот факт большей выраженностью жировой компоненты у людей меньшего роста, что может послужить объяснением и наших результатов, где в группе девушек связи между длиной тела и основными соматическими компонентами оказывается существенно выше, чем в группе юношей. Интересно также отметить, что работа Е.З. Годиной с соавторами и наша работа демонстрируют сходные результаты для групп, представляющих разные этапы онтогенеза – детей и молодых взрослых.

Анализ корреляций данных, полученных аналитичес-

ким методом и методом БИА, показывает, что наиболее информативными аналитическими показателями, рассчитанными по измерительным признакам, являются масса мышечной ткани и масса жировой ткани по Matiegka. Эти показатели связаны коэффициентами корреляции очень высокого уровня с тощей массой и жировой массой по БИА, особенно показатель массы жировой ткани. При этом следует отметить некоторые различия между полами. Для юношей дифференциация в уровнях связи отдельных показателей между собой достаточно показательна и логична: масса мышечной ткани по Matiegka связана очень высоким коэффициентом корреляции с тощей массой по БИА, связь того же показателя с жировой массой по БИА в два раза меньше; масса жировой ткани по Matiegka связана с жировой массой по БИА ещё более высокой корреляцией, в то время как связь этого показателя с тощей массой по БИА не достигает порога статистической достоверности. У девушек масса мышечной ткани по Matiegka связана высокими корреляциями одного уровня и с тощей, и с жировой массой по БИА. Различия в связях массы жировой ткани по Matiegka с компонентами тела, оценёнными методом БИА, более логичны, но тоже высоки и меньше различаются по абсолютной величине, чем у юношей.

Подобные особенности связей между отдельными соматическими компонентами также отмечаются в работе Е.З. Годиной с соавторами [8], где тощая масса оказывается связанной высокими корреляциями с показателями жировотложения. Авторы предполагают, что эти связи могут быть обусловлены особенностями ростовых процессов. Наши результаты, где в группе юношей масса жировой ткани по Matiegka не связана с тощей массой по БИА, но в группе девушек такая связь сохраняется, могут, возможно, рассматриваться, как ещё одно проявление специфики формирования женского телосложения.

В методическом плане важно отметить, что наиболее высокий уровень корреляций между итогами применения аналитического и инструментального методов изучения состава тела наблюдается для жирового компонента.

### Заключение

Широкое применение инструментального метода изучения компонентного состава тела не должно повлечь за собой полный отказ от использования традиционных антропометрических методик и расчётных уравнений. По мере накопления данных появляются всё новые сведения, касающиеся определённых ограничений в применении биоэлектрического импедансного анализа и зависимости его результатов от многих факторов, в том числе пола и этнической принадлежности. Поэтому исследователи вновь обращаются к аналитическим методам, основанным на измерительных признаках, поскольку, как по-

казано в ряде работ, результаты применения обоих методов оказываются сходными. Корреляционный анализ, выполненный в нашей работе, позволил подтвердить ещё на одной популяционной выборке наличие высоких и статистически достоверных корреляций результатов

оценки основных соматических компонентов, полученных двумя методами, что является дополнительным обоснованием возможности применения каждого из них.

**Конфликт интересов** – отсутствует.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Николаев Д.В., Смирнов А.В., Бобринская И.Г., Руднев С.Г. Биоимпедансный анализ состава тела человека. М.: Наука, 2009. 392 с.
2. Khalil S.F., Mohktar M.S., Ibrahim F. The Theory and Fundamentals of Bioimpedance Analysis in Clinical Status Monitoring and Diagnosis of Diseases // *Sensors*, 2014. 14 (6). P. 10895–10928.
3. Houtkooper L.B., Going S.B., Lohman T.G., Roche A.F., Van Loan M. Bioelectrical impedance estimation of fat-free body mass in children and youth: a cross-validation study // *Journal of Applied Physiology*, 1992. Vol. 72. №1. P. 366–373.
4. Deurenberg P., Deurenberg Y. Validation of skinfold thickness and hand-held impedance measurements for estimation of body fat percentage among Singaporean Chinese, Malay and Indian subjects // *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 2002. Vol. 11, Issue 1. P. 1–7.
5. Dehghan M., Merchant AT. Is bioelectrical impedance accurate for use in large epidemiological studies? // *Nutrition Journal*, 2008. V. 7. P. 26–32.
6. Fukunaga Y., Takai Y., Yoshimoto T., Fujita E., Yamamoto M., Kanehisa H. Influence of maturation on anthropometry and body composition in Japanese junior high school students // *Journal of Physiological Anthropology*, 2013.32(1): 5. Электронный ресурс. URL: <http://jphysiolanthropol.biomedcentral.com/articles/10.1186/1880-6805-32-5>
7. Matiegka J. The testing of physical efficiency // *Am. J. Phys. Anthropology*, 1921. V. 4, № 3. P. 223–230.
8. Година Е.З., Задорожная Л.В., Пурунджан А.Л., Третьяк А.В., Хомякова И.А. Некоторые особенности состава тела у детей и методические проблемы его изучения // *Вопросы антропологии*, 2007. Вып.93. С. 18–37.
9. Чтецов В.П., Негашева М.А., Лапшина Н.Е. Изучение состава тела у взрослого населения: методические аспекты // *Вестник Московского университета. Серия XXIII. Антропология*, 2012. №2. С. 43–52.
10. Diaz E., Villar J., Immink M., Gonzales T. Bioimpedance or anthropometry? // *European Journal of Clinical Nutrition*, 1989, 43(2). P. 129–137.
11. Freedman D.S., Ogden C.L., Kit B.K. Interrelationships between BMI, skinfold thicknesses, percent body fat, and cardiovascular disease risk factors among U.S. children and adolescents // *BMC Pediatrics*, 2015. 15:188. Электронный ресурс. URL: <http://bmcpediatr.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12887-015-0493-6>
12. Бунак В.В. Антропометрия. М., 1941. 368 с.

© В.Ю. Бахолдина, К.Н. Благова, М.А. Самородова, Е.П. Титова, А.С. Шимановская, ( [vbaholdina@mail.ru](mailto:vbaholdina@mail.ru) ), Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»,

РЕКЛАМА

**ИХО**  
**Каллиграфия**  
**для всех**

ИХО ул. Баррикадная 15 тел: +7-902-311-16-46 94-00-06

# ЭКОФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ПЛАСТИЧНОСТЬ МИКРОМИЦЕТОВ РОДА TRICHODERMA В ЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЕ

## ECOLOGICAL CHARACTERISTIC OF A CONDITION OF POPULATIONS OF SOME RARE ORNAMENTAL PLANTS OF THE LIPETSK REGION

*T. Petrishcheva*

### Annotation

Autecologicheskyy characteristics of the micromycetes of the sort *Trichoderma* allocated from the chernozem and their sinekologicheskyy communications with components of ecosystems are studied: saprotrofy and phytopathogenic mushrooms and plants. Types, perspective for biotechnology as producers the tsellyuloliteskikh of enzymes and agents of biocontrol for bioremediation of the soil and fight against mushroom diseases without toxic action on plants are revealed.

**Keywords:** micromycetes, sinekologicheskyy communications, biological products, producers tsellyuloliteskikh of enzymes.

*Петрищева Татьяна Юрьевна*  
К.биол.н., Елецкий  
государственный университет  
им. И.А. Бунина

### Аннотация

Изучены аутэкологические характеристики выделенных из чернозема микромицетов рода *Trichoderma* и их синэкологические связи с компонентами экосистем: сапротрофными и фитопатогенными грибами и растениями. Выявлены виды, перспективные для биотехнологии в качестве продуцентов целлюлолитических ферментов и агентов биоконтроля для биоремедиации почвы и борьбы с грибными болезнями без токсического действия на растения.

### Ключевые слова:

Микромицеты, синэкологические связи, биопрепараты, продуценты целлюлолитических ферментов.

Несовершенные грибы рода *Trichoderma* – сапротрофы, широко распространенные в почвах разных природных зон. Виды *Trichoderma* используются в биотехнологии для получения ферментов (*T. reesei*, *T. longibrachiatum* – продуценты целлюлаз; *T. viride*, *T. hamatum* – протеаз и пектиназ; *T. viride*, *T. harzianum* – хитиназ и ?–1,3–глюканаз) [1]. Виды этого рода используют также в качестве агентов биоконтроля, на основе культуры *T. lignorum* производят биопрепарат триходермин – средство борьбы с грибными болезнями растений [2].

Механизм воздействия *Trichoderma* на фитопатогены не совсем ясен: одни авторы связывают его с конкуренцией и миколитическим действием за счет синтеза литических ферментов [3,4], другие – с гиперпаразитизмом вида [2], третьи – с антагонистическим действием за счет синтеза токсичных вторичных метаболитов (глиотоксина, виридина, триходермина) [5]. Остаются неясными взаимоотношения *Trichoderma* с другими компонентами микробного сообщества почвы (микромицетами, бактериями) и с растениями.

Целью работы являлось изучение аутэкологических характеристик и биологической активности выделенных нами из чернозема выщелоченного видов рода *Trichoderma*, возможности их использования в биотехнологии.

Объектами исследования были 5 видов рода *Trichoderma*, из которых *T. koningii* является часто встречающимся видом в целинном черноземе, *T. harzianum* – переходит в ранг часто встречающихся видов в агроэкосистемах, остальные виды являются случайными [1]. Микромицеты выращивали на агаризованной среде Чапека при разных значениях температуры и pH, с разными источниками углерода (сахароза, пептон, СМС–карбоксиметилцеллюлоза). Радиальную скорость роста колоний *V<sub>r</sub>* определяли по Билай [6].

Для изучения способности к биосинтезу внеклеточных гидролаз грибы выращивали 14 суток на жидкой среде Чапека с соответствующим источниками углерода. Биомассу определяли весовым методом. Ферментативную активность определяли в культуральной жидкости стандартными методами [1], рассчитывали удельную продукцию ферментов мицелием гриба (на единицу биомассы).

Фунгицидную активность видов определяли методом лунок [5,6], для чего фильтрат 14–суточных культур, выращенных на среде с сахарозой, вносили в лунку на агаризованной среде Чапека, засеянной тест–объектом. Измеряли радиус воздействия, которое проявлялось в виде стерильной зоны (ингибирование роста), морфогенетическими эффектами (снижение или отсутствие спороношения, синтез нехарактерных в контроле пигментов).

тов), либо в виде паразитизма (нарастание гриба на тест-объект).

В качестве тест-объектов использовали микромицеты, входящие в комплекс типичных для чернозема выщелоченного сапротрофных видов, а также широко распространенные в Черноземье фитопатогенные грибы, часть жизненного цикла которых проходит в почве.

Фитотоксические свойства микромицетов оценивали методом биотестов [6] тест-растение редис. Семена замачивали 2 часа в культуральной жидкости, оценивали всхожесть и рост корня и надземной части проростка.

Все виды *Trichoderma* являются ацидофилами, оптимум pH для роста составляет 4–5. Вид *T. album* оказался психрофильным, оптимальная температура роста составляет 15оС, остальные виды – мезофилы с оптимумом 30–35оС. Понятно, почему данный вид выделялся из почвы в основном весной и осенью.

Все исследованные виды *Trichoderma* являются гидролитиками, причем ферменты секретируют во внешнюю среду. Показано, что изменение ростовых параметров видов при смене источника углерода с сахарозы на полимерный субстрат хорошо соответствует их способности к биосинтезу соответствующих гидролаз (табл. 1). Так, виды, не снижающие или повышающие радиальную скорость роста  $V_r$  на пептоне, синтезируют протеазы (наиболее активно *T. harzianum*), на СМС – целлюлазы (*T. koningii*, *T. pseudokoningii*, *T. harzianum*). Однако по скорости роста вида не удается оценить соотношение компонентов ферментного комплекса.

Например, наилучшее соотношение эндоглюканаза/целлюбиаза полиферментного целлюлазного комплекса обнаружено у вида *T. pseudokoningii* (12 по сравнению с 48–80 для других видов). Активность внеклеточ-

ной эндоглюканазы (СМСазы) аборигенного вида *T. pseudokoningii* сравнима с продукцией лучших сложных мутантов *T. reesei* [1], а более сбалансированный ферментный препарат позволит резко повысить скорость ферментативного гидролиза целлюлозы за счет удаления целлобиозы – ингибитора эндоглюканазы. Это позволяет рекомендовать данный вид в качестве продуцента целлюлазного полиферментного препарата для получения концентрированных глюкозных сиропов. Пока в биотехнологии для этого используют мультиэнзимные препараты эндоглюканазы *T. reesei* и целлюбиазы *Aspergillus niger*.

Известно, что грибы рода *Trichoderma* синтезируют вторичные метаболиты с зоотоксическим действием [2]. Для того, чтобы прояснить роль этих веществ в системе почва–микробное сообщество–растения, нами были изучены фунгицидные и фитотоксические свойства видов.

Все виды рода *Trichoderma* проявляли фунгицидный эффект по отношению к ограниченному числу типичных для чернозема сапротрофных микромицетов: подавляли рост мицелия *Rhizopus stolonifer*, *Mucor hiemalis*, *Aspergillus ustus*, *A. wentii*, *Talaromyces flavus*; оказывали морфогенетическое действие с подавлением спороношения на *A. clavatus*, *A. ochraceus*, *Penicillium daleae*. Как установлено нами ранее, эти виды микромицетов накапливаются в старопашотных почвах и являются индикаторами микробного почвоутомления [7].

Внесение *Trichoderma* не вызывает длительных нарушений микробного сообщества [8], будет способствовать биоремедиации черноземов в агроэкосистемах.

По отношению к фитопатогенным грибам – возбудителям листостебельных инфекций *Cladosporium herbarum*, *Alternaria tenuis*, *Botrytis cinerea*, и возбудителям корневых гнилей *Bipolaris sorokiniana* и видам рода

Таблица 1.

Коэффициенты корреляции между длиной тела, массой тела и соматическими компонентами, оценёнными двумя методами.

Виды <i>Trichoderma</i>	Кг, мм/ч			Активность, ед/ г биомассы		
	сахароза	пептон	СМС	протеаза	СМСаза	целлюбиаза
<i>koningii</i>	0,6	0,7	1,1	2,9	240	3
<i>harzianum</i>	1,1	1,7	1,3		117	2
<i>viride</i>	1,4	1,4	1,9	3,3	190	4
<i>album</i>	0,5	0,7	0,2	0,3	35	1
<i>pseudokoningii</i>	0,7	0,8	1,0	4,9	410	36



Таблица 2.

Биологическая активность видов рода *Trichoderma*.

Виды <i>Trichoderma</i>	Фунгицидная активность, количество видов			Фитотоксическая активность, %		
	ингибирование		гипер парази- тизм	ингибирование		
	роста мицелия	споро- ношения		всхожести	роста корня	роста стебля
<i>koningii</i>	8	7	0	16	24	19
<i>harzianum</i>	14	3	4	2	+10	+4
<i>viride</i>	5	5	0	19	46	37
<i>album</i>	1	3	0	22	29	40
<i>pseudokoningii</i>	2	3	0	35	38	59

*Fusarium* наибольшую активность проявил вид *T. harzianum* (табл. 2). По-видимому, фунгицидные свойства этого вида определяются не только способностью к синтезу активных микотоксинов и протеаз (радиус стерильной зоны 15–25 мм), но проявляются и контактно в виде гиперпаразитизма – роста на мицелии ряда фитопатогенов (радиус зоны нарастания до 10 мм).

Виды рода *Trichoderma* различались по спектру токсического воздействия вторичных метаболитов: наиболее сильное фитотоксическое действие проявляли виды *T. viride* и *T. pseudokoningii*, а вид *T. harzianum* не только не подавлял, но и несколько стимулировал развитие тест-растения.

Именно этот аборигенный вид с выраженным фунги-

цидным и антибиотическим действием, но без фитотоксического эффекта перспективен как агент биоконтроля на черноземе.

Таким образом, на основании изучения аутоэкологических характеристик и синэкологических связей видов рода *Trichoderma* в системе почва–микробное сообщество–растения установлена экофизиологическая пластичность рода в Черноземной зоне.

Для биотехнологии предложен вид *T. pseudokoningii* в качестве продуцента активного и сбалансированного по составу комплекса целлюлолитических ферментов, и вид *T. harzianum* – в качестве агента биоконтроля для биоремедиации черноземов и борьбы с грибными заболеваниями растений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Свистова И.Д. Микромицеты чернозема – продуценты целлюлолитических ферментов. Воронеж: ВГУ, 2003. – 152 с.
2. Билай В.И. Основы общей микологии. – Киев: Выща школа. 1989. – 392 с.
3. Маркович Н.А., Кононова Г.Л. Литические ферменты *Trichoderma* и их роль при защите растений от грибных болезней // Прикл. биохим. и микробиол. 2003. Т. 39. № 4. С. 389–400.
4. Мирчинк Т.Г. Почвенная микология. – М.: МГУ, 1988. – 220 с.
5. Егоров Н.С. Основы учения об антибиотиках. – М.: МГУ. 1994. – 512 с.
6. Методы экспериментальной микологии. – Киев: Наукова думка, 1982. – 550 с.
7. Свистова И.Д., Щербак А.П., Фролова Л.О. Токсины микромицетов чернозема: спектр биологического действия и роль в формировании микробного сообщества чернозема // Почвоведение. 2004. №10. 1220–1227.

# ОБЗОР МИРОВОГО РЫНКА ПРИБОРОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ. ГАММА-ДЕФЕКТΟΣКОПИЯ

*Чепайкин Иван Алексеевич*  
НИЯУ МИФИ,  
г. Москва

## OVERVIEW OF THE GLOBAL MARKET OF NON-DESTRUCTIVE CONTROL DEVICES. GAMMA FLAW

*I. Chepaykin*

### Annotation

The article is devoted to analysis of the market gamma radiography – the method of non-destructive testing, the principle of operation is based on the exposure of the controlled object to the film as a result of exposure to gamma radiation. Presented and analyzed the table of recommended use cases non-destructive testing methods. It analyzes the global and Russian markets gamma radiography. Formulated market trends change gamma radiography in Russia and the action to be taken for the development of this market.

**Keywords:** nondestructive testing, gamma flaw, gamma radiography, NDT, radiation sources, defects in welds.

### Аннотация

Статья посвящена анализу рынка гамма-радиографии – методу неразрушающего контроля, принцип работы которого основан на экспонировании контролируемого объекта на пленку в результате воздействия гамма-излучения. Приведена и проанализирована таблица рекомендуемых сценариев использования методов неразрушающего контроля. Проанализирован глобальный и Российский рынки гамма-радиографии. Сформулированы тенденции изменения рынка гамма-радиографии в России и действия, которые необходимо предпринять для развития этого рынка.

### Ключевые слова:

Неразрушающий контроль, гамма-дефектоскоп, гамма-радиография, NDT, ИИИ, дефекты сварных швов.

## Введение

Надежности и долговечности таких ответственных объектов, как атомные и тепловые электростанции, электронные приборы и космические ракеты, надводные и подводные корабли, самолеты и вертолеты, тысячекилометровые магистральные трубопроводы, в значительной мере способствуют неразрушающие методы дефектоскопии, позволяющие осуществлять не только выборочный контроль, но и сплошную проверку серийной продукции.

### 1. Методы и приборы неразрушающего контроля (NDT-методы) промышленной продукции.

#### 1.1. Методы неразрушающего контроля (NDT-методы).

Промышленная дефектоскопия – это тестирование изделий на наличие дефектов, определение плотности/однородности материала с применением методов неразрушающего контроля (Non-Destructive Testing – NDT). Так, проверяют материалы (металлы, бетон, стекло, керамику), запчасти, сварочные швы.

*Различают следующие основные методы неразруша-*

### ющего контроля:

1. Радиография: при помощи рентген-излучения или гамма-излучения (Gamma-ray; с использованием гамма-излучающих источников ионизирующего излучения – изотопов Ir-192, Co-60, Se-75, Yb-169, Cs-137);
2. Ультразвуковой контроль;
3. Акустический контроль;
4. Магнитопорошковый контроль;
5. Капиллярный контроль проникающими веществами;
6. Вихретоковый контроль;
7. Визуальный контроль;
8. Другие специфические методы (например, метод ферромагнитного числа, гидростатического давления и др.).

### Краткое описание методов неразрушающего контроля [1]:

◆ Рентген-радиография (X-RAY) – дефектоскопия изделий при помощи двумерных рентген-снимков в стационарных условиях; в основном тестируют заводские продукты.

◆ Гамма-радиография – дефектоскопия изделий при помощи двумерных снимков в полевых условиях; в основном тестируют трубы и сварные швы нефтегазовой

и атомной отрасли.

◆ Ультразвуковой контроль – дефектоскопия материалов при помощи ультразвуковых волн (например, сплавов металлов, цемента, дерева, композитов).

◆ Магнитопорошковый контроль – выявление легких повреждений в изделиях из ферромагнитных материалов (с низкой проводимостью) путем намагничивания внешним полем.

◆ Капиллярный контроль – диагностика поверхностей всех непористых материалов.

◆ Визуальный контроль – плановый визуальный осмотр различного оборудования, труб на предмет работоспособности, с использованием оптических приборов или видеоаппаратуры.

◆ Вихретоковый контроль – определение дефектов в проводящих материалах методом электромагнитной

индукции.

◆ Метод ферромагнитного числа – определение наличия повреждений в изделиях из стали путем вычисления специального показателя, Ferrite Number.

◆ Контроль под гидростатическим давлением – Выявление утечки в трубах и других изделиях, путем заполнения изделия жидкими веществами.

### 1.2. Области применения NDT-методов.

В табл. 1. приведены рекомендуемые сценарии применения методов неразрушающего контроля [2].

Из таблицы №1 следует, что:

1. В случаях, когда дефект определяется в объеме, используется либо радиография, либо ультразвуко-

Таблица 1/1.

Рекомендуемые сценарии применения методов неразрушающего контроля.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

1 - все, или наиболее стандартные техники позволят найти дефект в практически любых условиях.

2 - одна или несколько стандартных техник позволят найти дефект при определённых условиях.

3 - Специальные техники, условия и/или квалификация персонала необходимы для нахождения дефекта.

Дефекты и методы неразрушающего контроля, наиболее пригодные для их выявления	Визуальный контроль	Капиллярный контроль	Магнитно-порошковый контроль	Вихретоковый контроль	Радиография	Ультразвуковой угловой	Ультразвуковой прямой	Акустический	Ультразвуковой толщиномерный
<b>Эксплуатационные дефекты:</b>									
Вызываемый трением износ (локальный)	1	2	2		1	2	2		2
Износ перегородки (диффузора) радиатора	1			2					
Трещины от усталости материала, дополненные коррозией	3	2	1		3	1		1	
Коррозия (щель)	1								3
Общая - однородная				3	2		2		1
Питинговая коррозия (в виде раковин)	1	1	3		1	3	3	2	3
Выборочная	1	1	3						3
Ползучесть металла (первичная)									
Эрозия (разъедание)	1				1	3	2		2
Трещины от усталости материала	3	1	1	2	2	1		1	
Разъедание (тюбинг радиатора)	2			2					2
Горячие трещины		2	2		2	3		2	
Деструктивная гидрогенизация		2	2		3	2		2	
Межкристаллические трещины (от внешнего воздействия и коррозии)						3			
Внутрикристаллические трещины (от внешнего воздействия и коррозии)	3	2	1	3	2	2		2	

Таблица 1/2.

Рекомендуемые сценарии применения методов неразрушающего контроля.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

1 - все, или наиболее стандартные техники позволят найти дефект в практически любых условиях.

2 - одна или несколько стандартных техник позволят найти дефект при определённых условиях.

3 - Специальные техники, условия и/или квалификация персонала необходимы для нахождения дефекта.

Дефекты и методы неразрушающего контроля, наиболее пригодные для их выявления	Визуальный контроль	Капиллярный контроль	Магнитно-порошковый контроль	Вихретоковый контроль	Радиография	Ультразвуковой угловой	Ультразвуковой прямой	Акустический	Ультразвуковой толщиномерный
<i>Сварочные дефекты:</i>									
Прожиги	1				1	2			3
Трещины	3	1	1	2	2	1	3	1	
Чрезмерное/несоответствующие уплотнение	1				1	2	3		3
Примеси (шлак, вольфрам...)					1	2	3	3	
Недостаточное сплавление	2				2	1	2	2	
Недостаточное проникание	2	1	1	2	1	1	2	2	
Неточное совмещение	1				1	2			
Нахлест	2	1	1	3		3			
Пористость	1	1	3		1	2	3	3	
Вогнутость	1				1	2	3	3	3
Поднутрение	1	2	2	3	1	2	3	3	
<i>Дефекты формы продукта:</i>									
Разрыв (ковка)	3	1	1	2	2	2	2	1	
Корольки (застывшие брызги металла) (литье)	3	1	1	3	1	2	2	3	
Трещины (все формы продукта)	3	1	1	2	2	2	3	1	
Горячая трещина (литье)	3	1	1	2	2	2	3	3	
Примеси (все формы продукта)			2	2	1	2	3	3	
Расслоение (пластины/трубы)	3	2	2			3	1	3	1
Напуск (ковка)	3	1	1	3	2		3	3	
Пористость (литье)	1	1	2		1	3	3	3	
Швы (арматурные трубы)	3	1	1	2	3	1	2	3	

вые/акустические методы.

2. Если дефект определяется на поверхности, то применяют методы визуального, капиллярного, магнитно-порошкового либо вихретокового контроля (в зависимости от целей анализа). Иногда совмещают методы, например, при исследовании износа изделия может подойти визуальный метод (поверхностный), а в случае более сложного анализа может потребоваться радиографический контроль. Коррозия лучше всего определяется магнитопорошковым и ультразвуковым методом.

3. Если рассматривать эксплуатационные дефекты, сварочные дефекты и дефекты формы продукта, то радиография наиболее актуальна при диагностике сварочных дефектов.

4. Радиография лучше других методов позволяет определить неточность совмещения, примеси, определенные виды коррозии и эрозии, прожиги и др.

Рентген-радиография позволяет получить более высокое качество анализа, по сравнению с гамма-радио-

графией, но рентген-оборудование значительно дороже и недостаточно мобильно (из-за больших габаритов и работы от электросети).

В случае необходимости радиографического исследования в стационарных условиях часто используется рентген-оборудование, в полевых – гамма-дефектоскопы. Основную конкуренцию гамма-дефектоскопам (в полевых условиях) составляют ультразвуковые/акустические методы контроля. Если допустим поверхностный анализ, то применяются такие методы, как визуальный, магнитопорошковый, вихретоковый, капиллярный методы контроля.

### 1.3. Радиографический метод (гамма-дефектоскопы).

Просвечивание материалов, изделий и конструкций гамма-излучением радиоактивных изотопов позволяет выявить в них скрытые пороки (нарушение сплошности или однородности), а также отклонения в форме и размерах деталей и механизмов, не доступных внешнему осмотру и непосредственному измерению.

В гамма-дефектоскопах используются закрытые источники излучения, представляющие собой радиоактивное вещество, заключенное в герметичную металлическую оболочку (ампулу), исключающую непосредственный контакт радиоактивного вещества с внешней средой.

Выявление дефектов при этом основано на различном ослаблении излучения, проходящего через бездефектные участки просвечиваемого объекта и участки, имеющие дефекты, например, раковины, поры, посторонние включения и т.п. Излучение, прошедшее через такие участки, имеет, таким образом, теневое изображение скрытого строения контролируемого объекта.

Радиографическому контролю подвергаются изделия с различной технологией изготовления (литые, сварные, паянные, кованые, прессованные, штампованные, клепанные и др.) для определения в них возможных пороков в виде раковин и участков, плотность или химический состав которых отличны от плотности или химического состава основного материала.

Для просвечивания промышленных изделий гамма-излучением радиоактивных изотопов применяются специальные аппараты, которые называются гамма-дефектоскопами. Гамма-дефектоскоп, в общем случае, представляет собой радиационно-защитное устройство с источником гамма-излучения, системой управления выпуском и перекрытием пучка излучения, системой сигнализации о положении источника и затвора и средствами ориентации пучка излучения относительно объекта контроля. В комплект гамма-дефектоскопа входят, также,

вспомогательное оборудование и принадлежности (транспортные тележки, штативы для крепления радиационной головки, контейнеры для безопасного транспортирования и перезарядки источников излучения и др.)

*Выпускают гамма-дефектоскопы двух видов:*

- ◆ Гамма-дефектоскопы универсальные, шлангового типа. В них источник излучения подается к месту контроля по шлангу-ампулопроводу.
- ◆ Гамма-дефектоскопы, предназначенные для фронтального и панорамного просвечивания (ампула не выходит за пределы радиационной головки).

В аппаратах шлангового типа пучок излучения формируется с помощью сменных коллимирующих головок. Защитные блоки радиационных головок, контейнеры и коллиматоры гамма-дефектоскопов изготавливают из свинца, сплавов на основе вольфрама, обедненного урана или их комбинаций [3].

Гамма-дефектоскопы для контроля качества промышленных изделий позволяют достичь необходимые характеристики выпускаемой продукции, повысить надежность работы деталей, механизмов, конструкций и установок, предотвратить возможность возникновения аварий, сократить брак и тем самым расход материалов путем корректировки технологических процессов на основе результатов просвечивания.

Многие гамма-дефектоскопы полностью автономны, т.е. не требуют подведения энергии извне, что обеспечивает их успешное использование при отсутствии электроэнергии, например, в полевых и монтажных условиях, при ремонтно-восстановительных работах.

Благодаря своей компактности гамма-дефектоскоп позволяет проникать в такие труднодоступные места, как корабельные отсеки с узкими лазами, междудонное пространство корпуса корабля, сложные переплетения трубопроводов и т.п.

По своей простоте в использовании, гамма-дефектоскопы значительно превосходят аппаратуру, применяемую при других методах неразрушающего контроля.

*Гамма-дефектоскопы должны изготавливаться трех классов:*

Р – переносные гамма-дефектоскопы, общая масса рабочих блоков которых не превышает 30 кг;

М – передвижные гамма-дефектоскопы, помещенные на колесах, тележке и т.п., передвижение которых по ровной горизонтальной поверхности требует усилия не более 300 Н (33 кгс);

Ф – стационарные гамма-дефектоскопы, прочно установленные или имеющие ограниченные возможности

движения при применении усилия более 300 Н (33 кгс) [4].

Основной частью гамма-дефектоскопа является радиационная головка, в которой находится источник гамма-излучения. Чаще всего радиационная головка, экранирующая излучение источника, выполнена или из обедненного урана, или из вольфрама, то есть, из материалов с максимальным поглощением гамма-излучения.

## 2. Объем и структура мирового рынка приборов и услуг неразрушающего контроля.

### 2.1. Мировой рынок гамма-дефектоскопов.

Дополнительным толчком к росту рынка послужил переход на новые, более многофункциональные и дорогие приборы, в том числе гамма-дефектоскопы. По мнению многих экспертов, ультразвуковые методы неразрушающего контроля могли бы заменить 50% современной гамма-радиографии, еще 25% можно заменить современными рентген-методами неразрушающего контроля [2]. К сдерживающим факторам можно отнести нехватку кадров, обученных технологически сложным методам неразрушающего контроля, и высокая стоимость таковых. Цены на гамма-дефектоскопы начинаются от 15 тысяч долларов без учета транспортных расходов и без учета стоимости источника ионизирующего излучения.

Прогноз соотношения оборота от продажи всего оборудования для неразрушающего контроля к обороту от продажи радиографического оборудования, в т.ч. и рентген оборудования [5] на 2020 год представлен на (рис. 1).

Соотношение оборота от продажи всего оборудования для неразрушающего контроля к обороту от продажи радиографического оборудования. Прогноз на 2020 г.

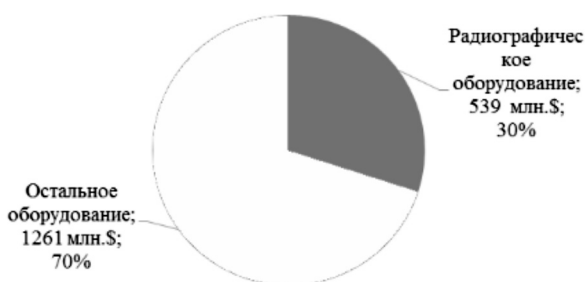


Рисунок 1. Соотношение оборота от продажи всего оборудования для неразрушающего контроля к обороту от продажи радиографического оборудования. Прогноз на 2020 г.

Таким образом, если рассматривать обороты от реализации оборудования неразрушающего контроля, то приборы для радиографии занимают около 30% рынка,

причем в этом сегменте явный перевес в сторону рентген-оборудования (в стоимостном выражении). На данный момент, мировой объем продаж гамма-дефектоскопов и комплектующих не превышает 75 миллионов долларов (около 14% от продаж другого радиографического оборудования).

### 2.2. Компании производители гамма-дефектоскопов.

Непосредственно на рынке гамма-дефектоскопов, кроме российских производителей (ЗАО ЭМИ, НИИТФА) существуют, как минимум, 7 производителей гамма-дефектоскопов (QSA, SPEC, INC, NTP, BRIT, DDYG, KBFI-UNIO Ltd).

Список компаний производителей гамма-дефектоскопов представлен ниже:

1. ЗАО "ЭМИ" <http://www.jscemi.ru/>
2. АО "НИИТФА" <http://www.niitfa.ru/>
3. Dandong Yangguang Instrument Co., Ltd (DDYG) <http://www.ddyg.com/en/product/>
4. Source Production & Equipment Company Inc. (SPEC) <http://www.spec150.com/>
5. QSA-GLOBAL <http://www.qsa-global.com/>
6. Board of Radiation & Isotope Technology (BRIT) <http://www.britatom.gov.in/>
7. INDUSTRIAL NUCLEAR COMPANY (INC) <http://www.ir100.com/>
8. NTP Radioisotopes SOC Ltd <http://www.ntp.co.za/>
9. KBFI-UNIO Ltd. <http://www.kbfiunio.hu/en/>

Лидером является компания QSA-GLOBAL, занимая порядка 45-50% мирового рынка производства гамма-дефектоскопов.

### 2.3. Рынок гамма-дефектоскопов в России. Тенденции изменения рынка.

В России в эксплуатации находятся от 500 до 600 гамма-дефектоскопов. Ситуация такова, что более 80% гамма-дефектоскопов работают только благодаря продлению срока службы (рис. 2).

Это, в основном, гамма-дефектоскопы, выпущенные на заводе "Балтиец" (г. Нарва) до 1991 года. Наиболее популярная модель гамма-дефектоскопа, эксплуатируемая на данный момент – "Гаммарид-192/120". Средний возраст гамма-дефектоскопов в России 20 лет, в то время как рекомендуемый срок службы максимум 15 лет. В связи с чем, совсем скоро эксплуатирующие организации начнут передавать на утилизацию гамма-дефектоскопы, продление срока эксплуатации которых более не представляется возможным, и, или покупать новые гамма-дефектоскопы, или переходить на другие методы неразрушающего контроля.

Соотношение современных гамма-дефектоскопов к устаревшим в РФ.

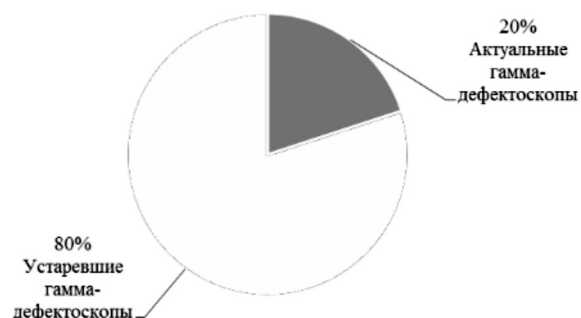


Рисунок 2. Соотношение современных гамма-дефектоскопов к устаревшим в РФ.

Российский рынок гамма-дефектоскопов представлен множеством моделей, обладающими характеристиками, позволяющими выбрать модель под любые задачи и условия работы.

Наиболее актуальные производимые модели гамма-дефектоскопов российского производства и их характеристики представлены в табл. 2.

Из этого списка лишь 2 модели не содержат в себе обедненный уран, а это значит, что их можно транспортировать и приобретать без лицензии, при условии, что транспортировка и покупка/продажа не включает в себя источник ионизирующего излучения. Обе эти модели отличаются компактностью, а также малым диапазоном толщин контролируемого металла (сталь), что может подойти не всем. Немаловажным является тот факт, что транспортировать гамма-дефектоскоп можно любым типом транспорта. Стоимость услуг спецавтотранспорта зависят от расстояния, и в России, учитывая расстояния между Москвой, где находятся оба производителя гамма-дефектоскопов, и заказчиками, могут достигать сотни тысяч рублей. Обе эти модели отличаются компактностью, а также малым диапазоном толщин контролируемого металла (сталь).

**Заключение**

Надежность оборудования находится в тесной зависимости от вопросов оптимизации конструктивно-технологических решений и совершенствования методов и средств неразрушающего контроля, одним из которых является радиографический. Радиографический метод контроля реализуется комплексом средств контроля в виде параметрического ряда гамма-дефектоскопической аппаратуры, который отличают: мобильность, надежность, радиационная безопасность, адаптированность к

Таблица 2.

Наиболее актуальные производимые модели гамма-дефектоскопов российского производства.

Модель гамма-дефектоскопа	ИИИ основе радионуклида	Диапазон толщин металла (сталь), мм.	Масса РГ, кг.	Материал биологической защиты
"РИД-Se 4P"	Se-75 (до 120 Ки)	3-30	7	Обедненный уран
"RID-Se4UM P" (Exertus Light)	Se-75 (до 120 Ки)	3-30	6	Обедненный уран
"RID-Se4WM P" (Exertus Light W)	Se-75 (до 120 Ки)	3-30	8	Вольфрам
"Exertus Dual 120"	Ir-192 (до 160 Ки) Se-75 (до 100 Ки)	3-70	22	Обедненный уран
"Exertus Vox 100"	Co-60 (до 100 Ки)	30-200	185	Обедненный уран
"RID - Co/400" (Exertus Vox 400)	Co-60 (до 400 Ки)	30-200	320	Обедненный уран
"Exertus Selen Circa 100"	Se-75 (до 100 Ки)	3-30	9	Вольфрам
"Гаммарид 2010P"	Ir-192 (до 150 Ки) Se-75 (до 200 Ки)	5-60	20	Обедненный уран
"УНИГАМ P"	Ir-192 (до 300 Ки) Se-75 (до 200 Ки)	5-70	20	Обедненный уран и вольфрам
"Стапель 5Se75Ir192" еИ1.570.243	Ir-192 (до 5 Ки) Se-75 (до 80 Ки)	5-80	11	Обедненный уран
"Стапель 5Se75Ir192" еИ1.570.243 - 02	Ir-192 (до 25 Ки) Se-75 (до 120 Ки)	5-80	15	Обедненный уран

широкому климатическому диапазону, простота в эксплуатации и возможность контроля изделий с большими радиационными толщинами (например, по стали: Se–75 до 40мм, Ir–192 до 80мм, Co–60 до 200 мм).

Для успешной конкуренции на мировом рынке гамма-дефектоскопической аппаратуры отечественным производителям, с одной стороны, необходимо добиваться снижения стоимости аппаратуры и ИИИ за счет увеличения количества производимых аппаратов, с другой стороны стремиться к уменьшению влияния человеческого фактора на результаты контроля благодаря автоматизации процессов собственно контроля и оформления его результатов. Кроме того представляется немаловажным фактором успешной конкуренции на мировом рынке метрологическая аттестация гамма-дефектоскопической аппаратуры [6]. Также необходимо развивать рынок услуг по проведению неразрушающего контроля, с использо-

ванием гамма-дефектоскопов. Судостроительные компании, компании нефтегазового комплекса и предприятия атомной отрасли во многом не могут отказаться от использования гамма-дефектоскопов, ввиду специфики их деятельности и уникальности данного метода неразрушающего контроля.

Препятствием на пути развития гамма-дефектоскопии является необходимость получения лицензий, обучения специалистов, и множество других вопросов, решение которых требует много ресурсов. Так как большинство гамма-дефектоскопов содержит в себе обедненный уран, продавать и оказывать услуги по гамма-дефектоскопии могут только компании, имеющие на это лицензию. Рынок неразрушающего контроля ежегодно растет, необходимо развивать его и на территории России, ведь от этого зависит надежность оборудования, в отношении которого проводится неразрушающий контроль.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. ГУП "Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора в России" "Система неразрушающего контроля. Виды (методы) и технология неразрушающего контроля. Термины и определения". Справочное пособие. М., 2003.
2. Radiation Source Use and Replacement: Abbreviated Version [Электронный ресурс] // Committee on Radiation Source Use and Replacement; Nuclear and Radiation Studies Board; Division on Earth and Life Studies; National Research Council. 2008. URL: <http://www.nap.edu/read/11976/chapter/11>.
3. Гамма-дефектоскоп [Электронный ресурс] // URL: [www.weldzone.info/technology/control/607-gamma-defektoskop](http://www.weldzone.info/technology/control/607-gamma-defektoskop).
4. ИПК издательство стандартов "Гамма-дефектоскопы. Общие технические условия (с Изменениями N 1, 2)". ГОСТ 23764-79. М., 1979.
5. Industrial Radiography Market worth 539.0 Million USD by 2020 [Электронный ресурс] // [marketsandmarkets.com](http://marketsandmarkets.com). 2016. URL: <http://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/industrial-radiography.asp>
6. Разработка и совершенствование методов неразрушающего контроля конструкций тепловых двигателей [Электронный ресурс] // Вэй Дунбо. М., 2004. URL: <http://www.dissercat.com/content/razrabotka-i-sovershenstvovanie-metodov-nerazrushayushchego-kontrolya-konstruktsii-teplovyykh>

© И.А. Чепайкин, (ivan.chepaikin@gmail.com), Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики».





# АНАЛИЗ УРОВНЕЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ РАДИОСРЕДСТВ СОТОВЫХ СЕТЕЙ И ИХ СООТВЕТСТВИЯ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫМ УРОВНЯМ И НОРМАМ

## ANALYSIS OF THE LEVELS OF ELECTROMAGNETIC RADIATION OF RADIO CELLULAR NETWORKS AND THEIR COMPLIANCE WITH LIMIT VALUES AND NORMS

*N. Grachev  
S. Safonov*

### Annotation

We consider the categories of persons exposed to radiation fields produced with radio cellular networks. A comparison of the permissible levels of radiation contained in national and international regulations. Calculated fluence in four points near the typical cellular base station.

**Keywords:** cellular networks, electromagnetic security, electromagnetic radiation, the maximum permissible radiation levels.

*Грачев Николай Николаевич  
К.т.н., профессор, Национальный  
исследовательский университет  
"Высшая школа экономики"  
Сафонов Сергей Николаевич  
Ст. преподаватель, Национальный  
исследовательский университет  
"Высшая школа экономики"*

### Аннотация

Рассмотрены категории лиц, подвергающихся облучению полями, создаваемыми радиосредствами сотовых сетей. Проведено сравнение допустимых уровней излучений, содержащихся в отечественных и зарубежных нормативных документах. Рассчитаны плотности потока энергии в четырех типичных точках вблизи базовой станции сотовой связи.

### Ключевые слова:

Сотовые сети, электромагнитная безопасность, электромагнитные излучения, предельно допустимые уровни излучения.

**П**роблема защиты человечества от действия электромагнитных излучений (ЭМИ) в настоящее время приобретает все более важное значение, так как число источников ЭМИ растет, возрастают их мощности. В частности, растет использование электронных средств (компьютеров, телевизионных приемников, радиотелефонов, оргтехники, бытовых приборов и т.п.), пропорционально растет и число людей, у которых появились проблемы со здоровьем, связанные с воздействием электромагнитных излучений. Вот почему возникла необходимость постановки и решения одной из актуальных задач – защиты человечества от электромагнитных воздействий. Появился даже термин "электромагнитное загрязнение", который сейчас применяют многие специалисты, считая его своевременным и точно отражающим электромагнитную обстановку [1, 2].

В отличие от других факторов окружающей среды, "электромагнетизм" используется в производстве и быту, и его невозможно пока заменить на что-либо другое, менее вредное. И поскольку ЭМИ сопутствуют повседневно и везде в нашей жизни, то вполне правомочна постановка вопроса об обеспечении электромагнитных условий

жизни и деятельности человека. Большая часть населения (жители промышленных центров, городов) фактически живет в весьма сложном электромагнитном поле, интенсивность которого на несколько порядков превосходит уровень естественного поля и резко отличается по своим характеристикам от полей естественного происхождения.

Электромагнитное загрязнение переходит в разряд глобальных проблем, стоящих перед человечеством.

Бурное развитие сотовых систем связи сопряжено с облучением пользователей небезвредным электромагнитным полем. Проблема электромагнитной безопасности технических средств систем подвижной связи изучена слабо. Если экологической чистоте компьютеров по электромагнитному фактору уделяется должное внимание, как за рубежом, так и в нашей стране (разработаны соответствующие ГОСТы, нормативы, ведутся дальнейшие исследования), то над повышением безопасности радиотелефонов работают лишь разработчики оборудования стандарта GSM, но до сих пор проблема остается нерешенной.

В подавляющем большинстве случаев не только пользователи радиотелефонов, но и сами операторы сетевых сетей не имеют полного представления о степени опасности эксплуатируемых радиосредств, хотя данный вопрос волнует как тех, так и других.

Необходимо соблюдать осторожность при выборе тех или иных типов радиостанций и радиотелефонов, чтобы быть уверенным в безопасности их эксплуатации, которая определяется предельно допустимыми уровнями (ПДУ) плотности потока энергии (ППЭ) электромагнитного поля (ЭМП).

Сеть сотовой связи состоит из прилегающих друг к другу радиоячеек, вместе обеспечивающих полный охват зоны обслуживания. В каждой ячейке имеется базовая приемопередающая станция (БС), работающая со специальной группой радиоканалов, которые отличаются от каналов соседних ячеек. Группой БС управляет контроллер БС, в функции которого входит управление их мощностью и контроль за передачей обслуживания абонента при его перемещении из одной ячейки в другую. Группу контроллеров БС обслуживает узел коммутации сообщений службы подвижной связи, который осуществляет соединения с телефонной сетью общего пользования, цифровой сетью с интеграцией служб, сетью передачи данных общего пользования и, возможно, различными частными сетями.

В состав сотовых систем входят также подвижные объекты со своими мобильными станциями (МС). По радиоканалу все МС соединяются с БС, которые содержат приемники, передатчики и блоки управления для связи с контроллерами БС. Таким образом, одна из основных функций БС – сопряжение стационарной части сотовой системы с МС подвижных объектов.

В зависимости от размера соты мощность БС составляет обычно 30...100 Вт. Максимальная мощность МС зависит от "класса" используемых средств передвижения, на которых установлена станция. Например, для стандарта GSM предусматривают 5 классов: автомобильные или портативные МС мощностью 20 Вт; автомобильные или портативные МС мощностью 8 Вт; карманные МС мощностью 5 Вт, 2 Вт и 0,8 Вт.

Облучению ЭМП, создаваемым антеннами перечисленных станций, подвергаются различные категории лиц. Среди них можно выделить три группы: лица, связанные с источниками ЭМП по долгу службы (персонал БС, работники антенных служб, полиции, пожарной охраны и др.); население, проживающее в районах размещения БС; пользователи радиотелефонов в производственных и бытовых условиях. В соответствии со сложившейся практикой нормирования уровней ЭМП допустимые уровни для первой группы лиц (профессиональное облучение)

регламентируются в соответствии с ГОСТ 12.1.006–84 [3], для второй группы (население, подвергающееся практически круглосуточному воздействию) – в соответствии с СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383–03 [4], что не противоречит действующим сегодня в России нормативным документам.

Использовать требования [3, 4] для третьей группы лиц не представляется возможным, так как они профессионально не связаны с источниками ЭМП и пользуются МС, на которые не распространяются требования [4]. В связи с этим для данной категории лиц были разработаны специальные требования, регламентирующие уровни ЭМП, создаваемые антеннами базовых станций на территориях жилой застройки, внутри жилых, общественных и производственных помещений [5]. Этот же документ регламентирует временные допустимые уровни воздействия на человека ЭМП, создаваемых подвижными станциями сухопутной радиосвязи непосредственно у головы пользователя.

Эти требования учитывают следующие особенности взаимодействия ЭМП с организмом человека: антенны радиотелефонов располагаются в непосредственной близости от пользователя; облучению подвергаются ограниченные участки тела, как правило, верхняя часть туловища и голова; облучение ЭМП непрерывного режима генерации носит характер нерегулярно повторяющихся сеансов, чаще, небольшой продолжительности, разделенных более или менее длительными паузами.

Специалистами НИИ медицины труда РАМН были проведены работы по определению степени биологического действия ЭМП на живой организм. В эксперименте было изучено влияние данного фактора на наиболее чувствительные к радиоизлучениям системы организма (центральная нервная, иммунная, симпато-адреналовая), а также на рост, развитие и др.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что эффекты воздействий с ППЭ ниже 500 мкВт/см<sup>2</sup> не обладают признаками вредного воздействия. Уровень 250 мкВт/см<sup>2</sup> при ежедневном воздействии на протяжении 3–х месяцев может рассматриваться в качестве порога биологического действия. Поскольку при регламентации ЭМП для пользователей радиотелефонов речь идет о непрофессиональном воздействии, принято целесообразным для обоснования ПДУ исходить именно из уровня 250 мкВт/см<sup>2</sup>. При экстраполяции экспериментальных данных на человека были учтены различия в поглощении электромагнитной энергии и в продолжительности воздействия этого фактора. Различия в поглощении энергии мелкими лабораторными животными и человеком в диапазоне 800...1000 МГц составляют примерно 14...15 раз, т.е. эквивалентное поглощение энергии имеет место, когда ППЭ составляет 250 мкВт/см<sup>2</sup> для мышей и 3750

мкВт/см<sup>2</sup> для человека.

Если принять в качестве возможного срока облучения человека период в 50 лет, то коэффициент экстраполяции по продолжительности воздействия составит 7,5. И, наконец, поскольку норматив устанавливается исходя из порога биологического действия (а не вредного воздействия), представляется достаточным принять коэффициент гигиенического запаса, равный 5.

Таким образом, в качестве ПДУ воздействия для пользователей МС предлагается уровень 100 мкВт/см<sup>2</sup> [пду = (250 15)/(5 7,5)].

По данным социологической службы "Мониторинг", 36% москвичей тратят на телефонные разговоры до 15 минут в день, 28% – около 30 минут, 20% – около часа. Таким образом, почти 85% населения разговаривает по телефону менее 1 часа в день. Поскольку время воздействия в течение дня абсолютного большинства пользователей не превышает 1 часа, получаемая в итоге энергетическая нагрузка (100 мкВт× ч/см<sup>2</sup>) на организм оказывается меньше, чем допускаемые [1] и [2] (200 и 240 мкВт× ч/см<sup>2</sup>).

Результатом проведенных исследовательских работ стал нормативный документ СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190-03 "Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной радиосвязи" [5].

Согласно этому документу воздействие ЭМП сотовых систем связи подразделяется на профессиональное и непрофессиональное. Профессиональному воздей-

ствию, как было отмечено выше, подвергается первая группа лиц, непрофессиональному – две другие. Для оценки воздействия на персонал, обслуживающий оборудование базовых станций (первая группа лиц) энергетическая экспозиция ЭЭ<sub>ППЭ пду</sub> в диапазоне частот от 300 МГц до 2400 МГц рассчитывается по формуле

$$ЭЭ_{ППЭ пду} = ППЭ \cdot T,$$

где

ППЭ – плотность потока энергии, мкВт/см<sup>2</sup>;

T – время воздействия, ч.

ПДУ воздействия ЭМП базовых станций на рабочих местах персонала составляет 200 мкВт× ч/см<sup>2</sup>.

Для населения, подвергающегося облучению антеннами БС, ПДУ ЭМП установлен 10 мкВт/см<sup>2</sup>.

Для пользователей, подвергающихся облучению МС, временные допустимые уровни ППЭ ЭМП составляют 100 мкВт/см<sup>2</sup>.

Исходя из результатов проведенного моделирования уровней ЭМП, создаваемого МС, было сделано заключение о том, что среди карманных МС требованиям разрабатываемого гигиенического норматива удовлетворяют станции мощностью 0,8 Вт. Допустимо применение станций мощностью до 1 Вт.

В таблице для сравнения приведены данные из национальных стандартов ряда стран и рекомендаций международных организаций. Нетрудно заметить, что требования норматива РФ – более жесткие, по сравнению с национальными зарубежными стандартами и международными рекомендациями.

Таблица 1.

Данные из национальных стандартов ряда стран и рекомендаций международных организаций.

Страна, организация	Область распространения нормативного документа	Частотный диапазон, МГц	ПДУ воздействия, мкВт/см <sup>2</sup>	Время усреднения, мин
РФ, СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190-03	пользователи радиотелефонов	400...1200	100	-
США, стандарт ANSY C.95.1-91	неконтролируемые условия	300...300000	200...2000	30
Германия	персонал и население	30...3000	2500	6
Всемирная организация здравоохранения, рекомендации IRPA/INIRC*	население	400...2000	200...1000	6
CENELEK** (проект стандарта)	неконтролируемые условия	400...2000	200...1000	6

Примечание

\* INIRC – Международный комитет по защите от ионизирующих излучений; \*\* CENELEK – Европейский комитет по электромагнитной стандартизации.

Таким образом, введенные в Российской Федерации требования по ПДУ ППЭ ЭМП для пользователей радиотелефонов значительно жестче, чем требования ряда национальных стандартов и международных рекомендаций. Для карманных радиотелефонов наиболее приемлем уровень мощности 0,8 Вт.

Первый в мировой практике нормативный документ ГН 2.1.8/2.2.4.019–94 "Гигиенические нормативы. Временные допустимые уровни воздействия электромагнитных излучений, создаваемых системами сотовой радиосвязи" получил развитие в действующем документе СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190–03.

Основными элементами системы сотовой связи являются базовые станции (БС), которые поддерживают радиосвязь с мобильными радиотелефонами (МРТ). Базовые станции БС и МРТ являются источниками электромагнитного излучения в УВЧ-диапазоне. Базовые станции поддерживают связь с находящимися в их зоне действия мобильными радиотелефонами и работают в режиме приема и передачи сигнала. В зависимости от стандарта, БС излучают электромагнитную энергию в диапазоне частот от 463 МГц до 1880 МГц.

Антенны БС устанавливаются на высоте от 15 до 100 метров от поверхности земли на уже существующих постройках (общественных, служебных, производственных и жилых зданиях, дымовых трубах промышленных предприятий и т.д.) или на специально сооруженных мачтах. К выбору места размещения антенн БС с точки зрения санитарно-гигиенического надзора не предъявляется никаких иных требований, кроме соответствия интенсивности электромагнитного излучения предельно допустимым уровням, установленным действующими Санитарными правилами и нормами [5], согласно которым для базовых станций (БС) систем сотовой связи (ССС) нормируются два значения плотности потока энергии (ППЭ) – ППЭ<sub>1</sub> для воздействия на производственный персонал и ППЭ<sub>2</sub> для воздействия на население. Уровень ППЭ<sub>1</sub> определяется как  $ППЭ_1 = 200/T$ , мкВт/см<sup>2</sup>; где T – время воздействия ЭМИ, ч. При 8-часовом рабочем дне  $ППЭ_1 = 25$  мкВт/см<sup>2</sup>. Для населения  $ППЭ_2 = 10$  мкВт/см<sup>2</sup>.

Схема расположения излучателя А БС ССС и типичных точек измерения ППЭ в зоне обслуживания  $M_1...M_4$  показана на рис.1. Точка  $M_1$  на высоте  $h_1 = 2$  м соответствует границе R1 санитарно-защитной зоны, определяемой согласно [6]. Точка  $M_2$  на высоте  $h_2$  представляет интерес в случае нахождения уровней ППЭ<sub>2</sub> для жителей близлежащих домов. Точка  $M_3$  соответствует зоне ограничения застройки на высоте  $h_3$ , соизмеримой с высотой  $H_A$  расположения излучателя А над поверхностью почвы [6]. Наконец, точка  $M_4$  на высоте  $h_4 \sim H_A$  рассматривается, если определяют уровни ППЭ<sub>1</sub> для производственного персонала. Из рис. 1 следует, что при известных  $H_A, h_i,$

$R_i$ , где  $i$  – номер точки [3, 6], легко вычислить расстояние  $r$ , необходимое для определения уровня ППЭ в любой точке  $M$ :

$$ППЭ = (30 \cdot P_A \cdot G_A \cdot \eta_{\Phi} \cdot k_{\Gamma}^2 / r^2 \cdot Z_C) \cdot F^2(\Delta, \varphi), \quad (1)$$

где

$P_A$  – мощность сигнала, излучаемого А;  $G_A$  – коэффициент усиления А относительно изотропного излучателя;  $\eta_{\Phi}$  – КПД антенно-фидерного тракта;  $k_{\Gamma}$  – интерференционный множитель, учитывающий влияние подстилающей поверхности;  $Z_C$  – волновое сопротивление окружающей среды;  $F^2(\Delta, \varphi)$  – значение характеристики направленности А по ППЭ для точки М с угловыми координатами  $\Delta, \varphi$  в системе сферических координат с центром, совмещенным с серединой А.

Для типовых станций BTS-902F стандарта GSM  $P_A = 20$  Вт;  $G_A = 65$  (для антенны ETEL) и  $G_A = 13$  (для штыревой антенны);  $\eta_{\Phi} = 0,25$ ; кроме того,  $k_{\Gamma} = 1,15...1,3$  (принимается равным 1,2);  $Z_C = 377$  Ом (для свободного пространства). Тогда, допуская, что максимальный уровень бокового излучения А (с учетом затенения и взаимного влияния излучателей) не превышает – 30 дБ, получаем из (1) координату зоны ограничения застройки на высоте  $h_3 = H_A$

$$R_0 = (30 \cdot P_A \cdot G_A \cdot \eta_{\Phi} / ППЭ_2 \cdot Z_C)^{1/2} \cdot k_{\Gamma} = 19,3 \text{ м и } 8,6 \text{ м,}$$

соответственно для антенны ETEL и штыревой антенны. Санитарно-защитная зона на высоте  $h_1 = 2$  м в этом случае отсутствует: ограничение по R начинается с высоты

$$h_m = H_A - (30 \cdot P_A \cdot G_A \cdot \eta_{\Phi} / ППЭ_2 \cdot Z_C)^{1/2} \cdot k_{\Gamma} \cdot F_m \sim H_A,$$

поскольку с учетом изложенного уровень бокового излучения А составляет  $F_m \ll 1$ .

Приведенные оценки, согласно [6], носят завышенный характер, что подтверждается результатами измерения реальных уровней ППЭ действующих станций сети GSM. Так, например, разница в ППЭ в точке  $M_4$  (на крыше высотного здания), в холле первого этажа и около подъезда (точка  $M_1$ ) составляет для разных объектов не менее 40...60 дБ (для расчетов принимали равной 30 дБ). Поэтому отсутствие санитарно-защитной зоны на высоте  $h_1 = 2$  м для БС стандарта GSM в реальных условиях можно считать достоверно установленным фактом.

Представляет интерес сравнительный анализ безопасности излучателей ССС разных стандартов, размещенных на одном и том же объекте (точки  $M_4, M_2$  и  $M_3$  на рис. 1).

Результаты измерения уровней ППЭ для излучателей ССС стандартов GSM и AMPS, а также системы подвижной связи "Волемот", размещенных на крыше здания телеграфа в Самаре, показывают, что в непосредственной близости от А (точка  $M_4$ ) наименьший; средний уровень ППЭ по всей площади крыши дают излучающие средства GSM (на 16,5 дБ меньше по сравнению с AMPS и на 26,8

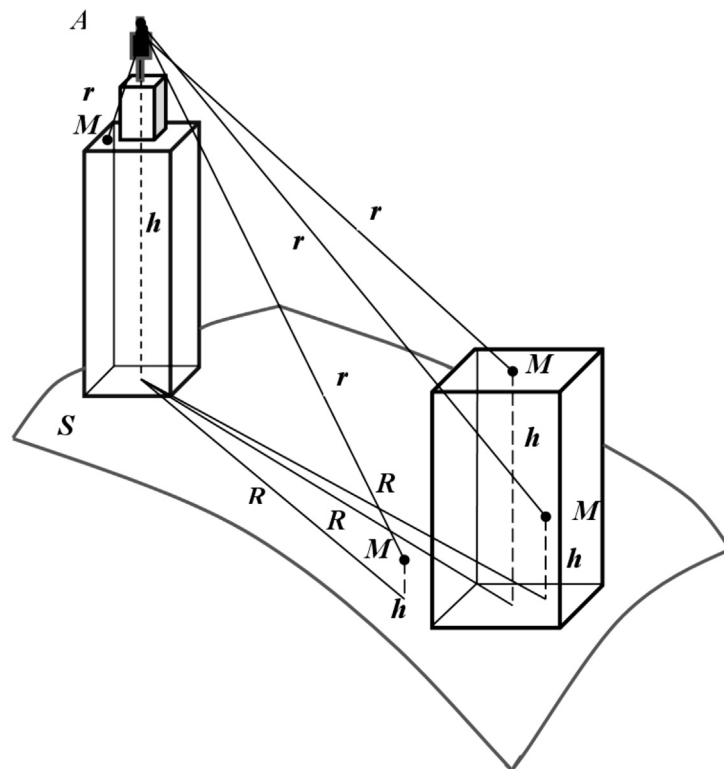


Рисунок 1. Схема расположения излучателя А БС ССС и типичных точек измерения ППЭ в зоне обслуживания  $M_1...M_4$

дБ меньше по сравнению с "Волемот"). Причем излучатели системы "Волемот" создают в пределах крыши уровень ППЭ  $< 2,5 \text{ мкВт/см}^2$ , т.е. все БС как порознь, так и в совокупности, создают ЭМИ, не превышающее предельно-допустимых значений [5].

На прилегающей части территории города (точки  $M_2$  и  $M_3$ ) излучатели GSM создают ППЭ в среднем на 4,5 дБ меньше по сравнению с AMPS и на 27 дБ меньше по сравнению с "Волемот". Другими словами, наибольшая

безопасность БС GSM достигается не только при наименьшем уровне излученной мощности PA, но при использовании антенн наиболее рациональной конструкции (например, ETEL-0,5), которые концентрируют ЭМИ в направлении зоны обслуживания и ослабляют его уровни в близлежащем пространстве. Заметим, что в рассмотренном случае для всех излучателей  $\text{ППЭ} \ll \text{ППЭ}_2$ , поэтому обследованный объект можно считать безопасным по фактору ЭМИ как для персонала, так и для населения города.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Авраамов Ю.С., Грачев Н.Н., Шляпин А.Д. Защита человека от электромагнитных воздействий. – М.: МГИУ, 2002. – 232 с.
2. Грачев Н.Н. Защита человека от опасных излучений /Н.Н. Грачев, Л.О. Мырова – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005. – 317 с.
3. ГОСТ 12.1.006–84. Система стандартов безопасности труда. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.
4. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383–03. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов.
5. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190–03. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной радиосвязи.
6. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055–96. Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона.

# ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛИНЕЙНО-УСРЕДНЯЮЩЕЙ И МЕДИАННОЙ ФИЛЬТРАЦИЙ ПРИ КОРРЕЛЯЦИОННОМ ПРИЕМЕ В КОРОТКОИМПУЛЬСНЫХ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ СИСТЕМАХ РАДИОСВЯЗИ

EVALUATION OF LINEAR AVERAGING AND MEDIAN FILTERING WITH CORRELATIONAL RECEPTION IN THE SHORT-PULSE ULTRA-WIDEBAND RADIO SYSTEMS

V. Kalinin  
V. Nosov

## Annotation

The article discusses the use of linear averaging and median filtering for increasing of noise immunity short-pulse UWB communication systems. It is carried out to compare the efficacy of these types of filtration and quantification of reducing the probability of error.

**Keywords:** the noise immunity of radio systems, short-pulse UWB radio, line-averaging filtering, median filtering.

**Калинин Вячеслав Олегович**  
ФГБОУ ВО "Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики", г. Новосибирск  
**Носов Владимир Иванович**  
ФГБОУ ВО "Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики", г. Новосибирск

## Аннотация

В работе рассматривается применение линейно-усредняющей и медианной фильтрации для повышения помехоустойчивости короткоимпульсных сверхширокополосных систем связи. Производится сравнение эффективности этих видов фильтрации. Выполнена количественная оценка выигрыша в вероятности ошибки.

## Ключевые слова:

Помехоустойчивость систем радиосвязи, короткоимпульсная сверхширокополосная радиосвязь, линейно-усредняющая фильтрация, медианная фильтрация.

## 1. Введение.

В настоящем исследовании предметом рассмотрения является система связи, использующая короткоимпульсные сверхширокополосные (КСШП) сигналы, с модуляцией BPSK [4] и корреляционным приемом, в условиях работы на открытом пространстве (двухлучевой канал [1,9]). Поскольку КСШП сигналы обладают сверхшироким (более 500 МГц) спектром и очень короткой длительностью (единицы и доли наносекунд), узкополосные помехи оказывают на них слабое влияние, а основной помехой являются шумы, включая и иные сверхширокополосные сигналы, энергия которых распределена во всем рабочем диапазоне частот [10].

Для борьбы с шумами в сверхширокой полосе частот необходимо использовать фильтрацию во временной области. Несложными в алгоритмической реализации являются линейно-усредняющий и медианный фильтры, последний из которых относится к классу нелинейных фильтров [2,3]. Из анализа литературы известно, что данные виды фильтров применяются обычно в много-

мерном режиме, и как правило для фильтрации изображений [2, 11], однако, нет никаких противоречий в применении данных видов фильтрации к двумерным зашумленным сигналам. В работе исследуются методы линейно-усредняющей и медианной фильтрации, применительно к КСШП системе связи, позволяющие ослабить влияние шумов и потенциально улучшить качество корреляционного приема КСШП сигнала. Проведено моделирование работы фильтров, получены количественные оценки улучшения помехоустойчивости системы, выполнено сравнение эффективности линейно-усредняющего (ЛУФ), медианного (МФ) и комплексного каскадного фильтра (последовательное соединение ЛУФ+МФ), при использовании в КСШП системе связи.

## 2. Модель системы

с двухлучевым каналом связи.

Двухлучевой канал радиосвязи для КСШП системы рассмотрен в [1,5,9]. Основной его особенностью является искажение формы принимаемого импульса в точке приема, которое зависит от взаимного пространственно-

го положения приемника и передатчика и от параметров излучаемого сигнала. На рис.1 представлены формы импульсов в приемной антенне, для двух расстояний между приемником и передатчиком [9]. Корреляционный прием в КСШП системах осуществляется по классическому принципу [6,7], а корреляционный приемник содержит все основные элементы – множитель, интегратор, решающее устройство, рис.2.

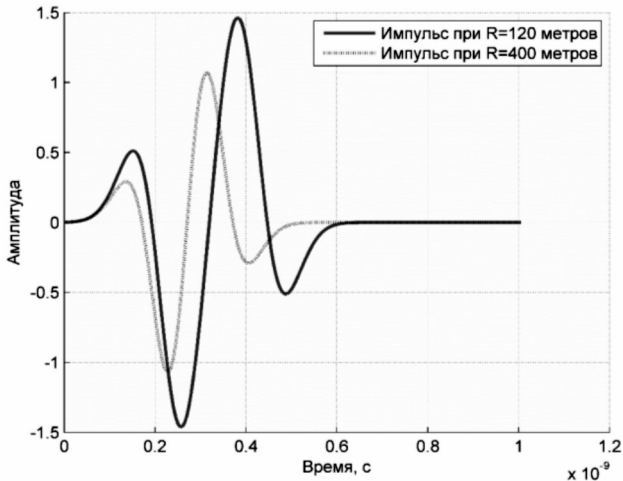


Рисунок 1. Модели импульсных сигналов в приемной антенне для разного расстояния между приемником и передатчиком.

Искажение сигнала в канале происходит вследствие искажения формы импульса при многолучевом распространении и добавления к сигналу аддитивного белого гауссовского шума (АБГШ) [9]:

$$S_{r+n}(t) = n(t) + S_r(t) = n(t) + [s(t) + s'(t + \Delta t)] \quad (1)$$

где  $S_r(t)$  – сигнал на входе приемника,  $s(t)$  – образ исходного сигнала на приемной стороне в прямом луче,

$$s'(t + \Delta t) = -s(t + \Delta t)$$

– образ исходного сигнала на приемной стороне в от-

раженном луче с учетом временного сдвига  $\Delta t$  и изменения фазы сигнала на  $180^\circ$  при зеркальном отражении,  $n(t)$  – АБГШ [7].

В аналитическом виде работа корреляционного приемника, представленного на рис.2, описывается следующим образом [9]:

$$\begin{aligned} \int_0^{T_{\max}} [S_0(t) \cdot (S_r(t) + n(t))] dt &= \int_0^{T_{\max}} [S_0(t) \cdot S_r(t) + S_0(t) \cdot n(t)] dt = \\ &= \underbrace{\int_0^{T_{\max}} [S_0(t) \cdot S_r(t)] dt}_{q_s} + \underbrace{\int_0^{T_{\max}} [S_0(t) \cdot n(t)] dt}_{q_n} = q_s + q_n = z(T_{\max}) \end{aligned} \quad (2)$$

где  $q_s$  – сигнальный компонент (значение сигнальной функции при нулевом сдвиге шаблона и принимаемого импульса),  $q_n$  – шумовой компонент (значение шумовой функции при нулевом сдвиге), [8],  $S_0(t)$  – шаблон сигнала.

Опытным путем установлено, что сигнал после прохождения двухлучевого канала слабо коррелирует с исходным сигналом и целесообразно использовать корреляцию с шаблоном, образованным на основе второй производной исходного сигнала.

В (2)  $q_s$  есть взаимная корреляция между  $S_0(t)$  и  $S_r(t)$ ,  $q_n$  – взаимная корреляция между шаблоном и шумовой реализацией.

В случае моделирования, сигналы  $S_0(t)$ ,  $S_r(t)$  и шумовая реализация  $n(t)$ , дискретизируются с периодом дискретизации  $\Delta$  и представляют собой наборы из  $N$  значений (векторы):  $S_{0\text{dis}}(i)$ ,  $S_{r\text{dis}}(i)$ ,  $n_{\text{dis}}(i)$ .

В этом случае корреляцию можно записать так:

$$q_s = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} S_{0\text{dis}}(i) \cdot S_{r\text{dis}}(i) \quad (3)$$

$$q_n = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} S_{0\text{dis}}(i) \cdot n_{\text{dis}}(i) \quad (4)$$



Рисунок 2. Корреляционный приемник для КСШП сигнала.

С учетом нормирования коэффициента корреляции к интервалу  $[-1;1]$  [12], общее рабочее выражение для коррелятора приемника будет иметь вид:

$$z_{norm}(T_{max}) \Big|_{T_{max}=\Delta(N-1)} = \frac{q_s + q_n}{K_{norm}} = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} S_{0dis}(i) \cdot (S_{rdis}(i) + n_{dis}(i))}{\left[ \sum_{i=0}^{N-1} S_{0dis}^2(i) \sum_{i=0}^{N-1} (S_{rdis}(i) + n_{dis}(i))^2 \right]^{1/2}} \quad (5)$$

где  $K_{norm}$  – нормировочный коэффициент [12].

Выражение (5) является элементом математической модели системы, с его помощью приемник вычисляет коэффициент корреляции, который в решающем устройстве сравнивается с нулевым порогом (рис.2), для определения принятого сигнала.

Искажение сигнала в точке приема за счет интерференции импульсов снижает коэффициент корреляции, а АБГШ канала, добавляемый к сигналу, может привести к неверному решению, что будет обозначать ошибку в приемнике.

### 3. Линейно-усредняющая и медианная фильтрации

Исследуем два вида фильтров – линейно-усредняющий фильтр со скользящим окном и нелинейный медианный фильтр, применяя алгоритмы фильтрации для обработки принимаемого сигнала с целью минимизации влияния шума на дальнейший корреляционный процесс.

Линейно-усредняющая фильтрация [2] может применяться для первичной обработки оцифрованных сигналов и осуществляет эффект сглаживания, что может благоприятно сказаться на качестве приема КСШП вследствие увеличения коэффициента корреляции.

Линейно-усредняющий фильтр (ЛУФ) со скользящим окном для двумерного сигнала описывается следующим выражением:

$$x_{out}(i) = \sum_{j=i-(A-1)/2}^{i+(A-1)/2} \frac{x(j)}{A}, \quad i \in [1, L] \quad (6)$$

где  $x_{out}(i)$  – выходной  $i$ -й отсчет фильтра,  
 $L$  – число отсчетов на сигнальном интервале

$$t \in [0, T_{max}],$$

$A$  – апертура (размер окна) фильтра – нечетное число,  
 $x(j)$  – рабочий отсчет внутри апертуры (окна фильтрации).

Сигнал на входе приемника  $S_r(t)$ , без помех, имеет вид, показанный на рис.1. На рис.3 и 5 представлены сигналы на входе приемника с шумом и сигнал на выходе линейно-усредняющего фильтра при величине апертуры равной 15 отсчетам.

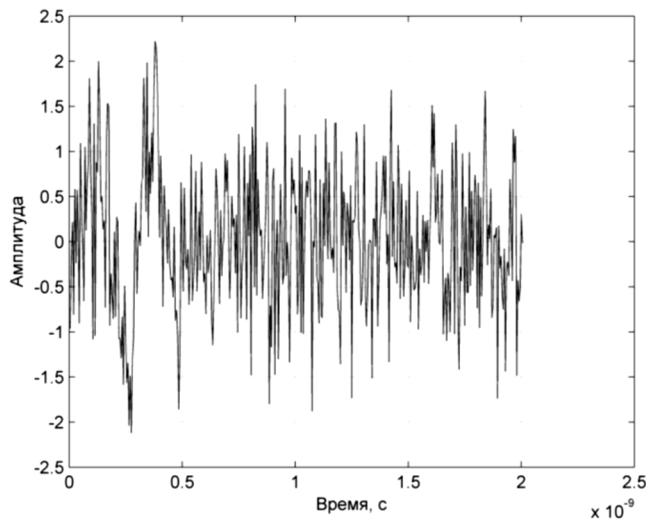


Рисунок 3. Сигнал на входе приемника в присутствии шума.

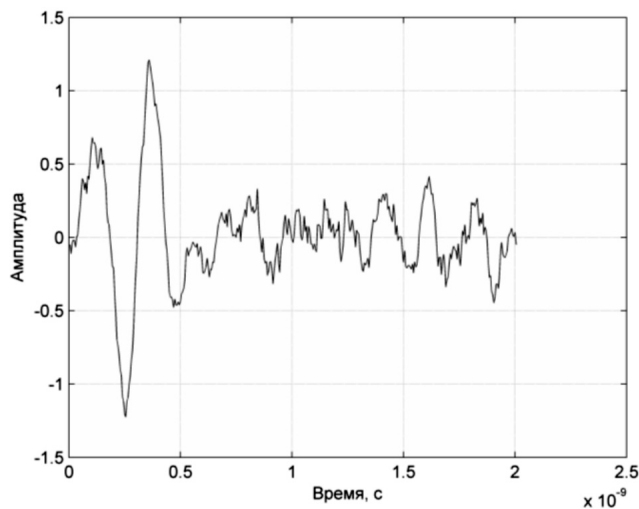


Рисунок 5. Сигнал на выходе линейно-усредняющего фильтра,  $A=15$ .

Ключевой особенностью линейно-усредняющего фильтра со скользящим окном является то, что свойства фильтра изменяются в зависимости от размера окна. Исходный сигнал, применяемый в исследовании, имеет полную длительность 400 отсчетов ( $L=400$ ). Изменение свойства фильтра при изменении величины окна обуславливает и его различное действие на систему.

На рис.4 показана схема включения фильтров.



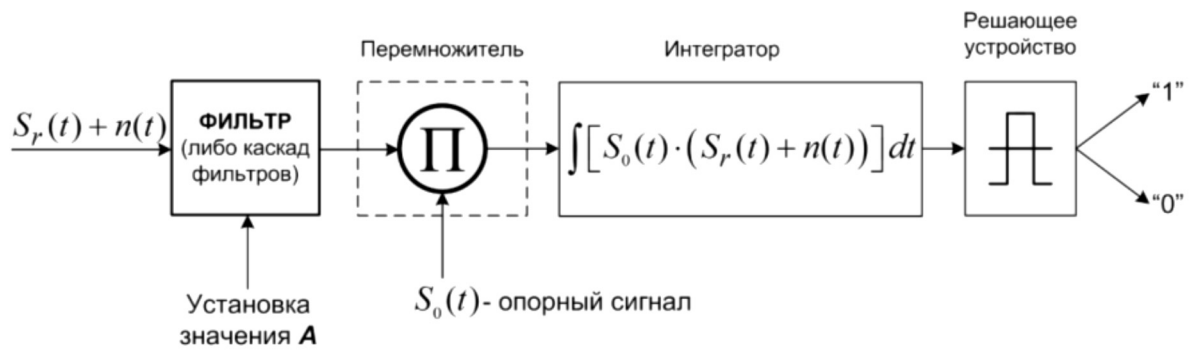


Рисунок 4. Схема включения рассматриваемых фильтров.

Медианный фильтр применяется главным образом для фильтрации изображений [3, 11] и обычно используется в двумерном виде. Он относится к простым нелинейным фильтрам, и так же, как и ЛУФ, имеет скользящее окно (апертуру), состоящее всегда из нечетного числа отсчетов. Выражение, определяющее работу фильтра, для двумерного сигнала может быть записано так [2, 3, 11]:

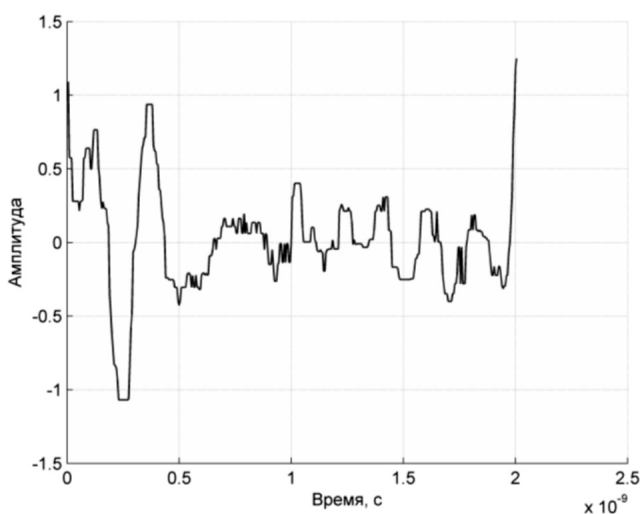
$$x_{out}(i) = med(x_{j=i-(A-1)/2}, \dots, x_{j=i}, \dots, x_{j=i+(A-1)/2}), \quad (7)$$

$$i \in [1, L]$$

где  $med$  – операция медианы,  $x_{j=i-(A-1)/2}$  – левый отсчет апертуры,  $x_{j=i}$  – центральный отсчет апертуры,  $x_{j=i+(A-1)/2}$  – правый отсчет апертуры,  $A$  – апертура – окно фильтра (нечетное число отсчетов),  $L$  – число отсчетов на сигнальном интервале

$$t \in [0, T_{max}]$$

Сигнал на выходе медианного фильтра (для значения апертуры  $A=15$ ), полученный в результате обработки зашумленного сигнала, показанного на рис.3, представлен на рис.6.

Рисунок 6. Сигнал на выходе медианного фильтра,  $A=15$ .

В исследовании также применялось каскадное включение фильтров – первая ступень – ЛУФ, вторая ступень – медианный фильтр, который обрабатывал сигнал уже предварительно очищенный от шума, с целью обеспечить сглаживание и как следствие более высокую корреляцию с шаблоном. Данный вид фильтрации назовем двойной или комплексной фильтрацией.

Для исследования влияния фильтров на процесс корреляции при разном значении апертуры, в процессе моделирования работы системы величина апертуры изменялась от 3 до 51 отсчета, принимая нечетные значения. Для каждого значения апертуры производилось вычисление коэффициента корреляции (в качестве шаблона применялся импульс Гаусса 2-го порядка – образ сигнала на входе приемника при однолучевом приеме [9]).

Результат вычисления зависимости коэффициента корреляции от величины апертуры, для трех случаев фильтрации и контрольного эксперимента с "чистой" корреляцией без предварительной обработки сигнала, показан на рис. 7. Следует обратить внимание на то, что данный результат получен для низкого уровня мешающего шума, или другими словами – при относительно высоком отношении сигнал/шум (Signal-to-Noise Rate – SNR), поскольку "чистая" корреляция дает величину более 0,3 что соответствует большому SNR.

Из анализа полученных результатов видно, что медианная фильтрация обеспечивает наименьший выигрыш, относительно простой корреляции, уступая ~25% линейно-усредняющей фильтрации.

При этом, наблюдается достаточно выраженное значение максимума коэффициента корреляции, что дает основание для определения оптимальной величины апертуры (для данного случая  $A_{opt}=15$ ), обеспечивающей максимум коэффициента корреляции. Комплексная фильтрация ЛУФ+МФ не дает сколь-нибудь существенного преимущества относительно ЛУФ, за исключением той особенности, что имеет практически максимальный

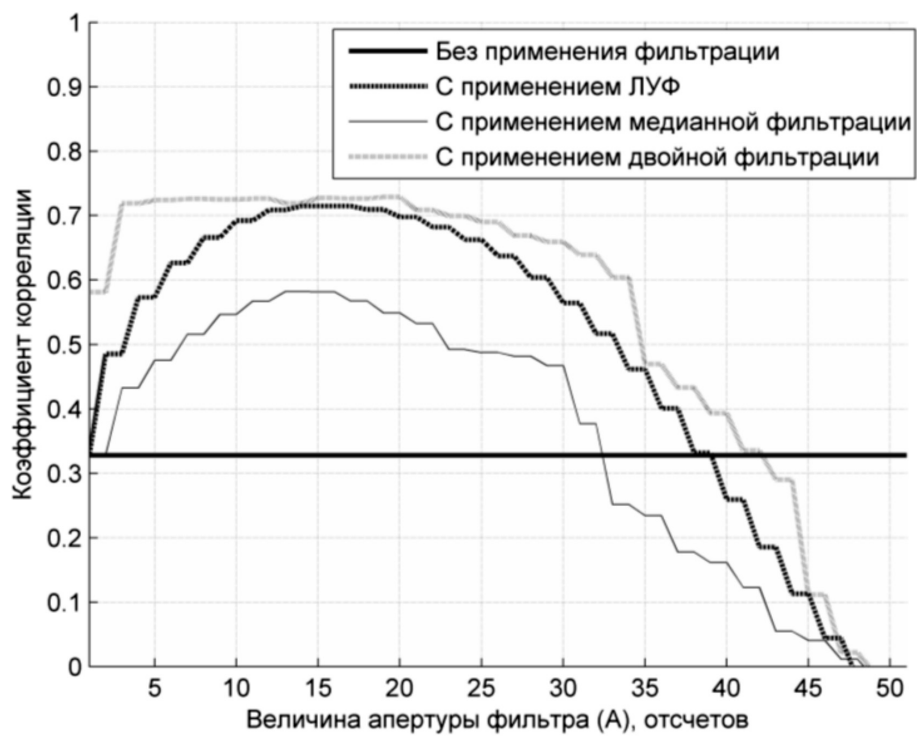


Рисунок 7. Зависимость коэффициента корреляции от апертуры фильтра.

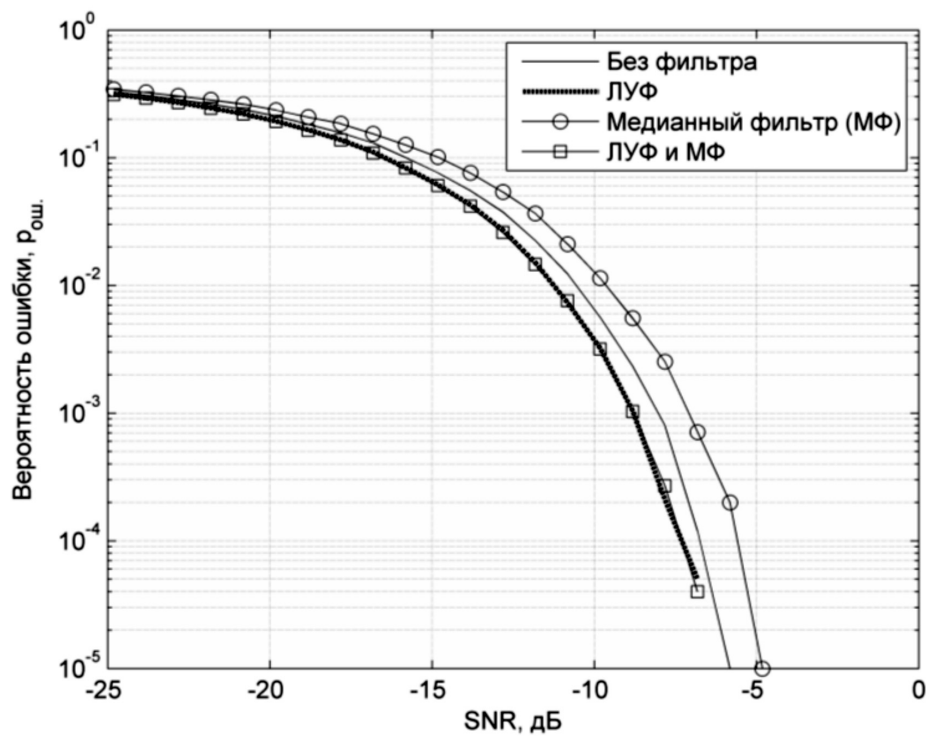


Рисунок 8. Вероятность ошибки при различном отношении сигнал/шум для системы с рассматриваемыми типами фильтрации.

выигрыш по корреляции уже при малых значениях апертуры, что может быть использовано для снижения вычислительной сложности алгоритма фильтра, однако, требуют дополнительных исследований.

#### 4. Влияние линейно-усредняющей и медианной фильтрации на помехоустойчивость КСШП систем радиосвязи

Для проверки влияния фильтров на помехоустойчивость КСШП системы, использовалась модель системы с двухлучевым каналом связи [1,5,9].

Фильтры устанавливались в соответствии со схемой, представленной на рис.4. Численное моделирование работы системы выполнялось при количестве импульсов за один проход 105, что обеспечило измерение вероятности ошибки до 10<sup>-5</sup>. Величина апертуры фильтра соответствовала середине диапазона для максимальной корреляции – 15 отсчетов (рис.7).

Результат моделирования показан на рис.8.

Эффективность медианной фильтрации оказалась отрицательной – вероятность ошибки после медианной фильтрации выросла, относительно "чистой" корреляции.

Однако, линейно-усредняющая фильтрация показала улучшение качества корреляционного процесса, что выразилось в уменьшении вероятности ошибки при фиксированном отношении сигнал/шум. Комплексная фильтрация показала практически идентичную эффективность с ЛУФ, что позволяет сделать вывод об основном вкладе ЛУФ в борьбу с шумами при комплексной (ЛУФ+МФ) фильтрации КСШП сигнала.

Обратная последовательность каскадного включения фильтров (МФ+ЛУФ) не рассматривалась из-за предполагаемой низкой эффективности.

Выигрыш в помехоустойчивости при применении ЛУФ и комплексной фильтрации изменяется в зависимости от отношения сигнал/шум и становится особенно заметен на малых вероятностях ошибки. График зависимости величины выигрыша (в раз) по вероятности ошибки от отношения сигнал/шум для ЛУФ и комплексной фильтрации показан на рис.9.

При отношении сигнал/шум –8 дБ, выигрыш по вероятности ошибки для ЛУФ составляет 3,5 раза. Для комплексной фильтрации эта величина ниже – около 2,9 раз, при том, что сложность реализации комплексного алгоритма выше. Медианная фильтрация выигрыша помехоустойчивости не дает и графические результаты для нее не представлены.

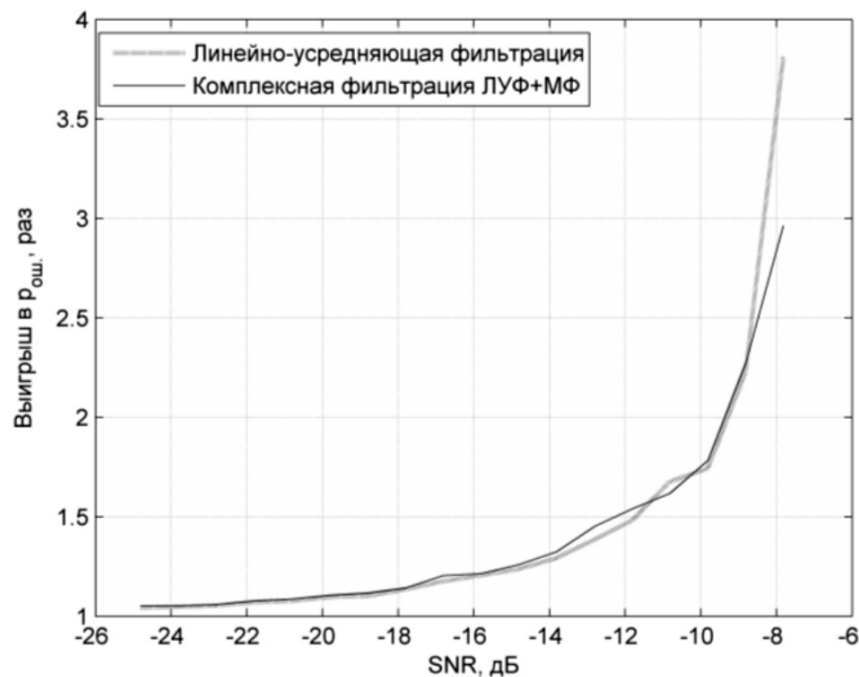


Рисунок 9. Зависимость величины выигрыша по вероятности ошибки от отношения сигнал/шум.

## 5. Выводы

Из трех исследованных методов фильтрации шумов, для КСШП сигналов наилучшим является метод линейно-усредняющей фильтрации со скользящим окном, при фиксированной величине апертуры. Метод линейно-усредняющей фильтрации способен более чем в три раза, относительно обычного корреляционного приема, снизить вероятность ошибки при работе КСШП системы радиосвязи в условиях двухлучевого распространения.

В качестве модели шума использовался АБГШ, перекрывающий весь рабочий диапазон частот системы связи.

Фильтрация и анализ производились во временной области.

В процессе исследования разработан простой алгоритм линейно-усредняющей фильтрации и методика поиска оптимального значения апертуры фильтра, включающая в себя вычислитель выигрыша помехоустойчивости системы по вероятности ошибки при применении фильтрации. Установлено, что применение комплексного каскадного фильтра (ЛУФ+МФ) не приводит к сколь-нибудь значимому выигрышу в помехоустойчивости, и в обычном виде его применение не эффективно вследствие повышения вычислительной сложности алгоритма фильтра.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Калинин В. О., Носов В. И. Модель двухлучевого канала короткоимпульсной сверхширокополосной системы радиосвязи // Информатика и проблемы телекоммуникаций : Рос. науч.-техн. конф. / Сиб. гос. ун-т телекоммуникаций и информатики. Новосибирск, 2015. – С. 174–177.
2. Обработка изображений линейными и усредняющими фильтрами: Метод. указания / Сост. А.Л.Приоров, В.В.Хрящев; Яросл. Гос. Ун-т. Ярославль, 2006. 52 с.
3. Т. С. Хуанг, Дж.-О. Эклунд, Г. Дж. Нуссбаумер, Ш. Зохар, Б. И. Юстуссон, Ш.-Г. Тянь. Быстрые алгоритмы в цифровой обработке изображений / Т. С. Хуанг, Дж.-О. Эклунд, Г. Дж. Нуссбаумер и др.; Под ред. Т. С. Хуанга: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1984. – 224 с.
4. Оценка параметров короткоимпульсной сверхширокополосной системы связи. / Калинин В.О., Носов В.И. // Вестник СибГУТИ, – 2011. – №3, с.73–85.
5. Kalinin V.O., Nosov V.I. Assessment of Effect of Influences on Pulse-Based UWB Radio Communication Systems / 2016 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). Proceedings. National Research University Higher School of Economics. Russia, Moscow, May 12–14, 2016. IEEE Catalog Number: CFP13794-CDR. ISBN: 978-1-4799-1060-1.
6. Прокис Джон. Цифровая связь. Пер. с англ. / Под ред. Д.Д. Кловского. – М.: Радио и связь. 2000. – 800 с.
7. Скляр Бернанд. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд.2-е, испр.: Пер.с англ. М.: Издательский дом "Вильямс", 2003.– 1104 с.
8. Тихонов В.И. Оптимальный прием сигналов. – М.: Радио и связь, 1983. – 320 с.
9. Исследование характеристик двухлучевого радиоканала короткоимпульсной сверхширокополосной системы связи. / Калинин В.О., Носов В.И. // Телекоммуникации, –2016. –№6, С.28–35
10. Радзиевский В.Г., Трифонов П.А. Обработка сверхширокополосных сигналов и помех. // –М.: Радиотехника, 2009. –286 с.
11. Прэтт У. Цифровая обработка изображений: Пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – Кн. 2 – 480 с.
12. Эммануил С. Айфичер, Барри У.Джервис. Цифровая обработка сигналов: практический подход. Изд.2-е.: Пер.с англ. М.: Издательский дом "Вильямс", 2008. –992 с.

© В.О. Калинин, В.И. Носов, ( v.kalinin2@gmail.com ), Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»,

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ ИНСТИТУТ БИЗНЕС-ОБРАЗОВАНИЯ**

негосударственное образовательное учреждение высшего профессионального образования

Реклама

*Традиции. Инновации. Успех!*

**И ИБ** **МИБО**

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПСИХОАКУСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ КОДЕКОВ С КОМПРЕССИЕЙ ЦИФРОВЫХ АУДИОДАНЫХ

## A STUDY OF THE PSYCHOACOUSTIC MODELS OF CODECS WITH COMPRESSION OF THE DIGITAL AUDIO DATA

*Yu. Kovalgin  
D. Fadeev*

### Annotation

The results of experimental studies devoted to the assessment of the quality and effectiveness of the psychoacoustic models of the encoders compressed digital audio data. Shows the advantages of the psychoacoustic model of AAC encoder MPEG-2 ISO/IEC 13818-7 AAC.

**Keywords:** Compression of digital audio, a psychoacoustic model of the AAC codec.

*Ковалгин Юрий Алексеевич*

*Д.т.н., профессор,*

*Санкт-Петербургский государственный  
университет телекоммуникаций  
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича*

*Фадеев Даниил Романович*

*Аспирант,*

*Санкт-Петербургский государственный  
университет телекоммуникаций  
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича*

### Аннотация

Изложены результаты экспериментальных исследований, посвященных оценке качества и эффективности работы психоакустических моделей кодеков с компрессией цифровых аудиоданных. Показаны преимущества психоакустической модели кодера AAC стандарта MPEG-2 ISO/IEC 13818-7 AAC.

### Ключевые слова:

Компрессия цифровых аудиоданных, оценка качества, психоакустическая модель кодека AAC.

## Введение

Несмотря на довольно значительный период существования стандартов MPEG и очевидный прогресс в снижении скорости цифрового потока при кодировании высококачественных звуковых сигналов (ЗС), полноценная оценка эффективности работы психоакустических моделей до сих пор не проводилась. Существует значительное количество работ [1,2,11,12], посвященных исследованию качества компрессии того или иного кодека и возникающим при этом артефактам. В то же время особенности работы непосредственно самих психоакустических моделей (ПАМ) и получаемые при этом результаты требуют более детального изучения, особенно в части выделения и распределения бит по субполосам кодирования.

*Для исследования ПАМ кодеков с компрессией цифровых аудиоданных с потерями был реализован аппаратно-программный комплекс, позволяющий:*

- ◆ подключать исследуемые ПАМ;
- ◆ подавать на вход каждой ПАМ тональные сигналы разных частот (для проверки корректности работы) и отрывки реальных звуковых сигналов с возможностью выбора длительности анализируемого фрагмента звукового отрывка;
- ◆ вычислять отношение сигнал-маска, в дБ, а так-

же среднее, максимальное и минимальное число бит, требуемое исследуемой ПАМ для прозрачного кодирования каждого элемента выборки звукового сигнала;

- ◆ статистически обрабатывать полученные массивы числовых данных;
- ◆ представлять результаты исследований в виде графических зависимостей.

*В соответствии с этим экспериментальный программный комплекс содержал следующие основные части:*

- ◆ библиотеку звукового материала. В настоящей версии программный комплекс поддерживает формат CD Audio с частотой дискретизации 44100 Гц и разрешением 16 бит/отсчет, режимы работы моно или стерео;
- ◆ библиотеку исследуемых психоакустических моделей (ПАМ); она содержит психоакустические модели кодеков стандартов MPEG-1 [3,11], MPEG-2 [4,11] и MPEG-4 [6,12], а именно ПАМ\_1, ПАМ\_2 и ПАМ кодера AAC (ПАМ\_AAC) [5, 12], а также и ПАМ\_ВП, предложенную Г.Г.Рогозинским для кодека, работающего в вейвлетном пространстве [7, 11];
- ◆ блок обработки звукового материала, позволяющий выбрать тот или иной звуковой файл из базы (библиотеки) данных, выделить фрагмент для исследования, задавая начальную и конечную точки исследуемого фрагмента отрывка;

◆ блок статистической обработки и визуализации результатов вычислений, выполняемых в каждой исследуемой ПАМ.

Результаты вычислений, выполняемых в ПАМ, выводятся в форме массива данных, элементами которого являются значения глобального порога маскировки, в дБ, отношения сигнал–маска SNR, дБ, а также и число бит  $m$ , требуемых для прозрачного кодирования каждого элемента выборки (отсчета звукового сигнала или коэффициента МДКП) для каждой из полос психоакустического анализа.

Напомним, что различные психоакустические модели используют разное разделение на полосы психоакустического анализа. В случае с ПАМ\_1 и ПАМ\_2, полосы психоакустического анализа соответствуют полосам кодирования (табл. 1). Их ширина составляет 698 Гц. В отличие от этого в ПАМ\_ВП и ПАМ\_ААС полосы психоакустического анализа имеют различную ширину (табл. 2, 3).

После вычислений, выполняемых в ПАМ, вся информация выводится в отдельный файл электронных таблиц Microsoft Excel, что позволяет открыть его в большинстве программ, используемых для статистического анализа результатов эксперимента, а также для визуализации полученных данных.

Выбор в пользу системы компьютерного моделирования был сделан по причине наличия уже частично готовых ПАМ, реализованных в среде Matlab. В качестве программной модели ПАМ\_1 использовалась модель, созданная Fabien Petitcolas [8]. Программные модели ПАМ\_2 и ПАМ\_ААС были созданы аспирантами СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч–Бруевича, среди которых следует отметить, прежде всего, М.В. Зырянова, [9], и Ятагаму Гамаге Д.П., [10]. Код экспериментальной вейвлетной модели (ПАМ\_ВП) заимствован из приложения к диссертации Г.Г.Рогозинского, [7].

Для проверки правильности функционирования каждой из отобранных ПАМ было проведено их предварительное тестирование на тональных сигналах с частотами 100, 500, 2500, 5000, 10000, 12000, 15000 и 18000 Гц и выполнен ручной расчет по формулам на этих же частотах. Результаты работы ПАМ и вычислений, проделанных в пакете Mathcad, подтвердили правильность выполняемых вычислений в каждой отобранной для исследования ПАМ.

Для оценки эффективности работы моделей с широкополосными звуковыми сигналами были отобраны отрывки реальных звучаний следующих жанров: органно–хоровая музыка, оркестровая музыка, рок, поп, джаз, электронная танцевальная музыка, камерная музыка,

Таблица 1.

Граничные частоты и ширина полос психоакустического анализа ПАМ\_1 и ПАМ\_2, частота дискретизации 44,1 кГц

№	$F_n$ , Гц	$F_b$ , Гц	$\Delta F$ , Гц	№	$F_n$ , Гц	$F_b$ , Гц	$\Delta F$ , Гц
1	0	689	698	17	11025	11714	698
2	689	1378	698	18	11714	12403	698
3	1378	2067	698	19	12403	13092	698
4	2067	2756	698	20	13092	13781	698
5	2756	3445	698	21	13781	14470	698
6	3445	4134	698	22	14470	15159	698
7	4134	4823	698	23	15159	15848	698
8	4823	5513	698	24	15848	16538	698
9	5513	6202	698	25	16538	17227	698
10	6202	6891	698	26	17227	17916	698
11	6891	7580	698	27	17916	18605	698
12	7580	8269	698	28	18605	19294	698
13	8269	8958	698	29	19294	19983	698
14	8958	9647	698	30	19983	20672	698
15	9647	10336	698	31	20672	21361	698
16	10336	11025	698	32	21361	22050	698

Таблица 2.

Граничные частоты и ширина полос психоакустического анализа ПАМ\_ВП,  
частота дискретизации 44,1 кГц

№	F <sub>н</sub> , Гц	F <sub>в</sub> , Гц	Δ F, Гц	№	F <sub>н</sub> , Гц	F <sub>в</sub> , Гц	Δ F, Гц
1	0	86	86	15	2067	2412	345
2	86	172	86	16	2412	2756	345
3	172	258	86	17	2756	3445	689
4	258	345	86	18	3445	4134	689
5	345	431	86	19	4134	4823	689
6	431	517	86	20	4823	5513	689
7	517	603	86	21	5513	6891	1378
8	603	689	86	22	6891	8269	1378
9	689	861	172	23	8269	9647	1378
10	861	1034	172	24	9647	11025	1378
11	1034	1206	172	25	11025	13781	2756
12	1206	1378	172	26	13781	16538	2756
13	1378	1723	345	27	16538	19294	2756
14	1723	2067	345	28	19294	22050	2756

дикторская речь; всего по пять произведений каждого жанра. Кроме того в каждом из отрывков определенного жанра при тестировании выделялось два–три разных фрагмента. Длительность каждого фрагмента отрывка при тестировании ПАМ составляла около 15 с.

Напомним, что в ПАМ для каждой полосы психоакустического анализа  $s_b$  рассчитывается отношение сигнал–маска, представляющее собой выраженное в дБ отношение энергии полезного сигнала  $E_c$  к максимально допустимому значению энергии шумов квантования  $E_{ш.кв.}$ , которое еще маскируется полезным сигналам данной полосы (т.е. лежит на пороге слышимости). При этом требуемое для прозрачного кодирования каждого элемента число бит в данной полосе определялось из условия:  $10 \lg(E_c/E_{ш.кв.})_{s_b} = 6 \cdot m$ , где  $m$  – число разрядов в кодовом слове кодируемого элемента. В качестве примера на рис. 1 представлены зависимости отношения сигнал–маска и требуемое моделью ПАМ\_ААС число бит для прозрачного кодирования.

Слишком большой объем экспериментальных исследований не позволяет в рамках одной статьи привести в полном объеме все полученные результаты. Поэтому здесь приведены лишь наиболее типичные зависимости (рис. 2–5) и обобщенные результаты анализа всех экспериментальных данных. По оси ординат на рис. 2–5 отложено среднее, максимальное и минимальное число бит (без учета знакового бита), которое необходимо выделить на кодирование каждого элемента выборки для обеспе-

чения прозрачного кодирования, при котором искажения компрессии остаются еще незаметными на слух.

По оси абсцисс – номер полосы психоакустического анализа ПАМ (табл. 1–3). Горизонтальные линии в центре прямоугольников соответствует медианным значениям. Верхняя и нижняя границы прямоугольников соответственно определяют 75–ый и 25–ый процентиля длин кодовых слов. Напомним, что процентиль – это процедура ранжирования полученных значений, применяемая в статистике. Например, если нижней границе прямоугольника соответствует длина кодового слова 2 разряда, то это значит, что 25% длин кодовых слов каждого кодируемого элемента не превышают это значение. В свою очередь, если верхней границе прямоугольника соответствует значение 4 разряда, то это значит, что 75 % значений длин кодовых слов также не превышают эту величину. Медиана (черта в средней части прямоугольника) – это 50–ый процентиль. При выполнении данных вычислений длина кодовых слов не округлялась до ближайшего целого большего значения, как это должно было бы иметь место в случае реального кодирования.

Заметим, что ПАМ\_1 и ПАМ\_2 имеют 32 полосы психоакустического анализа одинаковой ширины (табл. 1), ПАМ\_ВП – 28 полос психоакустического анализа, приближающихся по ширине к критическим полосам слуха (табл. 2), ПАМ\_ААС – 49 полос психоакустического анализа постепенно расширяющихся с повышением частоты (табл. 3).

Таблица 3.

Граничные частоты и ширина полос психоакустического анализа ПАМ\_ААС,  
частота дискретизации 44,1 кГц

№	F <sub>н</sub> , Гц	F <sub>в</sub> , Гц	Δ F, Гц	№	F <sub>н</sub> , Гц	F <sub>в</sub> , Гц	Δ F, Гц
1	0	86	86	26	4651	5168	516
2	86	172	86	27	5168	5685	516
3	172	258	86	28	5685	6288	602
4	258	345	86	29	6288	6891	602
5	345	431	86	30	6891	7580	688
6	431	517	86	31	7580	8269	688
7	517	603	86	32	8269	8958	688
8	603	689	86	33	8958	9647	688
9	689	775	86	34	9647	10336	688
10	775	861	86	35	10336	11025	688
11	861	1034	172	36	11025	11714	688
12	1034	1206	172	37	11714	12403	688
13	1206	1378	172	38	12403	13092	688
14	1378	1550	172	39	13092	13781	688
15	1550	1723	172	40	13781	14470	688
16	1723	1895	172	41	14470	15159	688
17	1895	2067	172	42	15159	15848	688
18	2067	2326	258	43	15848	16538	688
19	2326	2584	258	44	16538	17227	688
20	2584	2842	258	45	17227	17916	688
21	2842	3101	258	46	17916	18605	688
22	3101	3445	344	47	18605	19294	688
23	3445	3790	344	48	19294	19983	688
24	3790	4221	430	49	19983	22050	2064
25	4221	4651	430				

По результатам всего комплекса исследований ПАМ можно сделать следующие основные выводы:

1. Все исследуемые ПАМ наибольшее число бит выделяют на кодирование информации, содержащейся на низких и частично средних частотах. Это и понятно, ибо спектры звучаний музыкальных инструментов содержат основной тон, небольшое число гармонических спектральных компонент кратных частоте основного тона (обычно не более 10...12) и несколько спектральных компонент не кратных частоте основного тона (тональные компоненты, их число не превышает обычно 5...7). Все они имеют, как правило, высокий уровень энергии и расположены на низких и средних частотах, не превышающих обычно 4000–6000 Гц. Именно эти спектральные

компоненты в значительной степени определяют индивидуальную окраску звучаний, свойственных каждому из музыкальных инструментов. А значит, и кодировать звуковые сигналы в этой области частот следует наиболее точно, но конечно с учетом одновременной маскировки, которая в этой области частот из-за существенной неравномерности спектра проявляется наиболее резко.

На высоких частотах спектры реальных звучаний имеют обычно весьма однородный вид без резких изменений амплитуды.

В самые верхние по частоте полосы анализа биты практически не выделяются всеми ПАМ;



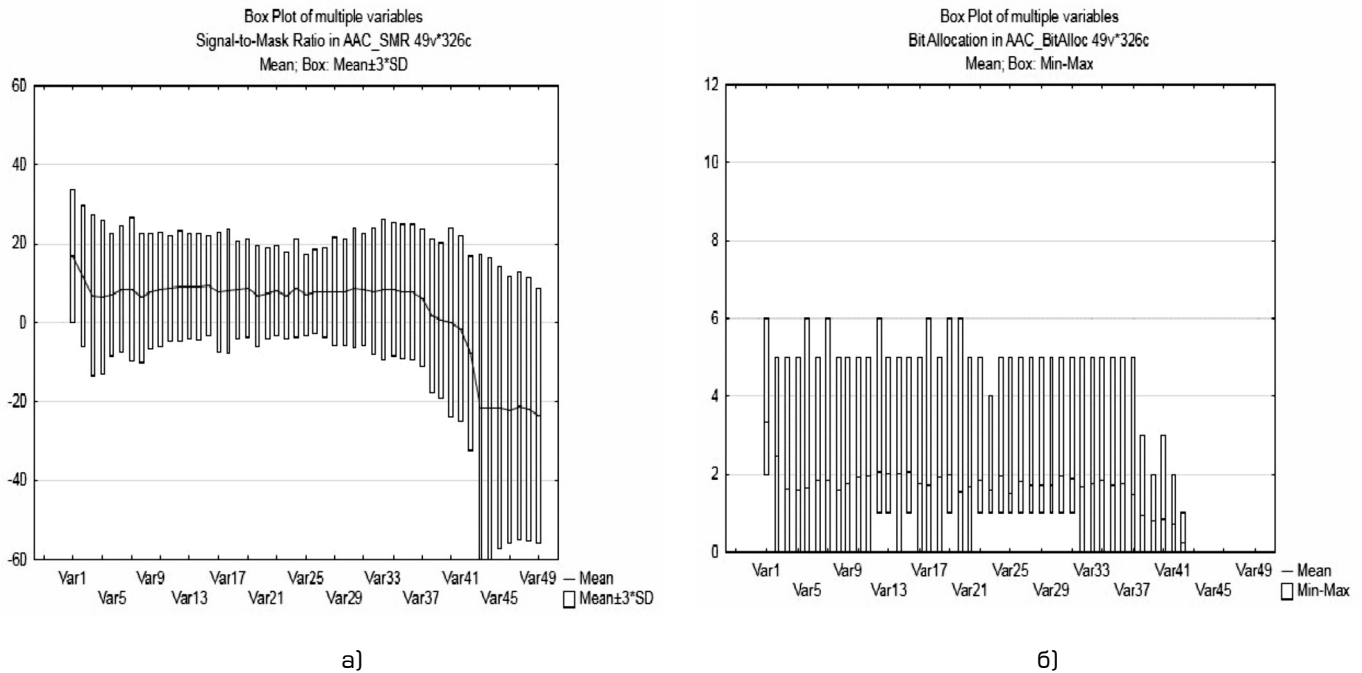


Рисунок 1. Отношение сигнал-маска (а) и требуемое ПАМ\_ААС для прозрачного кодирования число бит (б); поп-музыка (усредненные данные для четырех отрывков, из которых для исследования взяты по три фрагмента, каждый длиной 15 с). Сплошная линия – среднее значение, верхняя и нижняя границы прямоугольников соответствуют среднему квадратическому отклонению  $\pm 3\sigma$

2. Для всех звуковых отрывков ПАМ\_1 выделяет биты практически только в первые 15...17 субполос психоакустического анализа (до частоты 9000...11000 Гц), что при декодировании приводит к сокращению полосы частот звукового сигнала, а значит и к появлению артефактов компрессии, возможно, к появлению заметных на слух тембральных искажений. При этом не вызывает сомнений тот факт, что в электронной танцевальной музыке за счет использования электронных музыкальных инструментов и различных психоакустических процессоров высокочастотная область спектра оказывается, как правило, энергетически весьма насыщенной;

3. Меньшее число бит по сравнению с ПАМ\_1 требует ПАМ\_2. Однако и она выделяет малое количество битов для качественного кодирования высокочастотных компонент звуковых сигналов, т.е. недостаточно полно учитывает распределение энергии звукового сигнала по частоте, особенно в его высокочастотной части, где энергия сигнала обычно все же существенно меньше, чем на низких и средних частотах. Эта тенденция прослеживается и при кодировании звуковых сигналов других жанров. Но в отличие от ПАМ\_1 она более экономно расходует биты.

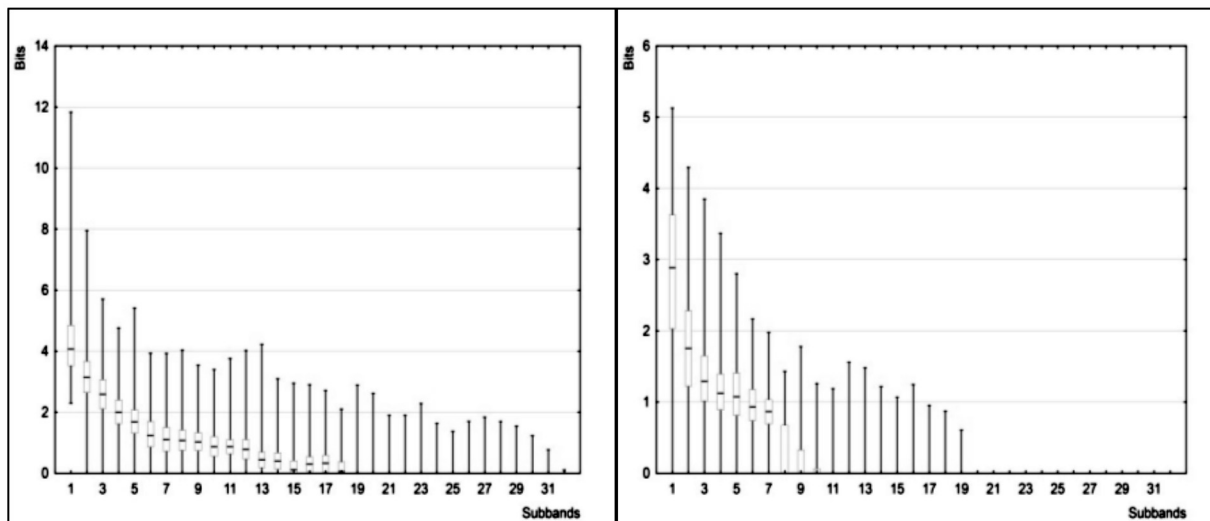
4. ПАМ\_ААС обеспечивает более равномерное распределение битов по полосам психоакустического ана-

лиза (кодирования), в том числе и в области высоких частот. Она, к тому же, имеет и более высокий разброс числа выделяемых бит при кодировании разных выборок, что говорит о более точном учете особенностей временной и спектральной структуры звукового сигнала.

5. ПАМ\_ВП выделяет биты в основном в первые 15 полос психоакустического анализа (до частоты 2500...3000 Гц). На более высоких частотах требуемое ею для прозрачного кодирования число бит крайне незначительно, что вряд ли оправданно. Эта тенденция прослеживается на звуковых сигналах разных жанров.

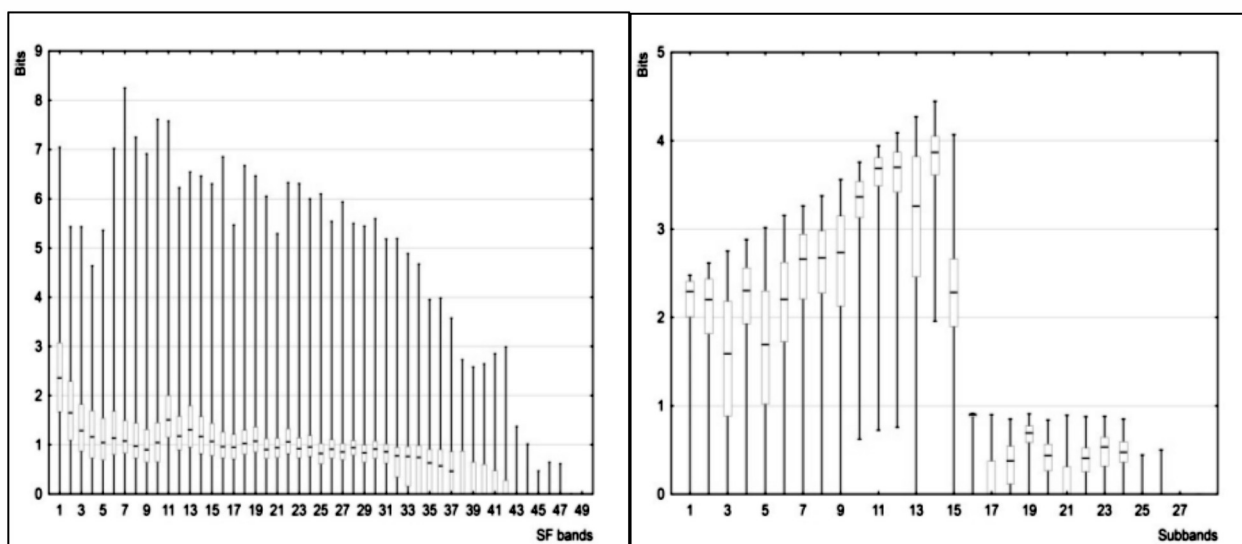
При оценке эффективности работы ПАМ важно знать и распределение бит, требуемое каждой ПАМ для прозрачного кодирования сигнала выборки, во времени. Имея данные о числе бит (длине кодового слова), требуемых для прозрачного кодирования элементов каждой выборки звукового сигнала для выбранных отрывков и зная число элементов (например, отсчетов) звукового сигнала в каждой полосе психоакустического анализа (табл.4), можно массивы этих данных представить в форме гистограмм, например, так, как это сделано на рис.6.

Здесь по оси ординат отложено число выборок звукового сигнала, а по оси абсцисс – суммарное количество бит, требуемое для прозрачного кодирования отсчетов



а)

б)



в)

г)

Рисунок 2. Среднее число бит, требуемых для прозрачного кодирования одного отсчета или коэффициента МДКП в каждой из полос психоакустического анализа (электронная танцевальная музыка): а - ПАМ\_1; б - ПАМ\_2; в - ПАМ\_AAS; г - ПАМ\_ВП (Добеша 4)

одной выборки. Заметим, что для ПАМ\_1 длина выборки составляла 1024 отсчета, в то время, как для остальных ПАМ она составляла 2048 отсчетов. Заметим, что при выполнении данных вычислений требуемое ПАМ для прозрачного кодирования число бит в каждой из полос округлялось до ближайшего большего целого значения. Кроме того к данному числу добавлялся еще один бит, необходимый для учета полярности звукового сигнала. При расчете гистограмм ширина интервалов была взята одинаковой. Их число равнялось 10.

В качестве звукового сигнала при построении этих

гистограмм для каждой ПАМ были выбраны 12 фрагментов звучаний одного жанра, каждый длительностью 15 с. На рис.6 жанр фрагментов – рок музыка. Общая длительность звучания отобранных фрагментов определенного жанра составила 180 с.

Анализ полученных экспериментальных данных для звуковых сигналов разных жанров и в этом случае показал, что ПАМ\_AAS наиболее полно учитывает динамику звукового сигнала и распределение его энергии по частоте.

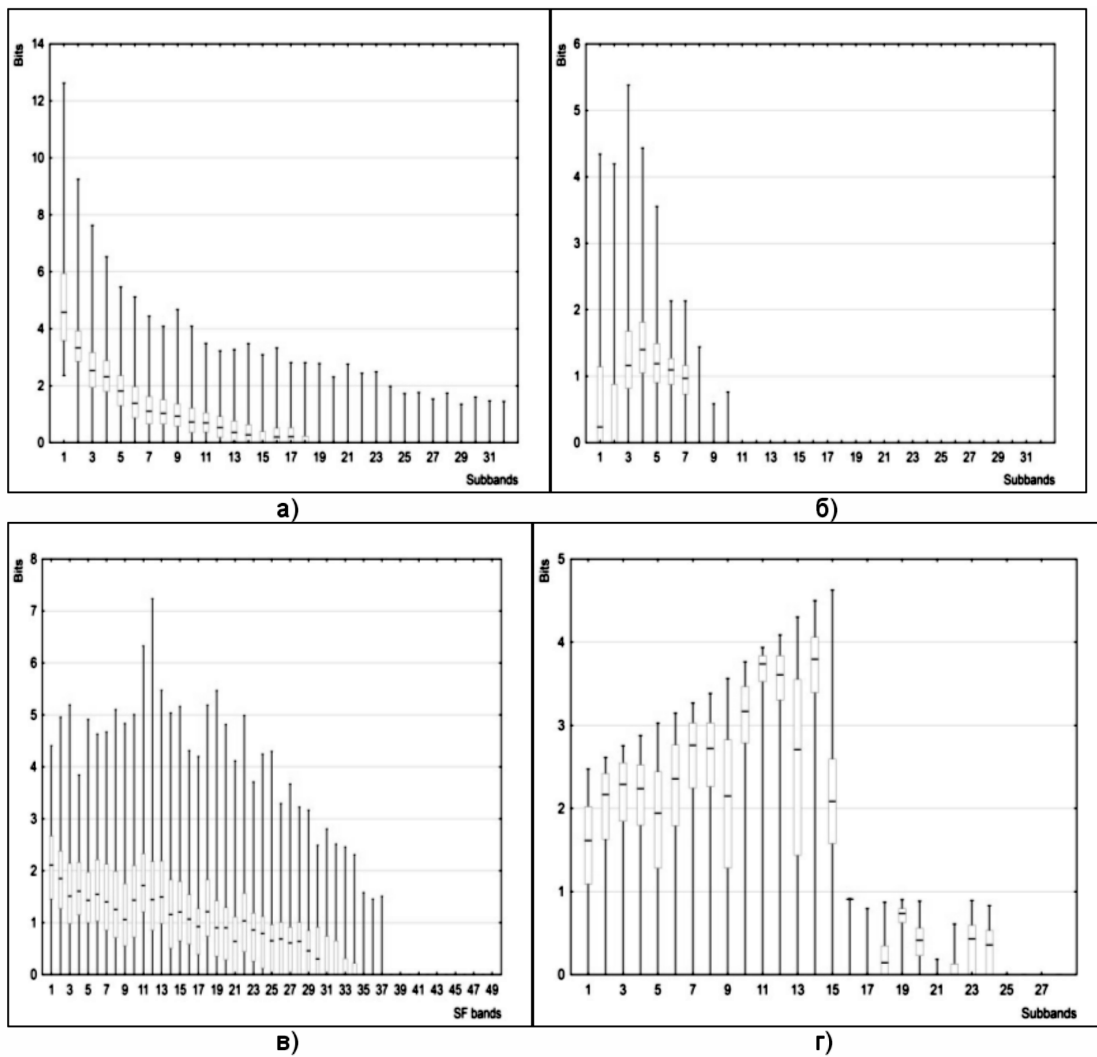


Рисунок 3. Среднее число бит, требуемых для прозрачного кодирования одного отсчета или коэффициента МДКП в каждой из полос психоакустического анализа (оркестровая музыка): а - ПАМ\_1; б - ПАМ\_2; в - ПАМ\_AAS; г - ПАМ\_ВП (Добеши 4)

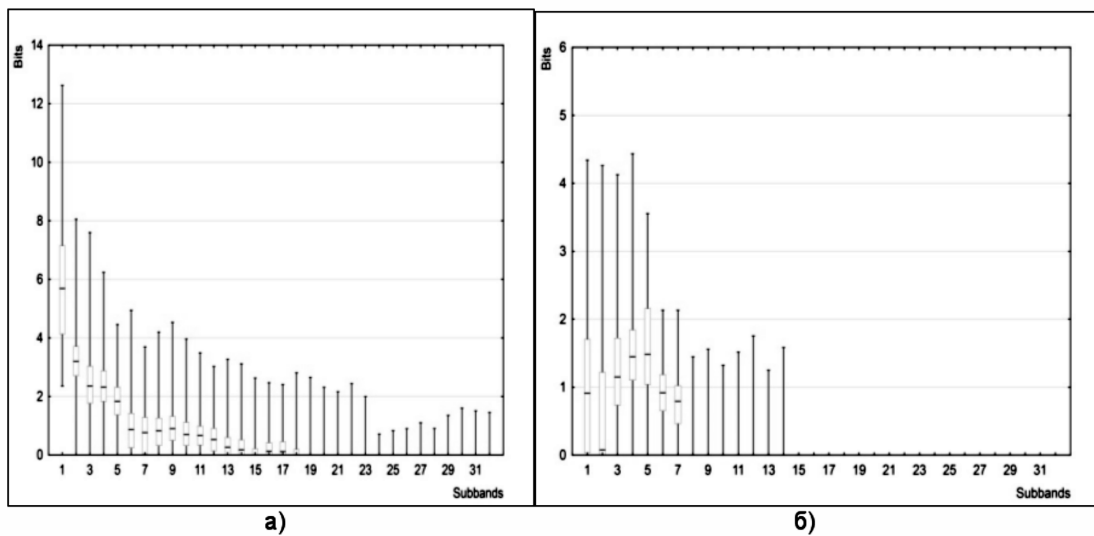


Рисунок 4/1. Среднее число бит, требуемых для прозрачного кодирования одного отсчета или коэффициента МДКП в каждой из полос психоакустического анализа (камерная классическая музыка): а - ПАМ\_1; б - ПАМ\_2; в - ПАМ\_AAS; г - ПАМ\_ВП (Добеши 4)

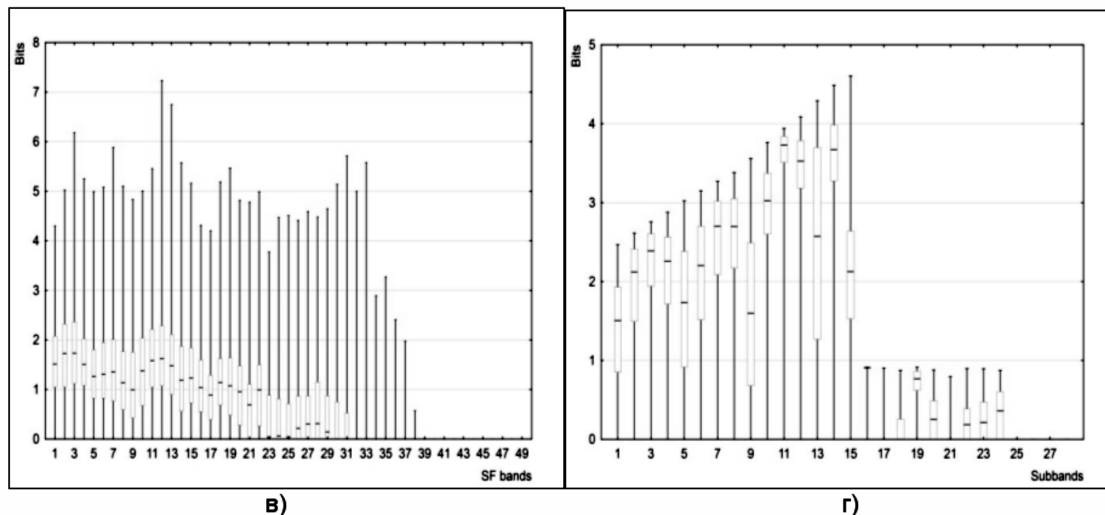


Рисунок 4/2. Среднее число бит, требуемых для прозрачного кодирования одного отсчета или коэффициента МДКП в каждой из полос психоакустического анализа (камерная классическая музыка):  
 а - ПАМ\_1; б - ПАМ\_2; в - ПАМ\_ААС; г - ПАМ\_ВП (Добеши 4)

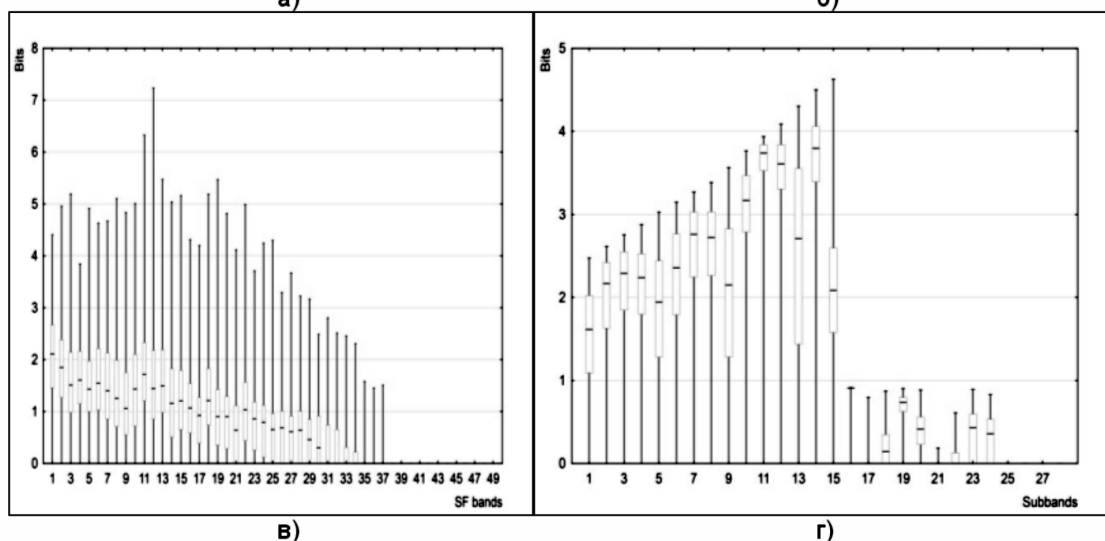
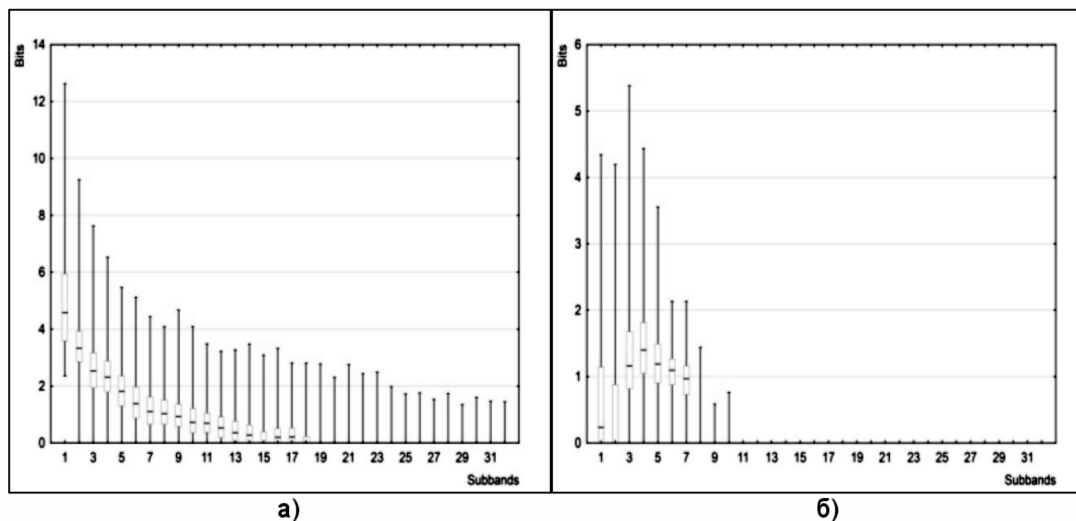
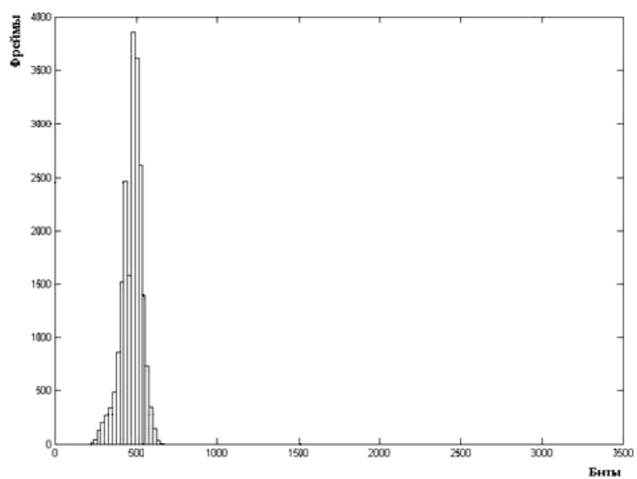


Рисунок 5. Среднее число бит, требуемых для прозрачного кодирования одного отсчета или коэффициента МДКП в каждой из полос психоакустического анализа (рок- музыка):  
 а - ПАМ\_1; б - ПАМ\_2; в - ПАМ\_ААС; г - ПАМ\_ВП (вейвлет Добеши 4)

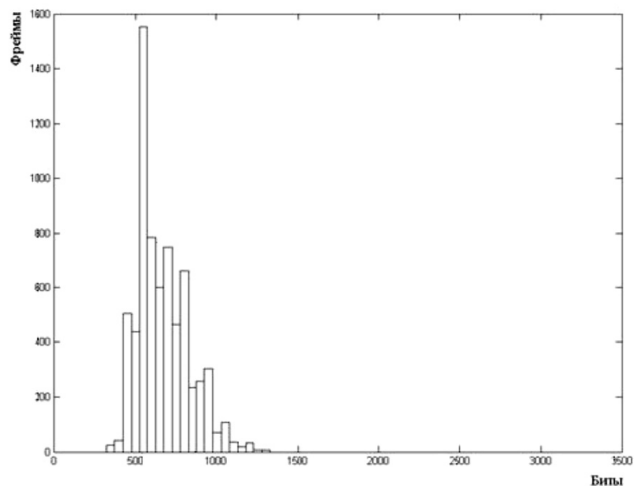
Таблица 4.

Ширина полосы частот и число отсчетов звукового сигнала для ПАМ\_ААС при длине выборки 2048 отсчетов и частоте дискретизации 44,1 кГц.

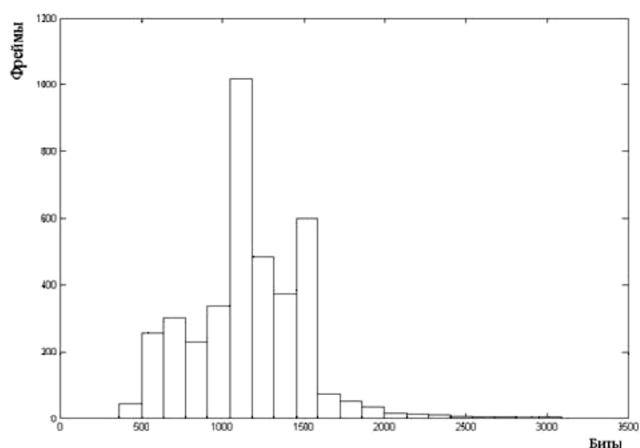
Номер полосы психоакустического анализа	Ширина полосы частот, Гц	Число отсчетов звукового сигнала в каждой полосе психоакустического анализа	Номер полосы психоакустического анализа	Ширина полосы частот, Гц	Число отсчетов звукового сигнала в каждой полосе психоакустического анализа
1...10	86	8	24...25	430	40
11...17	172	16	26...27	516	48
18...21	256	24	28...29	602	56
22...23	344	32	30...48	688	64
			49	2064	192



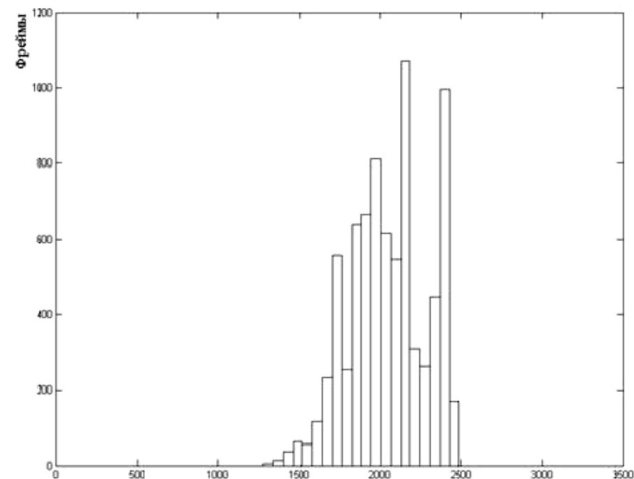
а)



б)



в)



г)

Рисунок 6. Гистограммы распределения бит, требуемых ПАМ для прозрачного кодирования выборки звукового сигнала (рок- музыка): а - ПАМ\_1; б - ПАМ\_2; в - ПАМ\_ААС; г - ПАМ\_ВП (вейвлет Добеши 4)

Выводы по результатам данного исследования:

1. Анализ публикаций, посвященных расчету и моделированию порога одновременной маскировки, выполненные в данной работе исследования, особенности распределения энергии звуковых сигналов по частоте, все это показывает, что наилучшие результаты распределения бит по субполосам анализа/кодирования обеспечивает психоакустическая модель кодера AAC (ПАМ\_ААС).

2. В модели ПАМ\_ААС спектральные компоненты выборки группируются в 49 достаточно узких по ширине полос психоакустического анализа. Ширина полос психоакустического анализа в ней постепенно возрастает с повышением частоты, оставаясь все же существенно уже критических полос слуха, что позволяет более точно учесть особенности распределения энергии звуковых

сигналов по частоте при кодировании.

3. ПАМ\_ААС обладает наилучшим частотным и временным разрешением, наиболее экономно расходует биты при кодировании звуковых сигналов разных жанров, может быть при соответствующей адаптации рекомендована для применения в кодере, работающем в вейвлетном пространстве.

4. Вследствие существенно худшей избирательности дерева анализирующих QMF-фильтров по сравнению с банками PQMF-фильтров, широко применяемых в алгоритмах компрессии группы MPEG, при разработке кодеров работающих в вейвлетном пространстве необходимо дополнительно изучить особенности распределения энергии шумов квантования по частоте и разработать дополнительный механизм для их учета при кодировании коэффициентов вейвлетного дискретного преобразования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Bosi M., Goldberg R.E. Introduction to Digital Audio Coding and Standards, Boston: Kluwer Academic Publishers, 2003.
2. Pan D., A tutorial on MPEG/Audio compression, IEEE Multimedia, 1995, vol.2, no.2, pp.60–74.
3. International Standard ISO/IEC 11172–3. Information technology–Coding of moving pictures and associated audio for digital storage media at up to about 1,5 Mbit/s– Part 3: Audio, 1993–08–01.
4. International Standard ISO/IEC 13818–3. Information technology–Generic coding of moving pictures and associated audio information. Part 3:Audio, 1995–05–15.
5. International Standard ISO/IEC 13818–7. Information technology–Generic coding of pictures and associated audio information. Part 7: Advanced Audio Coding (AAC), 1997 (E).
6. ISO/IEC FCD 14496–3 Subpart 1. Information Technology–Very Low Bitrate Audio–Visual Coding. Part 3: Audio, 1998–05–10 (ISO/JTC 1/SC 29, N2203).
7. Рогозинский Г.Г. Перцепционное сжатие звука с использованием вейвлетных пакетов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд.техн. наук //Санкт–Петербургский государственный университет кино и телевидения, 2010, –19 с. <http://www.petitcolas.net/fabien/software/mpeg/index.html>
8. Зырянов М.В. Повышение эффективности алгоритмов компрессии цифровых аудиоданных на основе учета временной маскировки. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, СПб.: СПбГУТ, 2007. – 16 с.
9. Ятагама Гамаге Д.П. Повышение эффективности алгоритмов компрессии цифровых данных при кодировании сигналов стереопары. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, СПб.: СПбГУТ 2005. – 16 с.
10. Аудиотехника: учебник/Ю.А.Ковалгин, Э.И.Вологдин; под ред. проф. Ю.А.Ковалгина. – М.: Горячая линия – Телеком, 2013. – 768 с.
11. Ковалгин Ю.А. Психоакустика и компрессия цифровых аудиоданных. Монография, СПб.: СПбГУТ, 2013.– 300 с.

© Ю.А. Ковалгин, Д.П. Фадеев, ( Daniilfadeev2015@yandex.ru ), Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»,



# ВЛИЯНИЕ ПОМЕХОВОГО СИГНАЛА СИСТЕМ РАДИОПОДАВЛЕНИЯ РАДИОЛИНИЙ УПРАВЛЕНИЯ ВЗРЫВОМ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННО-МОНИТОРИНГОВЫХ СИСТЕМ

*Шогенов Тимур Коммунарович*

*Северо-Кавказский институт  
повышения квалификации сотрудников МВД  
России (филиал) ФГКОУ ВО "Краснодарский  
университет МВД России", г. Нальчик*

THE INFLUENCE OF THE INTERFERING  
SYSTEM SIGNAL JAMMING RADIO  
LINKS CONTROL EXPLOSION  
ON THE PERFORMANCE OF SATELLITE  
NAVIGATION SYSTEMS  
AND MONITORING

*T. Shogenov*

**Annotation**

Experimentally investigated the influence of interfering signals of radio-electronic suppression of complex radio-controlled explosive devices on a system of satellite navigation monitoring.

**Keywords:** interference immunity, radio navigation equipment, suppression factor, assessing interference immunity, satellite navigation.

**Аннотация**

В работе экспериментально исследовано влияние помеховых сигналов радиоэлектронного комплекса подавления радиоуправляемых взрывных устройств на работоспособность спутниковой навигационно-мониторинговой системы. Сопоставлены результаты оценочных расчетов радиуса подавления с экспериментальными значениями в условиях, близких к реальным. Сделан вывод о необходимости принятия организационных мер и решения технических задач по повышению помехоустойчивости навигационной аппаратуры потребителей ГЛОНАСС/GPS при ее совместном использовании с радиоэлектронными комплексами подавления радиоприемных устройств управления взрывом в составе бортовых комплексов специального транспорта специальных подразделений.

**Ключевые слова:**

Помехозащищенность, радионавигационное оборудование, коэффициент подавления, оценка помехозащищенности, спутниковая навигация.

Информационные системы на основе современных спутниковых навигационных и телематических технологий в настоящее время активно применяются для управления силами и средствами специальных подразделений различных правоохранительных органов. В общем случае спутниковые навигационно-мониторинговые системы включают в себя системный навигационно-информационный центр (СНИЦ), оснащенный аппаратурой мониторинга условий навигации (АМУН), автоматизированное рабочее место оператора системы (АРМ), навигационную аппаратуру потребителей спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС/GPS (НАП СНС ГЛОНАСС/GPS) и совокупность каналов передачи данных на основе средств оперативной радиосвязи СВЧ-УВЧ диапазона и коммуникационного оборудования GSM-GPRS.

В условиях проведения специальных мероприятий и значительной вероятности применения криминальными структурами управляемых по радиоканалу взрывных устройств

необходимым является применение мобильных радиоэлектронных комплексов подавления радиоприемных устройств управления взрывом. Однако, применение таких комплексов может оказывать негативное влияние на работоспособность навигационно-мониторинговых систем, что приводит к потере управления личным составом специальных подразделений. При этом подавление может осуществляться как навигационных сигналов, так и каналов передачи навигационных данных от НАП СНС ГЛОНАСС/GPS в СНИЦ.

Целью настоящей работы являлось экспериментальное исследование влияния помеховых сигналов радиоэлектронного комплекса подавления радиоуправляемых взрывных устройств "Пелена-7" на работоспособность системы спутниковой навигационно-мониторинговой системы СРМ 14Ц890 в условиях близких к реальным.

Аппаратура мобильного радиоэлектронного комплекса "Пелена-7" предназначена для защиты от радиоуп-

правляемых взрывных устройств путем генерирования и излучения шумового радиосигнала в широком диапазоне радиочастот.

В радиоэлектронном комплексе "Пелена-7" предусмотрено два режима работы по рабочему диапазону частот (табл. 1):

- ◆ режим "Полный" – с перекрытием диапазона рабочих частот от 20 МГц до 2000 МГц;
- ◆ режим "Сотовый" – с усилением защиты от радиоуправляемых взрывных устройств, работающих на основе использования средств сотовой связи.

Схема размещения антенно-фидерных систем мобильного радиоэлектронного комплекса подавления радиочастот управления взрывом "Пелена-7" на транспортном средстве приведена на рис. 1.

Важнейшим параметром, имеющим практическое значение, является радиус подавления – расстояние от транспортного средства, оборудованного радиоэлектронным комплексом подавления радиочастот управления взрывом, до антенны приемника исполнительного устройства взрывного устройства, при котором радиоканал управления подавляется с вероятностью 0,9. Для определения радиуса подавления может быть использована следующая упрощенная формула[1]:

$$P_{\Pi} = D_{\text{В}} \left[ 4 \sqrt{\frac{P_{\Pi}}{P_{\text{В}}}} \left( \frac{F_{\text{В}2} - F_{\text{В}1}}{F_{\Pi 2} - F_{\Pi 1}} \right) \sqrt{\frac{h\Pi}{h\text{В}}} \right] \quad (1)$$

где  $R_{\Pi}$  – радиус подавления;  $D_{\text{В}}$  – длина радиочастотной линии управления взрывом (расстояние между передатчиком команд и приемником исполнительного устройства);  $P_{\Pi}$  – мощность передатчика помех;  $P_{\text{В}}$  – мощность передатчи-

Таблица 1.

Технические характеристики радиоэлектронного комплекса "Пелена-7".

Номер частотной полосы	Диапазон рабочих частот, МГц		Суммарная выходная мощность не менее 80 Вт, в том числе, Вт
	в режиме "Полный"	в режиме "Сотовый"	
Литера 1	20 - 250	20 - 250	17
Литера 2	250 - 500	250 - 500	17
Литера 3	500 - 750	500 - 750	13
Литера 4	750 - 1000	925 - 960	13
Литера 5	1000 - 1700	1000 - 1700	10
Литера 6	1700 - 2000	1805 - 1880	10

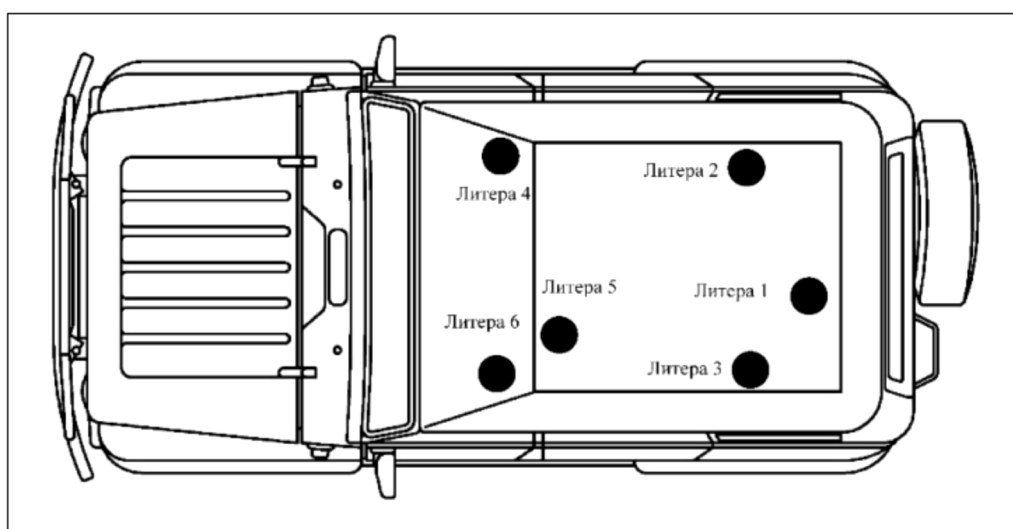


Рисунок 1. Схема размещения антенн мобильного радиоэлектронного комплекса "Пелена-7" на транспортном средстве (вид сверху).



ка команд;  $F_{B1}$ ,  $F_{B2}$  – нижняя и верхняя частоты сигнала передатчика команд;  $F_{n1}$ ,  $F_{n2}$  – нижняя и верхняя частоты сигнала передатчика помех;  $h_n$  – высота подъема антенны передатчика помех над землей;  $h_B$  – высота подъема антенны передатчика команд над землей.

Как следует из выражения (1), радиус подавления зависит от ряда параметров, характеризующих радиоэлектронный комплекс подавления, аппаратуру управления взрывом и их взаимное расположение. В случае использования криминальными структурами телефона мобильной связи в качестве приемника исполнительного устройства, в качестве передатчика сигналов управления взрывным устройством будет выступать базовая станция мобильной связи. Оценка радиуса подавления с помощью выражения (1) для радиоэлектронного комплекса "Пелена-7" в условиях города дает значение  $R_n \sim 45$  метров в режиме "Полный" и  $R_n \sim 75$  метров в режиме "Сотовый".

Система регионального мониторинга 14Ц890 (СРМ 14Ц890) (ЗАО "Конструкторское бюро навигационных систем", г. Москва) предназначена для оснащения транспортных средств, личного состава и других подвижных объектов Вооруженных Сил Российской Федерации и других силовых структур.

*Основными характеристиками данной системы являются:*

- ◆ повышенная чувствительность и помехозащищенность навигационных приемников ГЛОНАСС/GPS, установленных в бортовых терминалах навигационной аппаратуры;

- ◆ НАП СНС ГЛОНАСС/GPS, представленная потребителскими навигационно-информационными комплектами серии ПНИК\*, относится к средствам измерений [6] и обеспечивает гарантированную точность определения местоположения объекта;

\* ПНИК-потребительский навигационно-информационный комплект.

- ◆ обеспечение работы по высокоточному сигналу (сигналу санкционированного доступа);

- ◆ возможность формирования корректирующей информации, значительно улучшающей точность позиционирования;

- ◆ обеспечение технического закрытия (скремблирования и специального кодирования) информации, передаваемой по открытым каналам связи.

*СНИЦ является основой СРМ 14Ц890 и осуществляет:*

- ◆ контроль местоположения объектов, отображение текущей обстановки на фоне электронной карты местности, управляет работой комплектов серии ПНИК, а также обеспечивает работу в режиме приема широкозонных и локальных дифференциальных поправок;

- ◆ управление исполнительными устройствами;
- ◆ контроль состояния различных датчиков (тревога, скорость и т.д.).

АМУН предназначена для получения информации, необходимой для контроля качества навигационных полетов систем ГЛОНАСС и GPS, определения региональных условий навигации в районе развертывания системы (включая данные о помеховой обстановке) и формирования корректирующей информации (дифференциальных поправок).

В состав АМУН входит высокоточный навигационный приемник ГЛОНАСС/GPS геодезического класса с анализатором спектра сигналов.

*Как отмечалось выше, в состав СРМ 14Ц890 входят три типа потребительских навигационно-информационных комплекта различного назначения:*

- ◆ комплекты, предназначенные для стационарной установки на автомобили многоцелевого назначения и транспортные средства (ПНИК-Т);

- ◆ комплекты, предназначенные для индивидуального применения (ПНИК-И);

- ◆ комплекты, предназначенные для оперативной установки на автомобили многоцелевого назначения и транспортные средства (ПНИК-О).

Показателем помехозащищенности НАП СНС ГЛОНАСС/GPS является максимальное отношение мощности помехи  $P_p$  к мощности сигнала  $P_{снс}$  на входе приемника (или на выходе изотропной антенны), при котором приемник НАП СНС ГЛОНАСС/GPS остается работоспособным (выполняет возложенные на него функции). Типовая помехоустойчивость навигационной аппаратуры потребителей ГЛОНАСС составляет 25...40 дБ [2-4]. Применяя методику оценки помехоустойчивости НАП СНС ГЛОНАСС/GPS [5], с учетом технических характеристик радиоэлектронного комплекса подавления радиолиний управления взрывом "Пелена-7" при спектральной плотности сигнала помехи 14 мВт/МГц и средней мощности 0.18-0.2 Вт в диапазонах L1 и L2 навигационных сигналов получаем значение радиуса подавления около 250 метров. Следует отметить, что сигнал помехи, излучаемый комплексом "Пелена-7" в указанных диапазонах, имеет равномерный спектр (рис. 2).

В целях экспериментальной проверки полученных выше оценок радиусов подавления изучалось влияние помеховых сигналов как на каналы передачи данных GSM-GPRS (925-965 МГц), так и на возможность приема навигационных сигналов в диапазонах L1 и L2. Проверка работоспособности системы осуществлялась с помощью навигационно-информационного комплекта ПНИК-И (рис. 3).

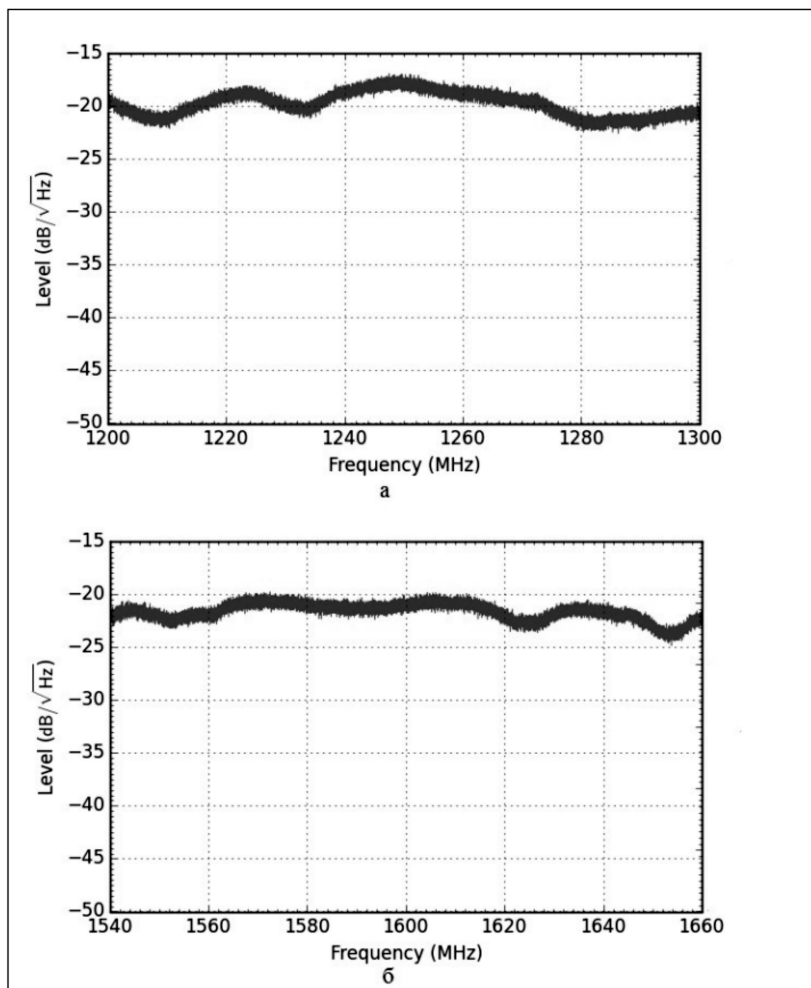


Рисунок 2. Спектр сигнала помехи: а - в диапазоне 1200 -1300 МГц, б - в диапазоне 1540 -1660 МГц.



Рисунок 3. Внешний вид потребительского навигационно- информационного комплекта ПНИК-И.

Выбор этого комплекта обусловлен наличием раздельной индикации на экране изделия количества видимых спутников СНС ГЛОНАСС и GPS.

*В качестве критериев работоспособности системы СРМ 14Ц890 были выбраны два:*

1. способность системы обеспечивать связь НАП СНС ГЛОНАСС/GPS с СНИЦ для передачи навигационной информации с ее визуализацией на автоматизированном рабочем месте оператора;
2. способность НАП СНС ГЛОНАСС/GPS принимать навигационные сигналы и выполнять решение навигационной задачи.

При анализе работоспособности по первому критерию на автоматизированном рабочем месте оператора системы фиксировались состояния "Объект на связи" и "Связь с объектом потеряна".

Работоспособность системы СРМ 14Ц890 по второму критерию оценивалась по наличию навигации, что

отражалось на автоматизированном рабочем месте оператора по сообщениям системы – "Навигация есть" и "Навигация отсутствует". При этом также фиксировалось количество "видимых" навигационных спутников ГЛОНАСС и GPS с помощью комплекта ПНИК–И.

Также в процессе экспериментальной проверки с помощью анализатора спектра оценивался уровень помехового сигнала в точках размещения НАП СНС ГЛОНАСС/GPS ПНИК–И.

Результаты экспериментальной проверки работоспособности СРМ 14Ц890 в условиях применения радиоэлектронного комплекса подавления радиопередачи управления взрывом "Пелена–7" приведены в табл. 2.

В ходе экспериментальной проверки результатов оценки радиуса подавления канала передачи навигационно–временной информации на СНИЦ СРМ 14Ц890 установлено, что восстановление связи НАП СНС ГЛОНАСС/GPS при работе изделия "Пелена–7" в режиме "Полный" происходит на расстоянии около 45 метров (рис. 4), в режиме "Сотовый" – на расстоянии 65 метров (рис. 5).

Полученные результаты соответствуют радиусам подавления, заявленным разработчиком аппаратуры радиоэлектронного комплекса "Пелена–7".

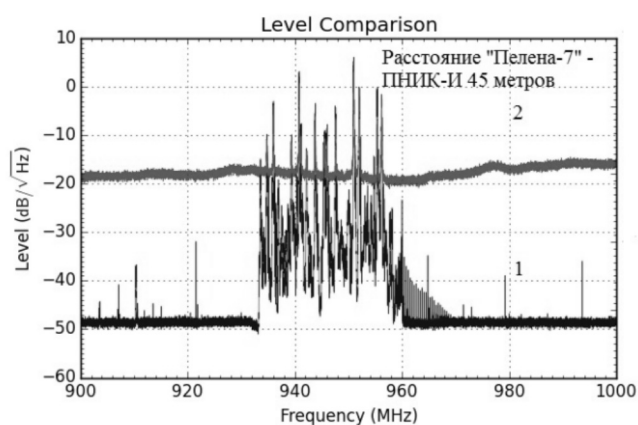


Рисунок 4. Спектры радиосигналов в диапазоне 900-1000 МГц:  
1- спектр радиосигнала операторов мобильной связи стандарта GSM;  
2- спектр радиосигнала при включении радиоэлектронного комплекса "Пелена-7" в режиме "Полный".

Таблица 2.

Результаты экспериментальной проверки работоспособности СРМ 14Ц890 в условиях применения радиоэлектронного комплекса подавления радиопередачи управления взрывом "Пелена-7".

Расстояние до транспортного средства с установленным радиоэлектронным комплексом "Пелена–7", м	Наличие навигации <sup>1</sup>	Количество видимых спутников ГЛОНАСС	Количество видимых спутников GPS	Наличие связи НАП СНС ГЛОНАСС/GPS с СНИЦ <sup>2</sup>	
				в режиме "Полный"	в режиме "Сотовый"
5	" - "	0	0	" - "	" - "
10	" - "	0	0	" - "	" - "
15	" - "	0	0	" - "	" - "
20	" - "	0	0	" - "	" - "
25	" - "	0	1	" - "	" - "
30	" - "	0	1	" - "	" - "
35	" - "	0	2	" - "	" - "
40	" - "	0	2	" - "	" - "
45	" - "	0	3	" + "	" - "
50	" - "	0	3	" + "	" - "
55	" - "	0	3	" + "	" - "
60	" - "	0	3	" + "	" - "
65	" - "	1	3	" + "	" + "
70	" + "	2	4	" + "	" + "
75	" + "	3	4	" + "	" + "

Примечание:

1. " - " - навигация отсутствует, " + " - навигация есть; 2. " - " - связь с объектом потеряна, " + " - объект на связи.

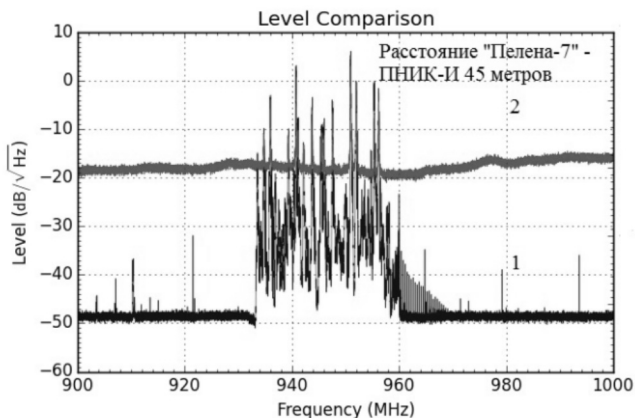


Рисунок 5. Спектры радиосигналов в диапазоне 900-1000 МГц: 1- спектр радиосигнала операторов мобильной связи стандарта GSM; 2- спектр радиосигнала при включении радиоэлектронного комплекса "Пелена-7" в режиме "Сотовый".

Восстановление приема навигационных сигналов

спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС и GPS наблюдалось на расстоянии ПНИК-И от радиоэлектронного комплекса "Пелена-7" около 70 метров, что примерно в 3.5 раза меньше оценочного значения.

Таким образом, анализ полученных в работе расчетных оценок и их экспериментальная проверка показывают, что применение аппаратуры радиоэлектронного комплекса подавления радиолиний управления взрывом совместно с навигационной аппаратурой потребителей ГЛОНАСС/GPS в составе спутниковых навигационно-мониторинговых систем приводит к потере работоспособности последних в "ближней" зоне на расстоянии до 45–65 метров для каналов передачи навигационно-временной информации и расстоянии до 70 метров для приемника навигационных сигналов. Данное обстоятельство требует принятия организационных мер и решения технических задач для повышения помехоустойчивости НАП СНС ГЛОНАСС/GPS при их совместном использовании с радиоэлектронными комплексами подавления радиолиний управления взрывом в составе бортовых систем специального транспорта специальных подразделений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дистанция подавления или эффективный радиус подавления блокиратора радиовзрывателей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://arlist.ru/article/article\\_1.html?template=7](http://arlist.ru/article/article_1.html?template=7), свободный. – Загл. с экрана.
2. Оганесян, А. А. Помехоустойчивая аппаратура глобальной навигационной системы ГЛОНАСС для современных образцов вооружения, военной и специальной техники [Электронный ресурс] / А.А. Оганесян // Национальная оборона: электронный журнал. – 2015. – № 7. – Режим доступа: <http://www.oborona.ru/includes/periodics/defense/2014/0703/175313689/detail.shtml>, свободный. – Загл. с экрана.
3. Тяпкин, В.Н., Дмитриев, Д.Д., Мошкина, Т.Г. Потенциальная помехоустойчивость навигационной аппаратуры потребителей спутниковых радионавигационных систем [Текст] / В.Н.Тяпкин, Д.Д. Дмитриев, Т.Г. Мошкина // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетнева. – 2012. – №3(43). – с.113–119.
4. Тяпкин, В.Н. Методы определения навигационных параметров подвижных средств с использованием спутниковой радионавигационной системы ГЛОНАСС: монография / В. Н. Тяпкин, Е. Н. Гарин. – Красноярск: Сиб. федер. ун–т, 2012. – 260 с.
5. Дворников, С.В., Духовницкий, О.Г. Оценка помехозащищенности профессионального радионавигационного оборудования системы ГЛОНАСС [Текст] / С.В. Дворников, О.Г. Духовницкий //Информация и Космос. – 2015. – №4. – с.73–77.
6. Приказ Росстандарта от 17.08.2012 №559 (ред. от 12.04.2013) "Об утверждении типов средств измерений".

© Т.К. Шогенов, (shogenov@yandex.ru), Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»,



"Ни о чем не думает лишь тот,  
кто ничего не читает."  
Д.Дидро

Реклама

# МЕТОДИКА КОЛИЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО ДИОДА НА ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ МОДЕ

## QUANTITATIVE ANALYSIS OF THE RADIATION OF THE LASER DIODE AT FUNDAMENTAL MODE

*V. Bliznyuk  
N. Berezovskaya  
V. Parshin  
A. Tarasov*

### Annotation

There is an algorithm for determining the generation mode to the fundamental mode by comparing the measured and calculated values of the function that describes the radiation pattern, for three values of the argument of simple relations with the values of the Gaussian curve inflection points. It has been shown that these ratios are completely determined by the divergence angle of the radiation.

**Keywords:** laser diode, fundamental mode, directional radiation pattern, the near-field zone, the far-field zone.

*Близнюк Владимир Васильевич  
К.т.н., доцент, НИУ "МЭИ"  
Березовская Наталия Витальевна  
Аспирант, НИУ "МЭИ"  
Паршин Василий Алексеевич  
Студент, НИУ "МЭИ"  
Тарасов Александр Евгеньевич  
Ст. преподаватель, НИУ "МЭИ"*

### Аннотация

Разработан алгоритм определения режима генерации на фундаментальной моде путем сравнения измеренных и расчетных значений функции, описывающей диаграмму направленности, при трех значениях аргумента, связанных простыми соотношениями со значениями абсцисс точек перегиба гауссовой кривой. Показано, что эти соотношения полностью определяются углом расходимости излучения.

### Ключевые слова:

Лазерный диод, фундаментальная мода, диаграмма направленности излучения, ближняя зона поля, дальняя зона поля.

## Введение

Среди лазерных диодов (далее – ЛД), нашедших широкое применение в различных оптико-электронных комплексах и системах, особое место занимают ЛД, работающие в одномодовом режиме генерации, под которым обычно подразумевают генерацию на фундаментальной моде.

Не останавливаясь на особенностях конструкций таких ЛД, отметим только, что в диаграмме направленности их излучения доминирует один лепесток, в котором сосредоточена практически вся энергия излучения. Нарушение одномодового режима генерации приводит к существенному ухудшению параметров как информационных, так и измерительных лазерных систем. Поэтому при диагностике таких систем в ходе проведения пуско-наладочных и регламентных работ большое внимание уделяется анализу режима генерации ЛД.

Для определения режима генерации ЛД используется анализ нормированных угловых зависимостей интенсивности излучения ЛД в плоскости, перпендикулярной

$p$ - $p$ -переходу (далее – вертикальной плоскости), и в плоскости  $p$ - $n$ -перехода (далее – горизонтальной плоскости) [1–3]. Измерения проводят при разных уровнях мощности излучения. Если при возрастании мощности излучения ЛД нормированные угловые зависимости интенсивности излучения в вертикальной и горизонтальной плоскости не изменяются и возможна хорошая аппроксимация этих зависимостей гауссовой функцией, то принято считать, что имеет место генерация на основной моде [1–3]. Однако использование такой методики позволяет лишь качественно оценить модовую структуру излучения.

Строгое определение режима генерации ЛД на фундаментальной моде осуществляется путем измерений коэффициента распространения пучка  $M^2$ . В случае сильно расходящегося излучения ЛД параметр  $M^2$  определяется по методике, изложенной в [1]. Авторы используют факторизованное представление поперечного распределения интенсивности в лазерном пучке:  $M^2 = M_x \cdot M_y$ , где  $M_x$  и  $M_y$  – факторы для вертикальной и горизонтальной плоскостей соответственно, и полагают, что фактор  $M_x$  с хорошей степенью точности всегда равен единице.

В таком случае

$$M^2 = M_y = 2k_0 \sigma_y \sigma_\phi = (2\pi / \lambda_0) \sigma_y \sigma_\phi, \quad (1)$$

где  $k_0$  и  $\lambda_\phi$  – волновое число и длина волны излучения в вакууме;  $\sigma_y$  и  $\sigma_\phi$  – среднеквадратичные размеры пучка в горизонтальной плоскости в ближней и дальней зоне.

Эти размеры определяются из соотношений [1]:

$$\sigma_y = \left[ \frac{\int F(y)y^2 dy}{\int F(y)dy} \right]^{1/2};$$

$$\sigma_\phi = \left[ \frac{\int I(\phi) \sin^2 \phi d(\sin \phi)}{\int I(\phi) d(\sin \phi)} \right]^{1/2}, \quad (2)$$

где  $F(y)$  и  $I(\phi)$  – распределения интенсивности в ближней и дальней зоне;  $y$  – координата точки на выходном зеркале ЛД;  $\phi$  – угловая координата точки, расположенной в дальней зоне.

Следует заметить, что определение вида функции  $F(y)$  связано с использованием дорогостоящего оборудования и сложной обработкой результатов измерений, а приближение  $M_x = 1$  если и может быть использовано, то только после проведения его тщательного анализа.

#### Цель исследования

Анализ разработанных к настоящему времени методов определения режима генерации ЛД на фундаментальной моде позволяет заключить, что их реализация связана с кропотливыми измерениями распределений интенсивности излучения в ближней и дальней зоне, требующими высокой квалификации обслуживающего персонала. Проведение таких измерений в условиях массового производства ЛД представляет собой сложную организационно-технологическую задачу, решение которой невозможно без увеличения себестоимости продукции. Рост себестоимости можно значительно уменьшить, если при диагностике лазерного пучка исключить измерения распределений интенсивности излучения в ближней зоне. В связи с этим приобретает актуальность разработка методики определения режима генерации ЛД на фундаментальной моде с использованием количественного анализа диаграмм направленности излучения ЛД в дальней зоне поля.

Угловое распределение интенсивности излучения в свободное пространство в вертикальной (или горизонтальной) плоскости зависит от Фурье-разложения координатного распределения интенсивности излучения  $F(x)$  (или  $F(y)$ ) в ближней зоне и квадрата углового фактора Гюйгенса  $G^2(\theta)$ , где  $\theta$  – полярный угол [4]. Влияние этого фактора на угловое распределение интенсивности излу-

чения возрастает по мере удаления от оси лазерного пучка, вследствие чего само распределение описывается функцией  $f(\theta)$ , отличающейся от гауссовой функции. В наибольшей степени зависимость  $f(\theta)$  от углового фактора проявляется в вертикальной плоскости, где расходимость излучения ЛД в свободное пространство значительно больше, чем в горизонтальной плоскости.

Настоящая работа посвящена разработке методики количественного анализа функции  $f^\perp(\theta)$ , описывающей диаграмму направленности излучения ЛД в вертикальной плоскости. Целью исследования является определение условий, при выполнении которых путем количественного анализа функции можно определять режим генерации ЛД на фундаментальной моде.

#### Методика исследования

Предлагаемая методика исследования (количественного анализа) функции базируется на том, что диаграмма направленности излучения с расходимостью, определяемой дифракционным пределом, формируется, когда нормированное распределение его интенсивности в ближней зоне описывается гауссовой функцией [4].

В этом случае, как показано в [5], нормированное угловое распределение интенсивности излучения в вертикальной плоскости в дальней зоне

$$f^\perp(\theta) = G^2(\theta^\perp) \exp(-A^2 z^2), \quad (3)$$

где  $G^2(\theta^\perp)$  – квадрат углового фактора Гюйгенса [6]:

$$G^2(\theta^\perp) = ((m^2 + \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta^\perp}) / (m^2 \cos \theta^\perp + \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta^\perp}))^2 \cos^2 \theta^\perp, \quad (4)$$

где  $m = 1$  для ТЕ-мод или  $m = n$  для ТМ-мод, а  $n$  – показатель преломления волновода;

$$A^2 = \ln [2G^2(\theta_{1/2}^\perp)] / \sin^2 \theta_{1/2}^\perp, \quad (5)$$

$$z^2 = \sin^2 \theta^\perp \quad (6)$$

где  $G^2(\theta_{1/2}^\perp)$  – квадрат углового фактора

при  $\theta^\perp = \theta_{1/2}^\perp$ ;

$\theta_{1/2}^\perp$  – половина угла расходимости излучения в вертикальной плоскости;

$z$  – абсцисса точки гауссовой кривой

$\varphi_g(z) = \exp(-A^2 z^2)$  в декартовой системе координат.

Анализ (3) – (6) показывает, что функция  $f^\perp(\theta)$  описывающая диаграмму направленности излучения ЛД на фундаментальной моде, должна быть четной. Таким образом, определение режима генерации ЛД на фундаментальной моде возможно путем анализа только симметричных относительно оси лазерного пучка диаграмм направленности излучения.

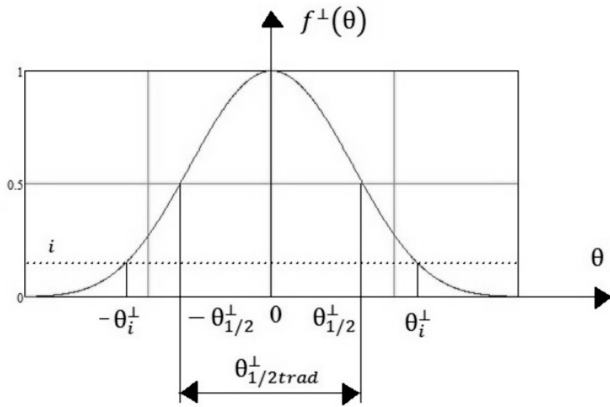


Рисунок 1. Определение угла расходимости излучения ЛД в случае, когда диаграмма направленности симметрична относительно оптической оси измерительной установки, где

$\theta_i^\perp, \theta_{1/2}^\perp$  – аргументы функции  $f^\perp(\theta)$ ,

при которых ее значения равны  $i$  и  $0,5$  соответственно;

$\theta_{1/2}^\perp$  – полный угол расходимости излучения при  $f^\perp(\theta)=0,5$

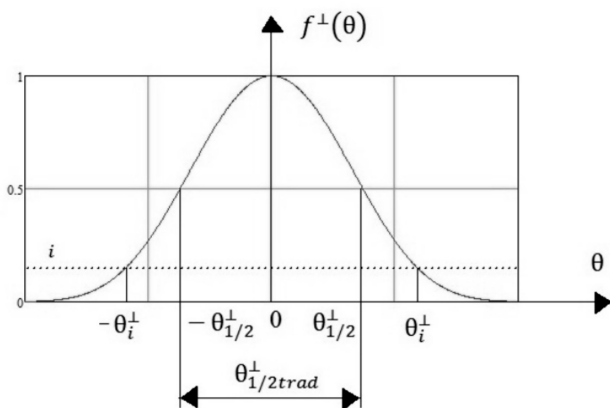


Рисунок 2. Определение угла расходимости излучения ЛД в случае, когда ось диаграммы направленности повернута на угол относительно оптической оси измерительной установки, где

$\theta_{1/2}^\perp$  – аргументы функции  $f^\perp(\theta)$ , при которых ее значения равны  $i$ ;

$\theta_{1/2}^\perp$  – полный угол расходимости излучения при  $f^\perp(\theta)=0,5$ ;

$\theta_{1/2}^\perp$  – угол между осью диаграммы направленности лазерного излучения и оптической осью измерительной установки.

Если пространственное положение оси симметричной диаграммы направленности задается полярным углом  $\theta=0$ , то функция принимает некоторое значение  $i$  при двух аргументах  $\theta_i^\perp$ , равных по модулю, но противоположных по знаку (рис.1).

Для анализа симметричных диаграмм направленнос-

ти излучения в настоящей работе используется угол

$$\theta_{1/2sm}^\perp, \text{ определяемый по формуле:}$$

$$\theta_{1/2}^\perp = 0.5\theta_{1/2trrad}^\perp, \quad (7)$$

где

$\theta_{1/2sm}^\perp$  – угол расходимости излучения, который по традиции, сложившейся в полупроводниковой квантовой электронике, измеряется на уровне  $1/2$  от максимальной интенсивности излучения ЛД (рис.1).

Использование параметра позволяет анализировать функцию  $f^\perp(\theta)$  и в том случае, когда положение оси диаграммы направленности задается полярным углом  $\theta \neq 0$  (рис.2).

Как видно на рис.2, при смещении оси диаграммы направленности от оптической оси измерительной схемы условие  $f^\perp(\theta_{1/2}^\perp) = 0,5$  выполняется при двух значениях параметра  $\theta_{1/2}^\perp$ :  $\theta_1^\perp$  и  $\theta_2^\perp$ , имеющих противоположные знаки.

В этом случае параметр  $\theta_{1/2}^\perp$

рассчитывается как среднее арифметическое суммы модулей этих параметров  $\theta_{1/2sr}^\perp$ :

$$\theta_{1/2}^\perp = \theta_{1/2sr}^\perp = 0.5(|\theta_1^\perp| + |\theta_2^\perp|), \quad (8)$$

а смещение оси диаграммы направленности

$$\theta_{1/2}^\perp$$

находится как разность модуля большего из двух значений параметра

$$\theta_{1/2}^\perp \text{ и } \theta_{1/2sr}^\perp:$$

$$\theta_{1/2sm}^\perp = |\theta_1^\perp| - |\theta_2^\perp| - \theta_{1/2sr}^\perp \quad (9)$$

Точки перегиба  $B$  и  $C$  гауссовой кривой, приведенной на рис.3, имеют координаты

$$\pm 1 / (A\sqrt{2}), \quad 1 / \sqrt{e} \quad [7].$$

Обозначим через абсциссы точек  $B$  и  $C$ . Тогда

$$z_p^2 = 1 / (2A^2), \text{ а}$$

$$f^\perp(\theta_p^\perp) = G^2(\theta_p^\perp) \exp(-1/2). \quad (10)$$

Используя условие  $A^2 z_p^2 = 1/2$ ,

а также (5) и (6), рассчитываем параметр

$$\theta_p^\perp \text{ по формуле:}$$

$$\sin^2 \theta_p^\perp = \sin^2 \theta_{1/2}^\perp / (2 \ln [2G^2(\theta_{1/2}^\perp)]), \quad (11)$$

где  $\theta_{1/2}^\perp$  – параметр, определяемый по (7) при условии, что

$$\theta_{1/2sm}^\perp = 0 \text{ или по (8), если}$$

$$\theta_{1/2sm}^\perp \neq 0.$$

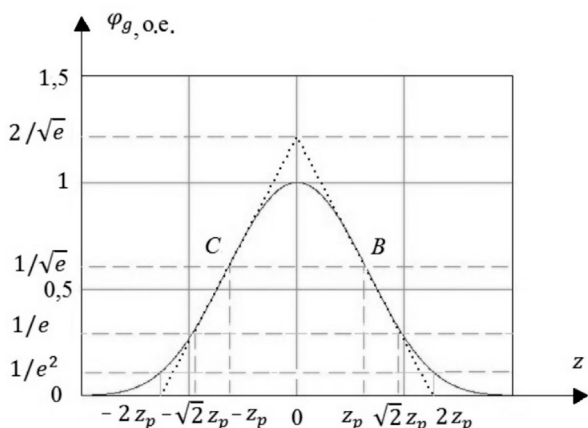


Рисунок 3. определение по гауссовой кривой трех значений аргумента функции

$$f^\perp(\theta) : \theta_p^\perp, \theta_{1/b}^\perp \text{ и } \theta_{1/b^2}^\perp,$$

при которых сравниваются измеренные и расчетные значения этой функции, где  $z_p$  - абсцисса точки перегиба гауссовой кривой;

$$\sqrt{2}z_p \text{ и } 2z_p$$

- аргументы функции  $\varphi_g(z)$ , при которых она принимает значения  $1/e$  и  $1/e^2$  соответственно.

Зная  $\theta_p^\perp$ , по формуле (4) рассчитываем квадрат углового фактора  $G^2(\theta_p^\perp)$ .

У расчетного параметра  $\theta_p^\perp$  есть два значения.

В том случае, когда  $\theta_{1/2sm}^\perp = 0$ , модули этих значений равны, а знаки противоположны.

Используя найденные из (11) значения  $\theta_p^\perp$ ,

по массиву измеренных значений функции  $f^\perp(\theta)$  находим соответствующие им значения

$$f^\perp(-\theta_p^\perp) \text{ и } f^\perp(\theta_p^\perp).$$

В том случае, когда диаграмма направленности симметрична относительно оптической оси схемы измерений, эти значения должны быть равными с точностью, определяемой погрешностью измерений.

Если экспериментально найденные значения

$$f^\perp(-\theta_p^\perp) \text{ и } f^\perp(\theta_p^\perp)$$

равны численному значению правой части (10), имеет место генерация ЛД на фундаментальной моде.

При  $\theta_{1/2sm}^\perp \neq 0$  в правую часть (11) вместо найденного по (7) параметра  $\theta_{1/2}^\perp$  подставляем значение

$\theta_{1/2sr}^\perp$ , определяемое по (8). И в этом случае

у расчетного параметра  $\theta_p^\perp$  есть два значения противоположного знака:

$$\theta_{p1}^\perp \text{ и } \theta_{p2}^\perp,$$

однако их модули не равны. Поэтому для нахождения

измеренных значений  $f^\perp(\theta_p^\perp)$  по массиву экспериментально определенных значений функции  $f^\perp(\theta)$  необходимо использовать значения ее аргумента, равные алгебраическим суммам  $\theta_{p1}^\perp + \theta_{1/2sm}^\perp$  и  $\theta_{p2}^\perp + \theta_{1/2sm}^\perp$ .

Если экспериментально найденные значения

$$f^\perp(\theta_{p1}^\perp + \theta_{1/2sm}^\perp) \text{ и } f^\perp(\theta_{p2}^\perp + \theta_{1/2sm}^\perp)$$

равны численному значению правой части (10), имеет место генерация ЛД на фундаментальной моде.

Значительный интерес представляет анализ той части диаграммы направленности, в которой появляются "крылья" диаграммы, сигнализирующие о нарушении одномодового режима генерации на его ранней стадии.

Проведенные нами экспериментальные исследования диаграмм направленности излучения ЛД с углами расходимости  $\theta_{1/2}^\perp$ , равными  $22,6^\circ$ , а также анализ работ [1,3,8], показывают, что значения функции  $f^\perp(\theta)$ , при которых по какой-либо причине начинает проявляться отклонение режима генерации от одномодового, находятся в диапазоне от 0,20 до 0,30 [1,3,8]. С учетом квадрата углового фактора, который при этом варьируется от 0,69 до 0,80, при таких значениях функции  $f^\perp(\theta)$  экспоненциальный множитель в правой части (3) изменяется в пределах от 0,290 до 0,375. Воспользуемся тем, что в этом диапазоне находится значение, равное  $1/e$ . Обозначим через  $z_{1/e}$  аргумент функции  $\varphi_g(z)$ , при котором она равна  $1/e$ . Тогда из (3) следует, что

$$A^2 z_{1/e}^2 = 1. \tag{12}$$

Так как

$$z_p^2 = 1 / (2A^2),$$

то из (12) следует, что

$$z_{1/e} = \sqrt{2}z_p,$$

а из (12), (5) и (6) находим, что

$$\begin{aligned} z_{1/e}^2 &= 1 / A^2 = \sin^2 \theta_{1/e}^\perp = \\ &= \sin^2 \theta_{1/2}^\perp / \ln [2G^2(\theta_{1/2}^\perp)]. \end{aligned} \tag{13}$$

Зная угол

$$\theta_{1/e}^\perp$$

по формуле (5) рассчитываем квадрат углового фактора

$$G^2(\theta_{1/e}^\perp).$$

В том случае, когда ось лазерного пучка совпадает с оптической осью измерительной схемы, параметр

$$\theta_{1/e}^\perp$$

имеет два значения:

$$(-\theta_{1/2}^\perp) \text{ и } \theta_{1/e}^\perp.$$



Если экспериментально найденные значения

$$f^\perp(-\theta_{1/e}^\perp) \text{ и } f^\perp(\theta_{1/e}^\perp)$$

равны произведению

$$G^2(\theta_{1/e}^\perp) \exp(-1),$$

имеет место генерация ЛД на фундаментальной моде. При угловом смещении оси диаграммы направленности

$$\theta_{1/2sm}^\perp$$

для нахождения измеренного значения

$$f^\perp(\theta_{1/e}^\perp)$$

по массиву экспериментально определенных значений функции  $f^\perp(\theta)$  необходимо использовать значения ее аргумента, равные алгебраическим суммам

$$\theta_{1/e}^\perp + \theta_{1/2sm}^\perp \text{ и } \theta_{1/e}^\perp + \theta_{1/2sm}^\perp.$$

Если экспериментально найденные значения

$$f^\perp(\theta_{1/e}^\perp + \theta_{1/2sm}^\perp) \text{ и } f^\perp(\theta_{1/e}^\perp + \theta_{1/2sm}^\perp)$$

равны произведению

$$G^2(\theta_{1/e}^\perp) \exp(-1),$$

имеет место генерация ЛД на фундаментальной моде.

Для повышения эффективности ввода излучения ЛД в оптическое волокно или фокусирующую оптическую систему необходимо знать вид функции  $f^\perp(\theta)$  в как можно более широком диапазоне значений углов  $\theta$ , включая и периферийную область лазерного пучка. Расчет углового фактора по (4) позволяет проводить высокоточный анализ диаграммы направленности излучения. В периферийной области лазерного пучка значения функции  $f^\perp(\theta)$  не превышают 0,05. Характерное значение квадрата углового фактора в этой области равно 0,45, и, таким образом, значение экспоненциального сомножителя в правой части (3) должно быть близко к  $1/e^2$ .

Обозначим через  $z_{1/e^2}$  аргумент функции  $\varphi_g(z)$ , при котором она равна  $1/e^2$ . Тогда из (3) следует, что

$$A^2 z_{1/e^2}^2 = 2. \quad (14)$$

Так как

то с учетом (14),  $z_{1/e^2} = 1/z_p$ , а из (14), (5) и (6) находим, что

$$\begin{aligned} z_{1/e^2}^2 &= 2 / A^2 = \sin^2 \theta_{1/e^2}^\perp = \\ &= 2 \sin^2 \theta_{1/2}^\perp / \ln [2G^2(\theta_{1/2}^\perp)]. \end{aligned} \quad (15)$$

Зная  $\theta_{1/e^2}^\perp$

по формуле (4) рассчитываем квадрат углового фактора

$$G^2(\theta_{1/e^2}^\perp).$$

В том случае, когда ось лазерного пучка совпадает с оптической осью измерительной схемы, параметр

$$\theta_{1/e^2}^\perp \text{ имеет два значения: } (-\theta_{1/e^2}^\perp) \text{ и } \theta_{1/e^2}^\perp.$$

Используя массив чисел, полученных в ходе измерений функции  $f^\perp(\theta)$ , определяем ее значения

$$f^\perp(-\theta_{1/e^2}^\perp) \text{ и } f^\perp(\theta_{1/e^2}^\perp).$$

Если  $f^\perp(-\theta_{1/e^2}^\perp) \text{ и } f^\perp(\theta_{1/e^2}^\perp)$

$$\text{равны произведению } G^2(\theta_{1/e^2}^\perp) \exp(-2),$$

имеет место генерация ЛД на фундаментальной моде.

При угловом смещении оси диаграммы направленности –  $\theta_{1/2sm}^\perp$  для нахождения измеренного значения

$$f^\perp(\theta_{1/e^2}^\perp)$$

по массиву экспериментально определенных значений функции  $f^\perp(\theta)$  необходимо использовать значения ее аргумента, равные алгебраическим суммам

$$\theta_{1/e^2}^\perp + \theta_{1/2sm}^\perp \text{ и } \theta_{1/e^2}^\perp + \theta_{1/2sm}^\perp.$$

Если экспериментально найденные значения

$$f^\perp(\theta_{1/e^2}^\perp + \theta_{1/2sm}^\perp) \text{ и } f^\perp(\theta_{1/e^2}^\perp + \theta_{1/2sm}^\perp)$$

$$\text{равны произведению } G^2(\theta_{1/e^2}^\perp) \exp(-2),$$

имеет место генерация ЛД на фундаментальной моде.

Определение квадрата углового фактора в периферийной области лазерного пучка по формуле (4) позволяет обеспечить высокую точность расчета параметра

$$\theta_{1/e^2}^\perp, \text{ а значит, и } f^\perp(\theta_{1/e^2}^\perp),$$

что крайне важно при малых значениях функции  $f^\perp(\theta)$  в этой области. При этом необходимо отметить, что использование в качестве углового фактора Гюйгенса множителя  $\cos^2 \theta^\perp$  вместо параметра  $G^2(\theta^\perp)$  приводит к большой методической погрешности.

Так, при углах, близких к  $\theta_{1/e^2}^\perp$ , значение коэффициента, стоящего в (4) перед  $\cos^2 \theta^\perp$ , больше единицы как минимум на 14%.

#### Заключение

Использование в явном виде формулы, аналитически описывающей диаграмму направленности излучения ЛД в свободное пространство, позволило разработать простой алгоритм определения режима генерации на фундаментальной моде. Установлено, что для определения такого режима генерации ЛД достаточно сравнить экспериментально найденные и расчетные значения функции,

описывающей диаграмму направленности, при трех значениях полярного угла, связанных простыми соотношениями со значениями абсцисс точек перегиба гауссовой

кривой. Показано, что эти соотношения полностью определяются углом расходимости излучения, чем обусловливается универсальность разработанной методики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Поповичев В.В., Давыдова Е.И., Мармалюк А.А., Симаков А.В., Успенский М.Б., Чельный А.А., Богатов А.П., Дракин А.Е., Плисюк С.А., Стратонников А.А. Мощные поперечно-однододовые полупроводниковые лазеры с гребневой конструкцией оптического волновода // Квантовая электроника. 2002. Т.32, №12. С. 1099 – 1104.
2. Слипченко С.О., Винокуров Д.А., Пихтин Н.А., Соколова З.Н., Станкевич А.Л., Тарасов И.С., Алферов Ж.И. Сверхнизкие внутренние оптические потери в квантово-размерных лазерных гетероструктурах раздельного ограничения // Физика и техника полупроводников. 2004. Т.38, вып.12. С. 1477 – 1486.
3. Давыдова Е.И., Ладугин М.А., Мармалюк А.А., Падалица А.А., Петровский А.В., Сухарев А.В., Успенский М.Б., Шишкин В.А. Мощные однододовые лазерные диоды на основе гетероструктур InGaAs/AlGaAs, легированных углеродом // Квантовая электроника. 2009. Т.39, №1. С. 18 – 20.
4. Елисеев П.Г. Введение в физику инжекционных лазеров. М.: Наука, 1983. 295 с.
5. Bliznyuk V., Berezovskaya N., Parshin V., Tarasov A. Non-standardized measurement methods and measuring instruments for parameters and characteristics of laser diodes radiation and their standardization prospects // INTERNATIONAL ACADEMIC FORUM AMO – SPITSE – NESEFF (20 – 25 June 2016, Moscow – Smolensk): Proceedings of the International Academic Forum AMO – SPITSE – NESEFF. – Smolensk: Publishing "Universum". – 2016. – P. 85 –86.
6. Thompson G.H.B. Physics of semiconductor laser devices // N.Y.: J. Wiley and Sons. 1980. P. 185 – 186.
7. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. М.: АМО, 2006. 911 с.
8. Богатов А.П., Гушик Т.И., Дракин А.Е., Некрасов А.П., Поповичев В.В. Оптимизация волноводных параметров лазерных гетероструктур InGaAs/AlGaAs/GaAs с целью наибольшего увеличения ширины пучка в резонаторе и получения максимальной лазерной мощности // Квантовая электроника, 2008. Т.38, №10. С. 935 – 939.

© В.В. Близняк, Н.В. Березовская, В.А. Паршин, А.Е. Тарасов, ( 40595141@mail.ru ), Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»,

# 7-9

## декабря

### КАЗАНЬ-2016

**ОРГАНИЗАТОРЫ**  
 Министерство промышленности и торговли Республики Татарстан,  
 Ассоциация предприятий и предпринимателей Республики Татарстан,  
 Мэрия города Казани,  
 ОАО «Казанская ярмарка»

При поддержке Президента и Правительства Республики Татарстан

Реклама



**16-я международная специализированная выставка**  
**Машиностроение.**  
**Металлообработка.**  
**Казань**

**11-я специализированная выставка**  
**ТехноСварка**  
**Казань**

ОАО «Казанская ярмарка»  
 Тел/факс: (843) 570-51-26,  
 570-51-11-круглосуточно  
 Россия, 420059, г. Казань,  
 Оренбургский тракт, 8  
 E-mail: d9@expokazan.ru  
[www.expomach.ru](http://www.expomach.ru),  
[www.svarkaexpo.ru](http://www.svarkaexpo.ru),  
[www.expokazan.ru](http://www.expokazan.ru)

## АЛГОРИТМЫ ОПТИМИЗАЦИИ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ГАРМОНИЗАЦИЮ СИСТЕМ ОБОРОТА ОПАСНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

### ALGORITHMS OF OPTIMIZATION OF THE FACTORS INFLUENCING HARMONIZATION OF SYSTEMS OF THE TURN OF DANGEROUS CHEMICALS

*E. Vygolova*

#### Annotation

Definition of harmonization of systems of a turn of dangerous chemicals is given. The principles and components of the most important factors of harmonization are formulated. Algorithms of optimization of factors and legislations on regulation of systems of a turn of dangerous chemicals are presented.

**Keywords:** systems of a turn of dangerous chemicals, algorithms of optimization of factors, vertical and horizontal harmonization.

*Выгорова Екатерина Николаевна*  
Соискатель, Санкт-Петербургский  
университет государственной  
противопожарной службы

#### Аннотация

Дано определение гармонизации систем оборота опасных химических веществ. Сформулированы принципы и составные части наиболее важных факторов гармонизации. Представлены алгоритмы оптимизации факторов и законодательств по регулированию систем оборота опасных химических веществ.

#### Ключевые слова:

Системы оборота опасных химических веществ, алгоритмы оптимизации факторов, вертикальная и горизонтальная гармонизация.

В целях повышения конкурентоспособности [1] продукции российской химической продукции необходимо, чтобы эта продукция соответствовала требованиям законодательства, регулирующего ее оборот на международных рынках, например, на рынке оборота опасных химических веществ (ОХВ) Европейского Союза [4] (ЕС). В этой связи необходимо осуществить процесс гармонизации соответствующего отечественного и европейского законодательства [2]. Гармонизация – это создание удобных, комфортных условий для взаимовыгодных отношений, обеспечивающих эффективное развитие участников совместного процесса. Под гармонизацией систем оборота опасных химических веществ понимается: согласованность и непротиворечивость законодательств, нормативных актов государств, регламентирующих деятельность взаимодействующих систем оборота ОХВ; отсутствие противоречий и системных конфликтов между организациями, участвующими во взаимодействующих системах оборота ОХВ; исключение дублирующих (повторных) процедур со стороны регулирующих органов государств, контролирующих процессы оборота опасных химических веществ на своих территориях; минимизация финансовых издержек и времени на осуществление участниками взаимодействующих систем оборота ОХВ внутрисистемных и межсистемных операций.

Наиболее важными (движущими) факторами для гармонизации систем оборота опасных химических веществ российского производства в РФ и ЕС являются: факторы,

обеспечивающие эффективное производство химически опасных веществ российского производства в РФ; факторы, регламентирующие безопасную транспортировку химически опасных веществ российского производства в ЕС и РФ, а также трансграничные перевозки; факторы, обеспечивающие эффективное потребление (эксплуатацию, реализацию, хранение) химически опасных веществ российского производства в РФ и ЕС. Для организации эффективного производства ОХВ необходимо в первую очередь: определить номенклатуру химически опасных веществ, для которых наблюдается существенный и стабильный спрос как на рынках РФ, так и на рынках зарубежных стран (например, ЕС); проанализировать технические, технологические возможности, компетенцию персонала для осуществления производства ОХВ на уровне мировых стандартов; проанализировать российские и зарубежные (ЕС) законодательства, регламентирующие процессы производства ОХВ; рассчитать финансовую сторону проекта, особенно, в части инвестиционной привлекательности и прибыльности; оценить экологическую безопасность проекта.

Для организации безопасной транспортировки ОХВ необходимо в первую очередь: проанализировать российские и зарубежные (ЕС) законодательства, регламентирующие безопасные транспортировки ОХВ; оценить объемы, специфику, опасность перевозимых грузов, сроки и технические возможности их своевременной доставки в пункты назначений; проанализировать наличие необходимых транспортных средств, их техническое со-

стояние, квалификацию водителей, состояние погрузочно-разгрузочных терминалов, наличие сопровождающей охраны; согласовать маршруты и интенсивность транспортировки грузов с органами МЧС, пограничной службы и службы безопасности транзитных стран; оценить текущую климатическую и дорожную ситуацию. Для организации эффективного потребления (эксплуатации, реализации, хранения) ОХВ необходимо в первую очередь: проанализировать российские и зарубежные (ЕС) законодательства, регламентирующие потребление (эксплуатацию, реализацию, хранение) ОХВ; оценить возможности российских и зарубежных (ЕС) организаций по безопасному и эффективному потреблению (эксплуатации, реализации, хранению) ОХВ; выработать рекомендации для российских и зарубежных (ЕС) организаций по созданию условий для безопасного и эффективного потребления (эксплуатации, реализации, хранению) ОХВ. Поскольку для эффективного решения типовых задач систем оборота ОХВ требуется одновременное выполнение законодательств РФ и зарубежных (ЕС) по регулированию оборотом ОХВ, то возникает необходимость гармонизации этих законодательств. Гармонизация законодательств по регулированию оборотом ОХВ – это составная часть последовательных процессов по сближению, гармонизации и унификации законодательств РФ и других стран (например, ЕС) по вопросам контроля за оборотом опасных химических веществ. К основным принципам гармонизации (сближения, унификации) законодательств по контролю за оборотом опасных химических веществ можно отнести следующие: согласованность мер по правому регулированию; единовременность принятия законодательных актов; последовательность реализации этапов по изменению законодательств; приоритетность использования апробированных норм и принципов международного права в национальных законодательных актах [3].

Процесс сближения национальных законодательств – это согласованная законотворческая деятельность по приведению национальных актов РФ и союзов зарубежных стран (например, ЕС), в основном, во взаимное соответствие по своему содержанию и направленности по вопросам контроля за оборотом опасных химических веществ. Процесс гармонизации национальных законодательств – это согласованная законотворческая деятельность по преобразованию национальных актов РФ и союзов зарубежных стран (например, ЕС), в результате которой данными законодательствами будет обеспечена аналогичная правоприменительная практика по содержанию, принципам правового регулирования и предполагаемым результатам по вопросам контроля за оборотом опасных химических веществ при различных юридических методах достижения указанного результата. При сравнении российских и международных (европейских) норм предельно допустимых концентраций ОХВ в интересах гармонизации должна выбираться более строгая норма.

Процесс унификации национальных законодательств – это согласованная законотворческая деятельность по изменению национальных актов РФ и союзов зарубежных стран (например, ЕС), в результате которой законодательства становятся идентичными (полностью совпадающими) по вопросам контроля за оборотом опасных химических веществ. Процесс международной унификации законодательств при подчинении национального законодательства международной правовой практике следует увязывать с вопросами национальной безопасности и обеспечения суверенного статуса государства.

В этой связи, в интересах поддержания суверенности государства следует рассматривать аспект изменения национального законодательства в направлении гармонизации его с аналогичными правовыми актами по регулированию оборота опасных химических веществ. Оптимизацию факторов, существенно влияющих на гармонизацию предполагается осуществлять в направлении реализации мер, позволяющих эффективно решать типовые задачи по обеспечению процессов внутри взаимодействующих систем оборота ОХВ при сокращении времени и финансовых издержек на выполнение указанных задач. Сущность алгоритмов оптимизации будет заключаться в описании последовательности действий по эффективному обеспечению процессов при сокращении времени и финансовых издержек внутри взаимодействующих систем оборота ОХВ. На рис.1. представлен алгоритм оптимизации факторов, влияющих на гармонизацию систем оборота опасных химических веществ с внутренней оптимизацией каждого шага.

*В ходе выполнения первого шага алгоритма (рис.1.) предполагается прохождение следующих уровней гармонизации (сближения и возможной унификации) законодательств РФ и других стран (ЕС) (рис.2.):*

- ◆ первый уровень гармонизации на уровне государственных соглашений по проблемам оборота опасных химических веществ между РФ и другими странами (ЕС);
- ◆ второй уровень гармонизации – это осуществление вертикальной или иерархической гармонизации национальных законодательств по проблемам оборота опасных химических веществ в целом;
- ◆ третий уровень гармонизации – это осуществление горизонтальной гармонизации по регламентации процессов, протекающих в национальных системах оборота опасных химических веществ РФ и других стран (ЕС);
- ◆ четвертый уровень гармонизации – это осуществление гармонизации правовых норм в пределах отдельных правовых актов.

**Первый уровень гармонизации** на уровне государственных соглашений по проблемам оборота опасных химических веществ между РФ и другими странами (ЕС).

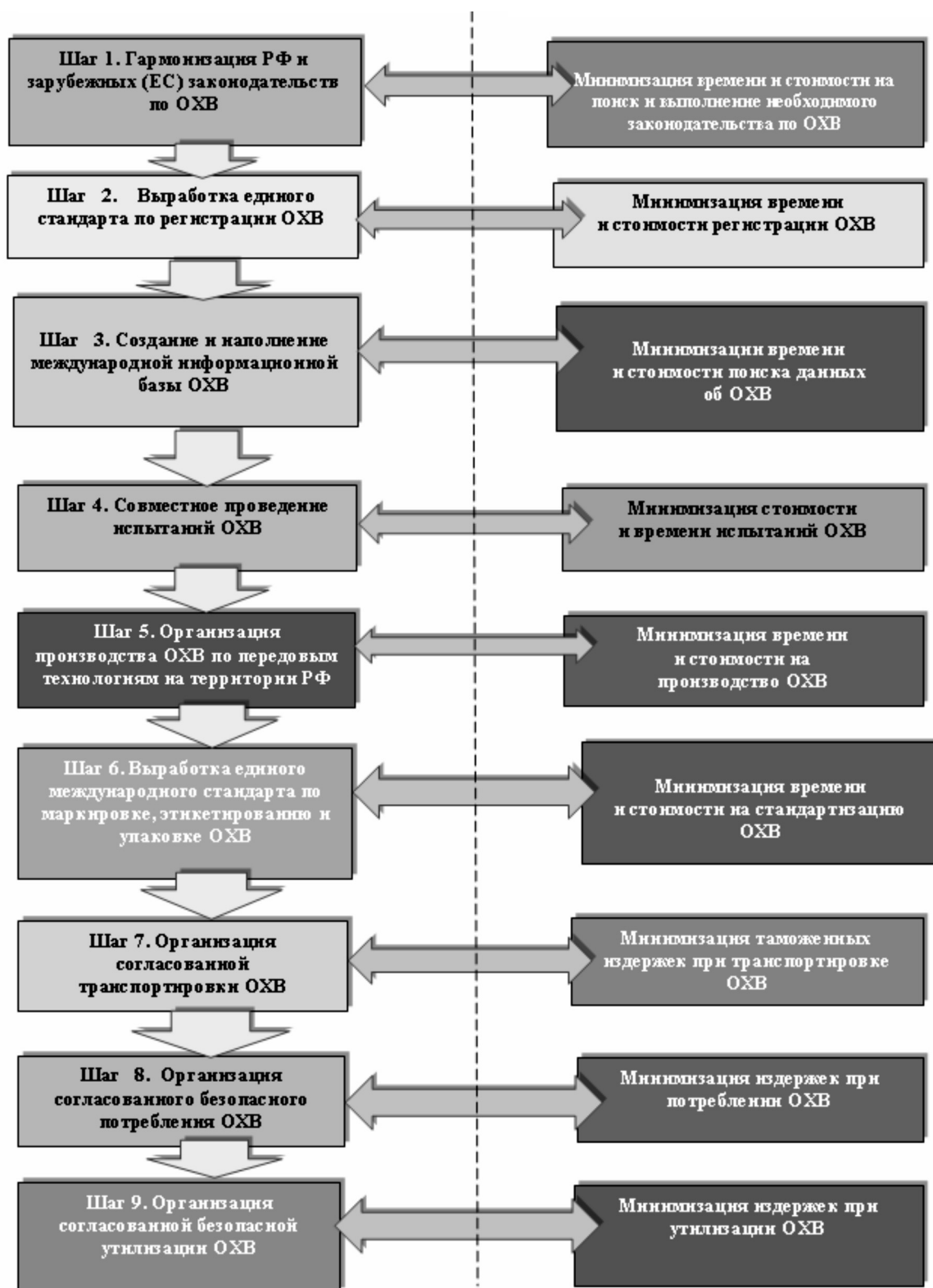


Рисунок 1. Алгоритм оптимизации факторов, влияющих на гармонизацию систем оборота опасных химических веществ.



Рисунок 2. Алгоритм гармонизации законодательств РФ и других стран (ЕС) по регулированию оборота опасных химических веществ.

На уровне государственных отношений согласно действующим международным договорам и решениям по регулированию оборота опасных химических веществ процессы гармонизации увязываются: с решением проблемных вопросов интеграции систем оборота и связанных с ними направлений правового регулирования, которые содержатся в правоустанавливающих нормах и положениях договорно-правовой базы взаимодействующих государств и их союзов (ЕС); с отраслями законодательств взаимодействующих государств и их союзов (ЕС), подлежащих гармонизации; со сферами правового регулирования внутри отдельных отраслей законодательств взаимодействующих государств и их союзов (ЕС); с конкретными национальными правовыми актами внутри отдельных сфер правового регулирования взаимодействующих государств и их союзов (ЕС). Государственные органы РФ, регулирующие оборот ОХВ в границах своей компетенции согласно установленного порядка совмест-

но с соответствующими государственными органами стран и их союзов (ЕС) осуществляют анализ федерального законодательства по обороту ОХВ для определения степени его соответствия правовым актам стран и их союзов (ЕС) и формулируют соответствующие рекомендации по сближению и гармонизации российского и зарубежного законодательства. В результате проведения сравнительно-правового анализа устанавливаются согласованные перечни федеральных законов, которые подлежат гармонизации. Утвержденные перечни законодательства подлежат с использованием соответствующих юридических методов и приемов вертикальной и горизонтальной гармонизации.

**Второй уровень гармонизации** – вертикальная или иерархическая гармонизация национальных законодательств по проблемам оборота опасных химических веществ

Вертикальная или иерархическая гармонизация состоит в преодолении внутренних коллизий в договорно-правовой базе федерального и международного законодательства, что должно обеспечить большую практическую выполнимость правовых норм, задающим базовые направления гармонизированного взаимодействия различных систем, регулирующих оборот химически опасных веществ. Вертикальная или иерархическая гармонизация относится к устоявшимся юридическим процессам в технике законотворчества и состоит из следующих приемов: определяется предмет правового регулирования для сферы гармонизированного взаимодействия согласно с правоустанавливающим нормам правовых актов стран и их союзов (ЕС); определяется, сопоставляется и согласовывается перечень национальных актов по правоустанавливающим нормам правовых актов стран и их союзов (ЕС); определяется характер выявленных противоречий и коллизий и принимаемые меры по их устранению; разрабатываются на уровне межгосударственных отношений предложения, рекомендации на основе законодательных актов стран и их союзов (ЕС), обладающие большей юридической силой в целях преодоления выявленных противоречий и коллизий.

**Третий уровень гармонизации** – это горизонтальная гармонизация по регламентации процессов, протекающих в национальных системах оборота опасных химических веществ РФ и других стран (ЕС)

Горизонтальная гармонизация предусматривает следующую последовательность юридических действий на внутригосударственном уровне, которые осуществляются компетентными государственными органами взаимодействующих стран и их союзов (ЕС): сопоставляются и согласовываются национальные нормативные правовые акты в границах одной отрасли права на основе единого предмета регулирования отдельных процессов, входящих

в системы оборота ОХВ, с правоустанавливающими нормами правовых актов взаимодействующих стран и их союзов (ЕС); формируются законопроектные (нормотворческие) предложения по разработке федеральных правовых актов, которые призваны соответствовать действующим международным договорам и решениям органов союзов стран (ЕС) по обороту ОХВ; определяются отдельные правовые акты, подлежащих гармонизации на уровне отдельных правовых норм по обороту ОХВ. В соответствии с горизонтальной гармонизацией производится согласование норм административного и уголовного законодательства, регламентирующих по обороту ОХВ, которые предусматривают ответственность за правонарушение норм, закрепленных административным, муниципальным и иными отраслями нормативного творчества. Аналогичным образом устанавливаются взаимосвязи при определении правонарушений по обороту ОХВ в сфере ответственности конституционного, финансового, налогового законодательства и отраслями законодательства в сфере правоохранительной деятельности.

**Четвертый уровень гармонизации** – это гармонизация правовых норм в пределах отдельных правовых актов

При гармонизации правовых норм в пределах отдельных правовых актов по обороту ОХВ соответствующие государственные органы взаимодействующих стран и союзов (ЕС) осуществляют следующую последовательность юридических действий: проектируется содержание национальной правовой нормы и ее элементов по обороту ОХВ, определяющие сущность гармонизированного взаимодействия, на основе положений и норм правовых актов стран и их союзов (ЕС); проектируется структура правовой нормы по обороту ОХВ на основе прогрессивной юридической техники и оптимизированного меха-

низма правового регулирования во взаимодействующих странах и их союзах (ЕС); согласовывается правовая норма со иными нормами в рамках отдельного правового акта, регламентирующего оборот ОХВ; согласовываются нормы отдельного правового акта с другими актами, которые регулируют соответствующую сферу правоотношений, затрагивающую оборот ОХВ. Процессы гармонизации законодательств РФ и зарубежных стран (ЕС) в области регулирования оборота опасных химических веществ должны охватывать все уровни нормотворчества и предполагает использование единых правил юридической техники при согласовании норм, актов и всей системы законодательства на основе действующих правовых актов РФ и зарубежных стран (ЕС). Порядок соотношения и использования отдельных форм и способов гармонизации на каждом из указанных уровней должен определяться составом и соотношением нормативных материалов правовых систем зарубежных стран (ЕС) и российской правовой системы.

#### Заключение

Таким образом, в данной статье представлены алгоритмы оптимизации факторов, влияющих на гармонизацию систем оборота опасных химических веществ. Параметрами оптимизации являются сокращение временных и финансовых издержек при осуществлении процессов в гармонизированных системах оборота опасных химических веществ РФ и зарубежных стран (на примере, ЕС) с соблюдением наиболее строгих мер безопасности. Немаловажным фактором эффективного взаимодействия систем оборота ОХВ является четырехуровневая гармонизация национальных законодательств, регламентирующих указанные системы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бескровная С.В. Конкурентоспособность России и принципы конкурентоспособности. Сборник научных статей. "Конкурентоспособность экономики России: проблемы и пути повышения", СПб. Институт бизнеса и права, 2012.
2. Доронина О. Д. Гармонизация современных научных подходов по снижению степени уязвимости человека вследствие изменения окружающей среды в условиях глобализации, дисс... док. биол., М., 2008, 332с.
3. Методика гармонизации (сближения, унификации) Евразийского экономического сообщества. <http://www.ipaeurasec.org/docsdown/metod-garmoniz.pdf>.
4. REACH-регламент. <http://www.reach.ru/reglament-reach/pyblkachii/406-chembezopasnost/>.

© Е.Н. Выголова, ( keetoo@mail.ru ), Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»,



# СИСТЕМНО - АНАЛИТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ СИСТЕМОЙ МАССОВОГО ВОВЛЕЧЕНИЯ И УДЕРЖАНИЯ ДЕТЕЙ И МОЛОДЕЖИ В ПРОЦЕССЕ НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКОГО ТВОРЧЕСТВА И ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

SYSTEM AND ANALYTICAL APPROACH  
TO MANAGEMENT OF THE SYSTEM  
OF MASS INVOLVEMENT  
AND DEDUCTION OF CHILDREN  
AND YOUTH IN THE PROCESS  
OF SCIENTIFIC AND TECHNICAL WORK  
AND PROJECT ACTIVITY

*I. Dmitriev  
E. Pogudina*

## Annotation

One of the major priorities for the economy of the Russian Federation is the development of scientific and technical creativity for increasing the capability of modern children and youth in the fields of science, research and technology, as well as training engineers who are able to provide the stable development of Russian economy. The purpose of the work is the construction of a conceptual model of management of the system of mass involvement and deduction of children and youth in the process of scientific and technical work and project activity (STW and PA) for the further research and introduction. For effective management of the system of mass involvement and deduction of children and youth in the process of scientific and technical work and project activity it is necessary to realize the integrated model of management combined the elements of vertical and horizontal management that allows to solve a variety of problems in organization of process STW and PA within the development of regional technosphere as well as to configure a continuous dynamic process of involving children and youth with different levels of activity and attraction scientific and technical work through the use of all the infrastructural institutions which are able to influence positively the development in this sphere make it available for a maximum number of learners (schoolchildren).

**Keywords:** Scientific and technical work of children and youth, management of complex systems, management of educational systems, vertical and horizontal management, technohub.

**Дмитриев Игорь Вячеславович**  
К.т.н., МВА, Директор АНО ДПО Открытый  
молодежный университет, г. Томск  
**Погудина Евгения Вадимовна**  
Рук. отдела стратегического управления  
АНО ДПО "Открытый молодежный  
университет", г. Томск

## Аннотация

Одним из приоритетных направлений экономики РФ является развитие научно-технического творчества для увеличения научно-исследовательского и научно-технического потенциала современных детей и молодежи, а также для подготовки кадров инженерной направленности, которые могут обеспечить устойчивое развитие российской экономики. Целью данной работы является построение концептуальной модели управления системой массового вовлечения и удержания детей и молодежи в процессе научно-технического творчества и проектной деятельности (НТТ и ПД) для дальнейшего исследования и внедрения. Для эффективного управления системой массового вовлечения и удержания детей и молодежи в НТТ и ПД необходимо реализовать интегрированную модель управления, сочетающую элементы вертикального и горизонтального управления, что позволит решить ряд задач по организации процесса НТТ и ПД в рамках развития региональной техносферы, а также настроить непрерывный динамический процесс вовлечения детей и молодежи с разным уровнем активности и увлеченности научно-техническим творчеством и проектной деятельностью через включение в процесс всех инфраструктурных институтов, которые могут положительно влиять на развитие данной области, сделать ее доступной для максимального количества школьников.

## Ключевые слова:

Научно-техническое творчество детей и молодежи, управление сложными системами, управление образовательными системами, вертикальное и горизонтальное управление, сетевое взаимодействие, технохаб.

## Введение

В условиях становления экономики знаний [1, 2] в России стоит острая необходимость "наращивания человеческого потенциала в сфере науки, образования, технологий и инноваций" [3]. В связи с этим, одним из трендов современной экономики является "популяризация

среди детей и молодежи научно-образовательной и творческой деятельности" [4] через организацию сетевого взаимодействия органов управления образования, общеобразовательных организаций, организаций дополнительного образования, профессиональных образовательных организаций, промышленных предприятий и бизнес-структур [5].



Основная часть

Для решения задач увеличения охвата детей и молодежи в область научно-технического творчества (порядка 25 – 30%), роста престижа научно-технических профессий, увеличения доли изобретателей, инноваторов и технопредпринимателей, недопущения стагнации и опыта падения предыдущего массового движения НТТМ [6], Открытый молодежный университет (далее – ОМУ) [7], выступающий в качестве технохаба [8], разрабатывает систему управления сложной системой массового вовлечения и удержания детей и молодежи в процесс НТТ и ПД, с учетом возможных взаимосвязей всех подсистем данной системы в реальных условиях.

Для реализации цели  $Y^*(t)$  исследования – задачи удержания детей и молодежи в научно-техническом

творчестве и проектной деятельности (далее – НТТ и ПД) на уровне  $L(t) = 30\%$ , при существующих 5% (по данным на 2016 год), мы определили ряд управляющих воздействий  $Us(t)$  на объект управления – выделенную и структурированную систему  $S$  массового вовлечения и удержания детей и молодежи в системе НТТ и ПД (рис. 1).

Входные потоки, вектор  $V(t)$ , – учащиеся школы с 1 по 11 классы, с разной степенью заинтересованности в НТТ и ПД, поступающие в систему из общеобразовательных организаций, анализируются и попадают в организованную среду обучения, повышения мотивации для участия в проектной деятельности и научно-техническом творчестве, обеспечиваемую оптимальным ресурсным потоком  $Ur(t)$ , который постоянно обновляется, модернизируется, дополняется в соответствии с появляющимися новыми технологиями в экономике и образовании.

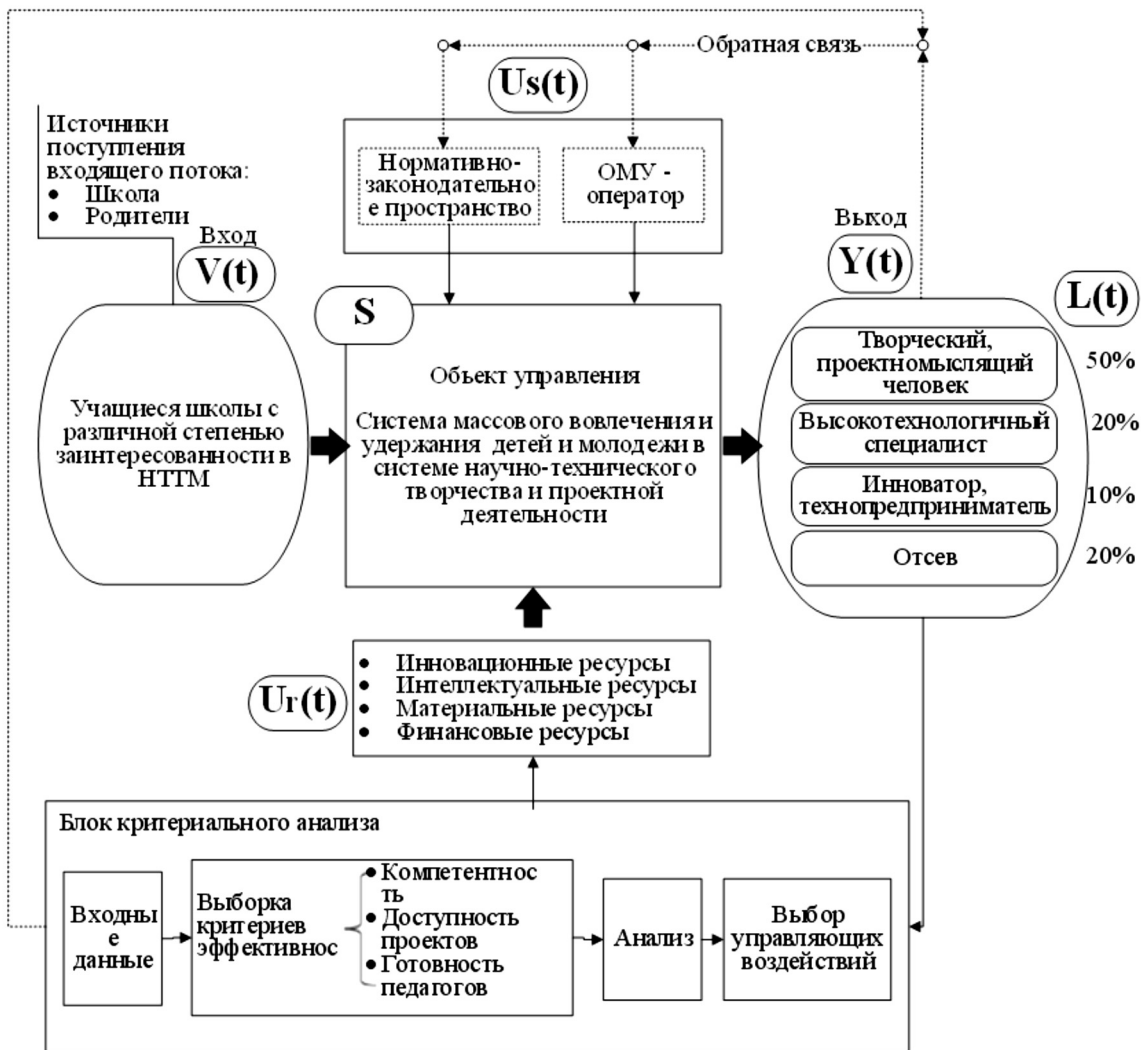


Рисунок 1. Обобщенная модель системы массового вовлечения и удержания детей и молодежи в процесс научно-технического творчества и проектную деятельность.

Блок критериального анализа результатов управляющих воздействий  $U_s(t)$  на объект управления введен для выявления наиболее эффективных воздействий на систему и принятия решения по выходным параметрам  $Y(t)$  – учащихся 1–11 класса с различным уровнем вовлеченности, с учетом того, что в процессе вовлечения и удержания, происходит отсев учащихся, малоинтересованных в НТТМ. Происходит принятие решения по оценке и развитию наиболее подходящих компетенций каждого обучающегося, применение индивидуальных траекторий развития и вовлечения в мероприятия, организуемые в различных блоках системы: детских технопарках, центрах дополнительного образования.

Таким образом, для достижения цели необходимо провести анализ всех возможных воздействий сначала на модель системы  $S_m$ :

$$Y^*(t) = S_m[V(t), U_m^*(t)] \quad (1)$$

а затем апробацию и внедрение отобранных управляющих воздействий на системе  $S$  массового удержания детей и молодежи в системе НТТ и ПД. А также провести поэтапный критериальный анализ выходных параметров, в том числе и отсева детей и молодежи, в результате управляющих воздействий на модель  $S_m$ , который предполагает: выявление проблемных моментов, разработку возможных вариантов решения, определение критериев выбора, выбор и оценку решения, отвечающего критерию, выбор предпочтительного решения.

Для начала были определены задачи, решение которых позволит не только анализировать и учитывать свойства всех подсистем, но и определять, какое из управляющих воздействий необходимо применять при конкретных условиях в заданном интервале времени:

1. Разработать модель интеграции горизонтального и вертикального управления системой;
2. Проанализировать объект управления с выявлением явных рисков и выделением оптимальных управляющих воздействий на систему.

Для решения первой поставленной задачи рассмотрим два типа управляющих воздействий – горизонтальное и вертикальное, выделив модель интеграции горизонтального и вертикального управления Svgm (рис. 2).

Органы власти разрабатывают, утверждают и направляют для исполнения объекту управления нормативно-правовую базу, плановые показатели (1, 2 на рис. 2). ОМУ, выступая в качестве оператора, так называемого молодежного технохаба, выполняет функции организации сетевого взаимодействия между всеми заинтересованными участниками, разрабатывает и предоставляет образовательно-методические и информационные базы для использования в работе участникам (3 на рис. 2), вы-

страивая взаимодействие блоков между собой. В идеале, технохаб представляет собой систему "мостов" и "мостиков" между наукой и бизнесом, властью и сферой образования и осуществляет трансфер знаний и изобретений в технологии, а также трансфер технологий – в коммерческие продукты; участвует в создании сети суперсовременных научно-технических центров, которые могут являться частью технохаба, а также является оператором, интегрирующим потоки для создания необходимой инфраструктуры и информационно-образовательной базы для вовлечения и удержания детей [8, 9].

Модель интеграции горизонтального и вертикального управления Svgm предполагает, как централизованное воздействие на блоки модели, так и взаимоуправление блоками относительно друг друга. Для достижения поставленной цели  $Y^*(t)$  необходимо проанализировать риски и разрывы такой модели, рассмотреть внутривзаимодействие и влияние каждого блока друг на друга.

Вертикальное управление предполагает в модели не только прямое иерархичное управление ("спускание" задач сверху), но и оперативное, зависящее от запросов экономики, нормативно-правового поля, внедрения и необходимости создания новых технологий для научной и проектной деятельности, возможность горизонтальной интеграции, что позволяет быстро учитывать запросы и обратную связь каждого блока, своевременно обрабатывая и внося необходимые корректирующие изменения как внутри одного блока, так и в нескольких блоках одновременно.

Таким образом, модель системы – это модель сетевого взаимодействия органов управления образования, молодежного технохаба общеобразовательных организаций, организаций дополнительного образования, профильных центров, профессиональных образовательных организаций, промышленных предприятий и бизнес-структур, которая является гибкой и учитывает множество компонент, необходимых для построения и анализа всех условий для обеспечения нормального функционирования всех блоков системы удержания, вовлеченных в НТТ и ПД детей и молодежи, и управления системой и ее блоками.

При проведенном анализе деятельности всех стейкхолдеров системы выявляются определенные разрывы и проблемы, такие как обеспечение: высокой планки качества образования, доступности, современности, интересности, вариативности образовательных и проектных процессов, обеспеченности и доступности образовательно-инфраструктурного ресурса, непрерывности компетентностного роста, как для учащихся, так и для педагогического состава, особенно – обеспечение эффективного взаимодействия между образовательными организациями, высшими учебными заведениями и предприятиями.

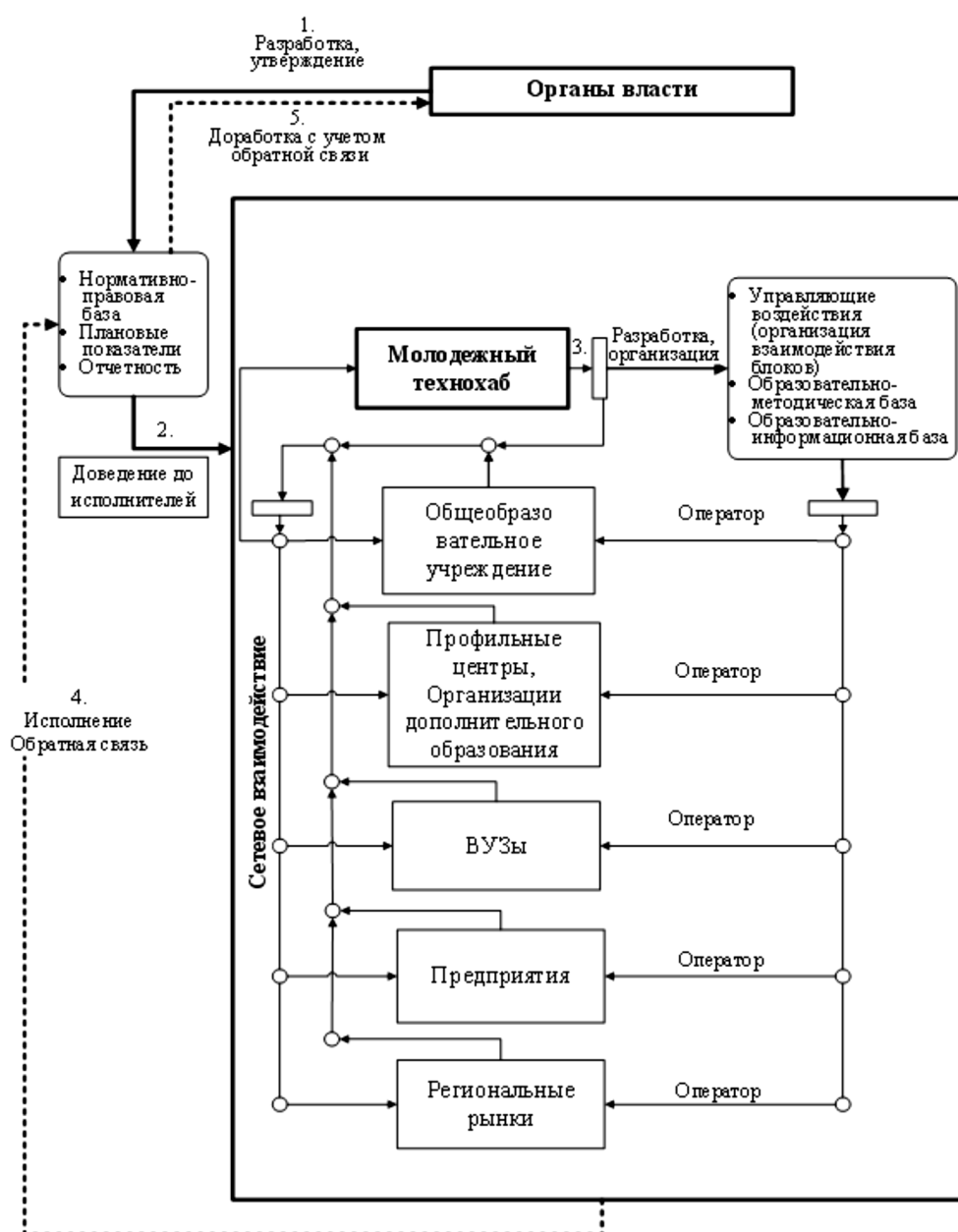


Рисунок 2. Модель интеграции горизонтального и вертикального управления Svgn.

Для решения второй поставленной задачи – более глубокого анализа объекта управления, – системы массового вовлечения и удержания детей и молодежи в системе НТТ и ПД, построим организационно-структурную схему:

В схеме показан структурный состав системы для организации управления вовлечением и удержанием детей и молодежи в НТТ и ПД, начиная с 1 класса школы, непрерывно до поступления подготовленных абитуриентов в ВУЗы, выпуском инноваторов и технопредпринимателей, на которых еще в школе сформирован заказ от профильных предприятий согласно актуальным запросам экономики.

*Ведущую роль в формировании и реализации управляющих воздействий на объект управления играет молодежный технохаб, который выполняет ряд следующих функций:*

1. Разработка и организация реализации в школах образовательного комплекса, направленного на развитие НТТ и ПД: научно-техническая деятельность в школе, вне школы на базе очных площадок, таких как клубы "Фабрика миров" для 1–4 классов, центры "Интеллект нации" для 5–11 классов, на виртуальных площадках. Выстроенные траектории участия для учащихся в соревнованиях, олимпиадах, мероприятиях технического творчества и проектной деятельности, формирование единого инди-

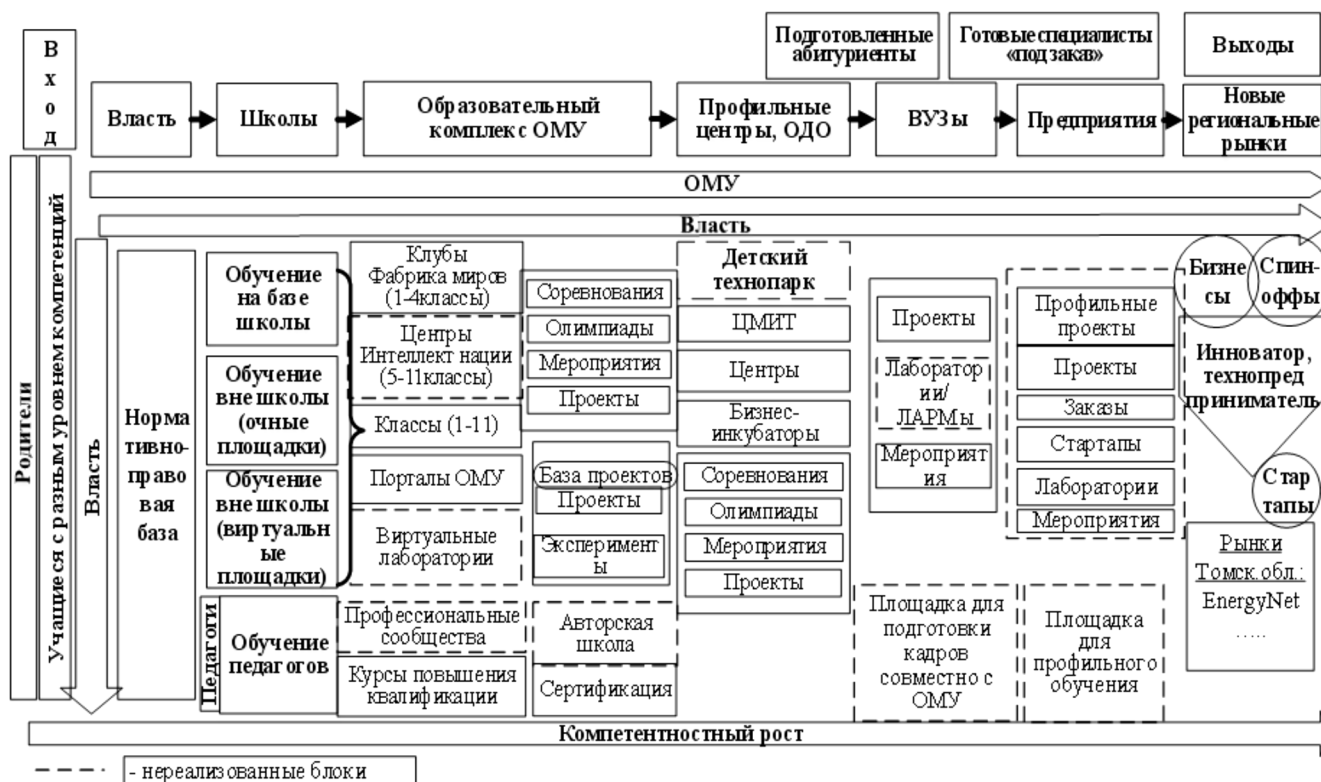


Рисунок 3. Модель интеграции горизонтального и вертикального управления Svgtm.

видуального портфолио компетенций и достижений для каждого с 1 по 11 класс, а потом и в вузе.

2. Организация взаимодействия школ с профильными центрами: детскими технопарками, ЦМИТами, бизнес-инкубаторами и др., на базе которых учащиеся выполняют сложные научно-технические проекты, используя современное оборудование, новые технологии, принимают участие в соревнованиях, олимпиадах, мастер-классов с экспертами узкопрофильных областей НТТ и ПД.

3. Организация взаимодействия с ВУЗами, заинтересованных в качественно подготовленных абитуриентах, на базе которых школьники реализуют свои и совместные с ВУЗами проекты в лабораториях и посещают тематические мероприятия и экспертные площадки.

4. Организация взаимодействия с предприятиями и бизнес-структурами, которые заинтересованы в "узких" специалистах и предоставляют школьникам возможность выполнять профильные и непрофильные проекты на базе своих лабораторий, а также предоставлять реальные заказы от предприятий для выполнения учащимися.

5. Организация взаимодействия с органами управления для уменьшения рисков и восполнения ресурсных пробелов для обеспечения реализации НТТ и ПД для детей и молодежи.

Таким образом, молодежный технохаб является связующим звеном между управлением образования, общеобразовательными организациями, организациями дополнительного образования, профильными центрами, профессиональными образовательными организациями, промышленными предприятиями и бизнес-структурами [10] и обеспечивает сетевое взаимодействие всех участников для эффективной, комплексной подготовки высококвалифицированных специалистов, инноваторов, технопредпринимателей, готовых работать на региональных рынках и развивать экономику в целом.

Анализируемый объект управления представляет собой сложную систему, состоящую из множества взаимодействующих подсистем: органы власти, общеобразовательные организации, ОМУ, как молодежный технохаб, ОМУ, как поставщик образовательного комплекса, профильные центры, организации дополнительного образования, ВУЗы, предприятия, рынки, которые внутри себя также имеют набор взаимосвязанных компонент. Для эффективного горизонтально-вертикального управления такой системой необходим анализ не только входящего потока детей и молодежи с определенной заинтересованностью в НТТ и ПД в саму систему, но и оценка внутренних входов и выходов каждой подсистемы, возможности синергии от их взаимодействия между собой, а

также влияние и управляющие воздействия на выходной поток всей системы, поскольку мы стремимся к 80% удержанию входного потока детей и молодежи, чтобы уменьшить уровень отсева и количество малоактивных обучающихся, наращивать кадровый потенциал страны.

### Заключение

В заключение данной статьи отметим, что для управления системой массового вовлечения и удержания детей и молодежи в НТТ и ПД необходим переход от вертикальной модели управления, не достаточно эффективной в реальных условиях, что подтверждается опытом работы Открытого молодежного университета более чем с 1000 общеобразовательными организациями, к интегрированной модели управления, сочетающей элементы вертикального и горизонтального управления, продуктивной в заданных условиях взаимодействия участников системы с использованием управляющих воздействий не только на объект управления, но и его составляющие компоненты. Использование блока критериального анализа результатов для оперативных корректировок действий, влияющих и повышающих уровень вовлеченности в НТТ и ПД детей и молодежи как на входе в систему – внедрение и использование результатов предыдущего

опыта в НТТ и ПД в системе, так и на выходе системы – проведение компетентностной траектории учащихся от общеобразовательной организации к обучению в вузах и проектной деятельности на предприятиях с выходом результатов и, возможно, бизнесов на реальные рынки и вывод экономики РФ на новые уровни.

*Для дальнейшего исследования системы были определены следующие задачи:*

1. Построить структурно–функциональную схему для определения процессов взаимосвязи между подсистемами и элементами системы.
2. Провести декомпозицию сложной системы для определения задач, построения математических моделей и поиска оптимального решения на уровне каждой подсистемы.
3. Провести анализ характеризующих процессов с более глубокой детализацией для каждой подсистемы в отдельности, а также – на уровне всей системы удержания.
4. Разработать единую управляющую систему вовлечения и удержания детей и молодежи в НТТ и ПД в регионе при сетевом взаимодействии всех стейкхолдеров, определив набор эффективных управляющих воздействий.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Цит. по: Миндели Л.Э., Пипия Л.К. Концептуальные аспекты формирования экономики знаний // Проблемы прогнозирования. – 2007. – № 3. – С. 116.
2. Корчагин Ю. А. Современная экономика России. / Ю.А. Корчагин. – 2-е изд., доп. и перераб. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2008. – 670с. – ISBN 978-5-222-14027-7
3. Стратегия инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года утверждена распоряжением Правительства от 8 декабря 2011 года №2227-р. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gov.garant.ru/document?id=70006124&byPara=1>, свободный.
4. Концепция Федеральной целевой программы развития образования на 2016 – 2020 годы утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 29 декабря 2014 г. № 2765-р. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://government.ru/media/files/mlorxfXbbCk.pdf>, свободный, С.29.
5. Методические рекомендации по организации сетевого взаимодействия общеобразовательных организаций, организаций дополнительного образования, профессиональных образовательных организаций, промышленных предприятий и бизнес-структур в сфере научно-технического творчества, в том числе робототехники от 07 декабря 2015 года № 09–3482. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://robofinist.ru/uploads/2016/Metodicheskie%20rekommendacii%20po%20organizacii%20setevogo%20vzaimodeystviya%2000.pdf>, свободный.
6. Концепция и механизмы развития научно-технического творчества молодежи в общеобразовательных учреждениях города Москвы на период 2012–2014 годов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://dogm.mos.ru/work-with-children/creativity/konception\\_nttm.pdf](http://dogm.mos.ru/work-with-children/creativity/konception_nttm.pdf), свободный.
7. Лицензия на осуществление образовательной деятельности. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://omu.ru/official.html#o2>, свободный.
8. Рогачев М.Б. Проблемы и перспективы развития национальной инновационной системы. [Электронный ресурс] / М.Б. Рогачев // Материалы Всероссийской научно-практической конференции "Принципы и механизмы формирования национальной инновационной системы Российской Федерации". – Электрон. текст. дан. – Дубна, 2010. – Режим доступа: [https://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0ahUKewjnyeLcqsLMAhWFCJoKHfifAn0QFggoMAI&url=http%3A%2F%2Fdubna-oez.ru%2Fimages%2Fdata%2Fgallery%2F10\\_3084\\_B-Gruppa\\_kompaniyONEKSIM.pps&usq=AFQjCNH\\_wi7tC7adKXwuD86m2ARP7MnWlg&bvm=bv.121099550,d.bGs](https://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0ahUKewjnyeLcqsLMAhWFCJoKHfifAn0QFggoMAI&url=http%3A%2F%2Fdubna-oez.ru%2Fimages%2Fdata%2Fgallery%2F10_3084_B-Gruppa_kompaniyONEKSIM.pps&usq=AFQjCNH_wi7tC7adKXwuD86m2ARP7MnWlg&bvm=bv.121099550,d.bGs), свободный.
9. Булатова А. К. Инфраструктура инноваций как вопрос веры. [Электронный ресурс] / Г.А. Булатова // проект "Наука и технологии России – STRFERU". – 2008. – Режим доступа: [http://www.strf.ru/material.aspx?CatalogId=223&d\\_no=17205#VzVSA4SLSUk](http://www.strf.ru/material.aspx?CatalogId=223&d_no=17205#VzVSA4SLSUk), свободный.
10. Сумина Е.В., Чалкин Т.А. Роль научно-технического творчества молодежи в построении инновационной инфраструктуры // Вестник Сибирского Государственного Аэрокосмического Университета им. академика М.Ф. Решетнева. – 2010. – №6. – С. 194–198.

# АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МОДУЛЯ ОДНОПРОХОДНОГО АЛГОРИТМА АНАЛИЗА СВЯЗАННЫХ КОМПОНЕНТ

Пунь Андрей Богданович  
Студент, МФТИ

## HARDWARE SALES UNIT SINGLE-PASS ANALYSIS ALGORITHMS RELATED COMPONENTS

A. Pun

### Annotation

The relevance of the topic chosen due to the need to speed up the processing of the video stream in real time. For this purpose hardware-based solutions are used. Hardware accelerators are typically implemented on the FPGA because it is most convenient solutions for video processing tasks. This article describes the implementation of hardware module is a single-pass algorithm analysis related components used to calculate the properties of objects in a binary frame. The estimation of occupied resources and performance on the target hardware.

**Keywords:** image processing, related components, video stream, area, intensity, bounding box coordinates, the object of interest, FPGAs, the Xilinx.

### Аннотация

Актуальность выбранной темы обусловлена в потребности ускорить обработку видеопотока в реальном времени. Для этих целей используются аппаратные решения. Аппаратные ускорители обычно реализуются на ПЛИС, так как это наиболее удобно для решения задач обработки видеопотока. Данная статья описывает реализацию аппаратного модуля однопроходного алгоритма анализа связанных компонент, использующегося для подсчета свойств объектов на бинарном кадре. Приведена оценка занимаемых ресурсов и быстродействий на целевой аппаратуре

### Ключевые слова:

Обработка изображений, связанные компоненты, видеопоток, площадь, интенсивность, ограничивающий прямоугольник, координаты, объект интереса, ПЛИС, Xilinx.

**В** настоящее время актуальны задачи обработки видеопотока в реальном времени. Во многих задачах, встречающихся в обработке видеопотока, на кадре необходимо выделить объекты интереса и подсчитать параметры для каждого объекта. Для обеспечения обработки видеопотока в реальном времени, данные задачи удобнее выполнять с использованием аппаратных ускорителей, реализуемых на ПЛИС.

Для выделения объектов интереса используются различные алгоритмы бинаризации, в результате работы которых, получается бинарный кадр. Значение пикселей фона на бинарном кадре равно нулю, пикселей объектов – единице. Применение алгоритмов бинаризации к задачам обработки видеопотока в реальном времени не вызывает трудностей, так как существуют алгоритмы, которые могут обрабатывать потоковые данные за один проход по кадру, поэтому данный вид обработки кадра удовлетворяет временным параметрам.

При подсчете параметров объектов могут возникать проблемы. Существуют различные алгоритмы для подсчета параметров объектов. Один из распространенных алгоритмов – алгоритм анализа связанных компонент. Классическая реализация данного алгоритма двухпроходная, поэтому плохо подходит для задач обработки ви-

деопотока в реальном времени. Также необходимо хранить промежуточное изображение, что может потребовать значительных ресурсов по памяти, при реализации алгоритма на ПЛИС. Для обеспечения кадровой обработки видеопотока в реальном времени необходимо за один проход по кадру подсчитывать все требуемые параметры.

### Однопроходный алгоритм анализа связанных компонент

После того как получен бинарный кадр, используя какой-либо алгоритм бинаризации, с помощью алгоритма анализа связанных компонент можно подсчитать нужные параметры объектов. Каждому объекту назначается своя метка. На основании метки для каждого объекта подсчитываются параметры. Классический алгоритм двухпроходный. При первом проходе назначаются промежуточные метки и промежуточные значения параметров. При втором проходе промежуточные метки и параметры уточняются. Для хранения промежуточных данных может потребоваться большой объем памяти. Два прохода по кадру может занять достаточно много времени. Поэтому такая реализация не подходит для обработки видеоданных в реальном времени на ПЛИС.

В работе [1] описан однопроходный алгоритм анализа связанных компонент. В работе [2] описан подход к реализации этого алгоритма, где для каждого объекта подсчитывается площадь. При этом алгоритм реализован на довольно старой ПЛИС. Целью данной работы является реализация однопроходного алгоритма анализа связанных компонент на современной ПЛИС Xilinx 7 серии. В аппаратном модуле необходимо подсчитывать площадь, интенсивность и координаты ограничивающего прямоугольника для каждого объекта. Также необходимо оценить потребление ресурсов и быстродействие. Необходимо также протестировать аппаратный модуль на сложных, с точки зрения алгоритма, объектах, для того, чтобы всем объектам корректно назначались метки и для всех объектов корректно подсчитывались параметры.

**Аппаратная реализация модуля однопроходного алгоритма анализа связанных компонент**

Аппаратный модуль состоит из модуля назначения метки каждому объекту и модуля подсчета параметров для каждого объекта.

Входной интерфейс потоковый, пиксели принимаются в строчной развертке, практически каждый такт. Возможны небольшие задержки в конце строки при обработке сложных объектов. Выходной интерфейс также потоковый.

*Выходные данные:*

1. Площадь объекта
2. Интенсивность
3. Координата левого нижнего края ограничивающего прямоугольника и правого верхнего края ограничивающего прямоугольника объекта.

**Модуль назначения метки объекту**

Текущему пикселю метка назначается на основании значения и метки левого и верхнего соседних пикселей:

1. Если значение текущего пикселя равно левому и не равно верхнему соседнему пикселю – назначается метка, как у левого соседнего пикселя
2. Если значение текущего пикселя равно верхнему и не равно левому соседнему пикселю – назначается метка, как у верхнего соседнего пикселя
3. Когда объект помечен различными метками, значения текущего и соседних пикселей равны, но метки соседних пикселей разные. Метки считаются эквивалентными. Назначается наименьшая из меток
4. Если значения соседних пикселей равно нулю (соседние пиксели принадлежат фону), то текущему пикселю назначается новая метка.

В сложных ситуациях, при обработке U образных объектов, части одного объекта будут помечены эквивалентными метками. Но использоваться должна наименьшая

	?	

Рисунок 1. Назначение метки пикселю на основании значений и меток соседних пикселей.

из меток. Для разрешения конфликтов используется таблица соответствий и стек соответствий.

При обнаружении эквивалентных меток в таблице соответствий делается запись – по адресу наибольшей метки записывается наименьшая. Поэтому, при дальнейшей обработке, осуществляется трансляция неиспользуемых меток.

1			2
1			2
1			2
1	1	1	?

Рисунок 2. Части одного объекта помечены эквивалентными метками.

1			2
1			2
1			2
1	1	1	?

Рисунок 3. Объект помечен наименьшей из меток.

В более сложных ситуациях, когда объект помечен более чем двумя эквивалентными метками, образуется цепочка соответствий. Метка 3 указывает на метку 2, метка 2 указывает на метку 1 (Рис. 4). Но все метки должны транслироваться в наименьшую метку. Поэтому используется стек соответствий, в котором сохраняются пары эквивалентных меток, в конце строки пары эквивалентных меток анализируются, разворачивается цепочка соответствий, и корректируются записи в таблице соответствий, так, чтобы все эквивалентные метки транслировались в наименьшую метку.

*Модуль назначения метки состоит из следующих основных блоков:*

1. Блок назначения метки

2. Блок хранения информации о левом соседнем пикселе
3. Блок хранения информации о верхнем соседнем пикселе
4. Буфер строки
5. Блок установления соответствий
6. Таблица соответствий
7. Блок установления цепочки соответствий
8. Стек соответствий

На рисунке приведена структурная схема модуля назначения метки.

				1
				1
3			2	1
3	3	?	2	?

Рисунок 4. Объект помечен более чем двумя эквивалентными метками.

				1
				1
1			1	1
1	1	1	1	1

Рисунок 5. После разворачивания цепочки соответствий и корректировки записей в таблице соответствий, объект помечен наименьшей из меток.

Сначала пикселю назначается метка. Далее значение и метка текущего пикселя записывается в блок для хранения данных левого соседнего пикселя и в буфер строки. Буфер строки используется для хранения значений и меток пикселей предыдущей строки.

Прежде чем данные из буфера строки записываются в блок для верхнего соседнего пикселя, осуществляется трансляция в таблице соответствий. Блок установления соответствий определяет эквивалентные метки и по адресу, равному большей метке, записывает значение наименьшей метки в таблицу соответствий. Поэтому, при дальнейшей обработке, осуществляется трансляция неиспользуемых меток.

Блок установления цепочек соответствий записывает пары эквивалентных меток в стек, в конце строки анализирует стек, разворачивает цепочки соответствий и корректирует записи в таблицы соответствий, так, чтобы все эквивалентные метки транслировались в наименьшие из эквивалентных меток.

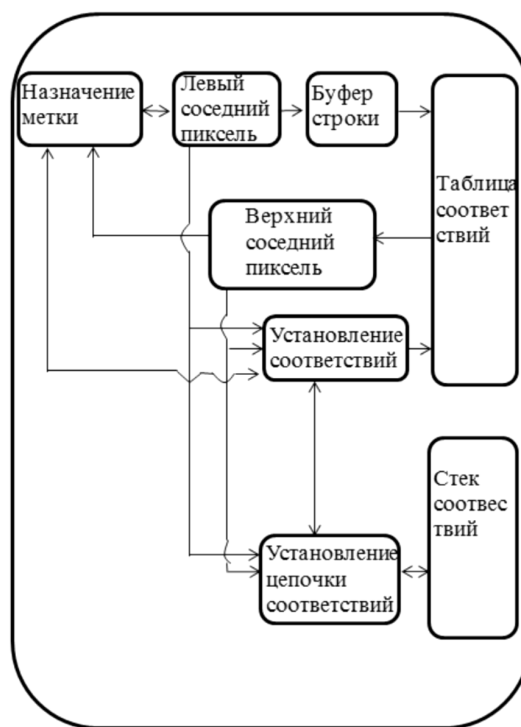


Рисунок 6. Структурная схема модуля назначения метки.

Модуль назначения метки, за один проход по кадру корректно назначает метку каждому объекту и передает информацию о метках в модуль подсчета параметров объектов, для того, чтобы одновременно с назначением метки подсчитывались свойства объектов.

### Модуль подсчета параметров объектов

Модуль подсчитывает площадь, интенсивность и ограничивающий прямоугольник для каждого объекта. Подсчет параметров осуществляется одновременно с назначением метки. Для подсчета параметров используются: метка и значения текущего и соседних пикселей, информация из блока установления соответствий и блока установления цепочек соответствий.

Для подсчета каждого параметра используются три блока:

1. Блок определения текущего значения параметра;
2. Блок хранения текущего значения параметра;
3. Таблица, по адресу метки хранится значение параметра.

На рисунке приведена структурная схема модуля подсчета свойств объекта.

При обработке нового объекта в блок хранения текущего значения параметра записывается начальное значение. Для площади – единица, для суммы интенсивностей – интенсивность пикселя для ограничивающей рамки объекта – координаты пикселя. Если продолжается обра-



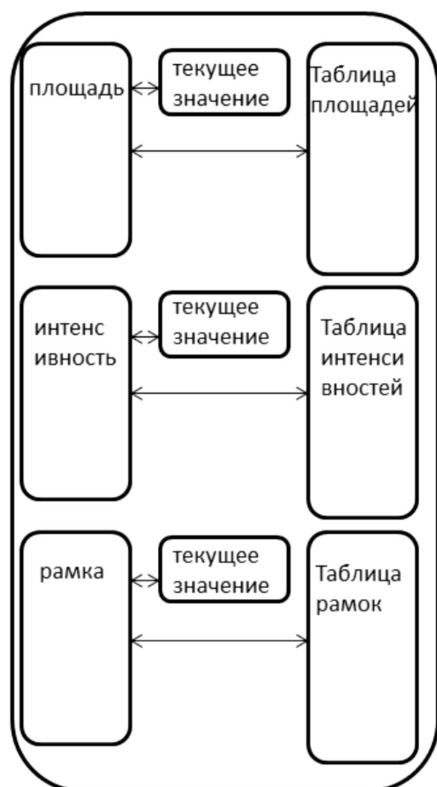


Рисунок 7. Структурная схема модуля подсчета параметров объекта.

ботка объекта, то значение параметра инкрементируется. Значение площади увеличивается на единицу, осуществляется суммирование интенсивностей пикселей, увеличивается крайняя нижняя и правая координаты рамки для объекта. После окончания обработки объекта текущее значение параметра записывается в таблицу по адресу метки объекта.

При обнаружении соответствия между метками, площади и интенсивности суммируются. Для дальнейшей обработки используется наименьшее из левых и верхних и наибольшее из правых и нижних значений для координат рамки объекта.

Модуль подсчета параметров объекта корректно осуществляет подсчет необходимых параметров за один проход по кадру. При этом обрабатываются ситуации, возникающие при обнаружении эквивалентных меток, и в этом случае корректно осуществляется подсчет параметров.

#### Занимаемые ресурсы

При отладке аппаратного модуля на целевой аппаратуре и видеоданных, было выяснено, что количество меток на кадре не превышает 200 – 300. Поэтому все структуры, используемые в модуле анализа связанных компонент, имеют глубину 1024 элемента. Этого должно хватать при обработке большинства изображений. Возможны ситуации, когда возникает большее количество меток, но такие ситуации редки. В этом случае обрабатывается часть кадра, и переполнения в структурах не возникает.

Модуль адаптивной бинаризации реализован на ПЛИС Xilinx 7 серии. Большинство структур занимают одну блочную память. Для таблицы соответствий, стека соответствий, буфера строки используется одна блочная память. Таблица площадей и таблица интенсивностей занимают также одну блочную память. Таблица координат рамок объектов занимает две блочные памяти, так как нужно хранить четыре координаты, и разрядность данных больше, чем в других таблицах. Блочная память 36 Кбит.

Модуль работает на частоте от 100 до 200 МГц. Частота зависит от быстродействия кристалла и трассировочной способности. Пиксели принимаются каждый такт, возможны незначительные простои в конце строки, при обработке сложных объектов.

#### Заключение

В результате работы реализован аппаратный модуль однопроходного алгоритма анализа связанных компонент. За один проход по кадру подсчитываются площадь, сумма интенсивностей и координаты ограничивающего прямоугольника для каждого объекта. Проведена оценка занимаемых ресурсов и быстродействия.

Модуль реализован на ПЛИС Xilinx 7 серии. Модуль занимает 7 блочных памяти (блочная память 36 Кбит). Частота от 100 МГц до 200 МГц.

Аппаратный модуль потребляет не много ресурсов. Частота, на которой может работать данный модуль, позволяет осуществлять обработку видеопотока покадрово в реальном времени. Параметры объектов выдаются по окончании приема кадра. Поэтому данный модуль может использоваться в качестве аппаратного ускорителя для подсчета параметров объектов, в задачах обработки видеоданных в реальном времени.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Donald G. Bailey, Christopher T. Johnston, Ni Ma "Connected components analysis of streamed images", 2008 International Conference on Field Programmable Logic and Applications, P. 679–682, 2008
2. Christopher T. Johnston, Donald G. Bailey "FPGA implementation of a Single Pass Connected Components Algorithm", 4th IEEE International Symposium on Electronic Design, Test & Applications, P. 228–231, 2008

# О ВЫЧИСЛЕНИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ УСПЕХА В СХЕМЕ БЕРНУЛЛИ С ПОМОЩЬЮ ФУНКЦИИ ПЛОТНОСТИ T - РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

## ON THE CALCULATION OF THE PROBABILITY OF SUCCESS IN A BERNOULLI SCHEME WITH THE HELP OF THE DENSITY FUNCTION OF T - DISTRIBUTION

V. Ryazansky

### Annotation

The paper presents aspects of local Bernoulli's theorem, allowing approximately to calculate the probability for a certain number of tests using a Gaussian function.

**Keywords:** distribution, probability of success, the function calculation.

Рязанский Валерий Павлович

Независимый  
исследователь

### Аннотация

В работе представлены аспекты развития локальной теоремы Бернулли, позволяющей позволяет приближенно вычислять вероятности при определенном числе испытаний с помощью функции Гаусса.

### Ключевые слова:

Распределение, вероятность, успех, функция, вычисление.

Для простой схемы испытания Бернулли известная локальная теорема Муавра–Лапласа [1, с. 17] позволяет приближенно вычислять вероятности  $P_n(k)$ , числа успехов  $k$  при  $n$  испытаниях с помощью функции Гаусса [3, с. 68]. Оказалось, что точное значение вероятности  $P_n(k)$  можно вычислить с помощью другой функции, а именно плотности  $t$ -распределения [5, с. 45]. Правда, точное значение вероятности может быть получено при одном значении  $k$  числа успехов равном  $n/2$  [2, с. 51]. При значениях числа успехов из интервала  $[n/2, np]$  или  $[np, n/2]$  имеется отличное приближение при  $0.3 \leq p \leq 0.7$ .

Предложение. В простой схеме Бернулли для вероятности числа успехов  $k = n/2$  имеется точное равенство [4, с. 10]

$$P_n(k) = p_t(x) (npq)^{-1/2} \quad (1)$$

где  $n$  – число испытаний в схеме Бернулли,  
 $p$  – вероятность успеха при одном испытании,  
 $q = 1 - p$  – дополнительная вероятность,

$$x = \frac{(n/2 - np)}{\sqrt{npq}}$$

$$p_t(x) = b_n (1 + x^2/n)^{-\frac{(n+1)}{2}}$$

– функция плотности  $t$ -распределения,

$$b_n = \frac{\Gamma(\frac{n+1}{2})}{\Gamma(\frac{n}{2})\sqrt{n\pi}}$$

Доказательство:

Рассмотрим правую часть формулы (1) при,

$$x = \frac{(n/2 - np)}{\sqrt{npq}}$$

учитывая  $n=2k$  получаем следующее:

$$p_t(x) / \sqrt{npq} = \frac{b_n}{\sqrt{npq}} \left(1 + \frac{(1/2 - p)^2}{pq}\right)^{-\frac{(n+1)}{2}}$$

Воспользуемся формулой Лежандра для коэффициентов  $b_n$

$$\Gamma(a)\Gamma(a+1/2) = \sqrt{\pi}\Gamma(2a) / 2^{2a-1}$$

и тогда

$$\frac{b_n}{\sqrt{npq}} = \frac{\Gamma(\frac{n+1}{2})}{\Gamma(\frac{n}{2})\sqrt{n\pi}\sqrt{npq}} = C_n^{n/2} / (2^n \sqrt{2p2q})$$

и вместе

$$p_t(x) / \sqrt{npq} = C_n^{n/2} 2^{-n} (2p2q)^{-1/2} \left(1 + \frac{(1/2 - p)^2}{pq}\right)^{-k-1/2} \quad (2)$$

здесь видно, что, например, при  $p=1/2$  получаем равенство

$$p_t(x) / \sqrt{npq} = C_n^{n/2} 2^{-n} = P_n \quad (k = n/2)$$

Покажем, что равенство имеет и при  $p$  отличным от  $1/2$ .

Рассмотрим коэффициенты при в правой части (2):  
 Так как  $p+q=1$ , произведение первых двух множителей

$$(2pq)^{-1/2} \left(1 + \frac{(1/2 - p)^2}{pq}\right)^{-k-1/2} =$$

$$= (2pq)^{-1/2} \left(1 + \frac{(1/2 - p)^2}{pq}\right)^{-1/2} \left(1 + \frac{(1/2 - p)^2}{pq}\right)^{-k}$$

равно 1.

Домножим и разделим оставшуюся третью скобку на  $(2pq)^{-k}$

Тогда

$$(2pq)^{-k} \left(1 + \frac{(1/2 - p)^2}{pq}\right)^{-k} (2pq)^k = (2pq)^k$$

потому, что произведение первых двух скобок равно 1 по тем же причинам.

Таблица 1.

Относительных погрешностей (%) приближения вероятностей  $P_n(k)$  числа успехов  $k$  с помощью функции Гаусса и функции плотности  $t$ -распределения.  $n=20$ .

k	4	5	6	7	8	9	10	p
df	2,21	9,28	9,42	0,19	17,39	39,27	60,41	0,2
df	0,94	7,22	6,81	1,42	4,55	6,52	0,00	0,2
df	7,29	3,38	1,58	5,21	5,70	2,00	5,97	0,3
df	9,56	5,08	0,32	3,36	3,11	1,01	0,00	0,3
df	1,71	4,47	3,51	1,09	1,33	2,72	2,48	0,4
df	1,85	5,98	5,84	2,77	0,07	0,97	0,00	0,4
df	5,5	0,95	2,55	1,88	0,45	0,78	1,26	0,5
df	51,06	14,45	0,32	3,57	2,84	0,91	0,00	0,5
df				7,52	3,11	0,44	2,48	0,6
df				8,7	0,4	1,15	0,00	0,6
df							5,97	0,7
df							0,00	0,7
df							60,41	0,8
df							0,00	0,8
k	10	11	12	13	14	15	16	p
df	60,41							0,2
df	0,00							0,2
df	5,97							0,3
df	0,00							0,3
df	2,48	0,44	3,11	7,52				0,4
df	0,00	1,15	0,40	8,70				0,4
df	1,26	0,78	0,45	1,88	2,55	0,95	5,5	0,5
df	0,00	0,91	2,84	3,57	0,32	14,45	51,06	0,5
df	2,48	2,72	1,33	1,09	3,51	4,47	1,71	0,6
df	0,00	0,97	0,07	2,77	5,84	5,98	1,85	0,6
df	5,97	2,00	5,70	5,21	1,58	3,38	7,29	0,7
df	0,00	1,01	3,11	3,36	0,32	5,08	9,56	0,7
df	60,41	39,27	17,39	0,19	9,42	9,28	2,21	0,8
df	0,00	6,52	4,55	1,42	6,81	7,22	0,94	0,8

С учетом этого и того, что  $n=2k$ , (2) может быть пред-

$$\begin{aligned}
 p_i(x) / \sqrt{npq} &= C_n^{n/2} 2^{-n} (2p2q)^k = \\
 &= C_n^{n/2} 2^{-n} 2^{2k} p^k q^k = \\
 &= C_n^{n/2} p^{n/2} q^{n/2} = P_n \quad (k = n / 2)
 \end{aligned}$$

ставлено в следующем виде:

Таким образом, формула доказана.

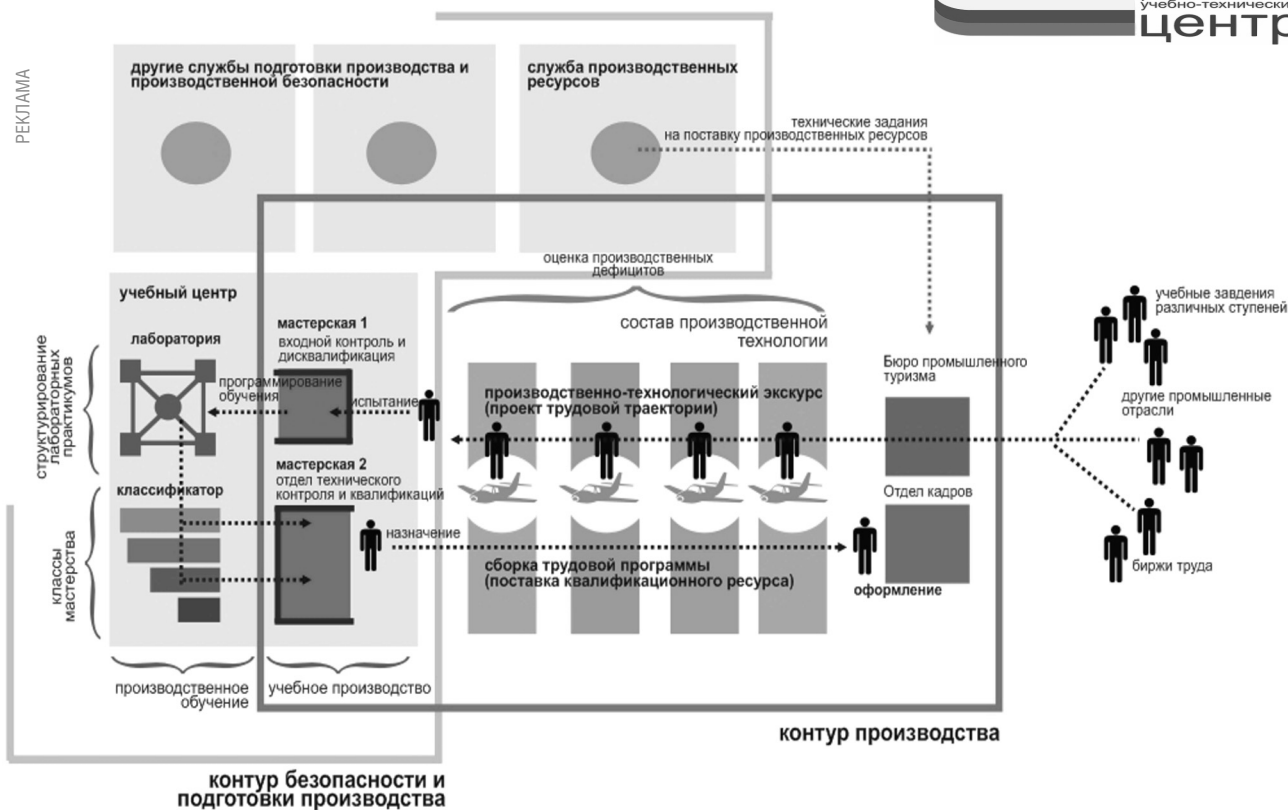
В табл. 1 представлены значения погрешностей приближения вероятностей  $P_n(k)$  числа успехов  $k$  при помо-

щи функции Гаусса и функции плотности  $t$ -распределения при различных значениях  $k$  и  $p$ . При значениях  $k=n/2$  значения погрешностей приближения с помощью функции плотности  $t$ -распределения равны 0 для любого  $p$ . В интервале  $[np, n/2]$  или  $[n/2, np]$ , в зависимости от значения  $p$ , предлагаемое приближение вероятностей  $P_n(k)$  имеет погрешности до нескольких раз меньше по сравнению с известным приближением функцией Гаусса. Также следует отметить, что предлагаемое приближение отлично работает на широком интервале значений  $p$  от 0,2 до 0,8.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аджиева А.А., Кибишева А.Р. Формула Бернулли // Вестник научных конференций. 2016. № 4-3 (8). С. 17-18.
2. Архангельский А.Н., Кириченко П.В., Пиголкин Г.М. Оценки вероятностей уклонений сумм для случайных величин Бернулли // Вестник МЭИ. 2016. № 1. С. 50-52.
3. Кибишева А.Р., Аджиева А.А. Золотая теорема Бернулли // Молодежный научный форум: технические и математические науки. 2016. № 5 (34). С. 66-70.
4. Медведева В.В. Правило Бернулли-Лопиталья. Исторический аспект // В сборнике: Актуальные проблемы современной науки: теория и практика. Материалы Международной научно-практической конференции. 2016. С. 8-13.
5. Хуцишвили В. О необходимости, способе и следствиях учёта апостериорной информации в схеме испытаний Бернулли // Computer Sciences and Telecommunications. 2016. № 1 (47). С. 42-47.

© В.П. Рязанский, (ryazansky\_vp@list.ru), Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики».



# АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ СВЯЗЕЙ В ПРОЦЕССЕ РАЗРАБОТКИ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

## THE ANALYSIS OF INFORMATION RELATIONS IN THE PRODUCT DEVELOPMENT PROCESS OF MACHINE-BUILDING ENTERPRISE

*N. Cherepanov*

### Annotation

The article deals with the analysis of information flows in the process of creating products of machine-building enterprise using information models that are developed as a matrix model. The analysis of the information count be done using the semigraphical method.

**Keywords:** Information of the enterprise; research of streams of the technical information; semigraphical a method, information streams, a control system of data about a product, the design documentation.

*Черепанов Никита Владимирович*

*К.т.н., вед. инженер  
ФГУП "НПО им. С.А. Лавочкина"  
Россия, ГО Химки, МО*

### Аннотация

В статье рассматривается анализ потоков информации в процессе создания изделий машиностроительного предприятия с помощью информационных моделей, которые разрабатываются как матричные модели. Анализ информационного графа проводится с помощью графоаналитического метода.

### Ключевые слова:

Информатизация предприятия; исследование потоков технической информации; графоаналитический метод, информационные потоки, система управления данными об изделии, конструкторская документация.

Понятие информатизации отражает не столько программно-технические средства, сколько сущность и цели этого социально-технического процесса. Наиболее полное определение понятия информатизации, предложено А. П. Ершовым: "Информатизация – это комплекс мер, направленных на обеспечение полного использования достоверного, исчерпывающего и своевременного знания во всех общественно значимых видах человеческой деятельности" (Ершов А.П., 1986).

Информатизация, по А. П. Ершову, есть процесс овладения стратегическим ресурсом, каким является информатизация для целей дальнейшего ускоренного прогресса. Средствами, обеспечивающими внедрение задач информатизации, являются технические вычислительные средства, средства связи и программные комплексы управления данными.

Для реализации такого подхода целесообразно сформировать архитектуру системы информационного управления, содержащую информационно-технологическую, интерактивную и организационную платформы, взаимосвязь между которыми осуществляется с помощью контура информационного обеспечения (Меняев М. Ф., 2011).

Для реализации задач информатизации предприятия выполняется обследование существующей структуры подразделений предприятия и соответствующих процессов. В результате формируется модель фактических процессов "как есть". На основе этой модели, методами реинжиниринга, формируется модель-эталон "как надо" и "как возможно" – структуры подразделений и их процессов. После одобрения модели-эталоном руководством предприятия, разрабатываются мероприятия перехода на работу в соответствии с выбранной моделью.

Для контроля и интеграции всех производственных процессов в условиях информатизации необходимы технологии, объединяющие и автоматизирующие все этапы жизненного цикла продукта.

К числу таких технологий относится PLM (Product Lifecycle Management – управление жизненным циклом продукта). PLM – это набор программных компонентов обеспечения коммуникаций, интеграции модулей автоматизированного проектирования и визуализации, а также других решений, охватывающих полный жизненный цикл продукта. Решения класса PLM призваны объединить все средства, обеспечивающие жизненный цикл производства.

Базы знаний–данных в рамках PLM–технологии позволяют производителю сохранить опыт, накопленный в предыдущих разработках, упростить контроль за актуальностью информации и избежать перепроектирования, составляющего от 30% до 70 % затрат на проведение проектно–конструкторских работ.

В настоящее время PLM– методология представляется комплексом по созданию инженерных данных (средствами CAD/CAE/CAPP/CAM/MPM–систем), так и управления инженерными данными (средствами PDM–системы).

*Основными компонентами PLM–системы на предприятии являются:*

*PDM–система* – система управления данными об изделии; *CAD–система* – проектирование изделий; *CAE–система*; *CAPP–система* – разработка техпроцессов; *CAM–система* – разработка управляющих программ для станков с ЧПУ; *MPM–система* – моделирование и анализ производства изделия.

Под PLM–методологией мы понимаем не один супер–продукт, а совокупность программных продуктов.

Ключевую роль в PLM играет PDM–система, задачей которой является предоставление нужных данных в нужное время и в нужной форме в соответствии с правами доступа. Система позволяет создать единое информационное пространство проектантов, конструкторов, технологов и других специалистов предприятия, работающих на взаимно увязанных прикладных программных системах с единым электронным архивом технической документации и с едиными конструкторско–технологическими справочниками нормативной документации.

*Программное обеспечение PDM–систем* обеспечивает управление этапами создания и прохождения конструкторской и технической документации. Но в настоящее время отображение данных об изделиях на разных этапах имеет различное представление: чертёжная и геометрическая информация, численные данные по различным характеристикам конструкции и эксплуатации, анализ технологичности и сами технологические процессы и т.п.

Между каждыми этапами существует процесс оценки, анализа и преобразования информации для передачи её на следующие этапы.

*Указанный процесс можно представить в виде цикла:*

<формирование информации в прикладных ПО → переход в специализированный модуль оценки и выбора дальнейших путей передачи (обработки) информации с

данного этапа → контроль и согласование результатов этапа → помещение информации в централизованный архив → дальнейшая детализация информации по изделию на следующем этапе обработки этой информации>.

В основном, все указанные этапы решаются программными средствами САПР и PDM–системы.

Одной из значимых процедур (этапов) при прохождении информации является процесс согласования и контроля информации при переходе с одного этапа создания изделия на другой. При этом для каждого этапа детализации изделия или его составных частей существуют соответствующие виды документов, разрабатываемые на данном этапе.

Этот этап в полной мере не существует в САПР и PDM–системе. Для его реализации необходимо проводить анализ существующих на предприятии технологий с учётом конструктивной специфики разрабатываемых изделий.

Задача оценки и выбора дальнейших путей передачи (обработки) информации с очередного этапа решается на основе специализированных комплексов программно–методических средств, являющихся внешними средствами по отношению к PDM–системе.

Специализированный комплекс не является составной частью системы PDM, в которой обеспечивается только заранее определённое направление передачи информации. Во всех современных PDM–системах процедуры интеллектуального выбора направления и объёма передаваемой информации не существуют.

Указанный модуль должен взаимодействовать на информационном уровне с PDM–системой для передачи ей информации об объёмах и направлениях передаваемой информации на основе процедур выбора.

Выбор направления передачи и состав передаваемой информации определяется в модуле оценки в зависимости от решаемых задач изделием, организационной структуры предприятия, ресурсов подразделений предприятия, возможностей производства и директивных материалов.

В настоящее время успешно используется несколько методов анализа информационного обеспечения и информационных потоков. Они различаются принятыми характеристиками количества информации (символы, записи, графостроки, документы и т. п.), методами и инструментами анализа. Наиболее разработанными можно считать следующие методы.

Метод матричного моделирования процессов разра–

ботки данных, опробованный на машиностроительных предприятиях.

Графоаналитический метод исследования потоков информации, опробованный на металлургических заводах.

Описание потоков информации в виде графика типа дерева.

Метод схем информационных связей плановых расчетов.

Метод исследовательского анализа задач управления, разработанный на выявлении "коротких" потоков.

Эти методы основываются, прежде всего, на оценке общей количественной характеристики информации.

Каждый из этих методов имеет свою область применения: одни удобны для описания информационных связей между подразделениями, другие – между группами задач, отдельными задачами и группами элементарных процедур.

Наиболее полное и детальное отражение и анализ потоков информации можно получить с помощью информационных моделей, которые разрабатываются как матричные модели. При этом используются различные матрицы – материальные процессы и документооборот, документооборот и состав решений и задач на конкретном уровне управления, по определенным группам задач, по разным уровням управления и др.

Наиболее полно анализ информационных потоков может быть проведен при построении и анализе блок-схемы носителей информации в виде информационного графа.

*При обосновании информационных потоков необходимо учесть:*

- ◆ движение информации в рамках самого информационного обеспечения (от блока – к блоку);
- ◆ взаимосвязь и преемственность информации в технологических процедурах одной функциональной подсистемы и между самостоятельными функциональными подразделениями;
- ◆ иерархическую направленность движения информации;
- ◆ направленность и виды оформления выходной информации.

Процедура подготовки к решению группы задач или отдельной задачи предполагает предварительное определение состава, последовательности и взаимосвязи структурных компонентов потоков информации, обеспечивающих процесс решения. К структурным компонентам потока можно отнести входные и выходные документы (функциональный уровень анализа), массивы исход-

ной, промежуточной и выходной информации (элементный уровень анализа), рассматривая выделенные уровни самостоятельно или интегрируя их в единую схему.

В качестве примера рассмотрим процесс согласования конструкторской документации для изделий сложной комплектации.

Выборочный список подразделений, участвующих в согласовании конструкторской документации (КД) представлен в **табл. 1**.

В свою очередь в каждом подразделении может существовать подобная таблица согласований. Например, согласование технологичности изделий может охватывать не только сотрудников самого подразделения, но и различные цеха, определяющие возможность изготовления отдельных деталей и проведение специальных технологических операций.

Прохождение информации в процессе разработки конструкторской документации и её согласование можно представить в виде информационного графа, вершины которых обозначают подразделение или документ с соответствующими информационными атрибутами об облике изделия, а дуги – информационные связи.

Анализ информационного графа может проводиться с помощью графоаналитического метода (Басакер Р. и др., 1973), основанного на анализе матрицы смежности. Исходными для анализа информационных потоков являются данные о парных отношениях между наборами информационных элементов, формализуемые в виде матрицы смежности. Под информационными элементами понимают различные типы входных, промежуточных и выходных данных.

Под матрицей смежности  $B$  понимают квадратную бинарную матрицу, проиндексированную по обеим осям множеством информационных элементов  $D = \{d_1, d_2, \dots, d_S\}$ , где  $S$  – число этих элементов.

В позиции  $(i, j)$  матрицы смежности записывают 1, если между информационными элементами  $d_i$  и  $d_j$  существует отношение  $RO$ , такое, что для получения значения информационного элемента  $d_j$  необходимо обращение непосредственно к элементу  $d_i$ . Наличие такого отношения между  $d_i$  и  $d_j$  обозначают в виде  $d_iROd_j$ , а отсутствие –  $d_iOd_j$ , чему соответствует запись 0 в позиции  $(i, j)$  матрицы  $B$ . Для простоты дальнейших преобразований условно принимают, что каждый информационный элемент недостижим из самого себя:

Матрице  $B$  ставится в соответствие граф информационных взаимосвязей  $G(D, RO)$ . Множеством вершин графа  $G(D, RO)$  является множество  $D$  информационных

Таблица 1.

Перечень согласований конструкторской документации по отдельным задачам.

№№ п/п	Наименование подразделения, согласующего КД	Кто подписывает	Тема согласования (Направление)
1	Подразделение технологичности	Технолог - контролёр	Контроль технологичности конструкций
2	Стандартизация и нормоконтроль	Нормо-контролер	Контроль КД на соответствие ГОСТам
3	Конструкторский отдел	Начальник отдела	Силовые и крупногабаритные конструкции
4	Конструкторский отдел	Начальник отдела	Общие увязки оборудования
5	Отдел прочности	Начальник отдела	Контроль параметров конструкции на прочность
6	Отдел прочностных и кинематических испытаний	Начальник отдела	Вибро-статические испытания
7	Отдел автоматизации наземных испытаний и стендовых телеизмерений	Начальник отдела	Измерения при испытаниях
8	Отдел материаловедения	Ведущий специалист	Контроль дегазации
9	Сектор материально-технических нормативов	Начальник сектора	Учет и заказ материалов АРМ материального нормирования
10	Отдел главного технолога	Начальник бюро агрегатной сборки	Оснастка по агрегатной сборке
11	Архив подлинников	Начальник сектора ТД	Выдача номеров ЛЗ и ЛИ

элементов, а каждая дуга  $(d_i, d_j)$  соответствует условию  $d_i R O d_j$ , т.е. записи 1 в позиции  $(i, j)$  матрицы  $B$ . Структура графа  $G(D, RO)$  вследствие неупорядоченности сложна для восприятия и анализа. Составленная на основе первичного представления разработчика об информационных элементах и их взаимосвязях, она не гарантирована от возможных неточностей и ошибок. Для формального выделения входных, промежуточных и выходных данных, определения последовательности процедур их обработки, анализа и уточнения взаимосвязей на основе графа  $G(D, RO)$  строят матрицу достижимости.

Матрицей достижимости  $M$  называют квадратную бинарную матрицу, проиндексированную по обеим осям множеством информационных элементов  $D$ , аналогично матрице смежности  $B$ . Запись 1 в каждой позиции  $(i, j)$  матрицы достижимости  $M$  соответствует наличию для упорядоченной пары информационных элементов  $(d_i, d_j)$  смыслового отношения достижимости  $R$ . Элемент  $d_j$  достижим из элемента  $d_i$ , т.е. выполняется условие  $d_i R d_j$ , если на графе  $G(D, RO)$  существует направленный путь от вершины  $d_i$  к вершине  $d_j$ , или если в процессе получения значения элемента  $d_j$  используется значение элемента  $d_i$ . Если  $d_i d_j$ , то отношение достижимости между элементами  $d_i$  и  $d_j$  отсутствует и в позиции  $(i, j)$  матрицы  $M$  записывают 0.

Записи 1 в  $j$ -м столбце матрицы  $M$  соответствуют информационным элементам, которые необходимы для получения значения элемента  $d_i$ , соответствующего рассматриваемому столбцу, и которые образуют множество элементов предшествования  $A(d_i)$  для этого элемента. Записи 1 в  $i$ -и строке матрицы  $M$  соответствуют всем элементам, достижимым из рассматриваемого элемента  $d_j$  и образующим множество достижимости  $R(d_j)$  этого элемента. Информационные элементы, строки которых в матрице  $M$  не содержат единицу (нулевые строки), являются выходными информационными элементами, а информационные элементы, соответствующие нулевым столбцам матрицы  $M$ , являются входными. Это условие может служить проверкой правильности заполнения матриц  $B$  и  $M$ , если наборы входных и выходных информационных элементов известны. Информационные элементы, не имеющие нулевых строки или столбца, являются промежуточными.

Исходной информацией для описанного выше метода являются перечни входных и выходных элементов с указанием связей между ними. Получение этой информации является сложной слабо формализуемой задачей, основанной на изучении информационных потоков. Общая методика заключается в анализе этих потоков от выходов к входам. Исходя из функций системы и ее цели, оп-



ределяют множество материальных выходов и для каждого из них – набор независимых параметров, полностью характеризующих данный выход по всей совокупности задач управления. Сопоставляя наборы параметров, характеризующих выходы, с перечнем информационных элементов, выделенных из множества исходных данных для решения задач, определяют, содержится ли данный параметр в обоих списках. Положительный результат является подтверждением необходимости включения данного информационного элемента в состав информационного обеспечения, а отсутствие совпадения требует более тщательного анализа.

Дополнительный анализ либо выявит ошибочный пропуск данного элемента в одном из списков, либо станет ясно, что данный параметр нет необходимости включать в состав информационного обеспечения. Накладывая результаты анализа одного параметра на другие и исключая дублирование, получают полный набор выходных информационных элементов. Аналогичным методом получают набор входных информационных элементов. В обоих случаях следует иметь в виду возможность наличия промежуточных информационных элементов.

*Анализ информационного графа и его информационной матрицы, являющихся моделью информационных потоков в системе, в условиях изменения предметной области позволяет:*

- ◆ уточнить схему информационных связей между выделенными в модели элементами;
- ◆ выявить первичные и выходные данные;
- ◆ определить число разновидностей всех видов информации, их взаимосвязи и степень встречаемости показателей в различных задачах;
- ◆ определить перечень задач, решаемых независимо друг от друга по исходной, промежуточной и выходной информации;
- ◆ определить перечень задач, решаемых с использованием промежуточных и выходных данных, полу-

ченных в результате решения других задач;

- ◆ установить степень использования различных видов информации;
- ◆ установить последовательность подготовки, ввода и использования в системе различных данных для подготовки выходных документов или решения определенных задач;
- ◆ установить последовательность решения задач и их связь и различными данными;
- ◆ определить объем информации, циркулирующей в системе.

Информационная модель, разрабатываемая в соответствии с принципиальной схемой матричной модели, содержит сведения о документах и маршрутах их движения, а также об аппарате, выполняющем функции управления.

Матричная модель позволяет отразить информативность и маршруты движения документов, взаимосвязь между всеми рабочими группами подразделений предприятия, а также, внешней средой.

Учитывая централизованное хранение информации в информационной системе предприятия, нет необходимости увязывать полностью входящие и исходящие документы по всем подразделениям. Достаточно обеспечить и проконтролировать полноту входящей информации в каждую подсистему проектирования (обеспечивающее подразделение) и её наличие в единой базе данных по изделию.

Такой подход при этапности внедрения системы информатизации обеспечит постоянную замкнутость всего цикла независимо от объёма обрабатываемой в данное время электронной и бумажной информации и постоянное уточнение, добавление и изменение составляющих электронной информации во всём объеме решения задач информатизации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Басакер Р., Саати Т., Конечные графы и сети, перевод с английского, Главная редакция физико-математической литературы изд-ва "Наука", Москва, 1973, 368 стр.
2. Ершов А.П. Информатика: предмет и понятие. В кн. Кибернетика. Становление информатики. М.: Наука, 1986. С. 28–31.
3. Меняев М. Ф., Архитектура системы управления информационным ресурсом наукоемкого производства. Электронное научно-техническое издание "Наука и образование", Эл № ФС 77 – 48211. Государственная регистрация №0421200025. ISSN 1994–0408. Дата обновления: 09.09.2011 URL: <http://technomag.edu.ru/doc/360728.htm>

## ВОЗМОЖНОСТИ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ МОРФОМЕТРИИ В ДИАГНОСТИКЕ БОЛЕЗНИ АЛЬЦГЕЙМЕРА

### MRI MORPHOMETRY POSSIBILITIES IN THE DIAGNOSIS OF ALZHEIMER'S DISEASE

*M. Artemov  
A. Stanzhevsky*

#### Annotation

Dementia is one of the most common, serious, socially significant neurodegenerative diseases of the brain, which manifests itself a violation of basic cognitive functions. This is often found nosology form of dementia is Alzheimer's disease. Diagnosis of Alzheimer's disease in the early stages of development of pathological neurodegenerative process now is essential due to the increasing incidence among the elderly population in developed countries. The recent introduction into clinical practice of modern neuroimaging techniques, such as MRI morphometry, positron emission tomography, SPECT, allowing timely diagnosis of various neurodegenerative diseases of the brain. Application of the method of magnetic resonance morphometry allows quantification of atrophic changes of different brain structures. In our study, 84 patients were studied, including 36 persons with moderate cognitive deficits, and 48 – with Alzheimer's disease at the stage of "mild" dementia. With the progression of neurodegenerative diseases and the development of dementia syndrome, the most pronounced decrease in the volume of the cerebral cortex were determined in the medial-basal temporal lobes of both hemispheres of the brain, as well as in the orbitofrontal regions of the frontal lobes. The optimal threshold volume (mm<sup>3</sup>) in the hippocampus, equal to 2740.7, a sensitivity of 68.3%, specificity – 75.0%. When MR morphometry for Alzheimer's disease, in contrast to the moderate cognitive deficits, characterized by a decrease in volume of the cortex of the medial orbitofrontal cortex to 7317.7 ± 870.1 mm<sup>3</sup> due to atrophic changes.

**Keywords:** Alzheimer's disease, MRI morphometry, the hippocampus, the cognitive deficits.

*Артемов Максим Владимирович  
Врач–рентгенолог, зав. отделением  
магнитно–резонансной томографии,  
Российский научный центр радиологии и  
хирургических технологий, Санкт–Петербург  
Станжевский Андрей Алексеевич  
Д.м.н., зам. директора по научной работе,  
Российский научный центр радиологии и  
хирургических технологий, Санкт–Петербург*

#### Аннотация

Деменция представляет собой одно из наиболее распространенных, тяжелых, социально значимых нейродегенеративных заболеваний головного мозга, которое проявляется нарушением основных когнитивных функций. При этом, часто встречаемой нозологической формой деменции является болезнь Альцгеймера. Диагностика болезни Альцгеймера на ранних стадиях развития патологического нейродегенеративного процесса в настоящее время имеет существенное значение в связи с ростом заболеваемости среди пожилого населения в развитых странах. Внедрение в последнее время в клиническую практику современных методик нейровизуализации, таких как МР–морфометрия, позитронная эмиссионная томография, ОФЭКТ, позволило проводить своевременную диагностику различных нейродегенеративных заболеваний головного мозга. Применение методики магнитно–резонансной морфометрии позволяет количественно определять атрофические изменения различных структур головного мозга. В нашем исследовании было обследовано 84 пациента, в том числе 36 человек с умеренным когнитивным дефицитом и 48 – с болезнью Альцгеймера на стадии "мягкой" деменции. При прогрессировании нейродегенеративного заболевания и развитии синдрома деменции наиболее выраженное уменьшения объема коры головного мозга определялись в медиально–базальных отделах височных долей обоих полушарий головного мозга, а также в орбитофронтальных зонах лобных долей. Определено оптимальное пороговое значение объема (мм<sup>3</sup>) в области гиппокампов, равное 2740,7, чувствительность метода составила 68,3%, специфичность – 75,0%. При МР–морфометрии для болезни Альцгеймера, в отличие от умеренного когнитивного дефицита, характерно уменьшение объема коры медиальных отделов орбитофронтальной коры до 7317,7 ± 870,1 мм<sup>3</sup> за счет атрофических изменений.

#### Ключевые слова:

Болезнь Альцгеймера, МР–морфометрия, гиппокампы, когнитивный дефицит.

**В** настоящее время деменция представляет собой одно из наиболее распространенных социально значимых заболеваний. Она проявляется нарушением основных когнитивных функций (памяти, внимания, гнозиса, мышления, праксиса) по сравнению с исходным возрастным и образовательным уровнями [1].

Наиболее распространенными нозологическими формами деменции являются болезнь Альцгеймера (БА), сосудистая деменция, деменция с тельцами Леви и группа патологических состояний, которые относятся к лобно–височной дегенерации [2]. Тем не менее, до 40% случаев когнитивного нарушения обусловлены болезнью

Альцгеймера [3–4].

В современной литературе имеются сведения о применении магнитно-резонансной морфометрии в диагностике болезни Альцгеймера. Магнитная резонансная морфометрия с использованием специального программного обеспечения с последующим автоматизированным анализом степени атрофии коры головного мозга используется в клинической практике с появлением первых коммерчески доступных томографических установок [5–7]. С развитием метода магнитной резонансной томографии дифференциальная диагностика деменций альцгеймеровского типа стала более точной. Разработаны дополнительные критерии характера распространенности атрофического процесса головного мозга при различных видах деменции [8]. Тем не менее, основные сложности возникают на ранних стадиях патологического процесса, вследствие сходства структурных изменений в веществе головного мозга, развивающихся при различных нейродегенеративных заболеваниях [9]. Следует подчеркнуть, что в последние годы согласно данным некоторых исследователей с помощью магнитной резонансной морфометрии можно получить новые данные в нейроанатомии у пациентов с различными нейродегенеративными заболеваниями, в том числе при болезни Альцгеймера [10–12]. Согласно исследованию Shingo Kakeda et al., 2010, у больных с начальными стадиями БА с использованием магнитной резонансной морфометрии были выявлены структурные изменения в веществе головного мозга, которые не определялись при рутинном МР-исследовании [11]. Кроме того, этот метод может быть полезен для раннего выявления и мониторинга прогрессирования заболевания, а также в оценке ответа на лечение у пациентов с умеренным когнитивным дефицитом и болезнью Альцгеймера.

Однако, имеющиеся в зарубежной литературе данные о характере и локализации атрофических изменений в коре и подкорковых структурах головного мозга, выявляемые методом МР-морфометрии у пациентов с болезнью Альцгеймера достаточно противоречивы [12–13]. Сведения о пороговых значениях объема коры различных структур головного мозга, позволяющих дифференцировать умеренный когнитивный дефицит и болезнь Альцгеймера в стадии мягкой деменции, в зарубежной и отечественной литературе, фактически отсутствуют.

Цель исследования. Изучить значения объемных показателей различных структур головного мозга по данным МР-морфометрии у пациентов с умеренным когнитивным дефицитом и болезнью Альцгеймера.

Материалы и методы. Всего было обследовано 84 пациента с умеренным когнитивным дефицитом и "мягкой" деменцией при болезни Альцгеймера (54 женщины и 30 мужчин, в возрасте от 63 до 86 лет). Средний возраст

больных составил  $76,09 \pm 6,61$  года. УКД наблюдался у 36 пациентов в возрасте (средний возраст  $77,1 \pm 5,8$  лет), БА на стадии мягкой деменции – у 48 пациентов (средний возраст  $75,3 \pm 7,1$ ). В группу контроля (ГК) вошли 60 человек, сопоставимые по возрасту ( $75,1 \pm 6,0$  лет) с пациентами, страдающими когнитивным дефицитом. Опухолевое поражение головного мозга, сосудистые мальформации, а также различные заболевания (черепно-мозговой травмы, системные заболевания) являлось критерием исключения из исследования.

Диагноз умеренного когнитивного дефицита и деменции основывался на общепринятых клинических критериях. Для оценки выраженности когнитивных нарушений у пациентов использовались основные стандартные шкалы и тесты (краткая шкала оценки психического статуса (MMSE); методика "батарея исследования лобной дисфункции"; комплексная шкала оценки деменции Маттиса), а также шкала оценки клинической тяжести деменции (CDR).

Статистическую обработку полученных данных проводили с помощью стандартного пакета программ Statistica for Windows 95/NTv. 577. Достоверность оценивали по непараметрическому критерию Манна-Уитни с уровнем значимости  $p < 0,05$ .

Для морфометрической оценки объема коры и других структур головного мозга использовались T1-взвешенные изображения (3D FE) с толщиной среза 1,2 мм. Исследования головного пациента проводились на магнитно-резонансом томографе Vantage Titan фирмы Toshiba с напряженностью магнитного поля 3,0 Т. Обработка полученных томограмм выполнялась с помощью программного обеспечения FreeSurfer (сайт: <http://surfer.nmr.mgh.harvard.edu/>), которая включало в себя следующий набор действий: поэтапная сегментация структур головного мозга; нормализация изображений обследуемых пациентов путем создания стандартного образца (шаблона) с применением жесткой аффинной и нелинейной трансформации (деформации или искривления изображений для 3D-обработки) с использованием техники кластерного анализа.

В результате обработки МР-изображений был получен количественные показатели различных структур головного мозга в мм<sup>3</sup>.

#### Результаты и обсуждение

При проведении МР-морфометрии были получены достоверные количественные показатели (объем) серого вещества различных структур головного мозга при умеренном когнитивном дефиците и болезни Альцгеймера. Значения объема этих структур в сопоставлении с группой контроля (ГК) представлены в **табл. 1**.

Таблица 1.

Объем серого вещества различных структур головного мозга у пациентов при болезни Альцгеймера, в группе контроля и при умеренном когнитивном дефиците.

Группа	Гиппокампы	Миндалевидное тело	Энторинальная кора	Фузиформная извилина	Медиальная орбитофронтальная кора	Латеральная орбитофронтальная кора
ГК	3737,3±302,5	1582,1±207,8	1951,4±260,1	7998,2±1264,4	7610,6±831,9	3775,2±590,4
УКД	2967,2±427,5	1224,5±373,8	1415,8±462,5	7059,1±1534,1	7317,7±870,1	3760,8±494,6
	P <0,05	P <0,05	P <0,05	P <0,05	P = 0,18	P =0,85
БА	2263,6±297,9	989,9±392,5	1134,6±343,4	6123,7±1180,7	6602,1±990,7	2804,7±468,5
	P <0,05	P <0,05	P <0,05	P <0,05	P <0,05	P <0,05

Примечание: ГК- группа контроля, УКД - умеренный когнитивный дефицит, БА - болезнь Альцгеймера.

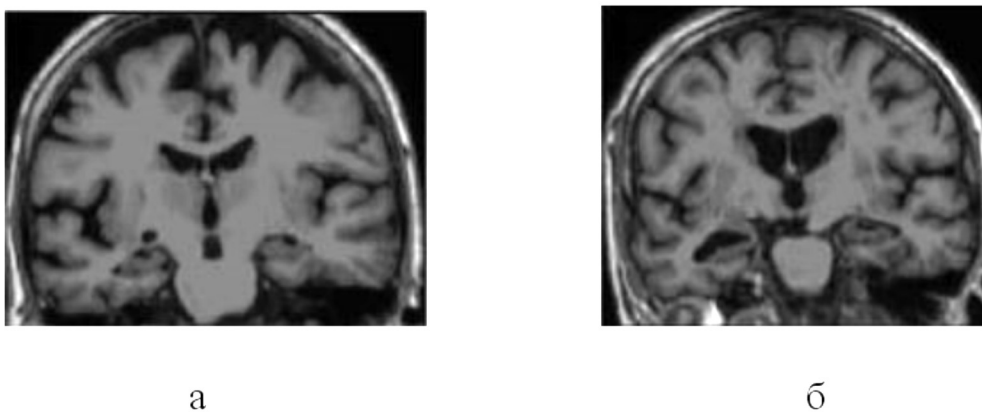


Рисунок 1. Магнитно-резонансные томограммы (корональная плоскость, T1-взвешенные изображения) у пациентов с умеренным когнитивным дефицитом (а) и при болезни Альцгеймера (б). Определяется увеличение размеров желудочковой системы и расширения субарахноидальных пространств, атрофия медиобазальных отделов височных долей (проекция гиппокампов).



Рисунок 2. Постпроцессинговая обработка в среде FreeSurfer пациента с УКД (а) и болезнью Альцгеймера (б). Отмечается снижение объема серого вещества в медиальных отделах височных долей, в височно-теменных областях и лобных долях.

Как видно из представленной таблицы, у пациентов с умеренным когнитивным дефицитом отмечалось достоверное ( $p < 0,05$ ) снижение объема коры головного мозга в области гиппокампов, миндалевидных тел, энторинальной коры, фузиформных извилин. У пациентов с болезнью Альцгеймера в стадии мягкой деменции дополнительно наблюдалось снижение объема серого вещества в медиальной и латеральной орбитофронтальной коре.

На рис. 2 показаны изображения, полученные при МР-морфометрии у больных с УКД и БА с постпроцессинговой обработкой.

На рис. 3 представлены данные объема серого вещества гиппокампов (ROC анализ), у пациентов с УКД и БА.

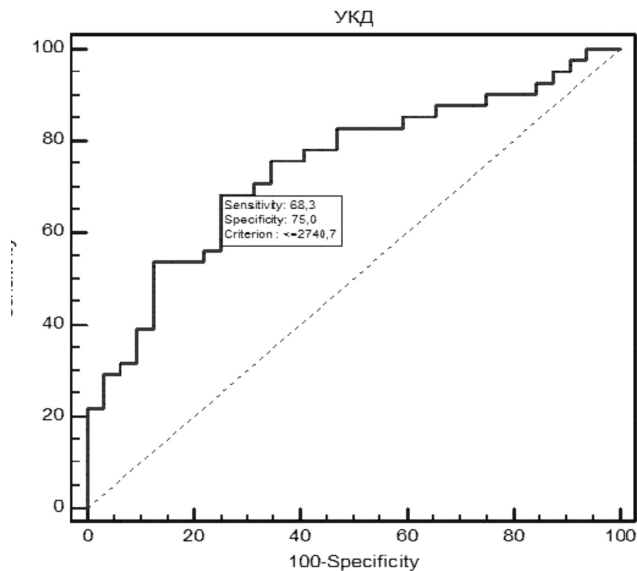


Рисунок 3.

Как видно из приведенного графика, наибольшая информативность МР-морфометрии при дифференциальной диагностике умеренного когнитивного дефицита и мягкой деменцией при болезни Альцгеймера была получена при пороговом значении объема коры в проекции гиппокампов, равном 2740,7 мм<sup>3</sup>, чувствительность метода составила 68,3%, специфичность – 75,0%.

На рис. 4 представлена корреляционная зависимость между выраженностью нарушения функции лобных долей, определенной с использованием батареи лобной дисфункции (FAB), и уменьшением объема коры в области медиальной орбитофронтальной коры лобных долей у пациентов с болезнью Альцгеймера.

$$y = 10,4678 + 0,0003599x$$

$$R^2 = 0,01418, P < 0,0053$$

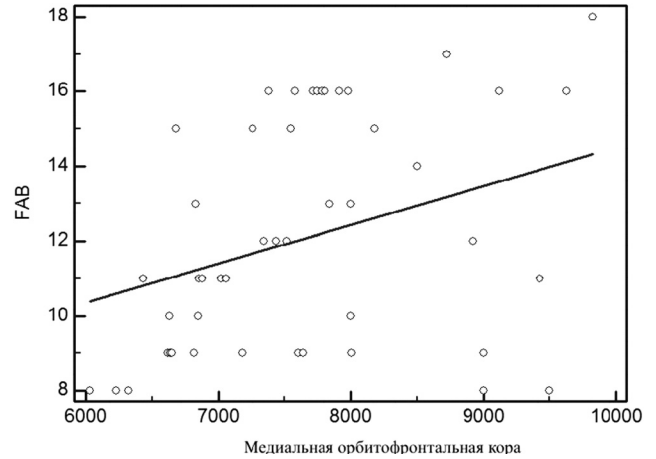


Рисунок 4.

У пациентов с болезнью Альцгеймера наблюдалась достоверная положительная корреляционная зависимость между выраженностью нарушения функции лобных долей и снижением показателей объема коры медиальной орбитофронтальной области лобных долей. Кроме того, определялась положительная корреляция между выраженностью клинических симптомов когнитивных нарушений с использованием шкалы MMSE и степенью атрофических изменений по данным МР-морфометрии в области гиппокампов, миндалевидных тел, энторинальной коры, фузиформной извилин, а также медиальных отделов орбитофронтальной коры у пациентов с БА. В то же время корреляционная зависимость между баллами батареи лобной дисфункции и объемом коры наблюдалась только в области медиальной и латеральной орбитофронтальных зонах лобных долей, при  $p < 0,05$ .

#### Заключение

Результаты некоторых исследований свидетельствуют, что применение МР-морфометрии у пациентов с когнитивным дефицитом позволяет визуализировать атрофические изменения коры, в тех случаях, когда традиционные технологии магнитно-резонансной томографии не выявляют каких-либо значимых структурных изменений в веществе головного мозга. Полученные нами данные показали, что атрофические изменения коры головного мозга наблюдаются уже на стадии умеренного когнитивного дефицита. При прогрессировании патологического процесса и развитии синдрома деменции наиболее выраженные атрофические изменения локализовались в медиальных отделах височных долей обоих полушарий головного мозга. При этом наибольшие показатели точности МР-морфометрии при сравнении полученных данных с группой контроля была получена при пороговом значении объема коры в области гиппокампов, равном 3042,7 мм<sup>3</sup>. Дополнительным критерием, позволяющим дифференцировать умеренный когнитивный дефицит и

болезнь Альцгеймера является достоверно значимое снижение объема вещества головного мозга в медиальной орбитофронтальной коре. Среднее значение этого показателя в нашем исследовании составило  $7317,7 \pm 870,1$  мм<sup>3</sup>. При этом определялась достоверная корреляция между степенью снижения объема коры различных структур головного мозга и выраженностью когнитивно-

го дефицита, измеренного с помощью шкалы MMSE. Применение МР-морфометрии позволяет выявлять патологические изменения коры головного мозга на ранних стадиях развития нейродегенеративного процесса, что дает возможность проведения своевременных и адекватных лечебных мероприятий у пациентов, страдающих когнитивными нарушениями [14–15].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Яхно Н. Н. Когнитивные расстройства в неврологической практике / Н. Н. Яхно // Невролог. журн. – 2006. – № 1. – С. 4–12.
2. Jellinger K. A. The enigma of mixed dementia / K. A. Jellinger // *Alzheimer's and Dementia*. – 2007. – Vol. 3. – P. 40–53.
3. Jellinger K.A. Neuropathological evaluation of mixed dementia / K. A. Jellinger, J. Attems // *Review. JNeuroSci*. – 2007. – Vol. 257(1–2). – P.80–87.
4. Бачинская Н.Ю. Болезнь Альцгеймера / Н.Ю. Бачинская // Журнал неврологии им. Б.М. Маньковского. – 2013. – №1. – С. 17–22.
5. Трофимова Т.Н. Очаговые изменения головного мозга при дисциркуляторной энцефалопатии (МРТ – патоморфологические сопоставления) / Т.Н. Трофимова, Н.А. Беляков, Н.И. Ананьева и др. // *Мед. Визуализация*. – 2007. – №1. – С. 89–96.
6. Spulber G. An MRI-based index to measure the severity of Alzheimer's disease-like structural pattern in subjects with mild cognitive impairment / G. Spulber, A. Simmons, J.-S. Muehlboeck et al. // *Journal of Internal Medicine*. – 2013. – Vol. 273 (4). – P. 396–409.
7. Madelaine D. Breakdown of Brain Connectivity Between Normal Aging and Alzheimer's Disease: A Structural k-Core Network Analysis / D. Madelaine, N. Jahanshad, Talia M. Nir et al. // *Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative. Brain Connectivity*. – 2013. – Vol. 3(4). – P. 407–422.
8. Fazekas F. MR signal abnormalities at 1.5 T in Alzheimer's dementia and normal aging / F. Fazekas, J. B. Chawluk, A. Alavi et al. // *Am. J. Roentgenol*. – 1987. – Vol. 149, № 2. – P. 351–356.
9. Marije R. Benedictus. Specific risk factors for microbleeds and white matter hyperintensities in Alzheimer's disease / Marije R. Benedictus, Jeroen D.C. Goos, Maja A.A. Binnewijzend et al. // *Neurobiology of Aging*. – 2013. – Vol. 34 (11). – P. 2488–2494.
10. Shingo Kakeda. The efficacy of a voxel-based morphometry on the analysis of imaging in schizophrenia, temporal lobe epilepsy, and Alzheimer's disease/mild cognitive impairment: a review. / Shingo Kakeda // *Neuroradiology*. – 2010. – Vol.52. – P. 711–721.
11. Mc Evoy L. Alzheimer disease: quantitative structural neuroimaging for detection and prediction of clinical and structural changes in mild cognitive impairment / L. Mc Evoy, C. Fennema-Notestine, D. Hagler et al. // *Radiology*. – 2009. – Vol. 251. – P. 1950–2205.
12. Vemuri P. Alzheimer's disease diagnosis in individual subjects using structural mr images: Validation studies / P. Vemuri, J.L. Gunter, M.L. Senjem et al. // *NeuroImage*. – 2008. – Vol.39. – P.1186–1197.
13. Westman E. Multivariate analysis of mri data for alzheimer's disease, mild cognitive impairment and healthy controls / E. Westman, A. Simmons, Y. Zhang et al. // *NeuroImage*. – 2011. – Vol. 54. – P. 1178–1187.
14. Chetelat G. Using voxel-based morphometry to map the structural changes associated with rapid conversion in MCI: A longitudinal MRI study / G. Chetelat, B. Landeau, F. Eustache et al. // *NeuroImage*. – 2005. – Vol. 27. – P. 934–946.
15. Jennifer L. Whitwell. 3D maps from multiple MRI illustrate changing atrophy pattern as subjects progress from mild cognitive impairment to Alzheimer's disease / Jennifer L. Whitwell, Scott A. Przybelski, Stephen D. Weigand et al // *Brain*. – 2007. – Vol.130. – P. 1777–1786.

© М.В. Артемов, А.А. Станжевский, ( mrcrht-mrt@mail.ru ), Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»,



## РЕЗУЛЬТАТЫ ДИАГНОСТИКИ И ЛЕЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ С БЕССИМПТОМНОЙ ПАТОЛОГИЕЙ ВЖП

### THE RESULTS OF THE DIAGNOSIS AND TREATMENT OF PATIENTS WITH ASYMPTOMATIC PATHOLOGY VZHP

*N. Navdzhavonova  
K. Stegny  
S. Udalova  
A. Gulevich*

#### Annotation

Analyzed the results of the diagnosis and treatment 213 patients with cholelithiasis who underwent laparoscopic cholecystectomy was performed. All patients were divided into two groups. The first group of patients was conducted MRCP in the preoperative period, and patients second – after surgery. 28(13.1%) observations revealed pathological changes of extrahepatic bile ducts, are asymptomatic. Results testifies to the necessity of the use of MRCP in the preoperative period in patients with cholelithiasis.

**Keywords:** Cholelithiasis, MRCP, extrahepatic bile ducts, asymptomatic pathology, mini-invasive surgeries.

*Навджавонова Наргис Оламджоновна  
Аспирант, врач-хирург,  
Тихоокеанский Государственный  
мед. университет, г. Владивосток,  
Стегний Кирилл Владимирович  
Д.м.н., профессор,  
Тихоокеанский Государственный  
мед. университет, г. Владивосток  
Удалова Светлана Владимировна  
Врач-рентгенолог, Краевой  
клинический центр специализированных  
видов мед. помощи, г. Владивосток  
Гулевич Антон Павлович  
К.э.н., вед. экономист,  
Приморский краевой мед.  
информационно-аналитический  
центр, г. Владивосток*

#### Аннотация

Проведен анализ результатов диагностики и лечения 213 пациентов с ЖКБ, которым было выполнено оперативное лечение лапароскопическим методом. Все пациенты были разделены на 2 группы. Пациентам первой группы проводилась МРТ-холангиография в предоперационном периоде, а пациентам второй – после оперативного лечения. В 28(13.1%) наблюдениях выявлены патологические изменения внепеченочных желчных протоков, протекающие бессимптомно. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости использования МРТ-холангиографии в предоперационном периоде у пациентов с ЖКБ.

#### Ключевые слова:

ЖКБ, МРТ-холангиография, внепеченочные желчные протоки, бессимптомная патология, минимально-инвазивное хирургическое лечение.

#### Введение

Основным методом хирургического лечения пациентов с ЖКБ в настоящее время является лапароскопическая холецистэктомия. Оперативное лечение методом ВЛХЭ на современном этапе считается "золотым стандартом" в билиарной хирургии, но, не смотря на все его преимущества, данный метод имеет недостаток – техническую сложность выполнения интраоперационной холангиографии, в связи с чем, данное исследование при ВЛХЭ не выполняется [4–8].

В своих работах многие авторы указывают на то, что холецистэктомия без интраоперационной ревизии желчных протоков является не полной операцией с точки зре-

ния билиарной хирургии. Данное мнение авторов обосновано тем, что длительное течение ЖКБ в 20–30% случаев сочетается с патологическими изменениями внепеченочных желчных протоков (ВЖП), которые в 12–20% протекают бессимптомно [6–8]. Такая патология, своевременно не выявленная и не устраненная до оперативного лечения методом ВЛХЭ, является главным фактором в развитии ПХЭС, что приводит к неудовлетворительным результатам хирургического лечения и снижению качества жизни пациентов [1–3].

#### Материалы и методы

В основу работы положен анализ результатов диагностики и лечения 213 пациентов, находившихся на стац-

онарном лечении на базе клиники факультетской хирургии ТГМУ с DS: Желчнокаменная болезнь. Пациентов мужского пола было 46(22%) человек, женщин – 167(78%) человек. Возраст больных варьировал от 17 до 83 лет. Пик заболеваемости ЖКБ прослеживается у пациентов в возрасте от 50 до 70 лет. Наибольшее количество пациентов имело длительность течения заболевания от 5 до 8 лет, что составило 41% от общего количества исследуемых больных, а так же от 8 до 10 лет – 21.5%. Все больные были разделены на две клинические группы, статистически сопоставимые по полу, возрасту, имеющейся патологии и характеру оперативного вмешательства. Основную 1-ю группу составили пациенты с ЖКБ – 100(47%) человек, которым в предоперационном периоде была выполнена МРТ-холангиография. В контрольную 2-ю группу вошли пациенты с ЖКБ – 113(53%) человек, которым МРТ-исследование желчных протоков проводилось после оперативного лечения методом ВЛХЭ. У исследуемых пациентов обеих групп, анамнестические данные и результаты клинико-инструментальных методов исследования не давали повода к проведению дополнительных исследований желчных протоков.

Результаты и обсуждение

В результате, при МРТ-исследовании у 28(13.1%) пациентов были обнаружены патологические изменения внепеченочных желчных протоков. В первой группе количество таких пациентов составило 12(5.6%) человек, во второй группе – 16(7.5%) человек (Таб. 1).

Таблица 1. Патологические изменения ВЖП у пациентов 1 и 2 групп.

Патологические изменения ВЖП	1-я группа абс.число [%]	2-я группа абс.число [%]	Общее кол-во абс.число [%]
Холедохолитиаз	3 (1.4)	6 (2.8)	9 (4.2)
Стриктура ТОХ	3 (1.4)	6 (2.8)	9 (4.2)
Холедохолитиаз и стриктура ТОХ	4 (1.9)	3 (1.4)	7 (3.3)
Холедохолитиаз и стеноз БДС	2 (0.9)	1 (0.5)	3 (1.4)
<i>Всего:</i>	12 (5.6)	16 (7.5)	28 (13.1)

Во второй группе у 6 пациентов патология ВЖП сопровождалась нарушением желчеоттока с развитием билиарной гипертензии.

Лечение пациентов с наличием патологических изменений во внепеченочных желчных протоках в обеих исследуемых группах проводилось в соответствии с современными представлениями эндоскопической хирургии. В технически сложных случаях минимально-инвазивные

методы лечения не применялись, при этом использовались методы традиционного хирургического лечения "открытым" способом (Таб.2).

Таблица 2. Оперативные вмешательства у пациентов с патологией ВЖП в 1 и 2 группах.

Оперативные вмешательства	1-я группа	2-я группа
РХПГ, ПСТ, ВЛХЭ	3	-
РХПГ, ПСТ, литэкстракция, ВЛХЭ	8	-
РХПГ, ПСТ	-	4
РХПГ, ПСТ, литэкстракция	-	8
РХПГ, ПСТ, стентирование	-	2
Лапаротомия, холецистэктомия, холедохолитотомия, БДА	1	-
Лапаротомия, холедохолитотомия, БДА	-	1
Лапаротомия, холедохолитотомия, дренирование холедоха	-	1
<i>Всего:</i>	12	16

Послеоперационные осложнения имелись у 24(11.3%) человек. Имевшиеся осложнения можно характеризовать как – осложнения связанные с лапароскопической холецистэктомией и осложнения возникшие после рентгенэндоскопического вмешательства (Таб.3).

Таблица 3. Послеоперационные осложнения у пациентов 1 и 2 групп.

Виды осложнений	1-я группа	2-я группа
Конверсия	3	5
Нагноение п/о раны	2	3
Кровотечение из папиллотомной раны	1	3
Острый панкреатит	2	3
Вклинение корзинки Дормия	-	1
<i>Всего:</i>	8	16

Длительность госпитализации у пациентов 1-й и 2-й групп, не имеющих патологии со стороны билиарного тракта, существенно не отличалась и составила 8(±2) к/дней для госпитализированных в плановом порядке и 10(±2) – для пациентов, поступивших в стационар по экс-



тренным показаниям. Длительность госпитализации у пациентов, имеющих патологические изменения желчных протоков, во второй группе в 6-ти случаях (пациенты с явлениями механической желтухи) превысила в два раза по сравнению с первой группой и составила 22(±2) к/дня.

#### Выводы

Таким образом, ни данные анамнеза, ни результаты стандартных клиничко-инструментальных методов исследования пациентов с ЖКБ не позволяют достоверно исключить наличие патологических изменений желчных

протоков. Полученные нами результаты указывают на то, что в 13.1% случаев у пациентов с ЖКБ так же имеется патологический процесс со стороны внепеченочных желчных протоков, который протекает бессимптомно.

Основываясь на результатах нашего исследования, мы пришли к выводу, что МРТ-холангиография, проводимая в предоперационном периоде у пациентов с ЖКБ, позволяет своевременно выявить бессимптомно протекающую патологию во внепеченочных желчных протоках, а так же выбрать правильную тактику хирургического лечения, что позволит уменьшить количество пациентов с проявлениями ПХЭС.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ветшев П.С. Механическая желтуха: причины и диагностические подходы (лекция) // *Анналы хир.гепатологии.*– 2011.– Т.16, №3.– С.50–57.
2. Емельянов С.И., Петров А.М. Роль Магнитно-резонансной томографии при желчнокаменной болезни, ее осложнениях и в диагностическом сопровождении больных после оперативного лечения холелитиаза // *Эндоскопическая хирургия.*– 2011.– №6.– С. 21–23.
3. Ермолов А.С., Дасаев Н.А. и др. Диагностика и лечение холангиолитиаза после холецистэктомии // *Хирургия.*– 2002.– №4.– С. 4–10.им. А.В. Вишневого.–2008–Т.3, №3.– С.77–89.
4. Коханенко Н.Ю., Латария Э.Л., Данилов С.А. и др. Выбор метода хирургического лечения холецистохоледохолитиаза // *Анналы хир. гепатологии.*– 2011.– Т.16, №4.– С. 56–60.
5. Луцевич О.Э., Гордеев С.А., Прохоров Ю.А. Эндовидеохирургические методы в лечении больных желчнокаменной болезнью. // *Хирургия.*–2007– №7.– С.16–20.
6. Нечай А.И. Постхолецистэктомический синдром // *Анналы хир. гепатологии.*– 2006.– Т.11, №1.– С. 28–33.
7. Нишневич Е.В., Столин А.В. и др. О целесообразности интраоперационной холангиографии у больных острым холециститом // *Анналы хир. гепатологии.*– 2009.– Т.14, №4.– С. 22–27.
8. Осипова Н.Ю., Карамазановский Г.Г., Старков Ю.Г. и др. Магнитно-резонансная холангтопанкреатография и интраоперационные методы диагностики холедохолитиаза // *Медицинская визуализация.*– 2005.– №5.– С. 29–33.
9. Becker C.D., Grossholz M., Becker M. et al. Choledocholithiasis and bile duct stenosis: diagnostic accuracy of MR cholangiopancreatography // *Radiology.* 1997. Vol. 205. P.523–530.
10. Maccioni F., Martinelli M., et al. Magneticresonance cholangiography: past, present and future: a review. *Eur Rev Med Pharmacol Sci* 2010. Vol.14. P.721–725.

© Н.О. Навджавонова, К.В. Стегний, С.В. Удалова, А.П. Гулевич, ( medgis25@gmail.com ), Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики».



Тихоокеанский Государственный Медицинский Университет, г. Владивосток

# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ РЕФЛЕКСОТЕРАПИИ И КОМПЬЮТЕРНОЙ РЕФЛЕКСОТЕРАПИИ В ВОССТАНОВИТЕЛЬНОМ ЛЕЧЕНИИ ПАЦИЕНТОВ С ХРОНИЧЕСКИМ АУТОИММУННЫМ ТИРЕОИДИТОМ, ГИПОТИРЕОЗОМ

A COMPARATIVE ANALYSIS  
OF THE USE OF ACUPUNCTURE  
AND COMPUTER REFLEXOTHERAPY  
FOR THE REHABILITATIVE TREATMENT  
OF PATIENTS WITH CHRONIC  
AUTOIMMUNE THYROIDITIS,  
HYPOTHYROIDISM

*A. Samsonova  
A. Levin  
N. Gavrilova*

## Annotation

Chronic autoimmune thyroiditis, hypothyroidism is a common thyroid disease in women of reproductive age. At present, the pathogenetic treatment of this pathology does not exist. Widely used hormone replacement therapy is only symptomatic orientation and in 43% of cases has a number of side effects. Treatment should be carried out continuously and for life, with a gradual increase in the dose of thyroid hormones. All this leads to the need of finding a new how medication and non-drug methods of rehabilitation treatment of chronic autoimmune thyroiditis, hypothyroidism. Comparative assessment of application of the method of reflexotherapy for the rehabilitative treatment of patients with chronic autoimmune thyroiditis, hypothyroidism showed its high efficiency, which is expressed in early stages of relief of clinical manifestations of the disease, in restoring the hormonal status and reduced activity of autoimmune process in the thyroid gland.

**Keywords:** chronic autoimmune thyroiditis, hypothyroidism, reflexotherapy, computer reflexotherapy.

*Самсонова Алсу Марсовна*  
Аспирант каф. клинической медицины  
"Медицинский университет "РЕАВИЗ"  
Минздрава России, Самара  
*Левин Александр Владимирович*  
Д.мед.н., доцент, Медицинский  
университет "РЕАВИЗ"  
Минздрава России, Самара  
*Гаврилова Наталья Алексеевна*  
К.м.н., зам. гл. врача по мед. работе  
ООО "Клиника компьютерной  
рефлексотерапии", Самара

## Аннотация

Хронический аутоиммунный тиреоидит, гипотиреоз является одним из распространенных заболеваний щитовидной железы. В настоящее время патогенетической терапии данной патологии не существует. Широко применяемая заместительная гормональная терапия имеет только симптоматическую направленность, лечение препаратами, как правило, проводится непрерывно с постепенным увеличением дозы тиреоидных гормонов и, в 43% случаев, обладает рядом побочных эффектов. Все это приводит к необходимости поиска новых, как медикаментозных, так и немедикаментозных методов восстановительного лечения хронического аутоиммунного тиреоидита, гипотиреоза. Проведенная сравнительная оценка применения метода компьютерной рефлексотерапии в восстановительном лечении пациентов с хроническим аутоиммунным тиреоидитом, гипотиреозом показала, ее высокую эффективность, что выражается в ранних сроках купирования клинических проявлений заболевания, в восстановлении гормонального статуса и состояния гуморального и клеточного звеньев иммунитета.

## Ключевые слова:

Хронический аутоиммунный тиреоидит, гипотиреоз, рефлексотерапия, компьютерная рефлексотерапия.

## Введение

В настоящее время среди тиреоидной патологии ведущее место занимает хронический аутоиммунный тиреоидит (ХАИТ). За последнее время отмечается неуклонный рост данного заболевания. Во всем мире хроническим аутоиммунным тиреоидитом страдают от 3 до 11% взрослого населения. Чаще болеют женщины в возрасте от 25 до 45 лет, но в последнее время данная па-

тология отмечается и в более молодом возрасте [5,6].

Научные достижения последних лет позволили сделать возможным изучение механизмов развития хронического аутоиммунного тиреоидита более глубоким и детальным. В основе патогенеза ХАИТ лежат первичные нарушения иммунорегуляции, возникающие на фоне имеющейся генетической предрасположенности в сочетании с неспецифическим влиянием факторов внешней

среды на иммунную систему [1]. В результате нарушения иммунорегуляции возникает дефицит Т-лимфоцитов – супрессоров, что способствует появлению и выживанию "запрещенного" клона Т-лимфоцитов-киллеров, разрушающих тиреоциты. В следствие их гибели высвобождаются тиреоглобулин и тиреопероксидаза, которые стимулируют выработку В-лимфоцитами антител. Совместно с Т-лимфоцитами-киллерами, эти антитела усиливают агрессивное воздействие на тиреоциты, усугубляя уже имеющиеся структурные нарушения щитовидной железы. Нарушение структуры щитовидной железы неизбежно приводит к нарушению ее функциональной активности. Кроме того, В-лимфоциты, активизированные Т-лимфоцитами-хелперами, вырабатывают антитела к рецепторам ТТГ, которые блокируют рецепторы тиреоцитов. В результате снижается синтез тиреоидных гормонов, что приводит к дальнейшей дисфункции щитовидной железы [2,3].

Неизбежным исходом хронического аутоиммунного тиреоидита является гипотиреоз. Длительный и выраженный дефицит тиреоидных гормонов приводит к различным функциональным нарушениям в центральной нервной системе, сердечно-сосудистой, пищеварительной, репродуктивной систем и способствует развитию таких заболеваний, как – инфаркт миокарда, атеросклероз аорты, аритмии, нарушению репродуктивной функции, неврозам, дислипидемии, нарушениям функции печени. У женщин, страдающих гипотиреозом, чаще рождаются дети с врожденным гипотиреозом, который часто приводит к задержке развития и дифференцировки всех органов и систем, к развитию умственной отсталости, задержке психофизического развития ребенка [12,14].

В следствии всего вышесказанного, хронический аутоиммунный тиреоидит представляет значимую медико-социальную проблему, требующую радикальных мер ее устранения, поэтому лечение хронического аутоиммунного тиреоидита с целью восстановления структуры и функции щитовидной железы, профилактики гипотиреоза остается актуальной в клинической практике [17].

Несмотря на многочисленные работы и исследования в этом направлении, в настоящее время патогенетической терапии хронического аутоиммунного тиреоидита не существует. Как правило, традиционная терапия не способна устранить причину ХАИТ, она лишь снижает интенсивность симптоматических проявлений. В попытке повлиять на аутоиммунные процессы, особенно на гуморальное звено иммунитета, длительное время рекомендовалось назначение кортикостероидов в достаточно высоких дозах. В настоящее время неэффективность их использования при хроническом аутоиммунном тиреоидите четко доказана. Заместительная гормональная терапия (ЗГТ) является основным методом выбора лечения гипотиреоза [4,13]. Недостатком ЗГТ является отсут-

ствие направленного воздействия на активность и выраженность аутоиммунного процесса, степень деструкции тиреоидной ткани, что приводит к прогрессированию склеротических изменений щитовидной железы. Этим обуславливается необходимость постепенного увеличения дозы тиреоидных гормонов и непрерывного лечения. Даже при достижении компенсации, несмотря на поддержание стойко нормального уровня ТТГ, у 5–10% пациентов с гипотиреозом сохраняются сниженное настроение, повышенные уровни тревожности и депрессии, так же жалобы, характерные для гипотиреоза [15,16,18]. Кроме того, в 43% случаях ЗГТ оказывает побочные эффекты, способствующие развитию инфаркта миокарда, атеросклероза аорты, нарушений сердечного ритма и нарушению репродуктивной функции [7,9], что в свою очередь диктует необходимость поиска новых, как медикаментозных, так и немедикаментозных методов восстановительного лечения хронического аутоиммунного тиреоидита, воздействующих на основные звенья патогенеза данного заболевания, активно и избирательно влияющих на иммунную систему и снижающих частоту и выраженность проявлений побочных эффектов заместительной гормональной терапии.

Одним из таких немедикаментозных перспективных методов восстановительного лечения хронического аутоиммунного тиреоидита, гипотиреоза является метод рефлексотерапии. Рефлексотерапия, обладая иммуномодулирующим эффектом, оказывает целенаправленное воздействия на иммуногенез и иммунокомпетентные органы, тем самым воздействует на основные звенья патогенеза заболевания, позволяет восстановить адаптационные механизмы, в том числе и функцию иммунной системы, что приводит к восстановлению регуляции клеточного и гуморального иммунитета, снижению активности аутоиммунного процесса, что способствует восстановлению структуры и функции щитовидной железы, сохранению функционального потенциала щитовидной железы. Еще в 1994г. И.З. Самосюк и В.П. Лысенюк высказали мнение, что будущее рефлексотерапии заключается в технизации применения средств и методов ее воздействия. Автоматизация общей и акупунктурной диагностики, ее многофакторность и объективность, возможность быстрой проверки результатов лечения и, при необходимости, соответствующей корректировки в сочетании с технической оснащенностью рефлексотерапии поднимут ее на еще более высокую ступень. Всем этим условиям соответствует современная разновидность рефлексотерапии – компьютерная рефлексотерапия (КРТ).

#### Цель исследования

Провести сравнительный анализ применения методов рефлексотерапии в восстановительном лечении пациентов с хроническим аутоиммунным тиреоидитом, гипотиреозом.

## Материал и методы исследования

Основу наших наблюдений составили данные клинического и лабораторно-инструментального обследования 133 пациентов с диагнозом хронический аутоиммунный тиреоидит, гипотиреоз, находившихся в 2014–2015 годах на амбулаторном лечении в дневном стационаре в Клинике компьютерной рефлексотерапии г. Самара. Все обследованные нами пациенты поступали на лечение с уже установленным диагнозом в результате ранее проведенного стационарного обследования. Клинико-инструментальное обследование всех пациентов проводилось как при поступлении их Клинику, так и в динамике, в процессе лечения.

Все обследованные лица были женщины в возрасте от 25 до 45 лет (средний возраст  $32 \pm 8,5$ ), с анамнезом заболевания не менее пяти лет и приемом заместительной гормональной терапии ("Л-тироксин" в суточной дозе 50–75 мкг) не менее 3-х лет.

Все пациентки были разделены на 3 группы. После верификации диагноза распределение больных по группам проводилось слепым случайным методом. Рандомизированное контролируемое клиническое исследование проведено на трех группах пациентов, сопоставимых по полу и возрасту, клиническим симптомам. В первую группу вошли 41 пациентка, получавших классическую рефлексотерапию, проводимую на фоне заместительной гормональной терапии. Акупунктура проводилась по отработанным схемам лечения, предложенным И.З. Самосюком, В.П. Лысенюком [2004], в которых использовались следующие корпоральные точки воздействия: TE22, TE17, TE10, TE9, TE5, ST44, ST36, ST34, ST13, SP6, GB34, GB6, GB2, HT7, BL43, SI15, LU2, аурикулярные точки: 45,55,22,37,34 [10]. Вторую группу составили 40 обследованных лиц, которым проводилась компьютерная рефлексотерапия на фоне заместительной гормональной терапии. Составление индивидуального плана лечения и подбор рецептуры акупунктурных точек на каждом сеансе осуществлялся под контролем электропунктурной диагностики по методу И. Накатани. В третью (контрольную) группу вошли 42 пациентки, получавших только традиционную заместительную гормональную терапию. От больных первой и второй групп было получено согласие на проводимое лечение. Критерием включения в группы исследования являлось наличие у пациентов хронического аутоиммунного тиреоидита, гипотиреоза. Критериями исключения являлось наличие узловых образований в щитовидной железе, патология гипофиза, сопутствующие заболевания сердечно-сосудистой и нервной систем в стадии декомпенсации.

Обследование пациентов проводили в соответствии со стандартными протоколами диагностики и лечения, принятыми в эндокринологии с включением клинико-ин-

струментальных и лабораторных исследований. Для определения гормонального статуса проводилось обследование уровня свободного тироксина (Т4 свободного), тиреотропного гормона (ТТГ); для определения активности аутоиммунного процесса исследовался уровень титра антител к тиреопероксидазе (АТ-ТПО), к тиреоглобулину (АТ-ТГ). Для оценки состояния клеточного звена иммунитета определялись показатели CD4 и CD8. Контроль значений ТТГ, Т4 свободного проводился через 1 мес после первого курса лечения и через 1 мес после окончания второго курса лечения. Контроль уровня титра антител АТ-ТПО, АТ-ТГ и показателей CD4 и CD8 проводился через 1 мес после окончания второго курса лечения.

Для определения индивидуальной тактики и составления индивидуального плана лечения всем пациентам проводилось ежедневное электропунктурное обследование по методу И. Накатани. Это обследование позволяло выявить акупунктурный профиль данного заболевания, определить функциональные резервы организма и степень напряжения регуляторных механизмов. Акупунктурный профиль при ХАИТ, как правило, характеризуется: гипофункцией меридианов селезенки-поджелудочной железы, мочевого пузыря, что свидетельствует о нарушении функции иммунной системы; гиперфункцией меридиана желчного пузыря, что бывает при высоком титре антител; гипофункцией меридиана желчного пузыря, что свидетельствует о снижении функции щитовидной железы [8]. Уровень функциональных резервов определяется по среднему уровню электропроводности репрезентативных точек, степень напряжения регуляторных механизмов выявляется по дисбалансу акупунктурной системы.

Полученные данные электропунктурной диагностики по методу И. Накатани использовались для составления индивидуального плана лечения пациента. При этом используются следующие группы акупунктурных точек: общерегулирующие (TE5, LI4, LI10, LI11, GB34, ST36), точки воротниковой зоны (LI15, GB21, GB20, SI15, BL11, TE15), сегментарные точки (BL12–13, BL19–21), симптоматические отдаленные точки (GB39, BL40, BL60), симптоматические локальные точки (ST12, ST13, SI16, KI27), "управляющие" точки (SP2, SP3, BL64, BL67, GB41, GB43, LI4, LI11) и аурикулярные точки (55,22,45,37). Воздействие на общерегулирующие и симптоматические отдаленные точки проводилось на каждом сеансе лечения. Симптоматические локальные точки включались в рецептуру при усилении выраженности субъективных ощущений пациента. Для снижения степени напряжения регуляторных механизмов и восстановления синхронной работы регуляторных систем применялись точки воротниковой зоны, чем сильнее выражен дисбаланс в акупунктурной системе, тем больше точек этой группы необходимо включать в рецептуру. При низком уровне функциональных резервов количество то-

чек воротничкой зоны в рецептуре должно быть минимально, а количество общерегулирующих точек максимальным. Для восстановления гуморального звена иммунитета и снижения уровня антител в рецептуру добавлялись сегментарные точки. Для уменьшения дисбаланса в акупунктурной системе, после снижения выраженности симптоматики заболевания, выбирались "управляющие" точки [11].

Применяемый нами метод компьютерной рефлексотерапии представляет собой воздействие на акупунктурные точки (АТ) сверхслабым постоянным электрическим током отрицательной полярности. Время воздействия на каждую точку выбирается с учетом функционального состояния акупунктурной точки. Для этого используется специализированная компьютерная программа, а воздействие на АТ осуществляется с помощью компьютерного прибора "СТЭП" ("Стимулятор электропунктурный компьютерный"), разрешенного к производству и применению в медицинской практике (регистрационное удостоверение № ФСР 2012/13117 от 29.06.2012).

Лечение КРТ проводилось курсами по 15 сеансов, второй курс лечения проводился через 1 мес.

Статистическая обработка результатов исследования проводилась на персональном компьютере в среде Windows вариационно-статистическим методом с использованием программы STATISTIKA 6.0. По критерию Стьюдента оценивали значимость отличий средних арифметических в сравниваемых группах при постоянно заданном уровне значимости ( $p=0,05$ ).

### Результаты и обсуждение

Оценку результатов восстановительного лечения пациентов с хроническим аутоиммунным тиреоидитом, гипотиреозом проводили по купированию субъективных ощущений у пациентов, а так же по изменению показателей гормонального статуса, степени активности аутоиммунного процесса, показателей клеточного звена иммунитета.

Купирование клинических проявлений заболевания, как правило, наступало в группах пациентов в лечении которых применялись рефлексотерапия и компьютерная рефлексотерапия. В третьей (контрольной) группе существенных изменений в купировании субъективных ощущениях не наблюдалось (табл. 1).

Таблица 1.

Купирование клинических проявлений заболевания пациентов с ХАИТ, гипотиреозом после I курса лечения.

Субъективные ощущения	I группа		II группа		III группа (контрольная)	
	Абс.	%	Абс.	%	Абс.	%
Ощущение "кома" в горле	21	51,2	31	77,5	4	9,5
Общая слабость, утомляемость	27	65,8	34	85	3	7,1
Раздражительность, плаксивость	32	78,1	37	92,5	5	11,9

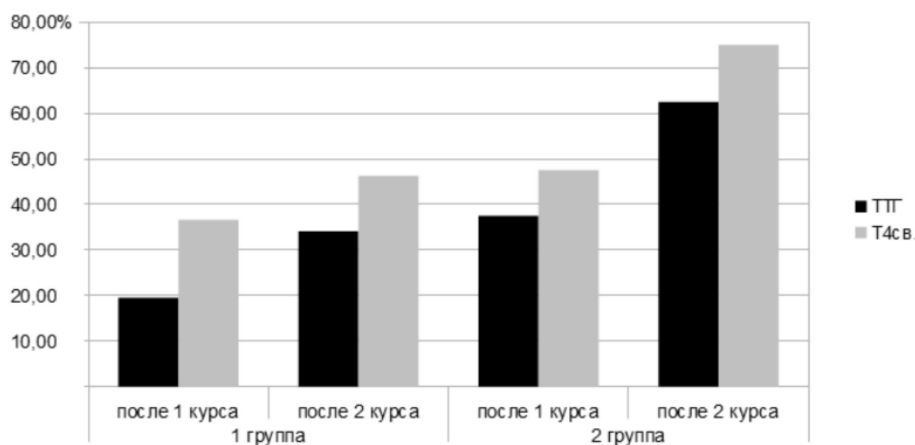


Рисунок 1. Восстановление гормонального статуса у пациентов с ХАИТ, гипотиреозом в зависимости от метода лечения.

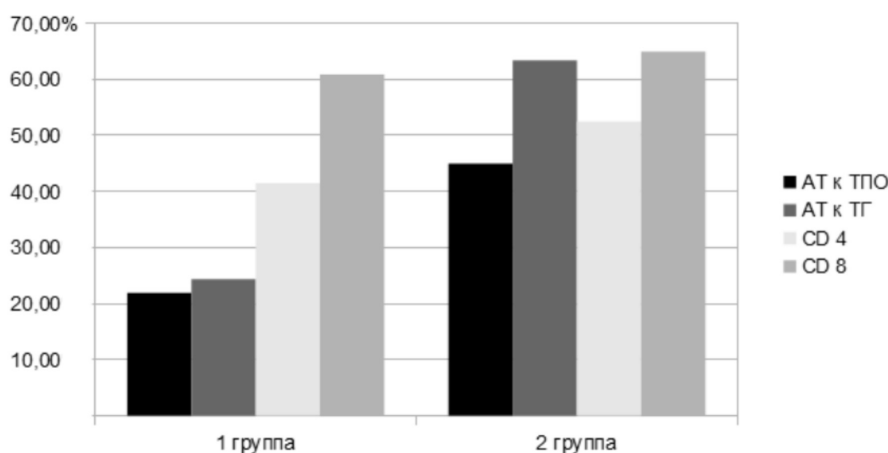


Рисунок 2. Динамика восстановления гуморального и клеточного звеньев иммунитета у пациентов с ХАИТ, гипотиреозом в зависимости от метода лечения.

В процессе лечения отмечается тенденция к снижению ТТГ к нижней границе нормы и повышению Т4 свободного к верхней границе нормы. Снижение уровня ТТГ к нижней границе нормы отмечалось в I группе в 19,5% случаев после первого курса и в 36,6% случаев после второго курса. Во II группе после первого курса лечения снижение уровня ТТГ к нижней границе нормы отмечалось в 37,5% случаев, после второго курса в 62,5% случаев. Повышение значений Т4 свободного к верхней границе нормы в I группе отмечено в 36,6% случаев после первого курса и в 46,3% после второго курса. После первого курса во II группе повышение значений Т4 свободного верхней границе нормы зафиксировано в 47,5%, после второго курса в 75%. Полученные данные позволили нам рекомендовать снизить дозировку применяемой заместительной гормональной терапии (рис.1). В III (контрольной) группе изменений в гормональном статусе не наблюдалось.

Нормализация уровня титра антител к ТПО, после I курса лечения в I группе выявлено у 21,9% больных, во II группе – у 45% больных. Уровень титра антител к тиреоглобулину нормализовался в I группе у 24,4% пациентов, во II группе у 63,4% пациентов. У остальных пациентов отмечается тенденция к снижению титра антител. В III (контрольной) группе значимых изменений уровня антител не выявилось. Нормализация показателей значений CD4 после II курса лечения в I группе выявлено у 41,5% больных, во II группе – у 52,5% пациентов. Показатели значений CD8 нормализовались в I группе у 60,9% пациентов, во II группе у 65% больных. У остальных пациентов отмечается тенденция к снижению показателей CD4 к верхней границе нормы и повышению показателей CD8 к

нижней границе нормы (рис.2). В III (контрольной) группе значимых изменений показателей не выявилось.

#### Заключение

В результате проведенных исследований нами было доказано, что сочетанное применение компьютерной рефлексотерапии и заместительной гормональной терапии в восстановительном лечении пациентов с хроническим аутоиммунным тиреоидитом, гипотиреозом оказывает более выраженный эффект по сравнению с классической рефлексотерапией, проводимой на фоне заместительной гормональной терапии. При сопоставлении динамики таких показателей, как купирование субъективных ощущений, изменения гормонального статуса уровня титра антител, показателей иммунного статуса следует, что применение метода компьютерной рефлексотерапии на фоне заместительной гормональной терапии характеризуется определенными преимуществами по сравнению с рефлексотерапией в сочетании с заместительной гормональной терапией, что позволяет рекомендовать ее к использованию в восстановительном лечении пациентов с хроническим аутоиммунным тиреоидитом, гипотиреозом. В результате практического применения такого подхода к восстановительному лечению ХАИТ, гипотиреоза, методом компьютерной рефлексотерапии, становится возможным снижение активности аутоиммунного процесса и восстановление состояния клеточного звена иммунитета. Вследствие чего происходит стабильное восстановление функции щитовидной железы. В случае приема пациентом гормональных препаратов, такой подход позволяет рекомендовать снижение дозировки заместительной гормональной терапии.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Балаболкин М.И., Клебанова Е.М., Креминская В.М. Фундаментальная и клиническая тиреодология (руководство). М. Медицина, 2007 – 815 с.
2. Браверманн Л.И., Болезни щитовидной железы. Пер. с англ. / М.: Медицина, 2000.–417с.
3. Велданова М.В. Уроки тиреоидологии. М.ООО Издательство "Интелтек", 2005. – 542 с.
4. Дедов И.И. Клинические рекомендации Российской ассоциации эндокринологов по диагностике и лечению аутоиммунного тиреоидита у взрослых / И.И. Дедов, Г.А. Мельниченко, Г.А. Герасимов и др. // Проблемы эндокринологии. 2003.–Т.49, №6. –С. 50.
5. Дедов И.И., Мельниченко Г.А., Фадеев В.В. Эндокринология. ГЭОТАР–Медиа, 2008. –427 с.
6. Зефирова Г.С. Заболевания щитовидной железы. М. Медицина, 1999. –215с.
7. Куликова В.В., Дисфункции щитовидной железы у пожилых М. Медицина, 2007. – 108 с.
8. Методические рекомендации МЗ РФ №2002/34 от 12.12.2002 "Электропунктурная диагностика по методу И. Накатани", М.Москва, 2003. – 27 с.
9. Петунина Н.А., Трухина Л.В. Болезни щитовидной железы. Издательство: ГЭОТАР–Медиа, 2011. – 215 с.
10. Самосюк И.З., Лысенюк В.П. Акупунктура. Энциклопедия. "АСТ–ПРЕСС", 2004. – С.509.
11. Тарасова Н.В., Гаврилова Н.А., Левин А.В., Резаев К.А. Микроотоковая рефлексотерапия в восстановительной коррекции хронического аутоиммунного тиреоидита, Самара, 2011. – 47 с.
12. Трошина Е.А., Александрова Г.Ф., Абдулхабирова Ф.М., Мазурина Н.В. Синдром гипотиреоза в практике интерниста: Методическое руководство для врачей. М. Медицина, 2002. – 42с.
13. Фадеев В.В., Мельниченко Г.А. Гипотиреоз (руководство для врачей). – М.: "РКИ Северо пресс", 2002. – С.147 – 171.
14. Фадеев В.В., Лесникова С.В. Аутоиммунные заболевания щитовидной железы и беременность. Проблемы эндокринологии, 2003.–№2. – С. 23–31.
15. Canaris GJ, Manowitz NR, Mayor G The colorado thyroid disease prevalence study. Arch Intern Med. 2000; 160(4): 526. doi: 10.1001/archinte.160.4.526.
16. Diez JJ. Hypothyroidism in patients older than 55 years: An analysis of the etiology and assessment of the effectiveness of therapy. J Gerontol A Biol Sci Med Sci. 2002; 57(5): M315–M320. doi: 10.1093/gerona/57.5.M315.
17. Gartner R. Hashimoto thyreoiditis // MMW Fortschr Med. 2009.Vol. 5, N 6. P. 45.
18. Samuels MH, Schuff KG, Carlson NE, et al. Health status, psychological symptoms, mood, and cognition in l–thyroxine–treated hypothyroid subjects. Thyroid. 2007; 17(3): 249–258. doi: 10.1089/thy.2006.0252

© А.М. Самсонова, А.В. Левин, Н.А. Гаврилова, ( samsonowa.alsu@yandex.ru ), Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики».



## СОЗДАНИЕ МЕСТА В БОКОВОМ ОТДЕЛЕ ВЕРХНЕГО ЗУБНОГО РЯДА С ПОМОЩЬЮ НОВОГО ОРТОДОНТИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА ПРИ ЛЕЧЕНИИ ПАЦИЕНТОВ С ДИСТАЛЬНОЙ ОККЛЮЗИЕЙ

MAKING SPACE IN THE POSTERIOR UPPER TEETH WITH NEW ORTHODONTIC DEVICE IN THE TREATMENT OF PATIENTS WITH DISTAL OCCLUSION

G. Stepanov  
A. Dikova  
L. Ulyanova

**Annotation**

In patients with distal occlusion of conducting a long-term comprehensive orthodontic treatment. When selecting orthodontic devices preference is given to aesthetic and comfortable to use orthodontic devices. Creating a place in the dentition of the upper jaw, the orthodontist obtains the conditions for successful correction of one of the most common dental pathology of distal occlusion. Tooth movement in the sagittal plane may be used with different orthodontic appliances. The proposed new orthodontic device in the treatment of patients with distal occlusion allows to reduce the time of orthodontic treatment and achieve positive sustainable results.

**Keywords:** distal occlusion, orthodontic device of malocclusion, orthodontic treatment, closing of dentition, lack of space, expanding screw.

**Степанов Григорий Викторович**

Д. мед.н., доцент, профессор  
каф. стоматологии детского возраста ГБОУ ВО  
"Самарский государственный мед. университет"  
Министерства здравоохранения РФ

**Дикова Анна Асхатовна**

Аспирант каф. стоматологии детского возраста  
ГБОУ ВО "Самарский государственный мед.  
университет" Министерства здравоохранения  
Российской Федерации

**Ульянова Людмила Григорьевна**

Ординатор каф. стоматологии детского возраста  
ГБОУ ВО "Самарский государственный мед.  
университет" Министерства здравоохранения РФ

**Аннотация**

У пациентов с дистальной окклюзией проводят длительное комплексное ортодонтическое лечение. При выборе ортодонтических устройств предпочтение отдают эстетичным и комфортным в эксплуатации ортодонтическим аппаратам. Создавая место в зубном ряду верхней челюсти, врач-ортодонт получает условия для успешной коррекции одной из самых распространенной зубочелюстной патологии – дистальной окклюзии. Перемещение зубов в сагиттальной плоскости возможно различными ортодонтическими приспособлениями. Предлагаемое авторами новое ортодонтическое устройство при лечении пациентов с дистальной окклюзией позволяет сократить сроки ортодонтического лечения и добиться положительных устойчивых результатов.

**Ключевые слова:**

Дистальная окклюзия, ортодонтическое устройство, аномалии окклюзии, ортодонтическое лечение, смыкание зубных рядов, недостаток места, расширяющий винт.

Лечение пациентов с дистальной окклюзией нередко осложняется недостатком места в зубном ряду верхней челюсти [1, 2, 5]. Причиной дефицита места может быть сужение зубной дуги различной степени выраженности [5, 8]. При планировании ортодонтического лечения после постановки диагноза врач-ортодонт принимает решение удалять или не удалять отдельные постоянные зубы [2, 8]. Существует много подходов к выбору метода лечения [3, 6]. Пациенты конечно же отдают предпочтение вариантам, которые предусматривают получение положительного результата без удаления постоянных зубов [8]. Известны ортодонтические устройства, которые помогают создать место в зубном ряду при ле-

чении различных аномалий окклюзии, в том числе и дистальной [4, 7].

Все перечисленное явилось поводом для решения вопроса поиска комфортного недорогого ортодонтического устройства для лечения пациентов с дистальной окклюзией.

Непосредственной причиной данной патологии, как правило, является дефицит места в зубной дуге во время прорезывания клыков. Недостаток места возникает под воздействием многочисленных факторов, основными из которых являются укорочение зубной дуги, формирую-



щееся в результате раннего удаления молочных моляров и отсутствия последующего протезирования, сагиттальная или трансверзальная деформация зубной дуги.

При нарушении смыкания верхнего и нижнего зубных рядов происходит неправильное распределение жевательной нагрузки. Это является одним из существенных факторов атрофии костной ткани и рецессии десны (опускания десны). Зубы теряют поддержку и становятся подвижными.

Дистальная окклюзия приводит к нарушению эстетики лица: верхняя губа выступает вперед, выражена надподбородочная складка, подбородок часто "скошен".

Проблема лечения дистальной окклюзии до настоящего времени остается актуальной из-за достаточно высокой распространенности этой патологии. Кроме того, симптоматическое лечение, наиболее оптимальное и эффективное в постоянном прикусе, как правило, сопровождается уменьшением количества зубов. При этом довольно часто удаляется первый или второй интактный премоляры. К тому же симптоматическое лечение не является идеальным.

Оптимальным считается патогенетическое лечение. Разработка различных методов и средств данного лечения, направленных на нормализацию положения боковых зубов ведется постоянно. В настоящее время предложено достаточно много различных ортодонтических конструкций (съёмных и несъёмных), решающих задачи дистального перемещения боковых зубов верхней челюсти. Стоит отметить, что применение ортодонтических аппаратов является достаточно длительным процессом, обусловленным серьезностью вмешательства в зубочелюстную систему и организм в целом. При применении наиболее распространённых съёмных пластиночных аппаратов происходит наклонно-вращательное перемещение зубов, что является причиной морфологических и функциональных нарушений в боковых отделах зубных рядов, поэтому эффективность этой группы аппаратов недостаточно высока.

Неудобство, связанное с ношением ортодонтических аппаратов нередко приводит к отказу пациента от лечения. Возникает потребность в применении дополнительных методов лечения для повышения эффективности и сокращения сроков ортодонтического лечения.

При лечении пациентов с дистальной окклюзией требуется создать условия для дистального перемещения боковых зубов верхней челюсти и орального перемещения зубов фронтальной группы. Имеется ряд аппаратов, предназначенных для решения данного вопроса. Так, например, с помощью лицевой дуги с шейной (головной) тягой можно перемещать дистально вторые моляры верх-



Рисунок 1. Лицевая дуга с шейной (головной) тягой.

ней челюсти с обеих сторон, но данная конструкция является очень громоздкой, не эстетичной и создает неудобства для пациента.

Для расширения верхнего зубного ряда в трансверзальном направлении и для перемещения моляров назад применяется аппарат Pendulum.

Данный аппарат фиксируется на молярах и премолярах с помощью бандажных колец с трубками, лингвальных замков и небного базиса. Внутриротовые аппараты требуют усиления опоры для дистализации моляров, что делает их конструкцию достаточно громоздкой и нарушает речевую функцию пациента.

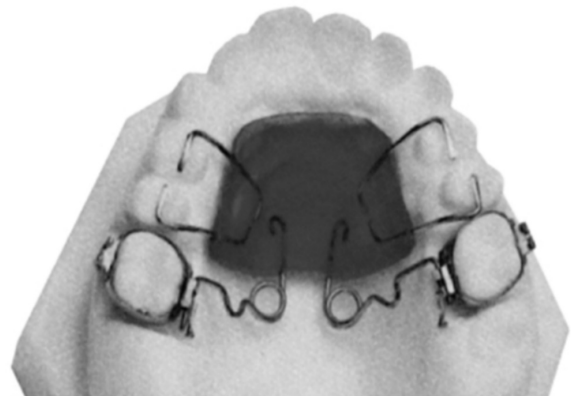


Рисунок 2. Аппарат Pendulum.

Иногда для достижения положительного эффекта в аппараты дополнительно вводятся усиливающие винты, как это сделано в аппарате Pendulum plus. Данный аппарат используется для расширения зубного ряда верхней челюсти в трансверзальном направлении и дистализации моляров. Pendulum plus отличается от Pendulum наличием винта "Хайрекс". Винт "Хайрекс" расположен в центре небного базиса и является активируемой частью аппарата.

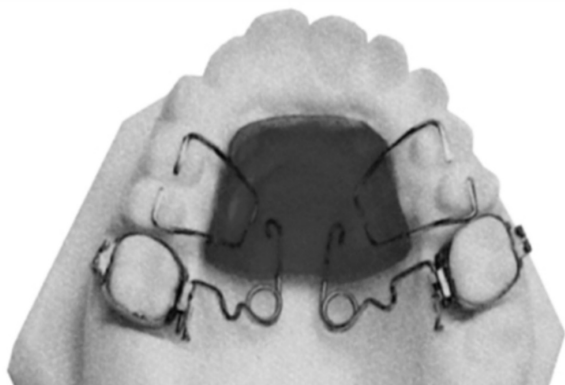


Рисунок 3. Аппарат Pendulum plus.

Известен также небный аппарат Distal Jet основное предназначение которого состоит в дистализации боковой группы зубов верхней челюсти. Основными элементами аппарата являются: лингвальные трубки, небный бюгель, байонеты и направляющие трубки, приспособление Nance (кнопка Nance).



Рисунок 4. Аппарат Distal Jet.

Нередко вместе с небными элементами в аппарате для дистализации моляров применяют дистализирующие винты, расположенные вестибулярно, как в аппарате First class.



Рисунок 5. Аппарат First class.

Существуют также специальные винты типа Frog, с помощью которых перемещают моляры дистально.

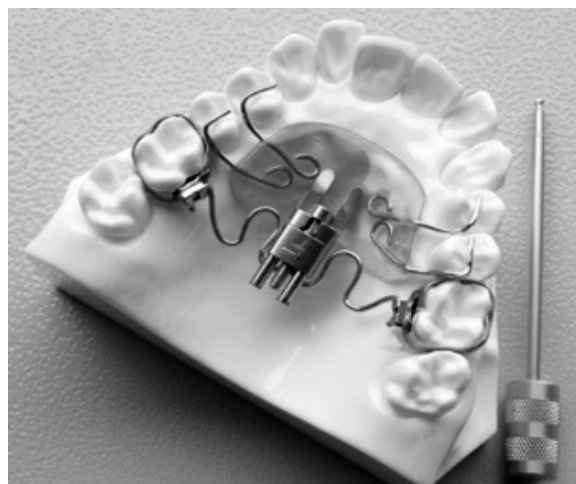


Рисунок 6. Аппарат Frog.

Все эти уже существующие аппараты имеют как преимущества, так и ряд недостатков, заключающихся в основном в громоздкости, долгом времени лечения и неэстетичностью, которые послужили поводом для создания нового аппарата.

Предлагаемое устройство для перемещения постоянного моляра состоит из ортодонтических коронок, которые изготавливаются индивидуально методом штамповки (лабораторный этап) и расширяющего винта.



Рисунок 7. Устройство для перемещения постоянного моляра верхней челюсти.

Ортодонтические коронки устанавливаются на первый и второй премоляры, первый и второй моляры верхней челюсти. Ортодонтические коронки на первом и втором премолярах и первом моляре спаиваются между собой для усиления опоры.

Расширяющий винт для дистального перемещения устанавливается на первый и второй моляр с вестибулярной стороны.

Пайка винта к штампованным коронкам осуществляется серебрянно-палладиевым припоем (лабораторный

этап). Направляющий стержень винта отсекается с целью исключения травматизации слизистой оболочки при движении нижней челюсти. Далее в лаборатории выполняют отбеливание, шлифовку и полировку конструкции.

Максимальная возможность расширяющего винта составляет 9 мм.

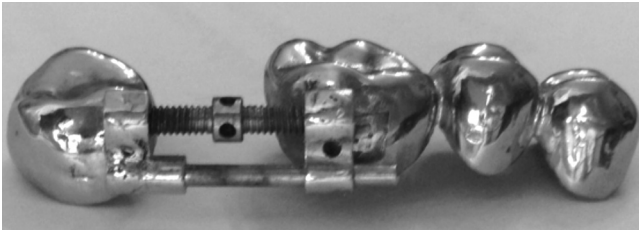


Рисунок 8. Вид ортодонтического устройства при максимальном расширении винта.

Механизм перемещения заключается в следующем. Активный элемент – винт вызывает силу, направленную на перемещение моляра верхней челюсти дистально. Винт активируется путем воздействия на замок винта с помощью ключа. Ключ помещается в отверстие замка винта и осуществляется поворот винта в направлении сверху–вниз, до появления чувства давления. Поворот винта на один оборот обеспечивает увеличение промежутка между зубами на 0,1 мм, которое необходимо для дистализации моляра.

Через 1 месяц использования аппарата расстояние между зубами составляет 2,5–4,5 мм. Преимущества предлагаемого аппарата заключаются в том, что перемещение моляра происходит за счет воздействия дозированной

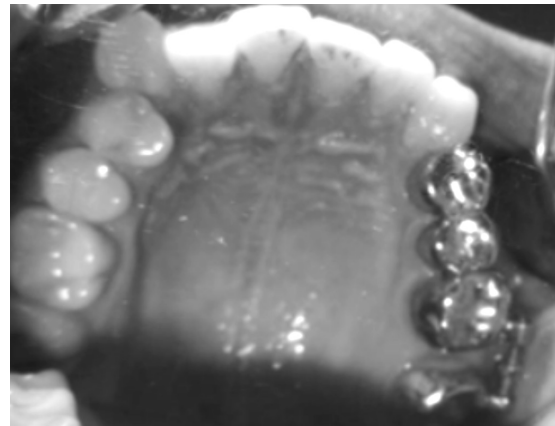


Рисунок 9. Вид ортодонтического устройства в полости рта.

ванной нагрузки на зуб. Конструкционные решения позволяют обеспечить максимальный комфорт при использовании ортодонтического устройства, за счет отсутствия небного базиса. Обеспечивается прочная фиксация за счет использования индивидуально изготовленных штампованных коронок. Достигается корпусное перемещение зубов. При использовании данного аппарата сохраняется эстетический вид и речь пациентов.

#### Заключение

Новое устройство для дистализации моляра на верхней челюсти, разработанное на кафедре стоматологии детского возраста СамГМУ повышает эффективность лечения пациентов с дистальной окклюзией, позволяет сократить сроки ортодонтического лечения, обеспечивает стабильность результатов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Арсенина, О.И. Комплексная диагностика и лечение дистальной окклюзии зубных рядов несъемной ортодонтической техникой. / О.И. Арсенина – М., 2009. – 219 с.
2. Основы ортодонтии / Лаура Митчел; пер. с англ. Под ред. Ю. М. Малыгина. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010. – с. 242.
3. Пылева Н. Б. Анализ эффективности перемещения зубов различными методами: дис. канд. мед. наук : 14.01.14 / Н. В. Пылева; ГОУ "Ин-т повышения квалификации федерального мед-биологического центра". – М., 2010. – с. 44–46.
4. Степанов Г.В. Модификация нового аппарата для дистализации моляров / Г.В.Степанов, А.С.Шарипов // Модернизация здравоохранения и современные вопросы практической медицины. Материалы 42-й научно-практической конференции врачей (17–18 мая 2007 г.) г. Ульяновск 2007г.– С.191–193.
5. Степанов Г.В. Причины недостатка места для отдельных зубов при зубочелюстно-лицевых аномалиях // Всероссийский стоматологический форум 15–17 окт. 2001 года, посвященный 25-летию стоматологического факультета Башкирского государственного медицинского университета.Уфа, 2001.–С.145–147.
6. Степанов Г.В., Хритина О.Е. Нетрадиционное комплексное лечение дистоокклюзии с целью профилактики ретенции клыка. "Ортодент-Инфо". –1999, №4. –С.39–40.
7. Суетенков Д. Е. Современные средства стабилизации опоры в ортодонтии. Стоматолог. № 10, 2008. С. 27–29.
8. Хорошилкина Ф. Я. Ортодонтия. Дефекты зубов, зубных рядов, аномалии прикуса, морфофункциональные нарушения в челюстно-лицевой области и их комплексное лечение. – М.: ООО "Медицинское информационное агентство", 2010. – с. 257–273.

## КЛИНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ БИОМЕХАНИКИ ВКЛЮЧЕННЫХ В БЛОК ИМПЛАНТАТОВ

### CLINICAL ASPECTS OF BIOMECHANICS FOR IMPLANTS JOINED IN UNIT

*A. Utyuzh  
A. Yumashev  
R. Lushkov  
V. Zagorskij  
I. Nefedova*

#### Annotation

There are the fundamental principles of biomechanics, which are valid for a system that combines basic and abutment of the prosthetic design, as well as bone and soft tissues that interact with them lying at the heart of the individual design of prosthesis device using implant. The aim of this paper is to discuss in details the method of solving this problem with the use of complex clinical examination, articulator and mathematical modeling to create the optimum configuration of the prosthesis. Since the success of dental implantation phase of prosthetic rehabilitation is a factor determining the effectiveness of treatment, emphasis in this paper is made on achieving implant stability. The work is illustrated with clinical examples for treatment of the patient with full secondary edentulous.

**Keywords:** edentulous; prosthetics with edentulous; implant; implant; bone voltage; resorption; math modeling; orthopedic bed; osseointegration.

**Утюж Анатолий Сергеевич**

*К.мед.н., доцент, зав. каф.*

*ортопедической стоматологии ГБОУ ВПО*

*Первого МГМУ им. И.М. Сеченова*

**Юмашев Алексей Валерьевич**

*К.мед.н., профессор, зав. учебной частью*

*каф. ортопедической стоматологии ГБОУ ВПО*

*Первого МГМУ им. И.М. Сеченова*

**Лушков Ричард Михайлович**

*Врач-интерн каф. ортопедической*

*стоматологии ГБОУ ВПО*

*Первого МГМУ им. И.М. Сеченова*

**Загорский Владислав Валерьевич**

*Ассистент каф. ортопедической*

*стоматологии ГБОУ ВПО Первого*

*МГМУ им. И.М. Сеченова*

**Нефедова Ирина Валерьевна**

*Врач-интерн каф. ортопедической*

*стоматологии ГБОУ ВПО Первого*

*МГМУ им. И.М. Сеченова*

#### Аннотация

В основе индивидуального моделирования конструкции протеза с опорой на имплантаты лежат фундаментальные принципы биомеханики, которые являются справедливыми для системы, объединяющей базисную и супраструктурную части протезной конструкции, а также костные и мягкие ткани, взаимодействующие с ними. Целью настоящей статьи явилось подробное рассмотрение методики решения данной клинической задачи с применением комплексного клинического обследования, артикулятора и математического моделирования для создания оптимальной конфигурации протеза. Поскольку успешность имплантационной фазы протезирования является фактором, определяющим результативность всего лечения, особое внимание в данной работе уделяется достижению имплантационной стабильности. Работа иллюстрирована клиническим примером лечения пациента при полной вторичной адентии.

#### Ключевые слова:

Полная адентия; протезирование при адентии; имплантат; опора на имплантаты; напряжение кости; резорбция; математическое моделирование; протезное ложе; остеointegrация.

**О**сновные факторы, которые влияют на успешность и долговечность использования стоматологических имплантатов и супраструктур при протезировании конструкциями с опорой на имплантаты, это распределение напряжений и выраженность вызываемых ими деформаций подлежащей кости, возникающие под действием жевательных и окклюзионных нагрузок. Комплексная оценка клинического состояния при обследовании пациентов включает определение количества и

конструкции имплантатов, направление и топографию их установки с целью оптимального распределения нагрузок на подлежащие костные структуры. Кроме того, анализу подвергается состояние костных структур и мягких тканей, образующих протезное ложе, учитываются возможные общие и местные реакции организма в ответ на планируемое лечение.

Теоретический и концептуальный базис протезирова-

ния с опорой на имплантаты основывается преимущественно на сведениях об анатомических и функциональных аспектах естественной окклюзии. И все же, разработка индивидуального плана лечения во многом носит эмпирический и даже интуитивный характер, что в ряде случаев может быть связано с наличием неудачного практического опыта, повторными пробами и ошибками. Зачастую их наличие связано с недостатком понимания биофизических принципов, лежащих в основе взаимодействия протезной конструкции и костно-мышечной системы полости рта. Однако лишь при условии наличия у специалиста сформированного представления о данных взаимоотношениях можно говорить об успешном исходе ортопедического лечения.

При моделировании протезной конструкции на имплантатах важнейшее значение приобретает знание механизмов передачи напряжений от ее супраструктуры на челюстную кость. Такие сведения можно получить путем применения такого варианта математического моделирования как метод конечных элементов. В его основе лежат данные физических свойств костных структур челюстей черепа человека, а также имплантационных материалов, твердых тканей зуба и пародонта, которые путем специальных расчетов позволяют сравнить картину распределения нагрузок при различных конфигурациях протеза в сходных клинических условиях, сравнивая их преимущества и недостатки.

Согласно G. Weintraub (1987), нормальная горизонтальная физиологическая подвижность зубов находится в пределах 0,11–0,15 мм при действии силы в 300–500 г, тогда как вертикальное смещение зуба в тканях пародонта при нагрузке в 1–2 кг составляет 0,3–0,5 мм.

H. Aoki (1988) и несколько позже E. Matsuo et al (1989) оспаривают состоятельность этих данных. Усовершенствовав процесс исследования и применив электронное оборудование для измерений, в своих экспериментах они получили гораздо большие значения амплитуды движений зуба. При чем ними было отмечено, что эти движения существенно гасятся благодаря амортизационным свойствам периодонтальных тканей, сосудисто-нервного пучка и самой альвеолярной кости. Рост амплитуды движений зуба был объяснен смещением соотношения внеальвеолярной и альвеолярной его частей [8, 9].

Преимущество перекрывающих протезных конструкций в условиях отсутствия большого количества зубов заключается в возможности за их счет равномерно распределять нагрузку между оставшимися зубами, имплантатами и слизистой оболочкой протезного ложа. В этих случаях дистальные участки базиса перекрывающего протеза могут погружаться в слизистую оболочку протезного ложа до 200 мкм. Учитывая, что любое жесткое со-

единение базиса съемного протеза с имплантатом будет являться рычагом первого рода по отношению к имплантату и кости, следует отдавать предпочтение лабиальному или полулабиальному варианту соединения базиса с имплантатом, придерживаясь распределения удерживающей протез нагрузки в направлении вертикальной оси имплантатов.

Мы считаем, что оптимальное направление нагрузки для опорных имплантатов располагается по вертикальной оси в зоне его окклюзионной поверхности. В случае, когда фиксация протеза осуществляется за пределами окклюзионной поверхности имплантата, точка крепления должна находиться как можно ближе к десне.

Сопоставление картин напряжений и деформаций одиночных и объединенных в блок имплантатов показал, что реакция костной ткани в первом и втором случае существенно отличается. По нашему мнению, взаимоотношения титанового имплантата и окружающей его кости характеризуются наличием тончайшей амортизирующей прослойки новообразованной костной ткани, которая позволяет имплантату совершать микроэкскурсии.

#### Биомеханика протезной конструкции с фиксацией на одиночный имплантат

Для одиночного имплантата соединение в 17 Н/мм<sup>2</sup> соответствует нагрузке до 100 Н, тогда как при установке нескольких имплантатов, жестко соединенных протезной конструкцией, возможность сопротивляться жевательной нагрузке резко возрастает. Принципиальным в этой связи является распределение нагрузки от зубного протеза на имплантаты по его вертикальной оси, а также соблюдение окклюзионного баланса. Поэтому следует исключать множественные блокирующие контакты на защитных бугорках протеза: щечные бугорки зубов на верхней челюсти, язычные бугорки на нижней челюсти. Сохраняются контакты на опорных бугорках протеза, коими являются небные бугорки зубов верхней челюсти и щечные бугорки зубов нижней челюсти. Формирование сбалансированной окклюзии, достигаемое посредством движений нижней челюсти, а также множественными контактами между искусственными зубными рядами обеспечивает корректность при создании протетической плоскости в межчелюстном пространстве, особенно при отсутствии большого количества зубов и при потере последней пары зубов-антагонистов [1, 2].

Клинические наблюдения свидетельствуют, что фиксация перекрывающего протеза на один имплантат является нецелесообразной, так как дистальная часть базиса протеза в этом случае при нагрузке является рычагом, который вывихивает имплантат. Установка одного имплантата может выполняться в качестве временного решения с целью стабилизации имеющегося съемного

протеза, или в роли опорного элемента для ортодонтического аппарата, или же с диагностической целью для оценки реакции костной ткани.

Протезная конструкция с опорой на два и более имплантата, имеет более гармоничную картину распределения напряжений и деформаций, определяемую точкой приложения нагрузки от зубного протеза на балку, объединяющую имплантаты [3].

#### Биомеханика двух имплантатов, объединенных в блок

Вертикальная нагрузка, приложенная в середине балки, объединяющей два имплантата, вызывает напряжение с распределением, сходным с таковым в случае одиночных имплантатов. Концентрация основного массива напряжений локализуется в месте приложения на балке, затем равномерно распределяясь по двум имплантатам, преимущественно в их верхних двух третях. Хотя такая картина распределения напряжений сходна с картиной, свойственной одиночным имплантатам при действии нагрузки по вертикальной оси, устойчивость двух имплантатов, объединенных балкой, по отношению к жевательным нагрузкам, поступающим от съемного протеза, будет значительно выше. Практический опыт показывает, что описанное размещение опорных и удерживающих элементов на балке между имплантатами является оптимальным для функционирования съемного протеза с опорой на имплантаты.

Вертикальная нагрузка на один из двух имплантатов приводит к возникновению в точке ее приложения интенсивных, до 80%, сжимающих напряжений, распределяющихся вполне сбалансированно по телу опорного имплантата, с максимальной концентрацией также в его верхних двух третях. Противоположный имплантат в области соединения его шейки с балкой испытывает растягивающие напряжения интенсивностью до 70–80%, которые равномерно компенсируются в верхних двух третях конструкции по убывающей до его верхушки [4]. Сходная ситуация возникает при погружении дистальных участков базиса съемного протеза в слизистую оболочку протезного ложа, тогда непродолжительное силовое воздействие будет компенсироваться параимплантатной костью. При постоянных или повторяющихся нагрузках возможно возникновение деструктивных изменений в окружающей имплантат костной ткани [7].

Для достижения поперечной стабилизации нужно принимать во внимание взаимодействие базиса съемного протеза со слизистой оболочкой протезного ложа, поскольку концевой отдел базиса протеза всегда погружается на неподвижный имплантат в костной ткани. Жесткое крепление базиса к имплантату в таком случае будет провоцировать действие раскачивающей, дестабилизирующей нагрузки на имплантат. Применение парасагит-

альной стабилизации при этом способствует существенному перераспределению напряжений от съемного протеза на опорные имплантаты.

#### Биомеханика четырех имплантатов, объединенных в блок

Объединение балочной конструкцией отдельно установленных имплантатов при съемном протезировании можно значительно повышает их устойчивость к нагрузкам. Плоскостное шинирование – выполнение стабилизации по определенной плоскости называется плоскостным, оно бывает треугольным или круговым (по дуге) [5].

Картина распределения напряжений при установке четырех имплантатов с усилием 17Н/мм<sup>2</sup> и нагрузке в 100Н показывает, что полученная конфигурация зубных протезов с опорой на четыре (и более) имплантата оказывается наиболее устойчивой. Так, при усилии 100Н, приложенному к центру балки, напряжения равномерно распределяются от места приложения нагрузки с убыванием значений по остальным имплантатам. Максимум напряжений локализуется преимущественно в верхних двух третях имплантатов по их вертикальной оси. Все напряжения компенсируются за счет количества имплантатов и объединяющей их супраструктуры.

Нагрузка на один из дистальных имплантатов вызывает концентрацию напряжений в противоположных имплантатах в области их шеек и в местах соединений с балкой. Картина распределения напряжений при кратковременной нагрузке на один из краевых имплантатов с усилием до 100Н существенно не отличается от описанной выше, поскольку напряжения от опорного имплантата посредством балки значительно компенсируются тремя другими имплантатами. В области шеек остальных имплантатов определяются растягивающие напряжения до 80%, которые носят компенсированный характер. Частых повторных нагрузок на один из дистальных имплантатов рекомендуется избегать во избежание развития костной резорбции.

Кратковременная нагрузка за пределами установленных имплантатов до 4 мм вызывает незначительный эффект погружения опорного имплантата с распределением напряжений через балку на другие, принимая при этом вполне скомпенсированный характер. Напряжения определяются в верхних двух третях имплантатов и в области соединения балки с имплантатом. Перманентная нагрузка на балочную консоль может явиться следствием перегрузки параимплантатной костной ткани с последующей деструкцией кости вокруг опорного и остальных имплантатов.

Детальное изучение реакций, возникающих при развитии упруго-напряженных состояний костной ткани и имплантатов, позволило нам выявить опорные реакции,

возникающие в упругом слое, который объединяет имплантат и кость. Модель костного ложа в челюсти с системой нагружающих ее сил показала, что наибольшие напряжения регистрируются в поверхностных тканях челюсти, а также в области вершины имплантата. При этом напряжения, действующие в кости оказываются в 8–10 раз меньше напряжений, которые определяются в теле имплантата. Это объясняется обусловлено ее большим поперечным сечением и разницей в механических характеристиках материалов. Прочность компактной костной ткани составляет 50Мпа, уступая в 8–10 раз прочности материала имплантата (450–600МПа), что позволяет говорить о сравнительно равных упругих компонентах, входящих в систему имплантат–кость. Мы полагаем, что заявление об одинаковой упругости материалов является справедливым лишь для кратковременно действующей жевательной нагрузке интенсивностью до 200–300 Н. Возможный диапазон напряжений, не приводящий к развитию разрушающих напряжений на границе костной ткани и имплантата, в этой системе составляет от 3 до 10 МПа. Условия при этом справедливы только для нормальной костной ткани и имплантатов анатомической формы.

Ниже представлены фото клинического примера, иллюстрирующие собственную разработанную модель ведения хирургического и ортопедического этапов лечения пациента с полной вторичной адентией.

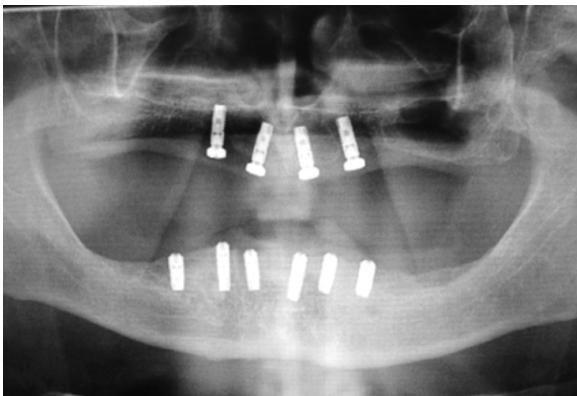


Рисунок 1. Рентгенологический контроль после установления 4-х имплантатов на верхней челюсти и 6-ти имплантатов на нижней челюсти.

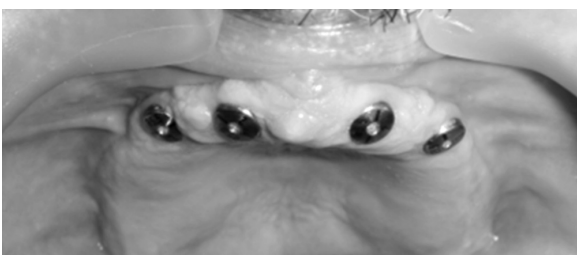


Рисунок 2. Полость рта пациента после установки формирователей десны на верхней челюсти.



Рисунок 3. Полость рта пациента после установки формирователей десны на нижней челюсти.



Рисунок 4. Определение центрального соотношения челюстей и пространственного расположения протетической плоскости по отношению к основанию черепа.

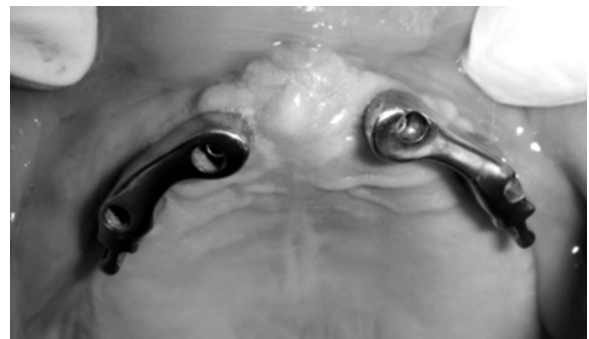


Рисунок 5. Фиксация балочных конструкций с индивидуальными абатментами на верхнюю челюсть.

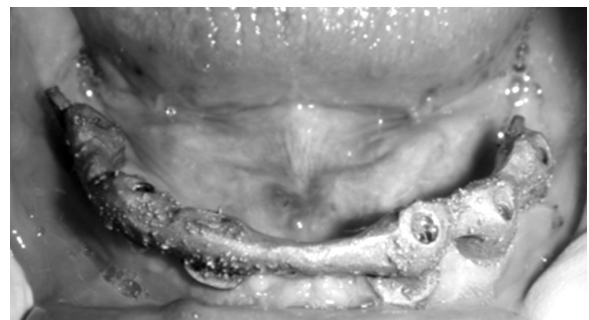


Рисунок 6. Фиксация балочной конструкции на нижнюю челюсть.



Рисунок 7. Съемный протез верхней челюсти пациента с полной адентией.



Рисунок 8. Условно-съемный протез нижней челюсти пациента с полной адентией.

### Выводы

В ходе описанного исследования для нас стала очевидной роль такого функционально объединяющего фактора, способствующего интеграции имплантатов в костные структуры челюстей, как работа по пережевыванию пищи. Успешная остеоинтеграция замещающих имплантационных материалов, в свою очередь, напрямую зависит от соблюдения идентичности модулей их упругости с элементами кости челюстно-лицевой области, поскольку неоднородность данного биомеханического параметра при замещении дефекта зуба или зубного ряда провоцирует возникновение разрушающих паразитарных напряжений на стыке сред с различными показателями упругости. Это чревато структурно-функциональной несостоятельностью ортопедической конструкции и нарушением ее целостности. Во избежание данного последствие необходимо тщательное изучение механических характеристик материалов, используемых для изготовления имплантатов, а также их сопоставление с характеристиками замещаемых тканей. Все это позволяет избежать подобного неблагоприятного исхода протезирования, а также существенно продлить срок службы имплантатов.

В норме костная ткань является неизменно подверженной воздействию различных сил, находящихся в равновесном состоянии. На протяжении всего ее жизненного цикла баланс напряжений и деформаций составляет основу физико-химических и биомеханических процессов, поддерживающих ее гомеостаз. Следовательно, материал и конфигурация имплантата должны не вступать в конфликт с указанными параметрами биологической ткани, то есть обладать свойствами биоинертности и биоактивности. [6]

*Проведенные нами биомеханические исследования с учетом приобретенного клинического опыта позволили сформулировать принципиальные положения касательно проведения зубной имплантации.*

1. Вид имплантата. Наилучшая стабильность (как первичная, так и последующая) достигается с применением имплантатов, анатомически повторяющих форму корня зуба. Биомеханические исследования показывают, что они создают оптимальную компрессию кости по всей длине имплантата, а также в области его шейки. При этом длина и ширина имплантата должны несколько превышать размеры корня удаленного зуба.

2. Геометрия и поверхность имплантата. Характер макроструктуры и микропористость многих видов имплантатов позволяют увеличивать площадь их контакта костью, тем самым улучшая остеоинтеграцию.

3. Стабильность имплантата. Отмечено, что винтовые (в особенности – саморезные) конструкции отличаются наиболее высокими показателями стабильности, в то время как наиболее низкие результаты достигаются при применении цилиндрических и пластиночных имплантатов.

4. Анатомические особенности. Уже в первую неделю после имплантации на нижней челюсти развивается максимальная стабилизация, которая приходит к нормальным значениям в течение двух недель, оставаясь в дальнейшем неизменной. Верхнечелюстная костная ткань отличается преобладанием губчатой, рыхлой структуры, что значительно затрудняет достижение хорошей первичной стабильности сразу после установки абатмента. Как правило, уплотнение костной ткани вокруг имплантата и его стабилизация происходит уже под действием функциональной нагрузки.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Загорский В.А. Протезирование зубов на имплантатах / В.А. Загорский, Т.Г. Робустова. – Москва, 2011.



2. Загорский В.А. Биомеханика одиночных имплантатов / В.А. Загорский, В.В. Загорский // Стоматология. – 2013. – Т. 92, № 3.
3. Загорский В.А., Севбитов А.В., Загорский В.В. Действие резьбовых имплантатов на костную ткань. – Dental Magazine №6. – 2011
4. Утюж А.С., Загорский В.А., Загорский В.В. Упруго-напряженные состояния костных структур челюстей и черепа человека // Символ науки.– 2016.– № 2-3.
5. Локтионова М.В., Жидовинов А.В., Жажбаров А.Г., Салтовец М.В., Юмашев А.В. Реабилитация пациентов с тотальными дефектами нижней челюсти // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. 2006. – № 4.
6. Ремизова А.А., Юмашев А.В., Кристаль Е.А. Обоснование выбора высокоточных металлов, применяемых в стоматологии, на примере хромо-никелевого сплава // Стоматология для всех. – 2015. – № 4.
7. Утюж А.С., Загорский В.А., Загорский В.В. Биомеханика черепа человека. Механические свойства костной ткани черепа человека. // Научные основы современного прогресса – Уфа, 2016.
8. Kitamura E., Stegaroiu R., Nomura S., Miyakava O. Biomechanical aspects of marginal bone resorption around osseointegrated implants: considerations based on a three-dimensional finite element analysis // Clin. Oral. Impl. – 2004. – № 15.
9. Yumashev A.V., Admakin O.I., Utyuzh A.S., Fomin I.V., Nefedova I.V. Contemporary approaches to treatment of patients with complete edentia and apparent alveolar atrophy. a comparative analysis // Science and Education: materials of the XI International research and practice conference. – Munich, 2016. – Vol. II.

© А.С. Утюж, А.В. Юмашев, Р.М. Лушков, В.В. Загорский, И.В. Неведова, (umalex99@gmail.com), Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»,

# ЧИСТАЯ ВОДА

Реклама

7-я специализированная выставка и конгресс  
**КАЗАНЬ, 2016**

**23-25 ноября**

12+

**Организатор:**  
ОАО «Казанская ярмарка»

**При поддержке:**  
Министерства экологии и природных ресурсов Республики Татарстан,  
Министерства строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Республики Татарстан,  
Федерального агентства водных ресурсов, ФГУ «СРЕДВОЛГАВОДХОЗ»

ОАО «Казанская ярмарка»  
Россия, 420059, г. Казань, Оренбургский тракт, 8,  
тел.: (843) 570-51-11, 570-51-27,  
E-mail: d1@expokazan.ru, www.waterkazan.ru

ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР  
ISO 9001 & ISO 14001  
КАЗАНСКАЯ  
ЯРМАРКА

## ЛЕЧЕНИЕ ХРОНИЧЕСКОГО ГЕНЕРАЛИЗОВАННОГО ПАРОДОНТИТА С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММЫ МЕДИЦИНСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ

DOPPLEROGRAPHY OF VESSELS OF THE PARODONTAL TISSUES ON THE BACKGROUND OF REHABILITATION OF PATIENTS WITH CHRONIC GENERALIZED PARODONTITIS

*R. Khaybullina  
L. Gilmudinova  
L. Gerasimova*

**Annotation**

The article is devoted to modern concepts of the relationship of parodontal disease and temporomandibular joint. The results of a comprehensive examination, diagnosis and treatment in 73 patients suffering from chronic generalized parodontitis of moderate severity due to bruxism, the results of their research and conclusions. The characteristic clinical features of these patients.

**Keywords:** chronic generalized parodontitis, bruxism, amplipulse, doppler fluctuating, physical therapy, bioelectric activity.

*Хайбуллина Расима Рашитовна  
К.мед.н., доцент каф. терапевтической  
стоматологии с курсом  
ИДПО ГБОУ ВПО БГМУ, г. Уфа  
Гильмутдинова Лира Талгатовна  
Д.мед.н., профессор,  
зав. каф. Медицинской реабилитации,  
физиотерапии и курортологии  
ИДПО ГБОУ ВПО БГМУ, г. Уфа  
Герасимова Лариса Павловна  
Д.мед.н., профессор,  
зав. каф. терапевтической стоматологии  
с курсом ИДПО ГБОУ ВПО БГМУ, г. Уфа*

**Аннотация**

Статья посвящена современным представлениям взаимосвязи заболеваний пародонта и височно-нижнечелюстного сустава. Представлены результаты комплексного обследования, диагностики и лечения 73 пациентов, страдающих хроническим генерализованным пародонтитом средней степени тяжести, обусловленный бруксизмом, результаты собственных исследований и выводы. Дана характеристика клиническим, функциональным особенностям этих больных.

**Ключевые слова:**

Хронический генерализованный пародонтит, бруксизм, амплипульс-терапия, доплерография, флюктуоризация, лечебная физкультура, биоэлектрическая активность.

Важнейшей проблемой современной стоматологии выступают воспалительные заболевания пародонта, занимающие одно из ведущих мест в структуре стоматологической заболеваемости. При этом хронический генерализованный пародонтит, как наиболее частая причина потери зубов у населения, существенно актуализирует поиск и разработку новых эффективных методов восстановительной коррекции воспаленных тканей пародонта, выдвигая их и на рубеж приоритетных научно-практических задач современной медицины [1,3].

Пародонтит является мультифакториальным заболеванием. Одной из причин возникновения пародонтита является перегрузка пародонта, вследствие бруксизма [2,4,5].

В результате функциональная перегрузка, необычная по величине, направлению и продолжительности действия, приводит к таким серьезным нарушениям, как деструктивные изменения в пародонте, нарушению гемодинамики в пародонте.

Нарушения микроциркуляции в тканях пародонта являются одним из факторов патогенеза воспалительных заболеваний пародонта. Многочисленные исследования, проведенные за последнее время, показали, что изменения в сосудах микроциркуляторного русла при пародонтите носят весьма разнообразный характер. При этом важно отметить, что в сосудах могут происходить как структурные, так и функциональные изменения: нарушается их проницаемость, уменьшается число функционирующих капилляров, изменяются агрегационные свойства крови, приводящие к снижению перфузии микроциркуляторного русла кровью. По данным А. И. Варшавского (1977), изменения всех компонентов микроциркуляторного русла десны происходят одновременно.

Степень же этих изменений зависит от длительности хронического воспалительного процесса [6,7,8,9].

Целью работы явилось изучение гемодинамики кровотока в тканях десны у пациентов с хроническим генерализованным пародонтитом до и после применения программы медицинской реабилитации.

## Материал и методы

Под нашим наблюдением находились 73 человека, с диагнозом хронический генерализованный пародонтит средней степени тяжести, обусловленный бруксизмом, которые проходили лечение на клинической базе кафедры терапевтической стоматологии с курсом ИДПО Башкирского государственного медицинского университета и стоматологической клинике ООО "Жемчужина".

Кроме того, были обследованы 30 практически здоровых лиц (с интактными зубными рядами, без жалоб, аналогичных по возрасту) для уточнения функциональных параметров нормы.

Критериями отбора пациентов для исследования были: возраст 30–40 лет; диагноз хронический генерализованный пародонтит средней степени тяжести; обусловленный бруксизмом, согласие на длительное многократное обследование.

Клинические исследования проводились по общепринятой схеме, результаты заносили в историю болезни. Также записывались данные о профессии, режиме работы, график, утомляемость. При осмотре в полости рта уточняли наличие зубного налета, гиперемии и отечность десны. Проводили определение глубины пародонтальных карманов, подвижности зубов. Также фиксировали зубную формулу, оценивали прикус и окклюзионные контакты. Проводилась пальпация жевательной, височной и надподязычных мышц.

Для оценки эффективности проводимых лечебных мероприятий использовали следующие индексы: индекс гигиены, индекс кровоточивости, пародонтальный индекс. Все индексы регистрировались в день посещения, затем после проведенного курса лечения.

Исследование состояния гемодинамики кровотока в системе микроциркуляции было проведено методом ультразвуковой доплерографии (УЗДГ) с использованием отечественного прибора "Минимакс-Допплер -К" (ООО "СП-Минимакс") датчиком частотой 25 МГц в тканях десны.

Количественный анализ доплеровских кривых был основан на оценке линейной скорости ( $V_{am}$ ); максимальной величины скорости кровотока в систолу ( $V_{as}$ ), величины диастолической скорости кровотока ( $V_{akd}$ ), а также объемных скоростей кровотока максимальной систолической скорости ( $Q_{as}$ ) и средней скорости ( $Q_{am}$ ).

Количественный анализ доплеровских кривых включал расчет индекса пульсации (PI) (Госпинга), отражающего упруго-эластические свойства сосудов и индекса

периферического сопротивления (RI) кровотоку, дистальнее места измерения.

Электромиографическую активность жевательной группы мышц регистрировали у всех пациентов, одновременно с двух сторон, с помощью четырехканального электромиографа "Феникс" версия 6.12.5. (Нейротех).

Всем пациентам назначали денральную компьютерную томографию на аппарате фирмы Galileos – "Sirona" (Германия) до и после проведенного курса лечения.

Противопоказаний для проведения дальнейших лечебных мероприятий у пациентов выявлено не было.

Межгрупповое сравнение среднестатистических показателей проводилось по критерию Стьюдента.

После проведенных диагностических мероприятий пациенты разделились следующим образом: контрольная группа – 36 человек и основная группа 37 человек. Пациентам основной и контрольной групп назначали базовый реабилитационный комплекс, который состоял из соблюдения диеты, удалении зубных отложений, полоскания полости рта антисептиком Хлоргексидин, аппликации гелем Метрогил Дента, юретажа пародонтальных карманов и самомассажа десен.

Пациентам основной группы дополнительно к базовой терапии назначали лечебную физкультуру для мышц челюстно-лицевой области, флюктуоризацию и амплипульстерапию.

## Результаты и обсуждение

У пациентов контрольной и основной группы при первом обследовании преобладали следующие жалобы: неприятные болевые ощущения и чувство дискомфорта в полости рта (87%), неприятный запах изо рта (97%), кровоточивость десен при чистке зубов, при приеме пищи, привкус крови во рту (100%), изменение цвета десны (78%), болевые ощущения движениях нижней челюсти (89%).

Объективно, в полости рта у всех пациентов контрольной и основной группы были выявлены над и поддесневые зубные отложения, застойная венозная гиперемия десны (цианоз), отек десны и сглаженность вершин десневых сосочков, утрачены контуры десневого желобка, глубина пародонтальных карманов составила 4–5 мм, преимущественно в области межзубных промежутков, подвижности и смещения зубов не определялось, отмечалась кровоточивость. У 23% были выявлены некариозные поражения зубов: обнажение поверхностей корней

зубов, клиновидные дефекты, кариес в пришеечной области или на поверхности корня.

Результаты проведенной доплерографии показали следующее: у пациентов с хроническим генерализованным пародонтитом, обусловленный бруксизмом в 100% случаев диагностируются функциональные нарушения гемодинамики, проявляющиеся в снижении показателей линейной и объемной скорости тканевого кровотока. По нашему мнению, это свидетельствует о снижении уровня перфузии тканей пародонта кровью и связано с выраженной функциональной перегрузкой тканей пародонта, вследствие бруксизма.

Сокращение показателей объемной скорости кровотока связано, с нашей точки зрения, со спазмом артериол, венозным застоем в микроциркуляторном русле, а также выраженными реологическими расстройствами.

Статистически достоверное понижение индекса пульсации (Гослинга) относительно аналогичных показателей пациентов контрольной группы свидетельствует о снижении упруго-эластических свойств сосудистой стенки. Превышение индекса периферического сопротивления (Пурсело) контрольных значений свидетельствует об увеличении сосудистого сопротивления току крови, связанном, по нашему мнению, со стазом крови в зоне перегрузки тканей пародонтального комплекса.

По результатам денальной компьютерной томографии, проведенной до лечения, в 100% выявлялась воспалительная резорбция костной ткани 2 степени: неравномерное снижение высоты межзубных перегородок до 1/2 длины корней. Кортикальная пластина на вершине межальвеолярной перегородки отсутствует. До и после проводимых лечебных мероприятий индексы гигиены показали следующие результаты (Табл. 2).

Таблица 1.

Параметры скорости кровотока в тканях пародонта у пациентов с хроническим генерализованным пародонтитом по данным УЗДГ.

Параметры, единицы измерений	Исследуемые группы			
	Контрольная группа		Основная группа	
	Диапазон колебаний	Средний показатель	Диапазон колебаний	Средний показатель
Vas, см/с	1,26-2,31	1,78	0,43-1,61*	1,02*
Vam, см/с	0,29-0,88	0,59	0,21-0,54**	0,38**
Vakd, см/с	0,28-0,77	0,53	0,21-0,59*	0,40*
Qas, мл/мин	0,0521-0,0958	0,0739	0,0243-0,0761	0,0502
Qam, мл/мин	0,006-0,013	0,0095	0,005-0,008**	0,0065**
PI	2,74-3,81	3,28	2,03-2,92*	2,48*
RI	0,54-0,79	0,66	0,71 - 0,98**	0,84**

Примечание: достоверность различий между показателями пациентов контрольной и исследуемой групп по критерию Манна-Уитни:

\* - p<0,05; \*\* - p<0,001.

Таблица 2.

Динамика исследованных параметров у пациентов с хроническим генерализованным пародонтитом (M±m).

Показатель	Хронический генерализованный пародонтит средней степени тяжести			
	Контрольная группа до лечения	Основная группа до лечения	Контрольная группа после лечения	Основная группа после лечения
Индекс гигиены	2,0±0,09	1,95±0,09	1,33±0,06	0,88±0,05
Индекс кровоточивости	2,5±0,20	2,10±0,20	0,56±0,08	0,30±0,04
Пародонтальный индекс	1,32±0,11	1,34±0,1	0,68±0,05	0,35±0,03

Полученные значения говорят о неудовлетворительном состоянии гигиены полости рта.

Для лечения больных основной группы дополнительно к базовой терапии применяли флюктуоризацию и амплипульстерапию на низкочастотном аппарате для воздействия синусоидально – импульсными токами различной формы (аппарат АФТ "МикроМед").

Флюктуоризация – это метод использования с лечебной целью переменного тока звуковой частоты малой силы и небольшого напряжения с шумовым спектром. Такой ток состоит из синусоидальных колебаний частотой от 20 Гц до 20 кГц, которые беспорядочно (хаотически) комбинируются между собой аналогично шумовым колебаниям в области слышимого звука. Преимущества амплипульстерапии перед другими методами заключается в его неинвазивности и безопасности в отношении возникновения аллергических реакций.

При проведении амплипульстерапии собственно жевательных, височных и надподъязычных мышц использовались поверхностные стандартные электроды, которые располагались на коже на мышцах. Места фиксации электродов определялись пальпаторно – наиболее выступающие точки мышц при сжатии челюстей. Процедуры амплипульстерапии проводились в условиях максимального расслабления мышц. Применялся второй вид модуляции (II, PP, ПП, посылки–паузы), при котором происходит чередование посылок тока, модулированного определенной частотой в пределах 10–150 Гц, и пауз, при этом длительность посылок тока и пауз дискретна в пределах от 1 до 6 с., что позволяет изменить нагрузку на стимулирующие мышцы. Такой режим обеспечивает выраженную контрастность воздействия синусоидально-

модулированных токов на фоне пауз и обладает наиболее выраженным нейростимулирующим эффектом. Продолжительность процедур составляет 10–15 минут. Курс лечения 10–12 сеансов, которые проводятся ежедневно, либо через день.

У больных контрольной группы проводили интерференционную электромиографию жевательных, височных и надподъязычных мышц. При анализе электромиографии определяли амплитуду мкВ в период физиологического покоя и при заданной нагрузке.

### Результаты исследования

Результаты электромиографических исследований жевательной, височной и надподъязычных мышц контрольной группы и основной группы отражены в табл. 3.

По данным наших исследований, у пациентов контрольной группы наблюдается симметричная активность одноименных мышц, согласованность их функций. Электромиографические данные жевательной группы мышц контрольной группы были близки к показателям, представленным в литературе. Величина максимальной амплитуды биопотенциалов жевательных, височных и надподъязычных мышц (мкВ) в контрольной группе в период физиологического покоя и в период заданной активности принимаются нами как средний показатель для данной возрастной категории (25–40) лет.

Анализируя данные таблицы 2, для жевательной группы мышц у пациентов с хроническим генерализованным пародонтитом можно отметить следующее: амплитуда надподъязычных мышц превышает норму в 3 раза. Для всех исследуемых мышц характерно присутствие спон-

Таблица 3.

Сводные показатели БЭА жевательной группы мышц пациентов контрольной группы и с хроническим генерализованным пародонтитом до лечения.

Группы	Максим. амплитуда ЖМ в мкВ $M \pm m$	Максим. амплитуда ЖМ в мкВ $M \pm m$	Максим. амплитуда ВМ в мкВ $M \pm m$	Максим. амплитуда ВМ в мкВ $M \pm m$	Максим. амплитуда надподъязычных мышц в мкВ $M \pm m$	Максим. амплитуда надподъязычных мышц в мкВ $M \pm m$
	В покое	При нагрузке	В покое	При нагрузке	В покое	При нагрузке
Хронический генерализованный пародонтит	71,3±2,8	119±9,7	80,7±2,2	101,8±6,4	71,3±2,4	149,3±4,8
Контрольная группа	24,0±0,15	376,0±9,8	32,3±2,1	360,5±8,3	18,0±0,15	94,0±5,1
Данные литературы	25,0±0,1	387,0±10,0	25,0±0,1	362±10,0	25,0±0,15	96,0±4,0

Примечание: НПМ - надподъязычные мышцы; ЖМ-собственно жевательная мышца; ВМ-височная мышца; P - достоверность .

танной активности. При максимальном сжатии челюстей отмечается снижение показателей БЭА жевательной мышцы и височной мышцы по сравнению с нормой. Амплитуда электромиографии надподъязычных мышц при глотании превосходит норму в 2 раза.

После проведенной СМТ-терапии проводилось повторное электромиографическое исследование в контрольной и основных группах. У пациентов контрольной группы достоверных различий в электромиографической картине не выявлено.

Результаты применения СМТ-терапии в контрольной и основной группах показали, что под влиянием применения СМТ-терапии увеличилась БЭА собственно жевательных и височных мышц и уменьшилась БЭА надподъязычных мышц. Спонтанная активность в покое уменьшилась (табл. 4). У пациентов после курса СМТ-терапии амплитуда электромиограмм жевательной группы мышц претерпела существенные изменения.

С помощью метода электромиографии выявлены достоверные нарушения ( $P < 0,01$ ) миодинамического равновесия жевательной группы мышц у больных с хроническим генерализованным пародонтитом: наличие спонтанной активности в покое всех обследуемых мышц, уменьшение биоэлектрической активности жевательной и височной мышц, при функциональной нагрузке, в 3 раза по сравнению с нормой и увеличение БЭА жевательной и височно мышца, при функциональной нагрузке, в 3 раза по сравнению с нормой и увеличение БЭА надподъязычных мышц в 2 раза по сравнению с нормой.

Применение метода амплипульстерапии, воздействующего на мышечную активность, позволило добиться положительного эффекта в улучшении функции жеватель-

ных мышц у всех пациентов. Под воздействием амплипульстерапии БЭА увеличилась: у собственно жевательной мышцы на 20%, височной мышцы – на 18%, активность надподъязычных мышц снизилась на 18% по сравнению с исходными данными. Данные, полученные при анализе результатов лечения, проведенного методом СМТ терапии, свидетельствуют о том, что СМТ – терапия является эффективным методом коррекции функциональной активности мышц челюстно-лицевой области.

Применение только базового лечения сопровождалось регрессом клинических проявлений. В частности, у пациентов контрольной группы наблюдали заметное снижение болевых ощущений [–48%], кровоточивости [–46%], гиперемии [–75%] и отечности десны [–37%], которая при осмотре стала плотнее прилегать к шейкам зубов. На 67% снизились жалобы пациентов на запах изо рта. Сравнительная оценка гингивальных и пародонтальных индексов показала, что в группе контроля после стандартного лечения у пациентов наблюдали улучшение стоматологического статуса, которое обусловило положительную динамику использованных показателей. В частности, индекс гигиены снизился на 32%, индекса кровоточивости на 51% и пародонтального индекса на 49% (индекс гигиены составил  $1,33 \pm 0,06$ , индекс кровоточивости  $0,56 \pm 0,08$ , и пародонтальный индекс  $0,68 \pm 0,05$ ).

Сравнительный анализ динамики клинической симптоматики позволил установить, что применение программы, включающей в себя базовый реабилитационный комплекс, лечебную физкультуру для мышц челюстно-лицевой области, флюктуоризацию и амплипульстерапию, положительные изменения носили еще более выраженный характер. Так, у пациентов основной группы в 86% случаев отсутствовали жалобы на болевые ощущения, в 83% – на кровоточивость, в 79% – запах изо рта.

Таблица 4.

Сводные показатели БЭА жевательной группы мышц пациентов контрольной группы и с хроническим генерализованным пародонтитом до лечения.

Группы	Максим. амплитуда ЖМ в мкВ $M \pm m$	Максим. амплитуда ЖМ в мкВ $M \pm m$	Максим. амплитуда ВМ в мкВ $M \pm m$	Максим. амплитуда ВМ в мкВ $M \pm m$	Максим. амплитуда надподъязычных мышц в мкВ $M \pm m$	Максим. амплитуда надподъязычных мышц в мкВ $M \pm m$
	В покое	При нагрузке	В покое	При нагрузке	В покое	При нагрузке
Хронический генерализованный пародонтит	23±2,2	167,2±8,7	42,3±1,8	171,2±8,4	63,8±1,4	110,3±4,8
Контрольная группа	24,0±0,15	376,0±9,8	32,3±2,1	360,5±8,3	18,0±0,15	94,0±5,1
P	>0,05	<0,001	<0,001	<0,001	>0,05	<0,001

Примечание: НППМ - надподъязычные мышцы; ЖМ-собственно жевательная мышца; ВМ-височная мышца; P - достоверность .

Это проявлялось не только в исчезновении жалоб у больных, но и улучшением состояния тканей пародонта, что характеризовалось исчезновением отека и гиперемии десны (91%), которая приобретала бледно-розовую окраску, плотноэластическую консистенцию, правильную конфигурацию сосочков и десневого края. Одновременно наблюдали улучшение стоматологического статуса, что при объективном обследовании обусловило значительную положительную динамику использованных индексов: в частности индекс гигиены уменьшился на 37%, индекс кровоточивости на 59% и пародонтальный индекс на 55%.

Результаты денальной компьютерной томографии, проведенной в контрольной и основной группе после курса лечения, показали частичное восстановление компактной пластинки межальвеолярных перегородок, в контрольной группе на 12,5% и в основной группе на 25%.

### Выводы

Изменения скоростных характеристик (линейной и объемной скоростей) кровотока в тканях пародонта являются важными диагностическими критериями нарушения гемодинамики, позволяя дать объективную, достоверную, научно обоснованную оценку нарушений микроциркуляторного русла, а также оценить динамику патологических процессов и эффективность лечебно-профилактических мероприятий, направленных на патогенетическую коррекцию этих нарушений. Данные УЗДГ показали, что линейные скорости кровотока при хроническом генерализованном пародонтите прогрессивно снижа-

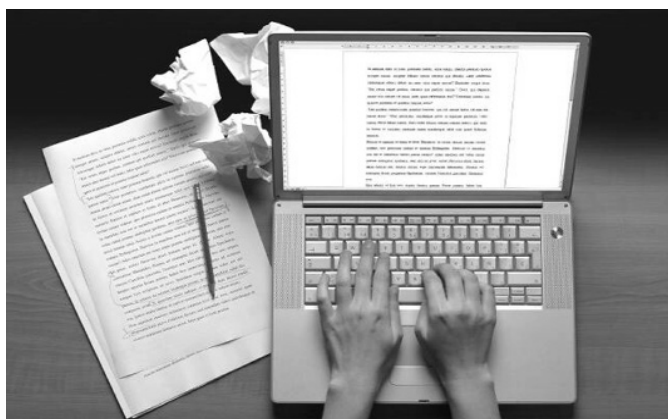
лись, в зависимости от степени его тяжести. Результаты, полученных нами гигиенических индексов, показали высокую эффективность применения реабилитационной программы, включающей базовый реабилитационный комплекс, лечебную физкультуру для мышц челюстно-лицевой области, флюктуоризацию и амплипульстерапию при лечении хронического генерализованного пародонтита средней степени тяжести, обусловленный бруксизмом.

Анализ динамики клинической симптоматики позволил установить, что под влиянием комплексного применения базового реабилитационного комплекса, лечебной физкультуры для мышц челюстно-лицевой области, флюктуоризации и амплипульстерапии положительные изменения носили выраженный характер. Это проявлялось не только в исчезновении жалоб у больных, но и улучшением состояния тканей пародонта, что характеризовалось исчезновением отека и гиперемии десны, которая приобретала бледно-розовую окраску, плотноэластическую консистенцию, правильную конфигурацию сосочков и десневого края. Прекращалась кровоточивость десен и неприятные ощущения в деснах при жевательной нагрузке и чистке зубов. Эффективность лечения в контрольной группе составила 23%, в основной группе 37%.

Комплексное применение базового реабилитационного комплекса, лечебной физкультуры для мышц челюстно-лицевой области, флюктуоризации и амплипульстерапии, у пациентов с хроническим генерализованным пародонтитом средней степени тяжести, вызвало достоверное повышение клинической эффективности лечения на 37%.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Герасимова Л.П. Физиотерапевтические технологии в реабилитации пациентов с хроническим генерализованным пародонтитом и бруксизмом/Хайбуллина Р.Р., Герасимова Л.П., Уфа, журнал "Медицинский вестник Башкортостана" № 4 (72)/2015.– 56–58 с.
2. Белоусов Н. Н., Особенности планирования комплексного лечения хронического генерализованного пародонтита/ Н.Н. Белоусов // Материалы XV Международной конференции челюстно-лицевых хирургов и стоматологов "Новые технологии в стоматологии". – Санкт-Петербург, 17–19 мая 2010. – СПб., 2010. – С. 33–34.
3. Бобровницкий И.П., Кудрявцев О.Н., Разумов А.Н., Михайлов В.И., Супрун С.В., Одинец А.Г., Якимова Л.М., Волков С.М., Использование геля "Ламифарэн" в качестве диетического и лечебно-профилактического питания при соматических заболеваниях интоксикации свинцом, иммунодефицитных состояниях. Изд. "Медицина для всех". Москва, 2004, 90 с.
4. Мюллер Х.П. Пародонтология. – Львов: изд-во "ГалДент", 2004– 256 с.
5. Лемецкая Т.И., Сухова Т.В. Мексидол – новый отечественный антиоксидантный и нейротропный препарат в комплексной терапии пародонтита. Труды VI съезда Стоматологической Ассоциации России. Москва. Тезисы /М., 2000, С.223–226
6. Максимовская Ю.М. Терапевтическая стоматология/ Максимовская Л.Н., Орехова Л.Ю., 2002 год.
7. Разумов А.Н., Романшин О.В. Оздоровительная физкультура в восстановительной медицине: учебное пособие; М-во здравоохранения РФ. Российский научный центр восстановительной медицины и курортологии и др. М. Вуз и шк. 2002, 167 стр.
8. Цепов Л.М. Некоторые аспекты этиологии и патогенеза хронических воспалительных генерализованных заболеваний пародонта (Обзор литературы)/ Орехова Л.Ю., Николаев А.И., Михеева Е.А.. Часть 1// Пародонтология. 2005. №2. С. 2–6.
9. Цепов Л.М. Хронический генерализованный пародонтит: ремарки к современным представлениям/Михеева Е.А., Голева Н.А., Нестерова М.М.. Пародонтология. 2010. №1 (54).С. 3–197.
9. Янушевич О.О. Стоматологическая заболеваемость населения России. – М.: МГМСУ, 2008. – 228 с.



## НАШИ АВТОРЫ OUR AUTHORS

### Artemov M.

*Russian research center of radiology and surgical technologies, St-Petersburg, Russia*

**e-mail** : rncrht-mrt@mail.ru

### Bakholdina V.

*Moscow State University, MV Lomonosov*

**e-mail** : vbaholdina@mail.ru

### Berezovskaya N.

*Postgraduate, National Research University "Moscow Power Engineering Institute"*

**e-mail** : 40595141@mail.ru

### Blagova K.

*Moscow State University, MV Lomonosov*

**e-mail** : vbaholdina@mail.ru

### Bliznyuk V.

*PhD, assistant professor, assistant professor, National Research University "Moscow Power Engineering Institute"*

**e-mail** : 40595141@mail.ru

### Chepaykin I.

*NRNU MEPhI, Moscow*

**e-mail** : ivan.chepaikin@gmail.com

### Cherepanov N.

*FSUE "LAVOCHKIN ASSOCIATION", Moscow region, Khimki*

**e-mail** : nv137@yandex.ru

### Dikova A.

*Graduate student of dentistry childhood SSMU*

**e-mail** : klinika\_ortodontii@mail.ru

### Dmitriev I.

*Open Youth University, Tomsk*

**e-mail** : igor.dmitriev@omu.ru

### Fadeev D.

*Saint Petersburg State University of Telecommunications. prof. M.A. Bonch-Bruevich*

**e-mail** : Daniilfadeev2015@yandex.ru

### Gavrilova N.

*PhD, Deputy head physician on medical work "Clinic computer reflexology", Samara*

**e-mail** : samsonowa.alsu@yandex.ru

### Gerasimova L.

*Professor, head, Department of therapeutic dentistry with a course idpo sbei GBOU VPO BGMU, Ufa*

**e-mail** : gerasimovalarisa@rambler.ru

### Gilmutdinova L.

*Professor, head, Department of Medical rehabilitation, physiotherapy and balneology idpo sbei GBOU VPO BGMU, Ufa*

**e-mail** : gilmutdinova23@mail.ru

### Grachev N.

*PhD, Professor, National Research University "Higher School of Economics"*

**e-mail** : nnggrachev@mail.ru

### Gulevich A.

*Primorsky Regional Medical information and Analytical Center, Lead Economist, C.E.S.*

**e-mail** : medgis25@gmail.com

### Kalinin V.

*FGBOU IN "Siberian State University of Telecommunications and Informatics", Novosibirsk*

**e-mail** : v.kalinin2@gmail.com

### Khaybullina R.

*Associate Professor of the Department of therapeutic dentistry with a course idpo sbei GBOU VPO BGMU, Ufa*

**e-mail** : rasimadiana@mail.ru

### Kovalgin Yu.

*Saint Petersburg State University of Telecommunications. prof. M.A. Bonch-Bruevich*

**e-mail** : Daniilfadeev2015@yandex.ru

### Levin A.

*M. D., associate Professor, Medical University "REAVIZ" of Minzdrav of Russia, Samara*

**e-mail** : samsonowa.alsu@yandex.ru

### Lushkov R.

*Doctor-intern in the department of Prosthetic Dentistry, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University*

**e-mail** : umalex99@gmail.com

### Navdzhavonova N.

*Vladivostok State Medical University, post-graduate student. City Clinical Hospital of the city of Vladivostok, surgeon*

**e-mail** : medgis25@gmail.com

### Nefedova I.

*Doctor-intern in the department of Prosthetic Dentistry, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University*

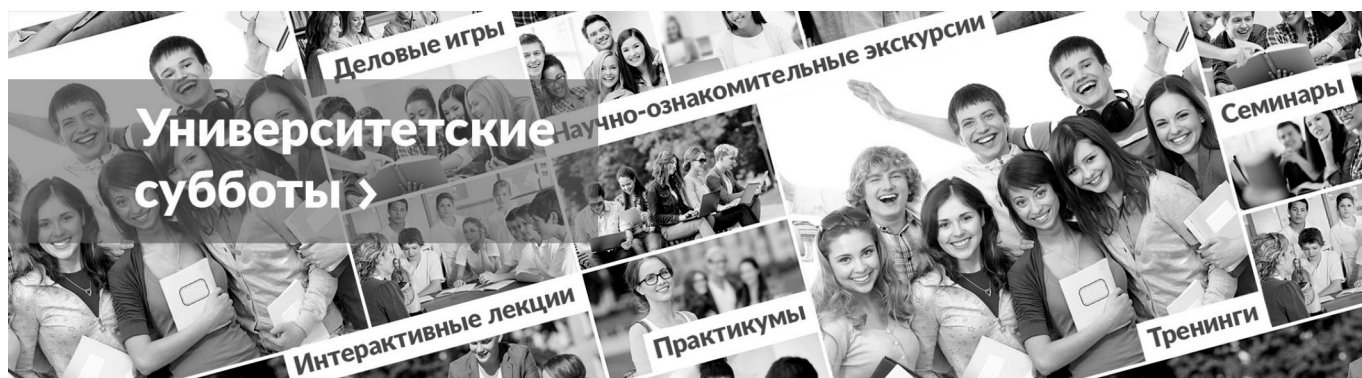
**e-mail** : umalex99@gmail.com

### Nosov V.

*FGBOU IN "Siberian State University of Telecommunications and Informatics", Novosibirsk*

**e-mail** : nvi@sibsutis.ru



**Parshin V.**

Student, National Research University "Moscow Power Engineering Institute"

**e-mail** : 40595141@mail.ru

**Petrishcheva T.**

Bunin Yelets State University

**e-mail** : senc-tatyana@yandex.ru

**Pogudina E.**

Open Youth University, Tomsk

**e-mail** : Evgeniya.Pogudina@itdrom.com

**Pun A.**

Student of the MIPT

**e-mail** : apun@list.ru

**Ryazansky V.**

Independent researcher

**e-mail** : ryazansky\_vp@list.ru

**Safonov S.**

Senior Lecturer, National Research University "Higher School of Economics"

**e-mail** : sns06@mail.ru

**Samorodova M.**

Moscow State University, MV Lomonosov

**e-mail** : vbaholdina@mail.ru

**Samsonova A.**

Postgraduate student of the Department of clinical medicine "Medical University "REAVIZ", The Ministry of health of Russia, Samara

**e-mail** : samsonowa.alsu@yandex.ru

**Shimanovskaya A.**

Moscow State University, MV Lomonosov

**e-mail** : vbaholdina@mail.ru

**Shogenov T.**

North-Caucasian Institute of improvement of professional skill of employees of the Ministry of internal Affairs of Russia (branch) of Federal state educational institution of higher professional education "Krasnodar University of the MIA of Russia", Nalchik

**e-mail** : shogenov@yandex.ru

**Stanzhevsky A.**

Russian research center of radiology and surgical technologies, St-Petersburg, Russia

**e-mail** : rncrht-mrt@mail.ru

**Stegniy K.**

Vladivostok State Medical University, Department of Surgery and Urology, D.M.S., professor

**e-mail** : medgis25@gmail.com

**Stepanov G.**

MD, associate professor, professor of pediatric dentistry SSMU

**e-mail** : klinika\_ortodontii@mail.ru

**Tarasov A.**

Senior Lecturer, National Research University "Moscow Power Engineering Institute"

**e-mail** : 40595141@mail.ru

**Titova E.**

Associate Professor, Russian University of Friendship of Peoples. Patrice Lumumba

**e-mail** : vbaholdina@mail.ru

**Udalova S.**

Regional Clinical Center of specialized types of medical care c. Vladivostok, radiologist

**e-mail** : medgis25@gmail.com

**Ulyanova L.**

Ordinator of the Department of Dentistry childhood SSMU

**e-mail** : klinika\_ortodontii@mail.ru

**Utyuzh A.**

Associate Professor, Head of Department of Prosthetic Dentistry I. M. Sechenov First Moscow State Medical University

**e-mail** : umalex99@gmail.com

**Vygolova E.**

Post-graduate student, Saint-Petersburg University of State Fire Service

**e-mail** : keetoo@mail.ru

**Yumashev A.**

Professor, Department of Prosthetic Dentistry, I. M. Sechenov First Moscow State Medical University

**e-mail** : umalex99@gmail.com

**Zagorskij V.**

Assistant in the department of Prosthetic Dentistry, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University

**e-mail** : umalex99@gmail.com



## 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 допускается.
- ◆ 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 ).