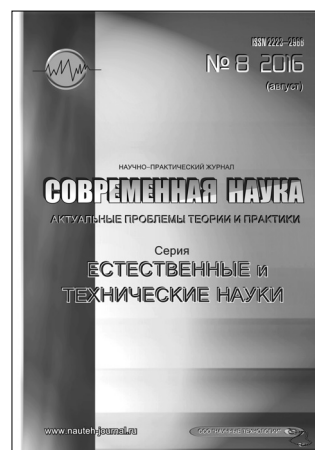


СОВРЕМЕННАЯ НАУКА :
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИЕСТЕСТВЕННЫЕ И
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

№ 8 2016 (август)

Учредитель журнала
Общество с ограниченной ответственностью
«НАУЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

Scientific and practical journal



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.

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» – 80016

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

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

При перепечатке ссылка на журнал
«Современная наука: Актуальные проблемы
теории и практики» обязательна.

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

Подписано в печать 31.08.2016 г.
Формат 84x108 1/16
Печать цифровая
Заказ № 0000
Тираж 2000 экз.

ISSN 2223-2966



ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ

Д.Ю. Арсеньева, А.А. Захарова – Получение целлюлозы из соломы льна пероксидно-ацетатным методом
D. Arsenyeva, A. Zakharova – Pulping of straw flax the peroxide acetate method3

А.М. Кабдыракова, А.Е. Кундузбаева, С.Н. Лукашенко, Н.В. Ларионова, Т.Н. Байсеркенова, А.Т. Меньдубаев – Исследование распределения искусственных радионуклидов по гранулометрическим фракциям почв на условно "фоновых" территориях Семипалатинского испытательного полигона
A. Kabdyrakova, A. Kunduzbayeva, S. Lukashenko, N. Larionova, T. Baiserkenova, A. Mendubaev – Investigation of artificial radionuclides in particle-size fraction of soils at conditionally "background contaminated" areas of Semipalatinsk Test Site ... 5

Л.З. Масловская – Экология слепней г. Тобольска и Тобольского района на преимагинальных фазах развития
L. Maslovskaya – Ecology of flies of the city of Tobolsk and the Tobolsk area on the preimaginal phases of development17

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

В.Д. Андреев, О.Г. Морозов – Выбор рабочей точки амплитудного электрооптического датчика для измерения параметров электрических полей
V. Andreev, O. Morozov – Operating point selection of amplitude electrooptical sensor for electric field parameters measuring22

В.В. Близнюк, Н.В. Березовская, В.А. Паршин, А.Е. Тарасов – Оптико-электронный комплекс для измерений основных параметров излучения лазерного диода в свободное пространство
V. Bliznyuk, N. Berezovskaya, V. Parshin, A. Tarasov – Optoelectronic system to measure basic parameters of the radiation of the laser diode in a free space29

В.Ю. Казаров, О.Г. Морозов – Волоконно-оптические рефрактометры на основе брэгговских решеток с фазовым π -сдвигом
V. Kazarov, O. Morozov – Fiber optic refractometers based on Bragg gratings with phase π - shift34

Д.О. Миронов – Оценка факторов, влияющих на температуру нагрева в системе дискового торможения
D. Mironov – Assessment of the factors influencing the heating temperature of the disk brake system42

В.М. Соколовский, И.Ю. Петрова, И.З. Китиашвили – Мобильное устройство для диагностики сердечно-сосудистой системы человека
V. Sokol'sky, I. Petrova, I. Kitiashvili – Mobile device for diagnostics of human cardiovascular system46

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

Г.Г. Рогозинский, А.Н. Егорова, Е.Г. Ершов, И.Н. Осипенко – Программный комплекс сонификации сложных сетей
G. Rogozynsky, A. Egorova, E. Ershov, I. Osipenko – Software solution for complex networks sonification52

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Г.Г. Арунянц, Т.А. Воронин – Об учете тепловых потерь при автоматизированном формировании тарифов в системе регулирования деятельности теплоснабжающего комплекса Калининградской области
G. Arunyants, T. Voronin – About the accounting of thermal losses at the automated formation of tariffs in system of regulation of activity of the heatsupplying complex of Kaliningrad region . .56

М.Н. Гусев, И.Ю. Гусева – Мобильная система оценки качества передачи речи
N. Gusev, I. Guseva – Mobile voice quality assessment system .63

КЛИНИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

Г.А. Бобков, С.С. Толстых – Интегральное посегментарное измерение функционального состояния дериватов миотомов мышечного корсета спортсмена
G. Bobkov, S. Tolstykh – Integrated polygonalnom the measurement of the functional state of the derivatives of myotomal muscular system sportsmen70

О.В. Гуленко, И.Г. Удина – Генетические особенности предрасположенности к кариесу зубов у детей с врожденными пороками развития ЦНС
O. Gulenko, I. Udina – Genetic features of the predisposition to dental caries in children with congenital malformations of central nervous system78

В.А. Гурьева, Ю.А. Шадеева, Т.Н., Чугунова – Факторы риска преждевременного разрыва плодных оболочек при сроке гестации 22–34 недели
V. Gurjeva, J. Shadeeva, T. Chugunova – Risk factors of premature rupture of membranes at gestational age of 22–34 weeks84

Г.М. Кавалерский, А.Д. Ченский, А.А. Тарбушкин, М.Ю. Прохорова, Д.Н. Усманов, К.Э. Мхитарян – Анализ эффективности разработанной системы оценки риска хирургического вмешательства у пациентов пожилого и старческого возраста с переломом проксимального отдела бедра
G. Kavalerskiy, A. Chenskiy, A. Tarbushkin, M. Prokhorova, D. Usmanov, K. Mhitaryan – Analysis of the efficiency of the developed risk assessment system surgery in elderly patients with fracture of the proximal femur93

А.М. Мацакян, Б.Г. Бутаев, В.Г. Процко – Артроскопический артродез голеностопного сустава
A. Matsakyan, B. Bhutaev, V. Protsko – Arthroscopic ankle arthrodesis99

Е.Н. Минина, Л.С. Файнзильберг, К.Б. Ориховская – Качественная оценка адаптационных резервов сердечно-сосудистой системы на основе регулярных паттернов эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ
E. Minina, L. Fainzilberg, K. Orihovskaya – A qualitative evaluation of adaptation reserves of cardiovascular body's system based on regulatory patterns sample single-channel ECG cardiac cycle 103

ИНФОРМАЦИЯ

Наши Авторы / Our Authors114
 Требования к оформлению рукописей и статей для публикации в журнале116

ПОЛУЧЕНИЕ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ИЗ СОЛОМЫ ЛЬНА ПЕРОКСИДНО-АЦЕТАТНЫМ МЕТОДОМ

PULPING OF STRAW FLAX THE PEROXIDE ACETATE METHOD

*D. Arsenyeva
A. Zakharova*

Annotation

The aim of this study was to investigate the method for producing cellulose acetate peroxide method. Under laboratory conditions, were carried out experimental cooking of flax straw with different parameters. The experiments pulp samples were obtained. Also during cooking modes have been performed and the concentration of the working solution. The resulting samples were examined for the percentage of alpha-cellulose and brightness parameters studied. The results are given in the article.

Keywords: peracetic acid, peroxide acetate method, pulp, pulping, flax straw, flax waste production.

*Арсеньева Дарья Юрьевна
Аспирант, Московский государственный
университет дизайна и технологий
Захарова Антонина Александровна
К.т.н., профессор,
Московский государственный
университет дизайна и технологий*

Аннотация

Целью исследования авторов в данной статье было изучение метода получения целлюлозы пероксидно-ацетатным способом. В лабораторных условиях проводились экспериментальные варки соломы льна при разных параметрах. В результате экспериментов были получены образцы целлюлозы. Также в процессе варки были отработаны режимы и концентрации рабочего раствора. Полученные образцы были исследованы на процент содержания альфа-целлюлозы, а также изучены параметры белизны. Результаты исследования представлены в статье.

Ключевые слова:

Надуксусная кислота, пероксидно-ацетатный метод, целлюлоза, варка, солома льна, отходы льняного производства.

Введение

В настоящее время отходы льняного производства не находят применения и как правило сжигаются нанося вред окружающей среде.

Получение целлюлозы пероксидно-ацетатным методом помогает решить проблему с отходами льняного производства, поскольку полученная целлюлоза обладает высокими показателями качества и может применяться в медицинской отрасли для получения медико-гигиенических изделий.

Также предложенная методика может являться альтернативой для применяемых в настоящем способов получения целлюлозы из древесины. Поскольку цивилизованный мир озабочен массовой вырубкой лесов.

Вместе с тем такое однолетнее растение как лён в год дает в 8 раз больше целлюлозы, чем самое быстрорастущее в нашей климатической зоне дерево – тополь.

Из-за ограничений вырубки леса, в связи с этим нехваткой целлюлозы в России большинство заводов по производству вискозы остановлены. В тоже время сырьем для производства вискозы может быть технический лен. Однако, технологии для массового производства такой целлюлозы в России нет. Не определены и требования к льняному сырью для получения целлюлозы и после-

дующего ее использования, например, в памперсы.

Экспериментальная часть

Объектом исследования была солома льна-долгунца выращенного в Тверской области урожая 2014 года.

Подобные исследования пероксидно-ацетатного метода были рассмотрены в работах [1, 2] на примере иных растительных материалов. Из указанных источников была взята методика проведения лабораторных исследований.

В лабораторных условиях проводилась варка соломы пероксидно-ацетатным методом в трехгорлой колбе при постоянном перемешивании. Предварительно измельченные, высушенные и взвешенные образцы соломы варились в растворе надуксусной кислоты и серной кислоты в качестве катализатора.

Процесс варки длился от 60 до 120 минут, при температуре от 70 до 100°C, при различных гидромодулях. Выход получаемой целлюлозы из соломы льна около 40–45% при этом солома обладает отменными показателями белизны и качества (рис. 1).

В процессе варки происходит процесс делигнификации – это разрушение и вымывание компонентов лигнина из целлюлозы под действием надуксусной кислоты.



Рисунок 1. Целлюлоза из соломы льна.

Таблица 1.

	Гидромодуль 10:1	Гидромодуль 9:1	Гидромодуль 8:1	Гидромодуль 7:1	Гидромодуль 6:1
α-целлюлоза, %	87	91	94	96	98
Белизна, %	126	113	114	100	98

По результатам проводимых испытаний согласно ГОСТ 6840–78 и ГОСТ 30437–96 (метод определения содержания альфа–целлюлозы и метод определения белизны) со снижением гидромодуля увеличивается содержание альфа целлюлозы, но снижается показатель белизны. Тем не менее, полученные образцы дают достаточно высокие показатели по обоим параметрам, что говорит о высоком качестве получаемой продукции.

Благодаря своему химическому составу солома льна является сырьем, которое не нуждается в обработке агрессивными химическими реагентами, как это происходит в случае с древесиной (сульфатные и сульфитные варки).

Выводы

В настоящее время изучены различные способы переработки лубяного сырья с целью получения целлюлозы, однако методик по применения льняного сырья для данных целей отсутствуют.

Полученные образцы целлюлозы обладают высокими показателями качества и могут находить применение в различных областях промышленности нашей страны, тем самым развивая возможности сельскохозяйственных агрокомплексов российской Федерации, а также усиливая производство отечественной продукции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Минакова А.Р. Получение целлюлозы окислительно–органоосольвентным способом при переработке недревесного растительного сырья. Дисс. к. т. н. – Архангельск, 2008. – с.151
2. Дейкун І.М., Пойда В.В., Барбаш В.А.. Одержання целюлози із соломи ріпаку окисно–органоосольвентним способом делігніфікації.//Навукові вісті НТУУ "КПІ" – 2010 – № 2 – с.148.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ ПО ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИМ ФРАКЦИЯМ ПОЧВ НА УСЛОВНО "ФОНОВЫХ" ТЕРРИТОРИЯХ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

INVESTIGATION OF ARTIFICIAL RADIONUCLIDES IN PARTICLE-SIZE FRACTION OF SOILS AT CONDITIONALLY "BACKGROUND CONTAMINATED" AREAS OF SEMIPALATINSK TEST SITE

*A. Kabdyrakova
A. Kunduzbayeva
S. Lukashenko
N. Larionova
T. Baiserkenova
A. Mendubaev*

Annotation

Peculiarities of artificial radionuclides distribution in particle-size fractions of soils at conditionally "background contaminated" territories of Semipalatinsk Test Site (STS) and fallout plumes of ground nuclear explosions conducted 24.09.1951 and 12.08.1953 (thermonuclear) at the test site are examined. Conditionally "background contaminated" territories are some parts of Semipalatinsk Test Site territory where nuclear tests were not conducted but radiation situation was caused by local and global fallouts. Enrichment factor (EF) was used for quantitative assessment of radionuclides distribution in particle-size fractions of soils which was calculated as a ratio of particle-size fraction-to-soil activity concentrations. On the conditionally "background contaminated" territories the rising trend of activity concentrations of radionuclides and the highest accumulation in fraction <1 μm were revealed (EF = 1,9–3,9). On the fallout plumes of ground nuclear explosions fractions enriched with radionuclides were identified. The size of enriched fraction on the fallout plume of ground nuclear explosion of 24.09.1951 is 40–8 μm, on the fallout plume of ground nuclear explosion of 12.08.1953 г – 500–250 μm. The average values of EF are 1,7–2,2 and 1,5–3,0 respectively. The signs of presence of enriched fractions were also observed on the conditionally "background contaminated" territories what can indicative of ground nuclear explosions impact on this territories. Alternative method of calculation of radionuclide's activity concentrations in air by using average value of EF, average activity concentration in soils and average annual dustiness of air was suggested.

Keywords: artificial radionuclides, distribution, soil, particle-size fractions, Semipalatinsk Test Site, conditionally "background contaminated" territories, fallout plumes.

*Кабдыракова Алуа Мырзагазиновна
Нач. лаборатории
Кундузбаева Асия Еркебековна
Нач. лаборатории
Лукашенко Сергей Николаевич
Рук. филиала – зам. Ген. директора
Ларионова Наталья Владимировна
Нач. лаборатории
Байсеркенова Тогжан Нурматовна
Инженер
Меньдубаев Аян Тюлюгенович
Инженер*

Филиал "Институт радиационной безопасности и экологии" Республиканского Государственного Предприятия "Национальный Ядерный Центр Республики Казахстан", Курчатов, Казахстан

Аннотация

Рассмотрены особенности распределения искусственных радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ по гранулометрическим фракциям почвы на условно "фоновых" территориях Семипалатинского испытательного полигона (СИП) и следах радиоактивных выпадений от наземных ядерных испытаний, проведенных 24.09.1951 г. и 12.08.1953 г. (термоядерный) на полигоне. Условно "фоновые" территории это части территории СИП, непосредственно на которых не проводились ядерные испытания, но радиационная обстановка обусловлена местными и глобальными выпадениями. Для количественной оценки распределения искусственных радионуклидов по гранулометрическим фракциям почвы был использован безразмерный параметр – коэффициент обогащения (K_0), определяемый как отношение удельной активности радионуклида в гранулометрической фракции к удельной активности того же радионуклида в соответствующей исходной почве. На условно "фоновых" территориях выявлена тенденция роста концентрации радионуклидов с уменьшением размеров фракции и наибольшего накопления во фракции размером <1 мкм ($K_0 = 1,9–3,9$). На следах радиоактивных выпадений наземных испытаний выявлены "обогащенные" радионуклидами фракции – носители активности характерных размеров. На следе наземного испытания от 24.09.1951 г размер "обогащенной" фракции составляет 40–8 мкм, на следе термоядерного взрыва, произведенного 12.08.1953 г – 500–250 мкм. Средние значения K_0 , составляют 1,7–2,2 и 1,5–3,0 соответственно. Признаки присутствия "обогащенных" фракций также отмечены на условно "фоновых" территориях, свидетельствующие о воздействии наземных ядерных испытаний на данные территории. Предложен альтернативный расчетный способ определения объемной активности искусственных радионуклидов в воздухе используя значения K_0 фракций почвы размером <10 мкм, среднее содержание радионуклидов в почве и среднюю запыленность воздуха.

Ключевые слова:

Искусственные радионуклиды, распределение, почва, гранулометрические фракции, Семипалатинский испытательный полигон, условно "фоновые" территории, следы выпадений

Введение

Атмосферные выпадения радиоактивных веществ на земную поверхность в зависимости от их дисперсности и форм нахождения радионуклидов формируют определенный характер распределения последних между структурными компонентами почвы. Особенности взаимодействия радионуклидов с компонентами почвенного комплекса определяют их миграционную способность и темпы включения в остальные экологические звенья.

Анализ литературных данных показал, что множество авторов отмечают наибольшее концентрирование радионуклидов в тонких почвенных фракциях. Исследователями США и Казахстана в разное время исследований было обнаружено, что в зонах локальных выпадений (следов) от ядерных взрывов по мере отдаленности от эпицентра взрыва количество Рu в тонких фракциях почвы возрастает. Так, на участках следа взрыва "Тринити" в шт. Нью-Мексико (США) на расстояниях от 1 до 45 км доля активности Рu во фракции размером <53 мкм возросла от 0,8 % до 73% [1]. На расстоянии более 100 км от эпицентра термоядерного взрыва 1953 г (село Саржал) на Семипалатинском испытательном полигоне (Казахстан) содержание $^{239+240}\text{Pu}$ во фракции почвы <100 мкм достигало 95 % от удельной активности [2].

Обогащение тонких почвенных фракций (<100 мкм) радионуклидами отмечено и в местах, подвергшихся загрязнению в результате аварий на АЭС (Чернобыль, Ураина; Фукусима, Япония) [3], [4], [5]. Наряду с этим обогащена радионуклидами чернобыльских выпадений и крупная фракция размером >500 мкм. Авторы [1] выражают мнение, что причиной отмечаемого факта является сорбция крупными почвенными частицами и агрегатами или мелкими растительными остатками и органическим веществом почвы высокоактивных аэрозольных частиц более мелкого класса дисперсности.

Факты аккумуляции радионуклидов в тонких фракциях почвы также установлены в зонах влияния объектов атомной промышленности и исследовательских лабораторий (Красноярский горно-химический комбинат (Россия), Лос-Аламосская национальная лаборатория (США)) [6], [7].

В результате различных ядерных испытаний на Семипалатинском испытательном полигоне (Казахстан) продукты взрыва поступали в окружающую среду в виде высокоактивных полидисперсных частиц. Ранее проведенные исследования распределения долгоживущих искусственных радионуклидов как ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ по гранулометрическим фракциям почвы на полигоне в основном были приурочены к местам с довольно высоким уровнем радиоактивного загрязнения и носили эпизодический характер.

Изучение распределения радионуклидов по гранулометрическим фракциям почвы имеет существенное значение для оценки реального риска загрязнения воздушного бассейна, ингаляционной опасности тех или иных радиационноопасных объектов, вторичного ветрового переноса радиоактивных веществ, особенно трансуранических радионуклидов, поступающих в организм в основном ингаляционно. Целью данной работы являлась определение особенностей распределения основных дозобразующих радионуклидов Семипалатинского испытательного полигона по почвенным фракциям различной степени дисперсности на некоторых его условно "фоновых" территориях.

456 ядерных испытаний, проведенных с 1949 по 1989 годы, обусловили современное радиоэкологическое состояние Семипалатинского испытательного полигона (СИП). Территория Семипалатинского испытательного полигона занимает площадь 18,3 тыс. км², из которых лишь около 10% приходится на долю основных испытательных площадок. Непосредственно на всей остальной части территории СИП какие-либо ядерные испытания не проводились. Данные территории получили название "условно "фоновые" территории".

1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

1.1. Объекты исследования.

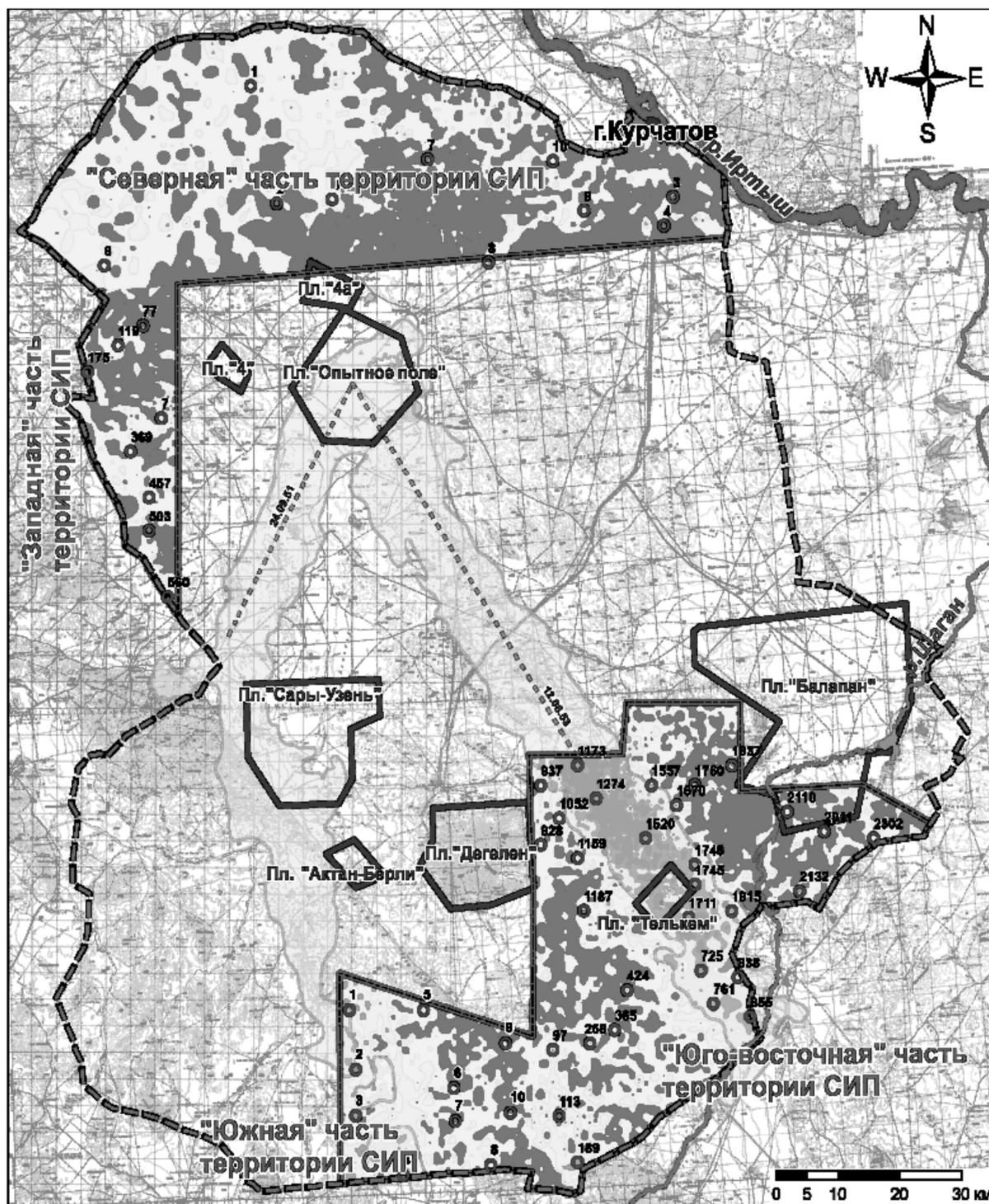
Объектом исследования являлись условно "фоновые" "северной", "западной", "юго-восточной" и "южной" территорий СИП. Географическое расположение исследованных территорий, карта площадного распределения удельной активности ^{137}Cs в почвенном покрове и схема расположения точек отбора проб почвы представлены на Рис. 1.

1.2. Отбор проб.

Для исследований отбирались пробы верхнего 5 см слоя почвы методом "конверт" или точно. Площадь отбора составляла 600–800 см². Масса отобранных образцов составляла в среднем около 3 кг. В каждой точке отбора определялись географические координаты (широта и долгота) с помощью GPS – навигатора (Garmin), также измерялись мощность экспозиционной дозы (МЭД) и плотность потока β -частиц с использованием дозиметра-радиометра МКС-АТ 6130 фирмы "Атомтех". Общая схема расположения точек отбора проб на исследуемых территориях представлена на Рис. 1.

1.3. Подготовка образцов к анализу.

Образцы почвы высушивались в сушильном шкафу при температуре не более 60 оС. Из высушенного образца почвы удалялись крупные камни и растительные включения, после чего сухая проба пропусклась через сито с размером ячеек 1 мм.



Условные обозначения

	граница СИП		Удельная активность, Сз-137, Бк/кг
	границы исследуемой территории		<15
	границы испытательных площадок		15-30
	изолиния 0,25 Ки/кв. км, Сз-137		30-60
	ось следа ядерного испытания		60-120
	точки отбора проб		>120

Рисунок 1. Схема расположения точек отбора проб на условно "фоновых" территориях СИП.

1.4. Фракционирование почвы.

При исследовании гранулометрического (зернового) состава и разделении почв на гранулометрические фракции были последовательно использованы два метода: "мокрый" ситовой рассев и седиментация. Методом "мокрого" ситового отсева были выделены фракции 1000–500; 500–250; 250–100; 100–63, 63–40 мкм, седиментационным методом – фракции 40–8 мкм, 8–5 мкм, 5–1 мкм и <1 мкм.

Выделенные седиментационным методом гранулометрические фракции почвы исследовались под оптическим микроскопом с целью определения размеров частиц и чистоты выделения фракции. Размеры частиц определялись с помощью микроной сетки. На рис. 2 представлены фрагменты микрофотографий исследованных образцов фракций.

1.5. Радионуклидный анализ.

В каждой выделенной фракции определялось содержание исследуемых радионуклидов.

Определение содержания радионуклидов ¹³⁷Cs и ²⁴¹Am проводилось гамма-спектрометрическим методом, ⁹⁰Sr и ²³⁹⁺²⁴⁰Pu – радиохимическим согласно стандартным методикам [8], [9], [10].

2. РЕЗУЛЬТАТЫ

2.1. Гранулометрический состав исследованных почв.

При изучении распределения радионуклидов в гранулометрических фракциях почвы наибольший интерес представлял почвенный мелкозем (фракция меньше 1000 мкм), а каменистая фракция (10000–1000 мкм) была отсеяна и исключена из дальнейших исследований. Массовая доля (ω, %) каждой гранулометрической фракции входящей в состав почвенного мелкозема была определена от общей массы сухого образца.

Результаты гранулометрического анализа почв исследованных территорий представлены в Табл. 1.

Таблица 1.

Содержание гранулометрических фракций в почвах "северной" и "западной" территорий СИП, %.

Фракция, мкм	"Северная" территория (n=10)			"Западная" территория (n=8)			"Юго-восточная" территория (n=30)			"Южная" территория (n=10)					
	мин.	макс.	среднее	мин.	макс.	среднее	мин.	макс.	среднее	мин.	макс.	среднее			
1000-500	40,6	63,7	52,5	41,4	70,5	53,9	14	39,2	25,4	28,8	55,9	40,3			
500-250	4,2	13,6	9,6	7,91	13,3	11	10,2	24,9	17,3						
250-100	6,5	15,4	9,7	5,3	12,5	8,5	9,3	22	16,1	23,1	44,9	32,5			
100-63	13,8	31,3	22,3	11,5	24,4	17,7	4,2	21,2	11,3						
63-40							3,4	14,8	9,3						
40-8							5,4	16,1	10,6				4,3	12,5	7,8
8-5							3,1	11,6	7				2,7	8,13	5,6
5-1							4,3	9,4	6,4				3,5	9,2	6,4
<1							0,5	3,7	2,1	1,5	3,5	2,4			

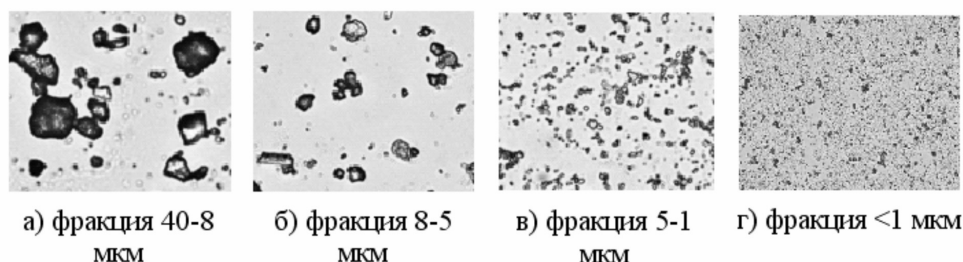


Рисунок 2. Внешний вид пылевых фракций почвы различного размера, увеличенный в 400 раз.

Гранулометрический анализ показал, что почвы исследованных территорий с поверхности характеризуются преобладанием песчаной фракции, составляющей около 70% массы почвы. На долю пылеватой и илистой фракций приходится оставшаяся массовая часть почвы. Массовая доля илистой фракции (<1 мкм) низка и варьирует в пределах 0,5–3,5%.

2.2. Концентрация искусственных радионуклидов в почве.

Оценка содержания радионуклидов ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ²⁴¹Am и ²³⁹⁺²⁴⁰Pu в исходных почвах проводилась как аналитическим, так и расчетным способом. Расчет удельной активности радионуклидов в почве проводился по содержанию радиоизотопов в каждой выделенной фракции почвы с учетом их массы согласно следующей формуле:

$$\bar{A}_{y\phi}^n = \frac{\sum_{i=1}^i A_{y\phi i}^{\phi} \times m_i^{\phi}}{m^n},$$

- где
 $A_{y\phi}$ – удельная активность радионуклида в почве, Бк/кг;
 $A_{y\phi i}^{\phi}$ – удельная активность радионуклида в i-й гранулометрической фракции, Бк/кг;
 m_i^{ϕ} – масса i-й гранулометрической фракции, кг;
 m^n – масса аналитического образца почвы, кг.

Воспроизводимость результатов аналитического и расчетного определения удельной активности радионуклидов в почве составляла в среднем 80%. При оценке распределения радионуклидов по гранулометрическим фракциям почвы использовались расчетные удельные активности радионуклидов в исходной почве.

В Табл. 2 представлены средние значения удельных активностей радионуклидов в почвах исследованных территорий.

2.3. Распределение радионуклидов по гранулометрическим фракциям почвы.

Для количественной оценки распределения искусственных радионуклидов ¹³⁷Cs, ²⁴¹Am, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu и ⁹⁰Sr по гранулометрическим фракциям почвы был использован безразмерный параметр – коэффициент обогащения (K_o), определяемый как отношение удельной активности радионуклида в гранулометрической фракции () к удельной активности того же радионуклида в соответствующей исходной почве

$$(\bar{A}_{y\phi}^n) : K_o = A_{уд.}^{фр.} / \bar{A}_{уд.}^п.$$

Данный параметр является показателем степени обогащенности или обедненности гранулометрических фракций относительно среднего содержания радионуклидов в почве. Значение $K_o > 1$ свидетельствует о концентрировании радионуклидов в данной фракции, а при $K_o < 1$ фракция обеднена радиоизотопами.

2.3.1. Распределение радионуклидов по гранулометрическим фракциям почвы на условно "фоновых" участках.

Распределение искусственных радионуклидов между гранулометрическими фракциями почвы условно "фоновых" территорий более наглядно представлены в графическом виде на рис. 2–8.

Распределение радионуклидов по гранулометрическим фракциям почвы на всех исследованных условно "фоновых" участках имеет общую тенденцию возрастания концентрации радионуклидов в тонких почвенных фракциях. Наряду с этим, во всех исследованных территориях также проявляется некоторое увеличение значения K_o в некоторых фракциях почвы, свидетельствующее об их обогащенности искусственными радионуклидами. Повышенные значения K_o отмечается во фракциях 500–

Таблица 2.

Средние удельные активности ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ²⁴¹Am и ²³⁹⁺²⁴⁰Pu в почвах исследованных территорий, Бк/кг.

Радионуклид	Территория					
	условно "фоновые" территории				следы	
	Северная (n=10)	Западная (n=8)	Юго-восточная (n=17)	Южная (n=6)	След термоядерного взрыва 12.08.1953 г (n=12)	След наземного взрыва 24.09.1951 г (n=4)
¹³⁷ Cs	25	31	43	42	190	115
⁹⁰ Sr	31	5,9	45	5,6	720	20
²⁴¹ Am	1,7	1,3	2,0	<3	2,4	<3
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	8,6	8,6	15	13	48	39

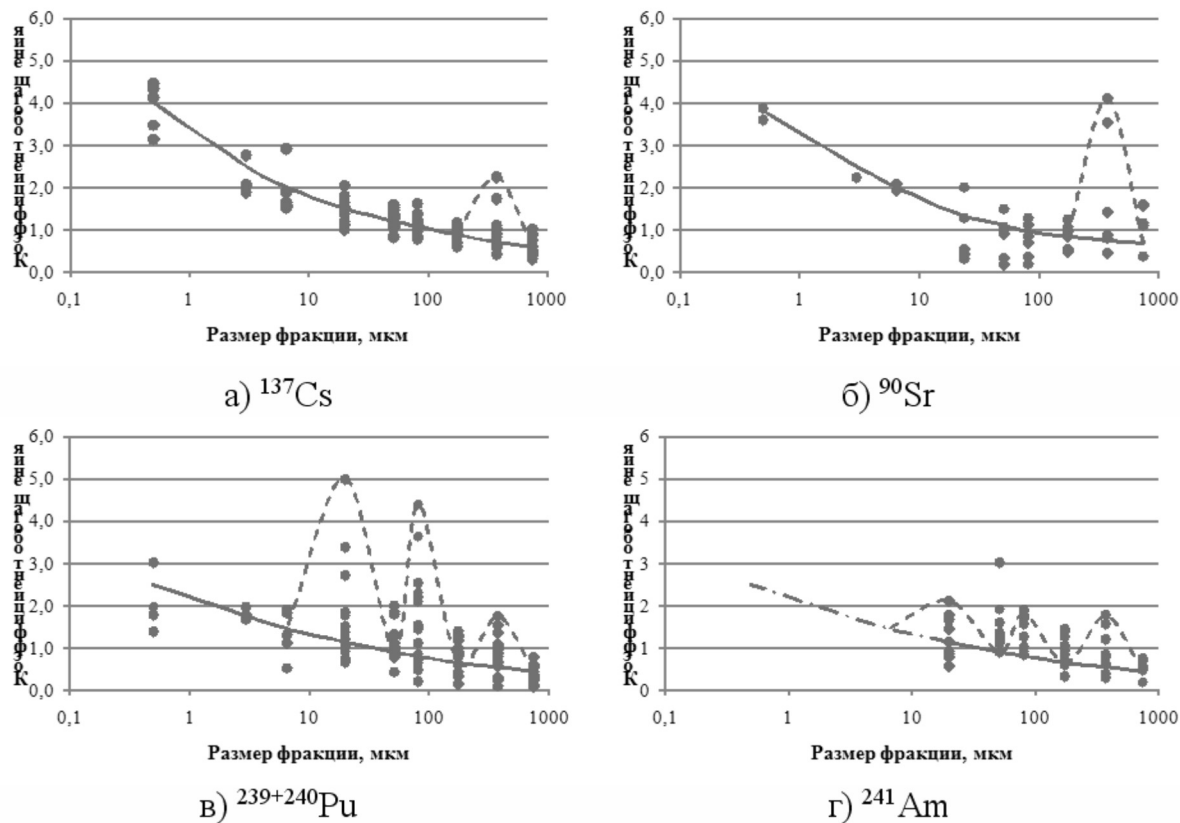


Рисунок 3. Распределение искусственных радионуклидов в гранулометрических фракциях почвы юго-восточной части СИП.

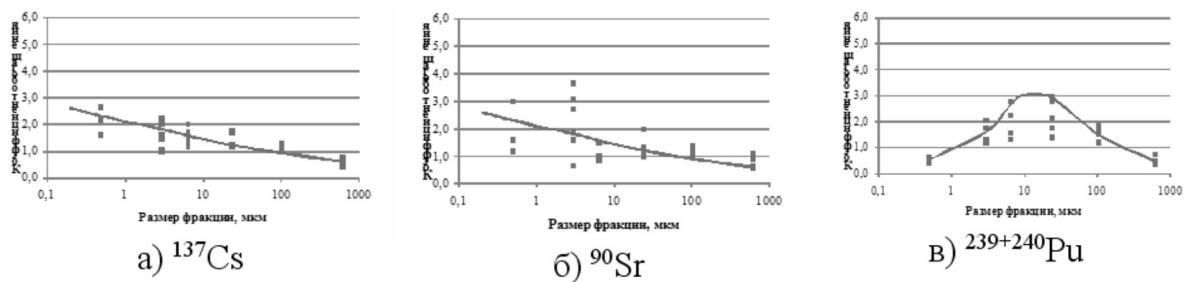


Рисунок 4. Распределение искусственных радионуклидов в гранулометрических фракциях почвы южной части СИП.

250 мкм, 100–63 мкм, 40–8 мкм и 40–5 мкм. Фракция размером 500–250 мкм отмечена во всех исследованных условно "фоновых" территориях, фракция 100–63 мкм и 40–8 мкм – только на "юго-восточной" территории, а фракция 40–5 мкм – на "южной" территории.

2.3.2. Распределение радионуклидов по гранулометрическим фракциям почвы на следах ядерных взрывов. Исследованные территории претерпели в различной сте-

пени воздействие и наземных испытаний, проведенных 29.08.1949 г (первый атомный), 24.09.1951 г и 12.08.1953 г (термоядерный) на площадке "Опытное поле". Следы радиоактивных выпадений двух взрывов расположены на "южной" (24.09.1951 г.) и "юго-восточной" (12.08.1953 г) территориях [11], [12], [13].

Графики распределения радионуклидов по гранулометрическим фракциям почвы на следах представлены на Рис. 7 и Рис. 8.

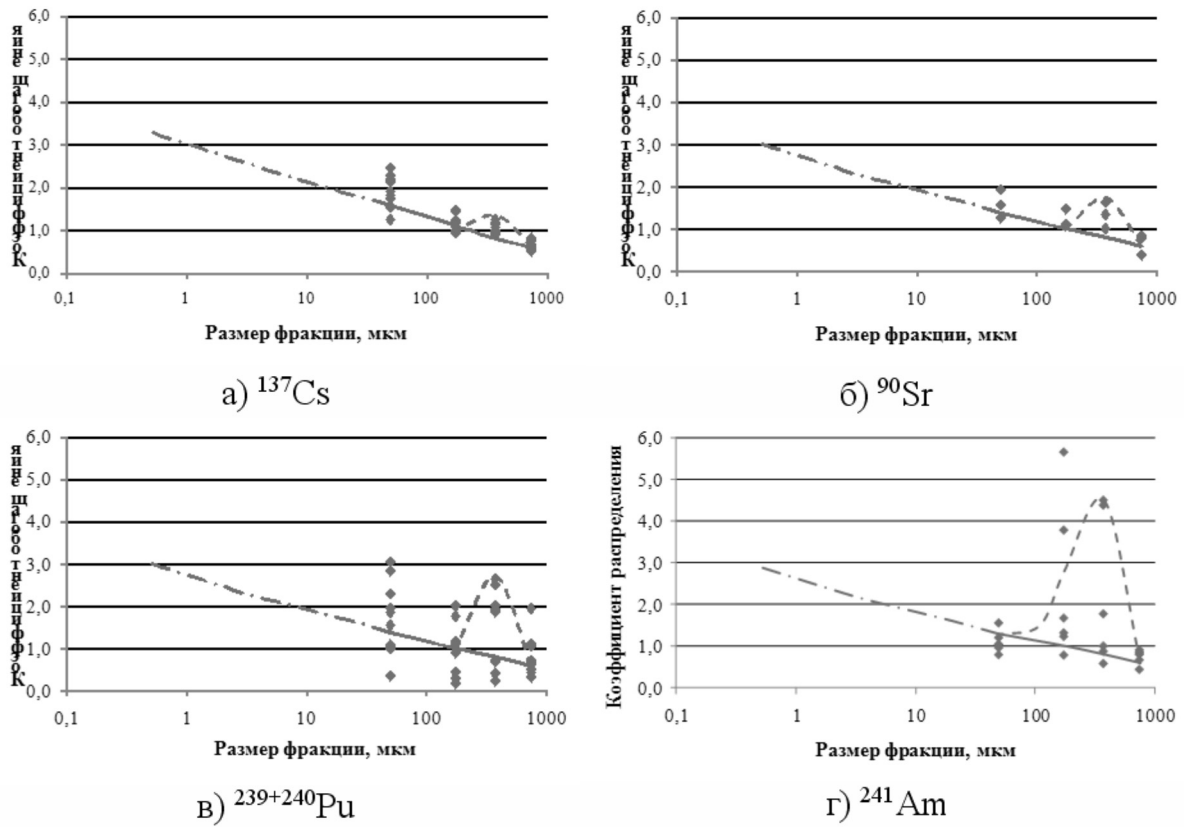


Рисунок 5. Распределение искусственных радионуклидов в гранулометрических фракциях почвы северной территории СИП.

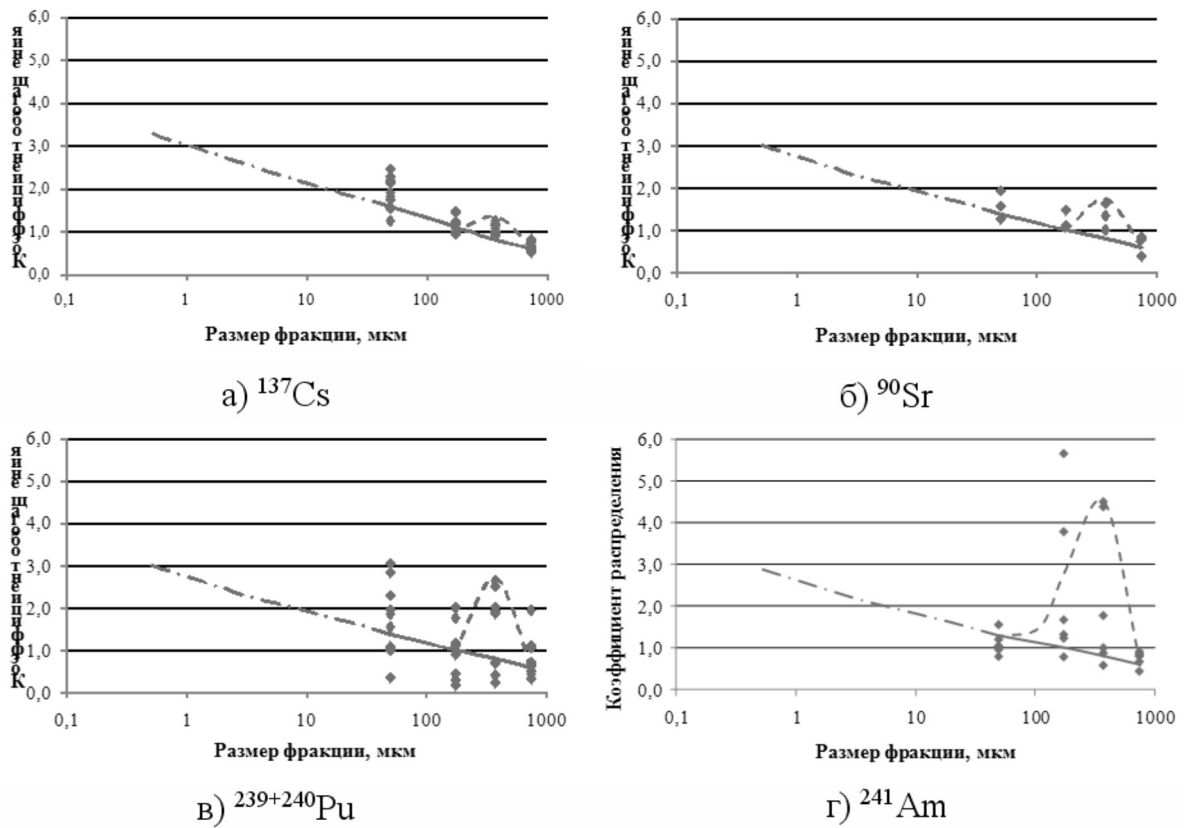


Рисунок 6. Распределение искусственных радионуклидов в гранулометрических фракциях почвы западной территории СИП.

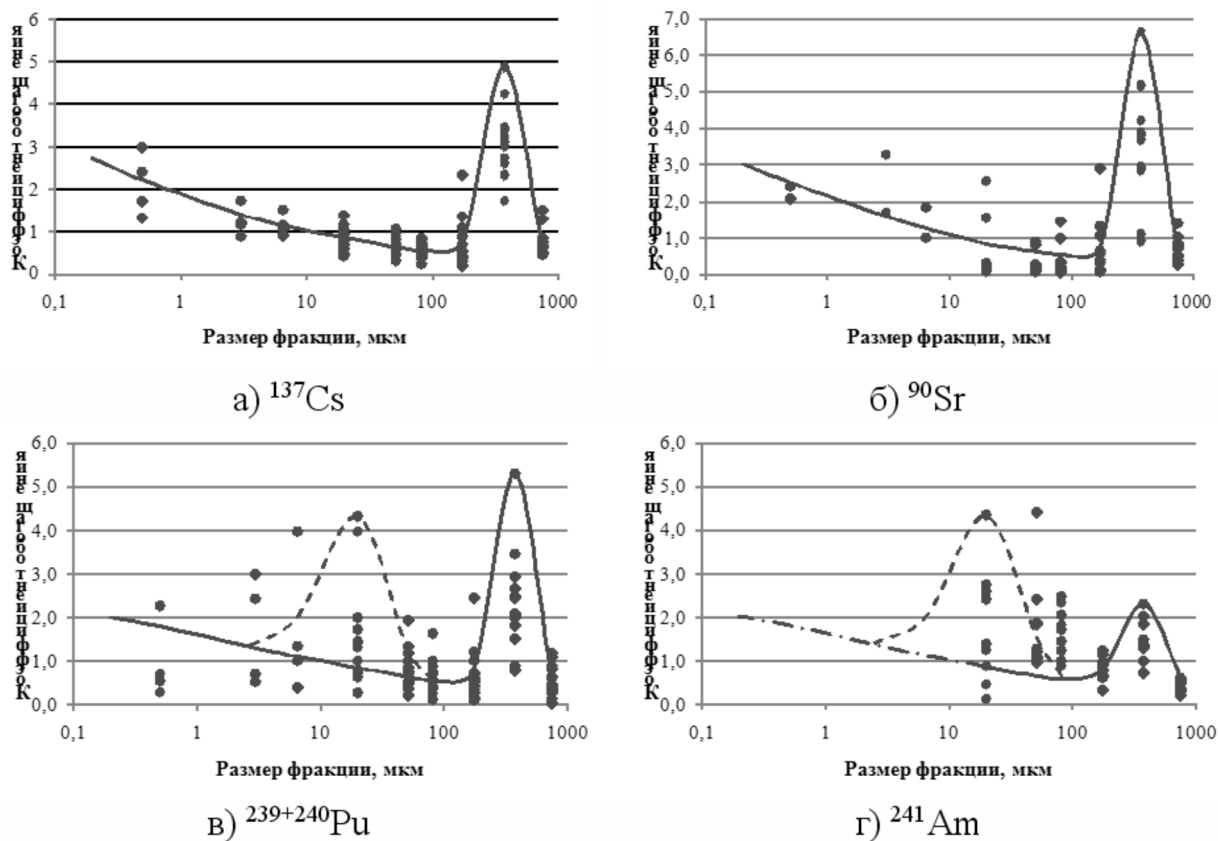


Рисунок 7. Распределение искусственных радионуклидов в гранулометрических фракциях почвы на следе термоядерного взрыва 1953 г.

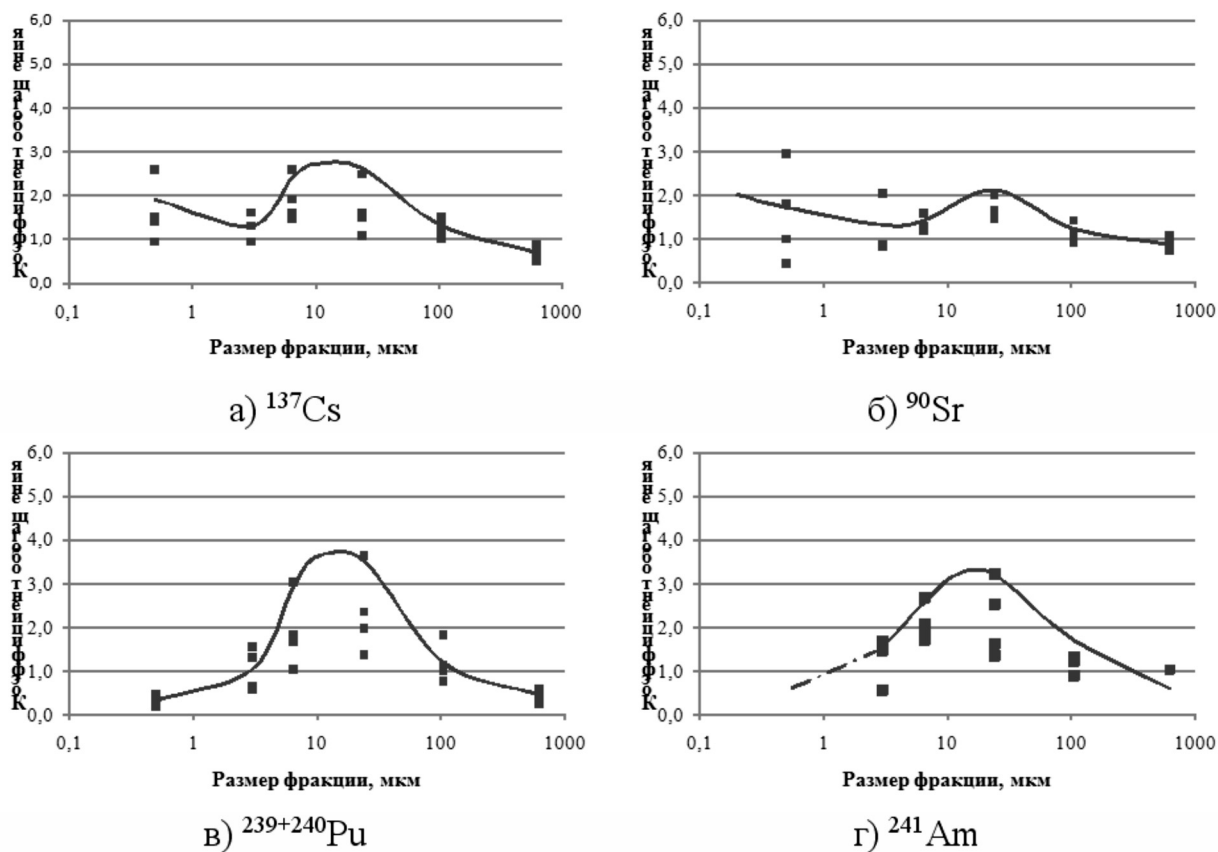


Рисунок 8. Распределение искусственных радионуклидов в гранулометрических фракциях почвы на следе наземного испытания 1951 г.

Результаты исследования показали, что на исследуемых следах наземных испытаний в почве обнаруживаются некоторые фракции, в наибольшей степени обогащенные радионуклидами. Так, на исследуемом участке следа термоядерного взрыва (70–100 км от эпицентра взрыва) существенное концентрирование всех исследуемых радионуклидов отмечается во фракциях 500–250 мкм, $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{241}Am к тому же и во фракции 40–8 мкм (рис. 2). В свою очередь, "обогащенная" фракция, обнаруженная на следе наземного испытания 24.09.1951 г, имеет размер частиц от 40 до 5 мкм.

Помимо наличия "обогащенной" фракции также наблюдается тенденция увеличения концентрации радионуклидов с уменьшением размера фракций. Данную тенденцию более отчетливо можно увидеть на примере следа термоядерного испытания (Рис. 7).

3. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Известно, что формирование радиоактивных выпадений при ядерном взрыве обусловлено образованием радиоактивных частиц (носителей активности) в результате физико-химических, ядерно-физических процессов, протекающих в светящейся области взрыва.

Исходя из этого, наличие в исследуемых почвах фракций, обогащенных искусственными радионуклидами, по-видимому, связано с присутствием в них радиоактивных частиц вышеупомянутых наземных ядерных взрывов. Альфа-авторадиографические исследования, проведенные коллегами из НП "Лаборатория анализа микрочастиц" (Москва, Россия) нескольких образцов 500–250 мкм фракции почвы на следе термоядерного взрыва 12.08.1953 г показали, что одиночные альфа-треки на экспонированных детекторах оставлены отдельными частицами. На Рис. 9 показана характерная область с треками на поверхности одного из детекторов.

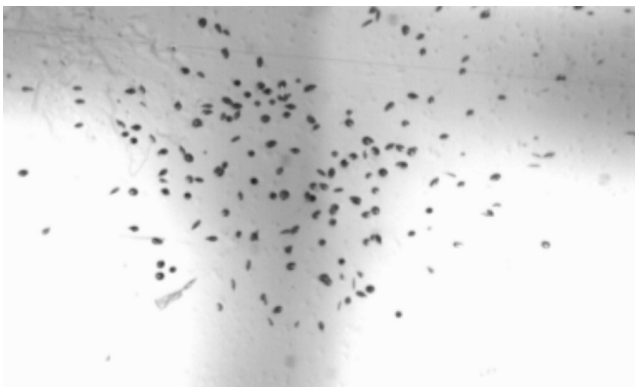


Рисунок 9. Фрагмент детектора, экспонированного над препаратом фракции почвы 500-250 мкм, отобранной на следе термоядерного взрыва 1953 г.

Как уже было отмечено в предыдущем разделе, кроме присутствия в почве определенных "обогащенных фракций" (радиоактивных частиц) распределение радиоизотопов по гранулометрическим фракциям почвы характеризуется увеличением их концентрации с уменьшением размера почвенных частиц. Такая тенденция наиболее характерна для "фоновых" территорий, хотя, как показали результаты, может иметь место и на следах радиоактивных выпадений ядерного испытания. Непрерывно повторяющиеся процессы поглощения (сорбция) и обратного перехода в раствор (десорбция) в почве приводят к перемещению нуклидов, рассеиванию или концентрированию. Так как, сорбционно-десорбционные процессы в почве протекают в гетерогенной системе, концентрация радионуклидов возрастает прямо пропорционально удельной поверхности частиц, т.е. чем меньше фракция, тем больше она концентрирована радионуклидами.

Накопление активности техногенных радионуклидов в тонких почвенных фракциях может быть обусловлено не только их "сорбционно-десорбционным перераспределением", но и выпадением тонкодисперсных частиц-носителей радиоактивности, образованных при воздушных ядерных взрывах. По некоторым экспериментальным данным размеры таких частиц распределены в диапазоне от 0,01 до 40 мкм.

Сравнительный анализ распределения радионуклидов по гранулометрическим фракциям показал, что размеры "обогащенных фракций" выявленных на следах наземных испытаний совпадают с размерами фракций с повышенными значениями K_0 на прилегающих к ним условно "фоновых" территориях (рис. 10).

Из рис. 10 видно, что на следе термоядерного испытания выявляются две специфические (обогащенные) фракции – 500–250 мкм и 40–8 мкм. Фракция 500–250 мкм отмечается повсеместно как на следе, так и на прилегающей к ней условно "фоновой" юго-восточной территории. Фракция же размером 40–8 мкм выявлена лишь на северо-восточной периферии следа (т. 1557, 1748, 1670, 1915) и в нескольких точках на юго-восточной территории (т. 2110, 2011, 2302). В этих точках в почве имеются две обогащенные фракции одновременно – 500–250 мкм и 40–8 мкм.

Наряду с этим, в почвах условно "фоновой" юго-восточной территории присутствует значительно обогащенная плутонием фракция размером 100–63 мкм, которая не выявлена на термоядерном следе (т. 97, 113, 189, 1187, 424, 2132, 1760). Данный факт может свидетельствовать о том, что имеется еще один неидентифицированный источник радиоактивного загрязнения юго-восточной территории СИП, кроме термоядерного взрыва.

Несмотря на то, что граница между юго-восточной и

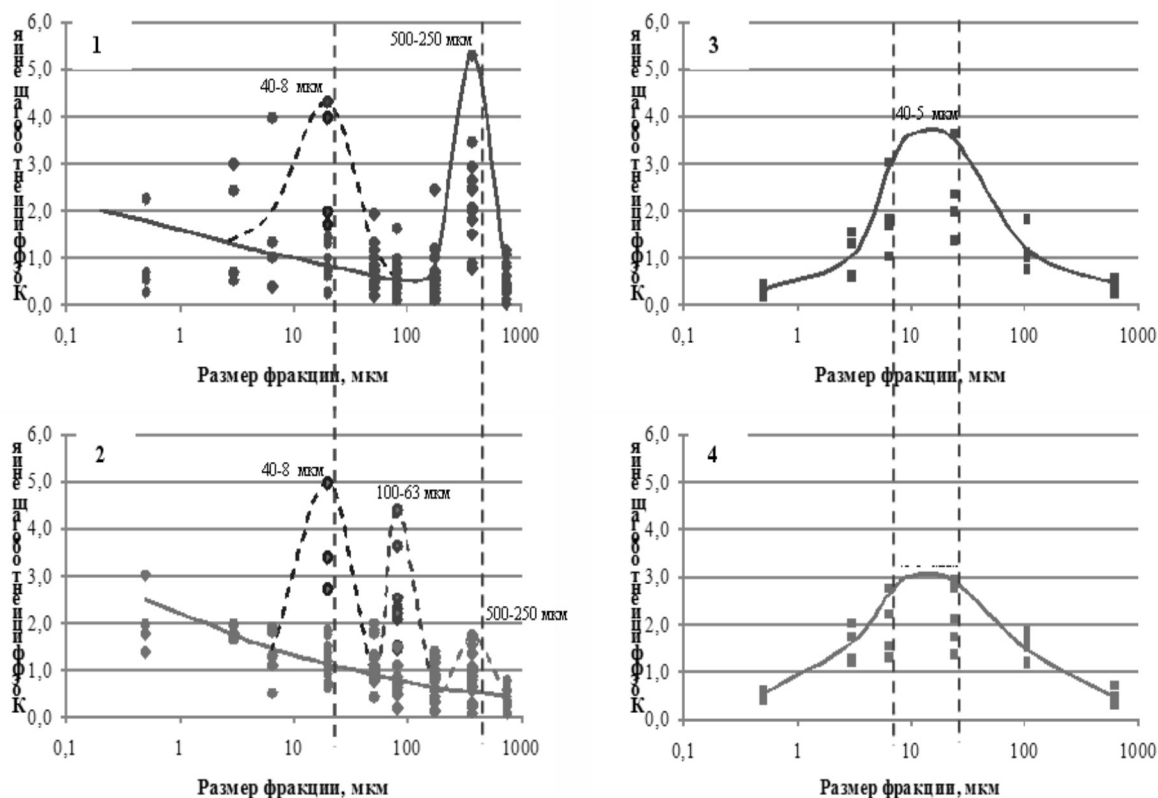


Рисунок 10. Распределение $^{239+240}\text{Pu}$ по гранулометрическим фракциям почвы на следе термоядерного взрыва 12.08.1953 г. (1) и прилегающей к нему юго-восточной территории (2), на следе наземного взрыва 24.09.1951 г. (3) и прилегающей к нему южной территории (4).

южной частей СИП условная, на территории последней выявлена лишь одна "обогащенная фракция" (40–5 мкм), присутствующая как на следе наземного взрыва 1951 года, так и в условно "фоновой" области (рис. 10).

Из сказанного следует, что вероятнее всего исследованная южная часть территории СИП претерпела воздействие лишь наземного ядерного испытания, проведенного 24.09.1951 года.

Представленные выше факты дают основание полагать, что распределение радионуклидов по почвенным гранулометрическим фракциям может послужить дополнительным диагностирующим признаком происхождения радиоактивного загрязнения почвы.

Таким образом, в большинстве рассмотренных случаев установлен факт наличия почвенных фракций обогащенных/обедненных радионуклидами. Степень обогащения/обеднения лежит в диапазоне значений от 0,1 до 5,0. Средние значения K_0 наиболее обогащенных фракций, характерных для некоторых территорий представлены в Табл. 3.

Следует отметить, что фактов наличия фракций с "аномально" высоким обогащением искусственными радионуклидами не выявлено. Максимальное значение K_0 , полученное в ходе исследования не превысило 5,0.

Опираясь на массив статистических данных ($n=58$), использованных в данных исследованиях, можно сказать, что чрезмерно высокого обогащения радионуклидами гранулометрических фракций почвы, в том числе и ингаляционноопасных (<10 мкм), не ожидается. Однако, не исключается возможность колебания значений K_0 в небольшом диапазоне в зависимости от изменения массовой доли гранулометрических фракций в почве, т.е. уменьшение массовой доли фракции может привести к ее большему обогащению или наоборот.

Наличие информации о величине K_0 гранулометрических фракций позволяет предложить альтернативный расчетный способ определения содержания искусственных радионуклидов в воздухе. Кроме значений K_0 фракций для расчета необходимы среднее содержание искусственных радионуклидов в почве и средняя запыленность воздуха, что определяется достаточно просто.

Таблица 3.

Средние значения коэффициентов обогащения фракций.

Территория	Фракция, мкм	Радионуклид			
		^{137}Cs	^{90}Sr	$^{239+240}\text{Pu}$	^{241}Am
Юго-восточная (n=6)	<1	3,9	3,6	2,1	3,3
Южная (n=6)	<1	2,1	1,9	0,5	-
След ТЯ взрыва 12.08.1953 г (n=13)	500-250	3,0	3,3	2,6	1,5
След наземного взрыва 24.09.1951 г (n=4)	40-8	1,7	1,5	2,3	2,2

Формула для расчета объемной активности радионуклидов в воздухе имеет следующий вид:

$$C_{air} = C_{soil} \cdot K_o \cdot \rho_{sus} \cdot 10^{-9}$$

где:

C_{air} – объемная активность радионуклидов в воздухе, Бк/м³

C_{soil} – средняя удельная активность радионуклидов в почве, Бк/кг

K_o – коэффициент обогащения гранулометрической фракций почвы

ρ_{sus} – среднегодовая запыленность воздуха, мкг/м³

10^{-9} – коэффициент пересчета кг в мкг

Для оценки содержания радионуклидов в воздухе наиболее значимо значение K_o фракций <10 мкм, так как она считается потенциально ингаляционноопасной.

В результате проведенных исследований можно дать следующие рекомендации для дальнейшего исследования распределения радионуклидов по гранулометричес-

ким фракциям почвы СИП.

Решение о необходимости подробного исследования распределения радионуклидов по гранулометрическим фракциям почвы необходимо принимать исходя из характера радионуклидного загрязнения местности:

1. при условии отсутствия следов радиоактивных выпадений от ядерных испытаний и/или локальных загрязнений можно ожидать, что наибольшая концентрация радионуклидов будет сконцентрирована в тонких фракциях почвы. В данной ситуации можно провести лишь несколько заверочных исследований, сократив количество выделяемых фракций до необходимого минимума;

2. в случае если на местности имеются признаки наличия следов радиоактивных выпадений и/или локальных загрязнений целесообразно провести детальные исследования, так как имеется вероятность того, что в почве может присутствовать специфическая "обогащенная" фракция.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трансурановые элементы в окружающей среде: Пер. с англ./Под ред. У.С. Хэнсона. М.: Энергоатомиздат, 1985 – 344 с.
2. Артемьев О.И. Изучение форм нахождения $^{239}/^{240}\text{Pu}$ в радиоактивных выпадениях атмосферных ядерных взрывов на Семипалатинском испытательном полигоне / О.И. Артемьев, М.А. Умаров, Т.В. Сидорич // Вестник НЯЦ РК. – 2003 – вып. 3 – С. 48–51
3. Круглов С.В. Распределение радионуклидов чернобыльских выпадений по фракциям гранулометрического состава дерново-подзолистых почв / С.В. Круглов, Н.А. Васильева, А.Д. Куринов, Р.М. Алексахин // Почвоведение, 1995 – №3 – С. 551–557
4. P. Spezzano. Distribution pre- and post-Chernobyl radiocesium with particle size fractions of soils / P. Spezzano // Journal of Environmental Radioactivity. – 2005. – Vol.83, Iss. 2. – P. 117–127
5. Hosoda M. Visualization of radiocesium distribution in contaminated soil from Kashiwa City, Chiba, Japan / M. Hosoda, M. Fukushi [at al.] // Radiation Energy Medicine. – 2012. – Vol. 1. – № 1–2. – P. 117–120
6. Korobova E.M. Granulometric and mineralogic investigation for explanation of radionuclide accumulation on different size fractions of the Yenisey floodplain soils / E.V. Korobova, V.G. Linnik [at al.] // Journal of Geochemical Exploration. – 2014. – № 142. – P. 49–59
7. Bihari A. Examination of the effect of particle size on the radionuclide content of soils / A. Bihari, Z. Dezso // Journal of Environmental Radioactivity. – 2008. – № 99. – P. 1083–1089

8. Активность радионуклидов в объемных образцах. Методика выполнения измерений на гамма – спектрометре: МИ 2143–91. – Введ. 1998–06–02. – Рег. № 5.06.001.98. – М.: НПО ВНИИФТРИ, 1991. – 17 с
9. Инструкция и методические указания по оценке радиационной обстановки на загрязненной территории: 17.03.89 г. – М.: Госкомгидромет СССР, 1989
10. Методика выполнения измерений активности радионуклидов плутоний –238, плутония–(239+240) в счетных образцах, приготовленных из проб объектов окружающей среды. – М.: ФГУП "НПО Радиевый институт им. В.Г. Хлопина"
11. Стрильчук Ю.Г. Радиозоологическое состояние "юго–восточной" (район с. Саржал) части территории СИП / Ю.Г. Стрильчук, С.Н. Лукашенко, В.В. Каширский и др. // Актуальные вопросы радиозоологии Казахстана [Сборник трудов Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2011–2012 г.] / под рук. Лукашенко С.Н. – Павлодар: Дом печати, 2013. – Т.1. – Вып. 4. – С. 15–117. – ISBN 978–601–7112–74–5
12. Материалы комплексного исследования "юго–восточной части" территории СИП / ИРБЭ НЯЦ РК; рук. Лукашенко С.Н. – Курчатов: ИРБЭ НЯЦ РК, 2011
13. Ядерные испытания СССР. Семипалатинский полигон. Обеспечение общей и радиационной безопасности ядерных испытаний / под ред. Логачева В.А. – Москва: ИГЕМ РАН, 1997. – 344 с

© А.М. Кабыракова, А.Е. Кундузбаева, С.Н. Лукашенко, Н.В. Ларионова, Т.Н. Байсеркенова, А.Т. Меньдубаев, (Kabdyrakova@nnc.kz),
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»,



"Национальный Ядерный Центр Республики Казахстан", Курчатов, Казахстан

ЭКОЛОГИЯ СЛЕПНЕЙ г. ТОБОЛЬСКА И ТОБОЛЬСКОГО РАЙОНА НА ПРЕИМАГИНАЛЬНЫХ ФАЗАХ РАЗВИТИЯ

ECOLOGY OF FLIES OF THE CITY OF TOBOLSK AND THE TOBOLSK AREA ON THE PREIMAGINAL PHASES OF DEVELOPMENT

L. Maslovskaya

Annotation

The article discusses the ecology of flies of the city of Tobolsk and the Tobolsk district in larval phases of development. Identified breeding places of flies. The character of the host larvae and pupae in habitats and the type of theoretical statistical distribution in the samples. The study of ecological fecundity of females collected in the egg-bed sites. Identified mortality of larvae during embryonic development.

Keywords: Horse flies, larva, pupa, larval phase of development, the variability of the density communities larvae of flies, the ecological fecundity of females.

Масловская Любовь Закиевна

К.биол.н., доцент, Тобольский педагогический институт им. Д.И. Менделеева филиал Тюменского государственного университета

Аннотация

В статье рассмотрена экология слепней г. Тобольска и Тобольского района на преимагинальных фазах развития. Выявлены места выплода слепней. Определены характер размещения личинок и куколок в биотопах и тип теоретического статистического их распределения в пробах. Проведено изучение экологической плодовитости самок по собранным яйцекладкам. Определена смертность личинок при эмбриональном развитии.

Ключевые слова:

Слепни, личинка, куколка, преимагинальная фаза развития, изменчивость плотности сообществ личинок слепней, экологическая плодовитость самок.

Введение

Экспериментально доказано, что многие виды слепней являются переносчиками возбудителей большинства вирусных, бактериальных, протозойных и гельминтозных заболеваний, как человека, так и животных [3, 6]. Среди таких заболеваний следует особо отметить сибирскую язву, вспышки которой в настоящее время наблюдаются в Ямало-Ненецком автономном округе. Учеными доказано, что *Bacillus anthracis* может сохраняться на ротовых частях слепней до пяти суток, а *Francisella tularensis* – до двух – трех суток после инфицирующего кормления [8].

Так, например в 1929 г. в окрестностях г. Тобольска массовое появление слепней совпало со вспышкой сибирской язвы [10].

Проведенными ранее нами исследованиями в г. Тобольске было выявлено 26 видов слепней, а в Тобольском районе 27 видов слепней [1, 7].

Однако с каждым годом происходят заметные изменения экологических условий среды, за счет усиления антропогенного воздействия на территорию. Поэтому изучение современного состояния экологии слепней в условиях г. Тобольска и его окрестностей является вполне актуальным.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для изучения экологии слепней на преимагинальных фазах развития было выбрано три биотопа. Первый биотоп располагался в подгорной части г. Тобольска в районе спасательной станции, а два других биотопа – в Тобольском районе: биотоп № 2 находился в с. Ворогушино, а биотоп № 3 – в с. Абалак в районе р. Иртыш. Все биотопы более двадцати лет подвергаются антропогенному воздействию.

Путем сборов яйцекладок, личинок и куколок слепней изучали их места выплода по методикам Н.Г. Олсуфьева [8], М.С. Гилярова [4], А.С. Лутты [6] и К.В. Скуфьина [12]. Личинок и куколок собирали в конце мая – начале июня, а в июле – яйцекладки. С площади 0,25 м² на глубину 20–25 см брали пробы для сбора личинок и куколок, после этого кольями отмечали площадку размером 0,5х0,5 м. При этом учитывали, чтобы одна ее половина находилась выше, а другая ниже уреза воды и на различном удалении ее от водоема. На 1 м² определяли плотность личинок [11]. Собранных личинок размещали в пенициллиновые флаконы поодиночке, затем в лаборатории фиксировали их кипятком и перекладывали в 70% спиртовой раствор. Собранных куколок головным концом вверх помещали в небольшие открытые емкости. Субстратом служил мох или песок, который по мере необходимости увлажняли. С

мест сбора биологического материала брали образцы почв и в дальнейшем исследовали механический состав, плотность и влажность [2].

Для определения характера размещения в биотопах личинок использовали коэффициент дисперсии

$$\frac{s^2}{x}$$

[14], а при помощи критерия χ^2 (хи – квадрат) определяли тип теоретического статистического их распределения в пробах [5].

Исследования проводили в 2014–2015 гг. При изучении экологии преимагинальных фаз развития слепней было взято и обработано 729 проб субстрата, собрано 716 личинок, 48 куколок и 18 яйцекладок.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Исследованиями, проведенными нами ранее в г. Тобольске и Тобольском районе выявлены места выплода таких видов слепней как *Chr. relictus*, *Chr. rufipes*, *T. bovinus*, *T. autumnalis*, *T. bromius*, *H. bimaculata*, *Hm. subcylindrica*, *Hm. pluvialis* [1].

Исследования были проведены в трех биотопах с целью изучения влияния экологических факторов на ассоциации личинок слепней. Причем биотоп №2 был принят за экологически чистый, а биотопы №1 и №3 – условно подвергались антропогенному воздействию. Расстояние между биотопами составляло около 25 км.

Биотоп №1 находился в подгорной части г. Тобольска в пойме р. Иртыш. Это небольшой водоем, имеющий очень низкий заболоченный берег, суглинистую и супесчаную почву, влажностью 61,4% и плотностью 1,97 г/см³. Из растительности вокруг водоема преобладает осока и камыш.

В данном биотопе за период исследования нами было взято 283 пробы, в которых обнаружены 279 личинок и куколок слепней, что в среднем составляет 0,93 особи на пробу и 3,7 особи/м². Здесь личинки слепней были найдены в кочках поросших мхом, в корнях осоки и клевера. Личинки *T. autumnalis* и *T. bovinus* были найдены на расстоянии 5–10 метров от берега. Исходя из наших данных наименьшее количество загрязнителей атмосферного воздуха наблюдается именно в этом биотопе. Загрязнение данного биотопа происходит за счет талых вод, которые поступают преимущественно с нагорной части города.

Биотоп №2 располагался в 20–25 км на юг от города Тобольска. Это старица р. Иртыш в с. Ворогушино, длиной 10–15 км и шириной 40 м. Берега не пологие, не-

много выше уровня воды, почва глинистая, с примесью гниющих растений и огромным обилием дождевых червей. Влажность почвы составляет 59,1%, плотность – 1,85 г/см³. По своему механическому составу почва относится к среднему суглинку. Растительность в основном осоковая, с небольшим разнотравьем.

За 2014–2015 гг. было исследовано 298 проб, в которых обнаружено 332 личинки и куколки слепней, что в среднем составляет 1,08 особей на пробу 4,32 особи/м². В связи с тем, что данный биотоп на достаточном расстоянии удален от автомобильных трасс, крупных реки нефтехимического комбината можно предположить, что он является условно экологически чистым.

Биотоп №3 находится на р Иртыш в с. Абалак в 25 км на юго-восток от г. Тобольска. Ширина реки около 1 км и глубина 8–12 м. Река имеет быстрое течение (2–3м/с), берега реки крутые, с уступами. Почва песчано-глинистая, влажностью 54,3%, плотностью 1,81 г/см³. По механическому составу почва относится к среднему суглинку.

За период исследования было взято 148 проб, в которых обнаружено 153 личинки и куколки слепней, что в среднем составляет 1,16 особи на пробу и 4,64 особи/м². Личинки были найдены во влажной почве берега на глубине 15–20 см, в 70 см от уреза воды. Данный биотоп в летний период служит главным водным путем сообщения и транспортировок.

Средняя плотность личинок и куколок в изучаемых биотопах была разной. Например, в 2014 г. она изменялась от 3,40 в биотопе №3 до 6,8 особей в биотопе №2. Но по сравнению с 2014 годом в 2015 году она увеличилась в биотопе №3 в 1,7 раза, и уменьшилась в биотопе №1 в 1,8 раза и биотопе №2 в 3,7 раза. Сравнение плотности личинок и куколок в исследуемых биотопах между собой по критерию Стьюдента показало, что наблюдаемое различие находится на уровне вероятности $P < 0,05$, то есть является достоверным (см. табл. 1).

Определение типа статистического распределения числа личинок в пробах показало высокую степень соответствия рядов эмпирического и негативного биномиального распределения. Так, например, в 2015 году наблюдалось полное совпадение эмпирических и теоретических частот, что говорит об одинаковой степени воздействия экологических факторов в изучаемых биотопах. В 2014 году расхождение эмпирического и теоретических рядов в исследуемых биотопах можно связать с неблагоприятным гидрологическим режимом.

Ориентировочно определен характер размещения личинок в биотопах по коэффициенту дисперсии [14]. Коэффициент дисперсии не 0,8 наблюдался в 2015 г. в биотопе №3, что говорит о том, что личинки размещены

Таблица 1.

Характер размещения и средняя плотность личинок и куколок слепней.

№ биотопа	Количество проб (0,5×0,5 м)	Собрано особей	Плотность		Среднее квадратическое отклонение δ	Дисперсия δ^2	Кэф. дисперсии $\frac{\delta^2}{\bar{x}}$
			средняя на пробу	средняя на 1 м ²			
2014 г.							
1	175	208	1,19±0,08	4,76	1,07	1,14	1,0
2	158	268	1,70±0,12*	6,80	1,51	2,28	1,3
3	103	87	0,85±0,11*	3,40	1,08	1,17	1,4
<i>Всего:</i>	436	563	1,25±0,10	4,99			
2015 г.							
1	108	71	0,66±0,06	2,64	0,61	0,37	0,6
2	140	64	0,46±0,05*	1,84	0,64	0,41	0,9
3	45	66	1,47±0,16*	5,88	1,08	1,17	0,8
<i>Всего:</i>	293	201	0,86±0,09	3,45			

Примечание: * - достоверные различия с биотопом №1 (P<0,05)

более или менее равномерно. Однако, ввиду того, что размер пробы был меньше площади занимаемой одной личинкой, размещение личинок в этих биотопах следует признать случайным. В 2014 году наблюдалось в биотопе № 1 случайное размещение при коэффициенте дисперсии от 0,8 до 1,00 и в 2015 году – во всех исследуемых биотопах. В биотопах 2 и 3 только в 2014 г отмечено агрегированное размещение при коэффициенте дисперсии от 1,3 до 1,4, причем степень агрегированности низкая. Таким образом, можно сделать вывод, что в исследованных нами биотопах в большинстве случаев размещение личинок имело случайный характер. Преобладание в биотопах выплода в условиях г. Тобольска и Тобольского района случайного размещения личинок может быть вызвано как обилием, так и разнообразием мест выплода (см. табл. 1).

Видовой состав и относительная численность личинок и куколок в изучаемых биотопах в разные сезоны представлены в таблице 2. Как видно из этой таблицы, в изученных трех биотопах встречаются личинки и куколки восьми видов слепней, при этом семь видов *Chr. relictus*, *Chr. rufipes*, *T. bovinus*, *T. autumnalis*, *T. bromius*, *Hm. subcylindrica*, *Hm. pluvialis* найдены во всех биотопах, и только в одном биотопе найдены дополнительно личинки *H. bimaculata*. То есть в биотопах по видовому составу различий практически не наблюдалось. В сравнении с биотопом 1 коэффициент Жаккара и Серенсена был равен или близок к 100 %. Однако по степени обилия видов

биотопы различались. Доминирующими видами в биотопах № 1 и № 2 в 2014–2015 гг. были *Chr. relictus* и *T. bromius*, в биотопе № 3 в оба сезона – *T. bromius* и *Chr. relictus*. При этом установлено, что личинки *Chr. relictus* приурочены к стоячим водоемам (биотопы 1, 2), *T. bromius* – к рекам (биотоп 3). Остальные виды встречались более или менее равномерно во всех биотопах. Коэффициент сходства сообществ слепней по обилию в 2014 г. изменялся от 10,7 до 73,7%, а в 2015 г. – от 52,2 до 73,1%.

Коэффициент сходства ассоциаций слепней по обилию видов в 2014 и 2015 годах в первом биотопе составил 19,7, во втором – 22,5, в третьем – 44,3% (см. табл. 2).

В течение сезонов 2014–2015 гг. при изучении встречаемости слепней на преимагинальных фазах развития установлено, что взрослые личинки обнаруживались в течение всего периода сбора с I декады мая по II декаду июня, при максимуме в III декаде мая – I декаде июня. Куколки найдены в III декаде мая и I декаде июня, что соответствует началу лета взрослых слепней. Продолжительность кукольного периода *T. autumnalis* в лабораторных условиях при температуре +18...+25°C составила от 9 до 16 суток, а в среднем 12 суток. Яйцекладки обнаружены с третьей декады июня по вторую декаду июля. Сроки их обнаружения соответствуют периоду массовой численности слепней, которая наблюдалась в конце июня – начале июля.

Таблица 2.

Характер размещения и средняя плотность личинок и куколок слепней.

№ п/п	Виды	Биотопы					
		1		2		3	
		Кол-во	ИД, %	Кол-во	ИД, %	Кол-во	ИД, %
1	Chr. relictus	$\frac{178}{18}$	$\frac{85,58}{25,35}$	$\frac{174}{26}$	$\frac{64,93}{40,64}$	$\frac{17}{18}$	$\frac{19,54}{27,27}$
2	Chr. rufipes	$\frac{6}{4}$	$\frac{2,89}{5,63}$	$\frac{6}{6}$	$\frac{2,24}{9,38}$	$\frac{6}{8}$	$\frac{6,90}{12,12}$
3	T. bovinus	$\frac{4}{6}$	$\frac{1,92}{8,45}$	$\frac{6}{5}$	$\frac{2,24}{7,81}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{2,30}{3,03}$
4	T. autumnalis	$\frac{5}{5}$	$\frac{2,40}{7,04}$	$\frac{17}{5}$	$\frac{6,34}{7,81}$	$\frac{14}{5}$	$\frac{16,09}{7,58}$
5	T. bromius	$\frac{10}{32}$	$\frac{4,81}{45,07}$	$\frac{62}{16}$	$\frac{23,13}{25,00}$	$\frac{32}{12}$	$\frac{36,78}{18,18}$
6	H. bimaculata	-	-	$\frac{-}{2}$	$\frac{-}{3,12}$	-	-
7	Hm. pluvialis	$\frac{2}{3}$	$\frac{0,96}{4,23}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{0,75}{3,12}$	$\frac{2}{18}$	$\frac{2,30}{27,27}$
8	Hm.subcylindric	$\frac{3}{3}$	$\frac{1,44}{4,23}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{0,37}{3,12}$	$\frac{14}{3}$	$\frac{16,09}{4,55}$
Коэффициент сходства сообществ слепней по обилию с биотопом № 1		-	-	$\frac{73,7}{62,6}$	-	-	-
Коэффициент сходства сообществ слепней по обилию в биотопе по годам		19,7		22,5		44,3	

Примечание: 2014 г. - числитель, 2015 г. - знаменатель.

По собранным яйцекладкам проведено изучение экологической плодовитости самок (количество отложенных яиц) и смертности личинок при эмбриональном развитии. Процент смертности личинок определяли по соотношению в кладке целых и пустых яиц или вылупившихся личинок. Количество яиц в одной кладке изменялось от 134 до 593 и составило в среднем 269. Количество неразвившихся яиц в 18 яйцекладках составило в среднем 43%. Следует отметить, что гибель личинок наблюдалась, в основном, в верхних слоях яйцекладок, где встречались деформированные яйца. Эмбриональное развитие личинок колебалось в небольшом диапазоне и при температуре 24–25°C продолжалось от 4 до 6 суток. При этом две яйцекладки были заражены яйцеедом р. *Telepnotus* sp. Так, из кладки, состоящей из 368 яиц, вылетело 163 яйцеда, то есть интенсивность инвазии составила

44,3%. Сроки развития куколок и эмбрионального развития личинок слепней полностью соответствует имеющимся в литературе сведениям [9, 13].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе нашего исследования нами, как и ранее были выявлены места выплода только восьми видов слепней. Средняя плотность личинок на 1 м² в них колебалась от 1,84 до 6,80 особей. Во всех биотопах размещение личинок в основном имеет случайный характер, что связано с обилием и разнообразием мест выплода. Высокая степень соответствия рядов эмпирического и негативно-го биномиального распределения в размещении личинок в пробах указывает на одинаковую степень воздействия экологических факторов во всех изучаемых биотопах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Атнагулова Л.З. Слепни (Diptera, Tabanidae) г. Тобольска и его окрестностей (фауна, экология, эколого-морфологическая изменчивость) / Л.З. Атнагулова: Автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.19. – Тюмень, 2008. – 18 с.
2. Ващенко И.М. Практикум по основам сельского хозяйства: Учеб. пособие для студентов биол. спец. пед. ин-тов. / И.М.Ващенко, К.П. Ланге, М.П.Меркулов. – М., 1982. – 399 с.
3. Виолович Н.А. Слепни Сибири / Н.А. Виолович. – Новосибирск: Наука, 1968. – 281 с.
4. Гиляров М.С. Определитель обитающих в почве личинок насекомых / М.С. Гиляров. – М.: Наука, 1964. – С. 747–752.

5. Зайцев Г.Н. Методика биометрических расчетов / Г.Н. Зайцев. – М.: Наука, 1973. – 456 с.
6. Лутта А.С. Слепни Карелии / А.С. Лутта. – Л.: Наука, 1970. – 304 с.
7. Масловская Л.З. Фаунистический состав слепней (Diptera, Tabanidae) г. Тобольска и Тобольского района // Международный научно-исследовательский журнал "Успехи современной науки и образования". – №7. – Том 3. – 2016. – С. 12–16.
8. Олсуфьев Н.Г. Слепни (семейство Tabanidae). Фауна СССР. Насекомые двукрылые / Н.Г. Олсуфьев. – Л.: Наука, 1977. – Т.7. – Вып.2. – 436 с.
9. Павлова Р.П. Влияние температуры окружающей среды на продолжительность фазы куколки слепней / Р.П. Павлова // Паразитология. – 1974. – №3. – С. 243–248.
10. Самко К.П. О массовом появлении летом 1929 г. в Тобольском округе слепней (Diptera, Tabanidae) / К.П. Самко / Бюлл. об-ва изучения края при музее Тобольского севера. – Тобольск, 1929. – Т.4. – С.31–34.
11. Скуфьин К.В. Экология слепня – пестряка реликтового – Хризопс реликтус. Сообщ. III. Экология развивающихся яиц / К.В. Скуфьин // Охрана природы Центрально – Черноземной полосы. – Воронеж, 1959. – № 2. – С. 325–328.
12. Скуфьин К.В. Методы сбора и изучения слепней / К.В. Скуфьин. – Л.: Наука, Ленингр. отд., 1973. – 104 с.
13. Соболева Р.Г. Изучение экологии наиболее массовых видов слепней юга Приморского края / Р.Г. Соболева // Тез. докл. на сессии Совета Дальневост. фил. Сиб. отд-ния АН СССР по итогам науч. исслед. 1964 г. – Владивосток, 1965. – С. 18–21.
14. Чернышев В.Б. Экология насекомых / В.Б. Чернышев – М.: Изд-во МГУ, 1996. – 304 с.

© Л.З. Масловская, (Lybasha81.81@mail.ru), 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

КАЗАНСКАЯ
ЯРМАРКА

ВЫБОР РАБОЧЕЙ ТОЧКИ АМПЛИТУДНОГО ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

OPERATING POINT SELECTION OF AMPLITUDE ELECTROOPTICAL SENSOR FOR ELECTRIC FIELD PARAMETERS MEASURING

V. Andreev
O. Morozov

Annotation

This article discusses the choice of the operating point of the amplitude electro-optical sensor for measuring the parameters of external electric fields. It is shown that the analysis of the modulation characteristics of the sensor based on the crystal or waveguide based on lithium niobate by amplitude of laser radiation can significantly revise approaches to the determination of the operating point. In contrast to the well-known works, in which the operating point is chosen in the linear region by intensity, offered operation at the zero sensor operating point by amplitude and shown the advantages of this choice.

Keywords: microwave photonics, E-field, amplitude electro-optic sensor, operating point value.

Андреев Владимир Дмитриевич
Аспирант, Казанский национальный
исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ
Морозов Олег Геннадьевич
Д.т.н., Казанский национальный
исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы выбора рабочей точки амплитудного электрооптического датчика для измерения параметров внешних электрических полей. Показано, что анализ модуляционной характеристики датчика на основе кристалла или волновода на основе ниобата лития по напряженности поля лазерного излучения, позволяет существенно пересмотреть подходы к определению положения рабочей точки. В отличие от известных работ, в которых рабочая точка выбирается на линейном участке, предложена работа датчика в нулевой рабочей точке и показаны преимущества данного выбора.

Ключевые слова:

Радиофотоника, электрическое поле, амплитудный электрооптический датчик, положение рабочей точки.

Введение

Измерение параметров электрического поля относится к классу амплитудных и частотных измерений, которые широко применяются в различных областях науки и техники, связанных с антенными измерениями, обеспечением электромагнитной совместимости, неразрушающим контролем и т.д. [1, 2].

Энергетический диапазон приложений для измерения параметров электрического поля лежит в широком диапазоне – от проектирования и эксплуатации высоковольтных установок до биомедицинской электроники и электродинамической активности живых систем.

На современном этапе для измерения параметров электрических полей применяются металлические датчики антенного типа. Физика их материала и, как правило, значительные размеры приводят к искажению измеряемых полей, что определяет малое пространственное разрешение и существенные погрешности измерений [3]. Кроме того, с их помощью невозможно измерить бы-

стро изменяющиеся электрические поля, характерные для переходных процессов.

В отличие от указанных, электрооптические датчики имеют малые размеры и диэлектрическую природу, что позволяет проводить с их помощью точные измерения с высоким пространственным разрешением без искажения распределений измеряемых электрических полей. Кроме того, электрооптические сенсоры характеризуются широкой полосой пропускания и являются адекватным инструментом для регистрации быстро изменяющихся электрических переходных процессов [4].

Электрооптические датчики подобны электрооптическим модуляторам по используемому линейному электрооптическому эффекту Поккельса [5, 6]. При этом показатель преломления для принципиальных осей электрооптического кристалла датчика меняется пропорционально напряженности измеряемого электрического поля.

Изменение показателя преломления вызывает про-

порциональное изменение фазы, амплитуды, поляризации и частоты оптической несущей, проходящей через ЭОК. В соответствии с выбранным для регистрации параметром используются различные конфигурации датчиков.

Линейно-поляризованное вдоль одной из осей оптическое излучение будет промодулировано в ЭОК по фазе под воздействием электрического поля. При установке кристалла в одно из плеч интерферометра Маха-Цендера фазовая модуляция на выходе последнего преобразуется в модуляцию интенсивности и позволяет зарегистрировать напряженность электрического поля, приложенного к датчику. ЭОК с показателем преломления, зависящим от напряженности приложенного электрического поля, может быть использован в структуре интерферометра Фабри-Перо. Выходное излучение интерферометра будет промодулировано по амплитуде, при максимальной чувствительности измерений, обеспечиваемой работой датчика на центральной частоте резонансного пика. При круговой поляризации оптического излучения приложенное электрическое поле вызывает фазовую задержку между обыкновенным и необыкновенным лучами, распространяющимися вдоль принципиальных осей ЭОК. Вследствие этого, выходная поляризация излучения будет отличаться от входной. При попадании этого излучения на поляризатор произойдет преобразование поляризационной модуляции в модуляцию интенсивности. Частотная модуляция оптической несущей реализуется во всех трех выше рассмотренных случаях и характеризуется появлением частотных составляющих сверху и снизу от частоты несущей, пропорциональных или удвоенных частоте приложенного электрического поля.

В ряде работ показано [7], что амплитудные ЭОД по ряду параметров превосходят фазовые, поляризационные и частотные. Кроме того, как показано выше, преобразование параметров электрических полей любого типа, завершается стадией амплитудных измерений, а сама амплитудная модуляция наиболее распространена в датчиках электрических полей.

Основной проблемой амплитудных ЭОД является выбор его рабочей точки, от которой зависит линейность преобразования, спектральный состав, формируемого отклика и его энергетические характеристики.

Типовой амплитудный ЭОД

На рис. 1. показана структурная схема типового ЭОД, основанного на амплитудной модуляции.

В данном амплитудном ЭОД волновод из электрооптического материала расположен между двумя поляризаторами с взаимно ортогональными осями поляризации. Для сохранения линейности отклика датчика при воздействии электрического поля без использования напряжения смещения, между первым поляризатором и электрооптическим кристаллом располагают четвертьволновую пластинку, которая вносит дополнительный сдвиг фаз на $\pi/2$ между обыкновенной и необыкновенной составляющими излучения. При воздействии измеряемого электрического поля, коэффициент отражения электрооптического кристалла меняется и появляется амплитудно-модулированный оптический сигнал на выходе второго поляризатора. После преобразования модулированного оптического сигнала в электрический и временного (либо частотного) детектирования, мы получаем измеряемое значение.

Типовое положение рабочей точки разработчики выбирают, исходя из положения линейного участка при смещении на него с помощью четвертьволновой пластины (рис. 2,а). При этом выбор происходит при использовании модуляционной характеристики по интенсивности лазерного излучения (рис. 2,б).

Нами в данной работе предложен выбор нулевой рабочей точки по амплитудным соотношениям оптического излучения, поскольку преобразование по мощности осуществляется лишь в фотодетекторе, а не в кристалле. Проанализируем данный выбор и покажем его преимущества.

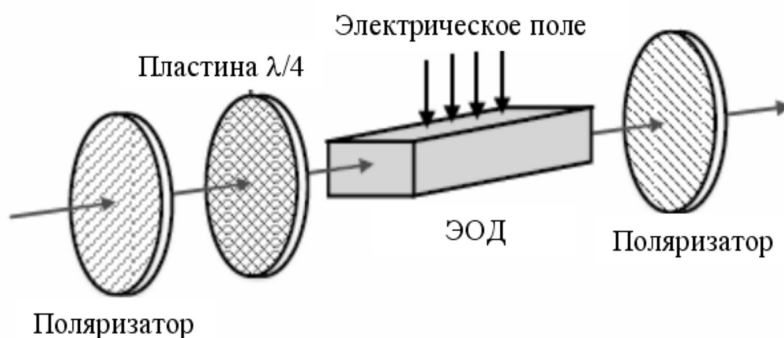


Рисунок 1. Структурная схема типового амплитудного ЭОД.

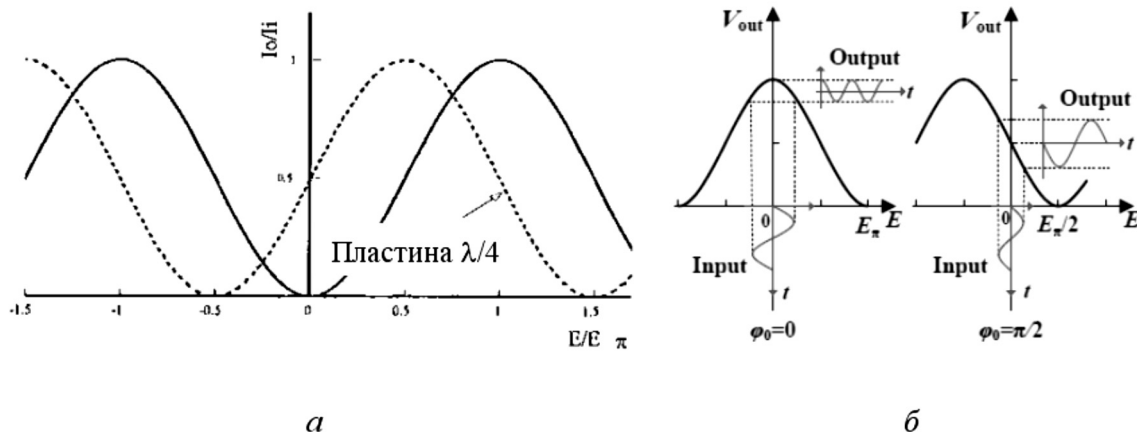


Рисунок 2. Выбор положения рабочей точки по интенсивности: модуляционная характеристика ЭОД (а) при наличии четвертьволновой пластины (пунктир) и без нее (сплошная линия); выбор рабочей точки (б) в точке максимума и на линейном участке по интенсивности.

Анализ излучения на выходе ЭОД по напряженности поля лазерного излучения в различных рабочих точках

Рассмотрим прохождение через ЭОД лазерного излучения

$$E(t) = E_0 e^{j\omega t}, \quad (1)$$

где E_0 – его амплитуда, ω – частота.

Векторную систему типового амплитудного ЭОД без четвертьволновой пластины можно представить на рис. 3.

На рис. 3 обозначены: E_z' и E_y' проекции вектора E_0 световой волны на направления соответственно OZ' OY' оптической индикатрисы кристалла, λ – угол между плоскостью поляризации поляризатора и осью OY' при наложенном ЭП, β – угол между плоскостями поляризации поляризатора и анализатора.

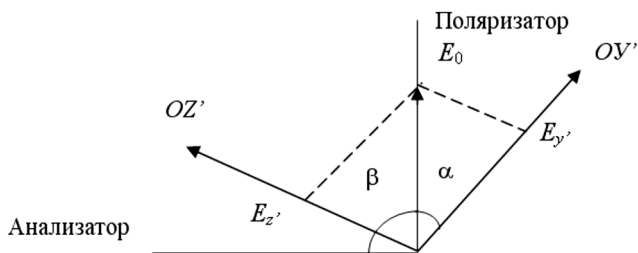


Рисунок 3. К выводу спектра излучения на выходе ЭОД.

Составляющие оптического поля после входного поляризатора описываются выражением

$$\begin{aligned} E_{y'} &= E_0 \cos \alpha e^{j\omega t}, \\ E_{z'} &= E_0 \sin \alpha e^{j\omega t}. \end{aligned} \quad (2)$$

Составляющие света на выходе ЭОД описываются выражением

$$\begin{aligned} E_{y'} &= E_0 \cos \alpha \cos(\alpha + \beta) e^{j\omega t} e^{j\Gamma/2}, \\ E_{z'} &= E_0 \sin \alpha \sin(\alpha + \beta) e^{j\omega t} e^{-j\Gamma/2}, \end{aligned} \quad (3)$$

где Γ – фазовый сдвиг, состоящий из сдвига Γ_+ , определяемого положением рабочей точки, и наведенного измеряемым электрическим полем.

Суммарное поле на выходе системы имеет вид

$$\begin{aligned} E(t) &= E_0 \left[\cos \alpha \cos(\alpha + \beta) e^{j\Gamma/2} + \right. \\ &\left. + \sin \alpha \sin(\alpha + \beta) e^{-j\Gamma/2} \right] e^{j\omega t} \end{aligned} \quad (4)$$

При построении амплитудных ЭОД обычно используются два случая: 1) $\alpha = 45^\circ, \beta = 90^\circ$; 2) $\alpha = 45^\circ, \beta = 0^\circ$.

Рассмотрим первый случай.

При $\alpha = 45^\circ, \beta = 90^\circ$ выражение (4) принимает вид

$$E(t) = -jE_0 \sin(\Gamma/2) e^{j\omega t}. \quad (5)$$

Используя разложение (5) в ряд Фурье, найдем спектр излучения на выходе ЭОД при работе в "нулевой" точке и на линейном участке модуляционной характеристики при гармоническом воздействии.

А. Работа в "нулевой" точке. В этом случае набег фазы Γ ($\Gamma_+ = 0$) определяется выражением

$$\Gamma = \frac{\pi U_m \sin \Omega t}{U_{\lambda/2}} \quad (6)$$

где U_m и Ω – напряженность и частота наведенного электрического поля, $U_{\lambda/2}$ – полуволновое напряжение волновода.

Подставив (6) в (5), определим спектр излучения на выходе ЭОД

$$E_{\text{ВЫХ}} = -jE_0 e^{j\omega t} \left[2 \sum_{k=0}^{\infty} J_{2k+1}(z) \sin(2k+1)\Omega t \right] \quad (7)$$

где $J_{2k+1}(z)$ – функция Бесселя $(2k+1)$ -го порядка.

Анализ выражения (7) показывает, что спектр выходного излучения ЭОД в "нулевой" рабочей точке при гармоническом воздействии и углах $\alpha = 45^\circ, \beta = 90^\circ$ содержит только нечетные гармоники на частотах $(2k+1)\Omega$. Их амплитуда определяется значением функции Бесселя $(2k+1)$ -го порядка. Фазы боковых составляющих одинаковы по величине и противоположны по знаку. Индекс j в данном выражении указывает на то, что полученные составляющие ортогональны вектору поляризации исходного одночастотного излучения. При $U_m = U_{\lambda/2}$ получим $z = \pi/2, J_1(z) = 0,57, J_3(z) = 0,07$. Таким образом, основная доля энергии в спектре излучения содержится в первых гармониках, а сам спектр можно считать двухчастотным.

Б. Работа на линейном участке. В этом случае набег фазы Γ определяется выражением

$$\Gamma = \Gamma_{=} + \pi U_m \sin \Omega t / U_{\lambda/2} \quad (8)$$

где $\Gamma_{=} = \pi/2$ – независящий от времени фазовый сдвиг, определяемый положением рабочей точки на модуляционной характеристике (четвертьволновая пластина). Подставив (8) в (5), получим

$$E_{\text{ВЫХ}} = -j \frac{\sqrt{2}}{2} E_0 e^{j\omega t} \times \left\{ J_0(z) + 2 \sum_{k=1}^{\infty} J_{2k}(z) \cos 2k\Omega t + 2 \sum_{k=0}^{\infty} J_{2k+1}(z) \sin(2k+1)\Omega t \right\} \quad (9)$$

Анализ выражения (9) показывает, что спектр выходного излучения ЭОД на линейном участке при гармоническом воздействии и углах $\alpha = 45^\circ, \beta = 90^\circ$ содержит постоянную составляющую на частоте оптического излучения ω , нечетные гармоники на частотах $\omega \pm (2k+1)\Omega$ и четные гармоники на частотах $\omega \pm 2k\Omega$. Их амплитуда определяется значением функций Бесселя. При $U_m = U_{\lambda/2}/2$ получим $z = \pi/4; J_0(z) = 0,84, J_1(z) = 0,37, J_2(z) = 0,07$. С учетом множителя $\sqrt{2}/2$ можно сказать, что спектр излучения на выходе амплитудного ЭОД содержит три составляющие и адекватен спектру амплитудно-модулированного излучения.

Рассмотрим второй случай.

При $\alpha = 45^\circ, \beta = 0^\circ$ выражение (5) принимает вид

$$E_{\text{ВЫХ}}(t) = E_0 \cos(\Gamma/2) e^{j\omega t} \quad (10)$$

А. Работа в нулевой точке. В этом случае получим

$$E_{\text{ВЫХ}}(t) = E_0 e^{j\omega t} \left\{ J_0(z) + 2 \sum_{k=1}^{\infty} J_{2k}(z) \cos 2k\Omega t \right\} \quad (11)$$

Анализ выражения (11) показывает, что спектр выходного излучения ЭОД в "нулевой" точке при гармоническом воздействии и углах $\alpha = 45^\circ, \beta = 0^\circ$ содержит составляющие на частоте исходного оптического излучения и четные составляющие на частотах $\omega \pm 2k\Omega$. Отсутствие j указывает на то, что поляризация выходного излучения совпадает с поляризацией входного. Амплитуды составляющих при $U_m = U_{\lambda/2}$ и $z = \pi/2$ определяются функциями Бесселя $J_0(z) = 0,45, J_2(z) = 0,22$. Таким образом, спектр выходного излучения адекватен спектру амплитудно-модулированного излучения с разносом боковых частот на 2Ω .

Б. Работа на линейном участке. В этом случае получим

$$E_{\text{ВЫХ}}(t) = \frac{\sqrt{2}}{2} E_0 e^{j\omega t} \times \left\{ J_0(z) + 2 \sum_{k=1}^{\infty} J_{2k}(z) \cos 2k\Omega t - 2 \sum_{k=0}^{\infty} J_{2k+1}(z) \sin(2k+1)\Omega t \right\} \quad (12)$$

Сравнение (12) и (9) показывает их совпадение. Отличие заключается в поляризации и начальной фазе боковых составляющих на частотах $\omega \pm (2k+1)\Omega$. Данные проведенного анализа сведены в **табл. 1**.

Из табл. 1 видно, что модуляционная характеристика ЭОД по напряженности поля оптического излучения имеет вид $E_{\text{ВЫХ}}/E_0 = \sin(\Gamma/2)$ в случае $\alpha = 45^\circ, \beta = 90^\circ$ и $E_{\text{ВЫХ}}/E_0 = \cos(\Gamma/2)$ в случае $\alpha = 45^\circ, \beta = 0^\circ$.

Таким образом, функционирование ЭОД характеризуется режимом работы, отличающимся положением рабочей точки на модуляционной характеристике по напряженности поля (**рис. 4**).

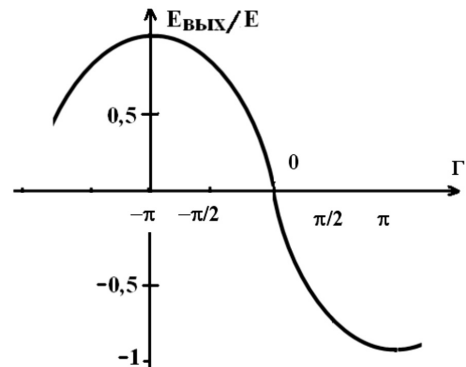


Рисунок 4. Модуляционная характеристика ЭОД по напряженности поля.

Таблица 1.

Характеристики выходного излучения на выходе ЭОД в различных рабочих точках.

$\alpha, \beta, \Gamma_{\pm}$	Спектр излучения на выходе ЭОД
$\alpha = 45^\circ$ $\beta = 45^\circ$ $\Gamma_{\pm} = 0$	$E_{\text{Вых}} = -jEe^{j\omega t} \left[2 \sum_{k=0}^{\infty} J_{2k+1}(z) \sin(2k+1)\Omega t \right]$
$\alpha = 45^\circ$ $\beta = -45^\circ$ $\Gamma_{\pm} = 0$	$E_{\text{Вых}}(t) = Ee^{j\omega t} \left\{ J_0(z) + 2 \sum_{k=1}^{\infty} J_{2k}(z) \cos 2k\Omega t \right\}$
$\alpha = 45^\circ$ $\beta = 45^\circ$ $\Gamma_{\pm} = 0$	$E_{\text{Вых}} = -j \frac{\sqrt{2}}{2} Ee^{j\omega t} \left\{ J_0(z) + 2 \sum_{k=1}^{\infty} J_{2k}(z) \cos 2k\Omega t + 2 \sum_{k=0}^{\infty} J_{2k+1}(z) \sin(2k+1)\Omega t \right\}$
$\alpha = 45^\circ$ $\beta = -45^\circ$ $\Gamma_{\pm} = 0$	$E_{\text{Вых}}(t) = \frac{\sqrt{2}}{2} Ee^{j\omega t} \left\{ J_0(z) + 2 \sum_{k=1}^{\infty} J_{2k}(z) \cos 2k\Omega t - 2 \sum_{k=0}^{\infty} J_{2k+1}(z) \sin(2k+1)\Omega t \right\}$

Анализ выражения (7) показывает, что спектр выходного сигнала ЭОД при $\Gamma_{\pm}=0$ является многочастотным и состоит из двух полос, при этом колебание на частоте несущей отсутствует (рис. 5).

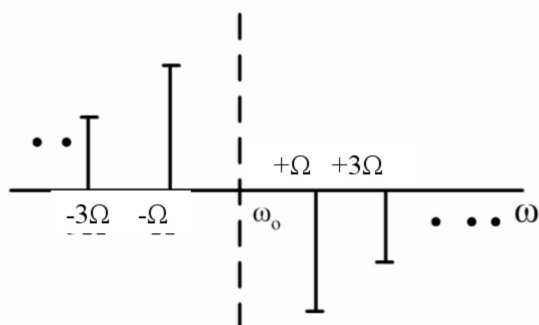


Рисунок 5. Спектр излучения на выходе ЭОД, работающего в "нулевой" рабочей точке при приложении внешнего электрического поля.

Полосы расположены симметрично относительно подавленной несущей, спектральные составляющие находятся на частотах $\omega = \omega_0 \pm n\Omega$, где $n=1,3,5..$, то есть четные гармоники подавлены. Начальные фазы гармоник, составляющих нижнюю полосу на π отличны от начальной фазы гармоник верхней полосы.

Для малых модулирующих напряжений гармониками 2-го и более высокого порядка можно пренебречь в силу их малости [8, 9].

Никаких дополнительных устройств для сдвига рабочей точки не требуется. Анализ энергетических характеристик показывает, что в нулевой рабочей точке ампли-

туда информационных составляющих в 1,5 раза выше, чем при модуляции на "линейном участке по интенсивности".

Однако, при работе в нулевой точке модуляционной характеристики (7) спектр излучения на выходе ЭОД двухчастотен. Вряд ли данный фактор можно считать недостатком. Он никак не влияет на однозначность связи амплитуды выходного излучения ЭОД и напряженности приложенного электрического поля. Искаженные значения принимает лишь частотная информация, если она существенна в задачах, решаемых конкретными измерениями. Для восстановления частотной информации может быть применен гетеродинный метод, для чего несущее излучение может заведено на фотоприемник по отдельному волокну. Либо могут быть рассмотрены варианты использования двухчастотного входного излучения, аналогично вариантам, используемым в линиях связи, построенным по технологиям "радио-по-волокну".

Результаты экспериментальных исследований

Для подтверждения теоретических результатов были проведены экспериментальные исследования, в которых были использованы волноводы из модуляторов на основе ниобата лития, изготовленные в ПНППК, г. Пермь.

Компоненты экспериментальной установки: драйвер лазерного диода Superlum Pilot-4, лазерный диод LDI-DFB 1550-20/50-T2-SM3-FA-CWP, генератор Tektronix AFG 3251, генератор высокочастотный Г4-114, фотодетектор с полосой в 1 ГГц, осциллограф Agilent DSO 7104B.

На рис. 6 представлены спектры входного (а) и выходного излучений ЭОД в нулевой рабочей точке (б) и на ли-

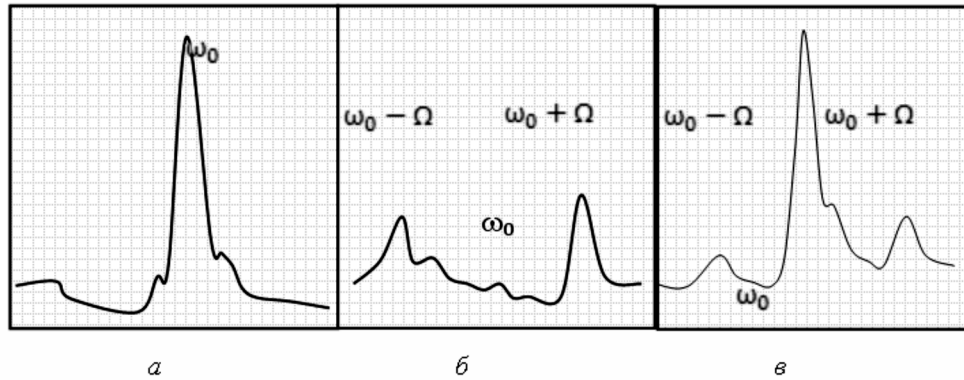


Рисунок 6. Спектр входного (а) и выходных излучений ЭОД в нулевой точке (б) и в точке $\pi/2$ по напряженности поля (в).

нейном участке (в). Из рис. 6 хорошо виден выигрыш в амплитуде информационных составляющих, сформированных при воздействии внешнего электрического поля на амплитудный ЭОД.

Анализ модуляционной характеристики ЭОД показывает, что основные погрешности преобразования будут определяться изменением положения рабочей точки. Результаты исследований в виде зависимостей $|E_n/E_0| = f(\Gamma_n)$ при $U_m = 0,5 U_{\lambda/2}$ и изменении Γ_n от 0 до $\pi/2$ представлены на рис. 7.

Кривые представленные на рис. 7 дают полное представление о качественном и количественном составе спектра выходного излучения ЭОД. Изменение положения рабочей точки оказывает наибольшее влияние на спектральный состав выходного излучения. При изменении температуры окружающей среды на 1°C уход положения рабочей точки составляет 0,02 В. В этом случае происходит уменьшение амплитуды полезных составляющих на частоте $\omega_0 \pm \Omega$ на 0,5% и увеличение амплитуд паразитных составляющих на 1%.

Таким образом, особое внимание следует уделить стабилизации положения рабочей точки, которое определяется температурой окружающей среды и точностью юстировки устройства относительно луча лазера.

Методы стабилизации рабочей точки изложены достаточно полно. Особого внимания заслуживают методы формирования широкополосных или полигармонических входных излучений и использования дисперсионных элементов для формирования дополнительного фазового сдвига их составляющих, в зависимости от сигнала рассогласования, получаемого при пилот-зондировании ЭОД.

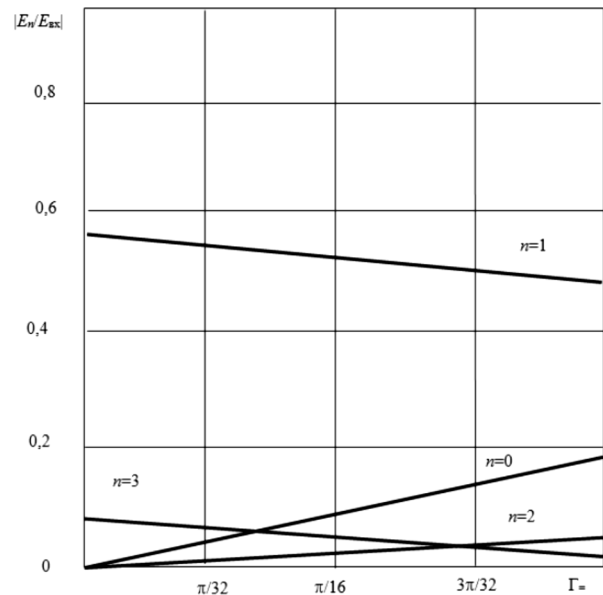


Рисунок 7. Зависимость амплитуд составляющих излучения на выходе ЭОД от положения рабочей точки.

Выводы по работе

В работе рассмотрены вопросы выбора рабочей точки амплитудного ЭОД для измерения параметров внешних электрических полей.

В отличие от известных работ, в которых рабочая точка выбирается на линейном участке по интенсивности, предложена работа датчика в нулевой рабочей точке по напряженности оптического поля и показаны преимущества данного выбора. К ним относятся возможность получения выигрыша по амплитуде информационной составляющей практически в 1,5 раза и отсутствие необ-

ходимости использования дополнительных селективных элементов для формирования положения рабочей точки. В случае необходимости контроля частотного состава приложенного электрического поля предложено формирования гетеродинного или полигармонического амплитудного ЭОД. Показано существенное влияние положения рабочей точки на параметры выходного излучения

ЭОД. Кратко рассмотрены вопросы и предложены меры по ее стабилизации.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках проектной части Государственного задания 3.1962.2014/К "Радиофотоника".

ЛИТЕРАТУРА

1. Yao J. Microwave photonics // J. Lightw. Technol. 2009. V. 27. No. 3. P. 314–335.
2. Морозов О.Г., Ильин Г.И. Амплитудно–фазовая модуляция в системах радиофотоники // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2014. № 1. С. 3–42.
3. Prather W.D., Baum C.E., Torres R.J., et al. Survey of worldwide high–power wideband capabilities // IEEE Trans. Electromagn. Compat. 2004. V. 46. No. 3. P. 335–344.
4. Yang K., David G., Yook J.–G., et al. Electrooptic mapping and finite–element modeling of the near–field pattern of a microstrip patch antenna // IEEE Trans. Microw. Theory Tech. 2000. V. 48. No. 2. P. 288–294.
5. Садеев Т.С., Морозов О.Г. Спектральные характеристики фотонных фильтров микроволновых сигналов на основе амплитудных электрооптических модуляторов // Вестник МарГТУ. 2010. Т.10. № 3. С. 22–30.
6. Насыбуллин А.Р., Морозов О.Г. и др. Радиофотонный синтез сложных радиосигналов с линейной частотной модуляцией // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. 2015. №12.
7. Duvillaret L., Rialland S., Coutaz J.–L. Electro–optic sensors for electric field measurements. I. Theoretical comparison among different modulation techniques // J. Opt. Soc. Am. B. 2002. V. 19. No. 11. P. 2692–2703.
8. Морозов О.Г., Айбатов Д.Л., Садеев Т.С. Синтез двухчастотного излучения и его применения в волоконно–оптических системах распределенных и мультиплексированных измерений // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2010. Т. 13. № 3. С. 84–91.
9. Севастьянов А.А., Морозов О.Г., Нуреев И.И. и др. Формирование многочастотного излучения в двухпортовом модуляторе Маха–Цендера // Научно–технический вестник Поволжья. 2013. №4. С.232–236.
10. Ильин Г.И., Морозов О.Г., Польский Ю.Е. Особенности построения электрооптических амплитудно–фазовых формирователей двухчастотного лазерного излучения для дифференциальных ЛЧМ–лидаров // Оптика атмосферы и океана. 1998. Т. 11. № 5. С. 513.
11. Талипов А.А., Морозов О.Г., Ильин Г.И. и др. Метод формирования двухчастотного излучения для синтеза солитонов и применения спектрально–эффективной модуляции RZ и CSRZ форматов в оптических сетях доступа // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2012. № 2 (16). С. 3–12.
12. Морозов О.Г., Нургазизов М.Р., Талипов А.А. и др. Измерение мгновенной частоты СВЧ–радиосигналов в оптическом диапазоне на основе преобразования "частота–амплитуда" в волоконной решётке Брэгга с фазовым –сдвигом // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2013. № 3 (19). С. 30–41.

© В.Д. Андреев, О.Г. Морозов, (microoil@mail.ru), Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»,



ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО ДИОДА В СВОБОДНОЕ ПРОСТРАНСТВО

OPTOELECTRONIC SYSTEM TO MEASURE BASIC PARAMETERS OF THE RADIATION OF THE LASER DIODE IN A FREE SPACE

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

Annotation

It is shown the possibility of fast simultaneous measurement mode structure and the degree of polarization of the laser diode. It was established that for such measurements it is necessary to use methods based on the definition of explicit function describing a diagram of the laser diode radiation pattern in the vertical plane. It is shown the overall design of opto-electronic complex for fast measurements of the power, the mode structure and the degree of polarization of the laser diode.

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

*Близнюк Владимир Васильевич
Доцент, к.т.н., Национальный
исследовательский университет "МЭИ"
Березовская Наталия Витальевна
Аспирант, Национальный
исследовательский университет "МЭИ"
Паршин Василий Алексеевич
Студент, Национальный
исследовательский университет "МЭИ"
Тарасов Александр Евгеньевич
Ст. преподаватель, Национальный
исследовательский университет "МЭИ"*

Аннотация

Показана возможность проведения быстрых одновременных измерений модовой структуры и степени поляризации излучения лазерного диода. Установлено, что для проведения таких измерений необходимо использовать методики, основанные на определении в явном виде функции, описывающей диаграмму направленности излучения лазерного диода в вертикальной плоскости. Приведена общая концепция построения оптико-электронного комплекса для быстрых измерений мощности, модовой структуры и степени поляризации излучения лазерного диода.

Ключевые слова:

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

Введение

Важнейшими параметрами, характеризующими функциональные возможности и состояние гетероструктуры полоскового лазерного диода с квантовыми ямами (далее – ЛД), являются мощность, модовая структура и степень поляризации его излучения. В условиях серийного производства ЛД особое внимание уделяется проблеме повышения скорости измерений этих параметров. Одним из возможных решений этой проблемы является использование для диагностики излучения ЛД многофункционального средства измерений.

При разработке такого средства измерений приходится учитывать специфику излучения ЛД – его большую расходимость.

В настоящее время единственным стандартизованным средством измерения мощности сильно расходящегося лазерного излучения является интегрирующая сфера [1]. Согласно техническим характеристикам интегрирующей сферы, в нее попадают все лучи, которые распространяются относительно оси лазерного пучка под углом не более 40° [2]. Принимая во внимание тот факт, что даже в плоскости, перпендикулярной *p-n*-переходу (далее – вертикальной плоскости) интенсивность излучения ЛД, распространяющегося под углом 40° к оси лазерного пучка, не превышает 0,2% от максимального значения, можно констатировать, что практически все диагностируемое излучение попадает в интегрирующую сферу.

Погрешность интегрирующей сферы, гарантируемая фирмами-изготовителями, равна 5 - 10% [2].

Модовая структура излучения ЛД определяется с достаточно высокой скоростью путем измерений и анализа его диаграмм направленности в плоскости p - n -перехода (далее – горизонтальной плоскости) и в вертикальной плоскости. В том случае, когда нормированные угловые зависимости интенсивности излучения в этих плоскостях можно хорошо аппроксимировать гауссовыми кривыми, считают, что имеет место поперечно-одномодовый режим генерации ЛД [3,4]. Строгий анализ модовой структуры излучения ЛД проведен в [5] путем определения коэффициента распространения лазерного пучка M^2 . Однако нахождение этого коэффициента связано со сложными измерениями ближнего поля излучения ЛД, трудно реализуемыми в условиях промышленного производства. Что касается выпускаемых фирмой COHERENT измерителей коэффициента M^2 , то область их использования ограничена диагностикой лазерных пучков с малой расходимостью [6].

Целью настоящей работы является разработка оптико-электронного комплекса для быстрых измерений мощности, модовой структуры и степени поляризации излучения ЛД путем объединения в нем интегрирующей сферы с фотоэлектрическими преобразователями лазерного излучения и поляризационными призмами, расположенными определенным образом в периферийной области пучка.

Включение интегрирующей сферы в состав многофункционального оптико-электронного комплекса при отсутствии жестких требований к его габаритам не является сложной технической задачей. Поэтому основное внимание в работе уделяется той части комплекса, которая базируется на разработанных нами методиках быстрых измерений модовой структуры и степени поляризации излучения.

Методика быстрого определения модовой структуры лазерного излучения

Определение модовой структуры излучения ЛД сводится, как правило, к решению вопроса, является или не является оно одномодовым. Для ответа на этот вопрос необходим количественный анализ диаграммы направленности излучения. Диаграммы направленности в вертикальной и горизонтальной плоскости определяются экспериментально с использованием методики, изложенной в [9]. Проведение быстрого анализа возможно только в том случае, когда функция, описывающая ее, может быть представлена в явном виде. Нахождение функции, описывающей двумерную диаграмму направленности излучения ЛД в явном виде, не представляется возможным из-за астигматизма лазерного пучка. Однако астигматизм пучка можно исключить, если рассматривать поле излучения ЛД отдельно в вертикальной и го-

ризонтальной плоскости и прилегающих к ним тонких слоях пространства.

В [10] показано, что, в случае генерации ЛД на фундаментальной моде, функция, описывающая диаграмму направленности излучения в вертикальной плоскости, имеет следующий вид:

$$f^\perp(\theta) = G^2(\theta^\perp) \exp(-A^2 z^2), \quad (1)$$

где $G^2(\theta^\perp)$ – квадрат углового фактора Гюйгенса [11]:

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

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

$$A^2 = \frac{\ln \left[2G^2(\theta_{1/2}^\perp) \right]}{\sin^2 \theta_{1/2}^\perp}; \quad (3)$$

$$Z^2 = \sin^2 \theta^\perp; \quad (4)$$

$G^2(\theta_{1/2}^\perp)$ – квадрат углового фактора при $\theta = \theta_{1/2}^\perp$,

рассчитываемый по формуле [2];

$\theta_{1/2}^\perp$ – половинный угол расходимости излучения в вертикальной плоскости; z – абсцисса точки гауссовой кривой

$$\varphi_g(z) = \exp(-A^2 z^2)$$

в декартовой системе координат.

Из (3) следует, что функция, описывающая диаграмму направленности излучения в вертикальной плоскости, однозначно задается в явном виде, если определен угол расходимости излучения ЛД $\theta_{1/2}^\perp$

Этот угол быстро определяется по хорошо разработанной методике. Благодаря этому существенно упрощается расчет мощности излучения, падающего на j -ый фотодиод, нормаль к приемной поверхности которого направлена под углом: θ_j^\perp

$$P_{\text{пад ФД}}(\theta_j) = I(0) \int_{\theta_{\min j}}^{\theta_{\max j}} \int_{-\alpha_{\text{ФД}}}^{\alpha_{\text{ФД}}} f^\perp(\theta, 0) da \sin \theta d\theta, \quad (5)$$

где $I(0)$ – осевая сила излучения ЛД; $f^\perp(\theta, 0)$ – функция, описывающая диаграмму направленности излучения ЛД в вертикальной плоскости; $\theta_{\min}, \theta_{\max}, [-\alpha_{\text{ФД}}]$ и $\alpha_{\text{ФД}}$ – полярные и азимутальные углы границ приемной площадки фотодиода;

θ и α – текущие сферические координаты – полярный и азимутальный угол.

В том случае, когда угловые апертуры двух фотодиодов равны, а сами фотодиоды расположены под разными углами

$$\theta_j^\perp \text{ и } \theta_{j+1}^\perp$$

к оптической оси измерительной системы отношение мощностей излучения, падающего на них, определяется формулой:

$$\frac{P_{\text{пад ФД}}(\theta_j)}{P_{\text{пад ФД}}(\theta_{j+1})} = \frac{\int_{\theta_{\text{min } j}}^{\theta_{\text{max } j}} \int_{-\alpha_{\text{ФД}}}^{\alpha_{\text{ФД}}} f^\perp(\theta, 0) da \sin \theta d\theta}{\int_{\theta_{\text{min } j+1}}^{\theta_{\text{max } j+1}} \int_{-\alpha_{\text{ФД}}}^{\alpha_{\text{ФД}}} f^\perp(\theta, 0) da \sin \theta d\theta} \quad (6)$$

Если отношение измеренных мощностей излучения, падающего на фотодиоды, равно правой части соотношения, имеет место одномодовый режим генерации.

Методика быстрого измерения степени поляризации лазерного излучения

Как уже отмечалось выше, разрабатываемый оптико-электронный комплекс должен обеспечивать быстрые измерения мощности, модовой структуры и степени поляризации излучения ЛД. Наименьшее время измерений этих параметров могло бы быть обеспечено только при одновременном их проведении. Однако измерения мощности с использованием интегрирующей сферы связаны с перекрытием пучка излучения, и поэтому делают невозможными проведение одновременно с ними измерений двух других параметров излучения. Модовая структура излучения ЛД определяется путем измерений и анализа его диаграмм направленности. При этом оптимальные условия проведения таких измерений обеспечиваются при установке фотоприемника на оптической оси комплекса.

Таким образом, единственной возможностью одновременных измерений модовой структуры и степени поляризации излучения ЛД остается расположение элементов комплекса, предназначенных для измерения поляризационного параметра, под некоторым углом к оптической оси комплекса.

Именно поэтому нами была разработана методика измерений степени поляризации излучения ЛД, основанная на ее измерениях под определенными углами к оптической оси оптико-электронного комплекса [8]. При измерениях степени поляризации по этой методике учитывается, что излучение ЛД состоит из двух некогерентных линейно поляризованных в ортогональных плоскостях ТЕ- и ТМ-компонент. Электрический вектор ТЕ-компоненты излучения параллелен *p-n*-переходу, а значит, перпендикулярен вертикальной плоскости, а электрический

вектор ТМ-компоненты лежит в этой плоскости [12]. Благодаря этому появляется возможность контроля состояния поляризации излучения ЛД в свободное пространство путем измерений его степени поляризации в вертикальной плоскости.

В 2015 году введен в действие документ [13], регламентирующий методы измерений степени поляризации излучения, в том числе сильно расходящегося. Однако анализ состояния поляризации такого излучения, согласно [13], проводится только после его коллимации. К сожалению, использование коллиматора приводит к изменению состояния поляризации излучения ЛД и, как следствие, к увеличению погрешности и даже искажению результатов измерений.

Важным событием было введение в [13] в качестве поляризационного параметра физической величины контраст *K*, значение которого определяется по формуле:

$$K = \frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2}, \quad (7)$$

где P_1 и P_2 – максимальная и минимальная мощности излучения, проходящего через линейный поляризатор. Согласно [13], при значениях контраста, превышающих 0,9, диагностируемое излучение линейно поляризовано, а его степень поляризации численно равна контрасту.

Нами установлено, что контраст ЛД практически всегда больше 0,9 [8]. Это позволяет обеспечить высокую скорость измерений степени поляризации за счет одновременной фиксации значений P_1 и P_2 путем размещения в периферийной части лазерного пучка элементов измерительной схемы, каждый из которых состоит из двух фотодиодов с установленными перед ними поляризационными призмами с взаимно перпендикулярными плоскостями пропускания.

Блок-схема и принцип функционирования оптико-электронного комплекса для быстрых измерений основных параметров излучения ЛД

На рис. 1 приведена блок-схема оптико-электронного комплекса, предназначенного для быстрых измерений модовой структуры (диаграммы направленности) и степени поляризации излучения ЛД в вертикальной плоскости. Ее прототипом является схема установки, приведенная в [9].

Диагностируемый лазерный диод 1 закреплен в юстировочном узле, жестко соединенном с поворотным столиком гониометра 2.

Юстировочный узел позволяет компенсировать несопадение осей симметрии корпуса ЛД и лазерного пучка.

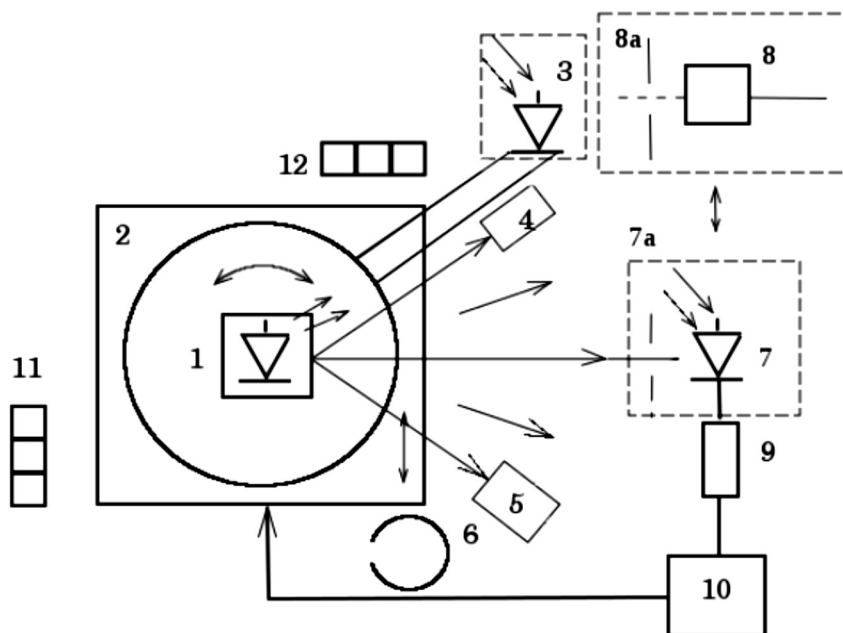


Рисунок 1. Схематическое изображение опико-электронного комплекса для быстрых измерений модовой структуры и степени поляризации лазерного излучения:

- 1 - диагностируемый лазерный диод ЛД; 2 - поворотный столик; 3 - приемник-свидетель;
- 4 и 5 - фотодиодные блоки с поляризационными призмами; 6 - интегрирующая сфера;
- 7 - фотодиод с диафрагмой 7а; 8 - планарный первичный измерительный преобразователь ПИП с диафрагмой 8а;
- 9 - АЦП; 10 - компьютер; 11 и 12 - водяные уровни для совмещения базовой оптической плиты с горизонтальной плоскостью.

Этот узел используется и в случае ухода оси диаграммы направленности излучения, вызванного изменением мощности генерации ЛД. Положение юстировочного узла регулируется сигналом рассогласования, поступающим на шаговые двигатели с выхода системы обработки сигнала координатно-чувствительного планарного первичного измерительного преобразователя (далее – ПИП) 8.

Излучение, распространяющееся в вертикальной плоскости в периферийной области лазерного пучка, падает на приемную поверхность приемника-свидетеля 3, корпус которого фиксирован относительно поворотного столика. Этот приемник позволяет определять нестабильность мощности излучения ЛД и учитывать ее в процессе измерений. Диагностируемый лазерный диод 1, расположен так, что ось диаграммы направленности его излучения проходит через центр диафрагмы 8а, установленной перед коллектором энергии планарного ПИП 8. Такое прохождение излучения через диафрагму обеспечивается за счет координатной чувствительности планарного ПИП. В случае ухода оси диаграммы направленности на выходе ПИП вырабатывается сигнал, по которому определяется ее смещение. Этот сигнал подается на АЦП 9 и далее на управляющую схему, подсоединенную к компьютеру 10. Сигнал с управляющей схемы обеспечивает изменение положения столика с жестко закреплен-

ным на нем ЛД таким образом, что ось диаграммы направленности снова направлена в центр диафрагмы.

За счет этого обеспечивается воспроизводимость условий облучения фотодиодов, находящихся в блоках 4 и 5, которые расположены симметрично оптической оси комплекса. В состав каждого блока входит фотодиод, на который падает излучение ЛД мощностью, рассчитываемой по (5), а также два фотодиода с установленными перед ними поляризационными призмами с взаимно перпендикулярными плоскостями пропускания. Композиции из фотодиодов и поляризационных призм позволяют определять контраст по (7). При этом излучение, падающее на эти фотодиоды, распространяется под некоторым фиксированным углом θ . Зная этот угол, по (1) можно найти значение функции $f^{\pm}(\theta)$, что принципиально важно при измерениях как модовой структуры, так степени поляризации излучения ЛД.

На время измерений диаграмм направленности излучения ПИП выводится из области измерений и на его место устанавливается фотодиод 7 с расположенной перед ним диафрагмой 7а, апертура которой выбирается из условия обеспечения сканирования ДН с шагом 15 угловых минут.

Если измерение степени поляризации излучения ЛД, падающего на входные апертуры блоков 4 и 5, должно проводиться без нарушений функционирования ЛД, ПИП вместе с установленной перед ним диафрагмой выводится из схемы измерений. При этом контроль положения оси диаграммы направленности осуществляется с помощью выходных сигналов с фотодиодов, расположенных в фотодиодных блоках с поляризационными призмами.

Заключение

Показана возможность проведения быстрых одновременных измерений модовой структуры и степени по-

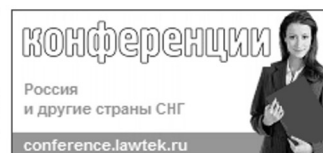
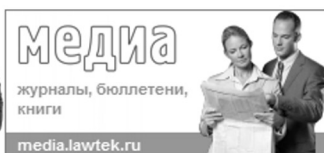
ляризации излучения ЛД.

Установлено, что для проведения таких измерений необходимо использовать методики, основанные на определении в явном виде функции, описывающей диаграмму направленности излучения ЛД в вертикальной плоскости. Приведена общая концепция построения оптико-электронного комплекса для быстрых измерений мощности, модовой структуры и степени поляризации излучения ЛД путем объединения в нем интегрирующей сферы с фотоэлектрическими преобразователями лазерного излучения и поляризационными призмами, расположенными определенным образом в периферийной области пучка.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р ИСО11554–2008. Лазеры и лазерные установки (системы). Методы испытаний лазеров и измерений мощности, энергии и временных характеристик лазерного пучка.
2. Проспект продукции фирмы OPHIR. 2014. www.ophiropt.com. 126 с.
3. Давыдова Е.И., Лагутин М.А., Мармалюк А.А., Падалица А.А., Петровский А.В., Сухарев А.В., Успенский М.Б., Шишкин В.А. Мощные одномодовые лазерные диоды на основе квантоворазмерных гетероструктур In GaAs/ AlGaAs, легированных углеродом // Квантовая электроника. 2009. Т.39, № 1. С. 18 – 20.
4. Лютецкий А.В., Пихтин Н.А., Фетисова Н.В., Лешко А.Ю., Слипченко С.О., Соколова З.Н., Рябоштан Ю.А., Мармалюк А.А., Тарасов И.С. Мощные диодные лазеры на основе асимметричных квантово-размерных гетероструктур раздельного ограничения In GaAs/InP // Физика и техника полупроводников. 2009. Т.43, вып.12. С. 1646 – 1648.
5. 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-одномодовые полупроводниковые лазеры с гребневой конструкцией оптического волновода // Квантовая электроника. Т.32, № 12. С. 1099 – 1104.
6. Проспект продукции фирмы COHERENT. 2014. www.Coherent.com. 144 с.
7. Дьячков Н.В., Богатов А.П. Измерение параметров Стокса излучения полупроводниковых лазеров // Квантовая электроника, Т. 41, № 10, 2011. – С. 869 – 874.
8. Березовская Н.В., Близняк В.В., Брит М.А., Ефремов В.С., Моисеев А.А., Паршин В.А. Средство измерений степени поляризации излучения одномодового лазерного диода в свободное пространство. Сборник докладов 24-ой международной конференции "Лазеры. Измерения. Информация" Т.1. – СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2014. С. 30 – 38.
9. Богатов А.П., Дракин А.Е., Стратонников А.А., Коняев В.П. Яркость и филаментация оптического потока мощных квантоворазмерных InGaAs/GaAs – лазеров, работающих в непрерывном режиме // Квантовая электроника, Т. 30, № 5, 2000. – С. 401 – 405.
10. V. Bliznyuk, N. Berezovskaya, V. Parshin, A. Tarasov. Non-standardized measurement methods and measuring instruments for parameters and characteristics of laser diodes radiation and their standardization prospects// Proceedings of the International Academic Forum AMO – SPITSE – NESEFF. – Smolensk: Publishing "Universum". – 2016. P. 85 – 86.
11. Thompson G.H.B. Physics of semiconductor laser devices. N.Y.: J. Wiley and Sons.1980. P. 185 – 186.
12. Кейси Х., Паниш М. Лазеры на гетероструктурах М.: Мир, 1981. Т. 1. 299 с.
13. ГОСТ Р ИСО 12005–2013. Лазеры и лазерные установки (системы). Методы измерений параметров лазерных пучков. Поляризация.

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



ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ РЕФРАКТОМЕТРЫ НА ОСНОВЕ БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК С ФАЗОВЫМ π -СДВИГОМ

FIBER OPTIC REFRACTOMETERS BASED ON BRAGG GRATINGS WITH PHASE π -SHIFT

V. Kazarov
O. Morozov

Annotation

This article discusses the development of fiber optic refractometers of parallel type based on two Bragg gratings with the π -phase shift, one of which is etched in the contact zone with the test substance. The possibility of additional control of tensile/compression deformation of the structural elements, in which the test substance is, by third grating, incorporating in the refractometer, and increase of measurement resolution by creating ring gratings with the π -phase shift and Fano resonance forming in them.

Keywords: fiber optic refractometer of parallel type, Bragg grating with phase π -shift, measurement of tensile/compression deformation, ring Bragg grating with phase π -shift, resolution, Fano resonance.

Казаров Виталий Юрьевич
Аспирант, Казанский национальный
исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева–КАИ
Морозов Олег Геннадьевич
Д.т.н., Казанский национальный
исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева–КАИ

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы развития волоконно-оптических рефрактометров параллельного типа на основе двух брэгговских решеток с фазовым π -сдвигом, одна из которых вытравлена в зоне контакта с исследуемым веществом. Показана возможность дополнительного контроля деформации растяжения/сжатия структурных элементов, в которых находится исследуемое вещество, за счет включения в рефрактометр третьей решетки и повышения разрешающей способности измерений за счет создания кольцевых решеток с фазовым π -сдвигом и формирования в них резонанса Фано.

Ключевые слова:

Волоконно-оптический рефрактометр параллельного типа, брэгговская решетка с фазовым π -сдвигом, кольцевая брэгговская решетка с фазовым π -сдвигом, измерение деформаций растяжения/сжатия, разрешающая способность, резонанс Фано.

Введение

Волоконно-оптические рефрактометры (ВОР) на основе брэгговских решеток (БР) стремительно развиваются последние десятилетия, находя широкое применение для классификации исследуемого вещества, определения его компонентного состава, контроля малых и сверхмалых концентраций растворов и т.д. [1]. Среди рассматриваемых в настоящей статье приложений следует выделить [2] определение типа и качества электролитов в аккумуляторах, его укрупненного долевого состава, а также малых концентрации, растворенных в нем солей.

Информация в ВОР характеризуется величиной сдвига центральной длины волны БР в зависимости от изменения коэффициента преломления внешней оболочки волокна, сформированной в чувствительной зоне исследуемым веществом. Указанные выше процессы отличаются динамикой измерений, которая находится в преде-

лах от единиц секунд (определение типа) до единиц минут (определение сверхмалых концентрации), и определяет требования к метрологическим, конструктивным и эксплуатационным характеристикам ВОР.

Основные на сегодняшний день проблемы ВОР [3], требующие быстрого и технологичного решения, могут быть отражены следующими требованиями: увеличение разрешающей способности; повышение чувствительности; формирование стабильных по амплитуде и чистоте спектра зондирующих излучений; выделение рефрактометрической информации из комплекса одновременно влияющих на показания ВОР параметров, определяемых универсальностью отклика БР на изменение давления, температуры и коэффициента преломления; построение датчиков точечного типа и распределенных сетей на их основе.

Частные решения указанных проблем нашли отражение в настоящей статье для указанных выше приложений

в части улучшения разрешающей способности и расширения функциональных возможностей.

1. Разрешающая способность ВОР на базе БР с фазовым сдвигом

Для достижения высокой разрешающей способности в различных сенсорных системах на основе БР применяются как сами решетки, анализ сдвига центральной длины волны которых проводится по узкополосным особенностям их спектральных характеристик, так и более сложные конфигурации, например, интерферометр Фабри–Перо (ИФП) на базе двух БР, характеризующийся наличием очень узкого резонанса и который на сегодняшний день наиболее широко используются на практике [4]. Однако в ВОР наиболее приемлемо использование таких решеток, как решетки с фазовым π -сдвигом, которые характеризуются более узким резонансом пропускания, размерами, сравнимыми с размером одной решетки, и высокой чувствительностью к изменению коэффициента преломления оболочки или окружающей среды.

На рис. 1 схематично показаны структуры ВОР с вытравленной оболочкой на базе БР (а), в конфигурации ИФП на базе двух БР с вытравленным резонатором (б) и полным травлением по всей длине (в), а также на базе БР с фазовым π -сдвигом (г).

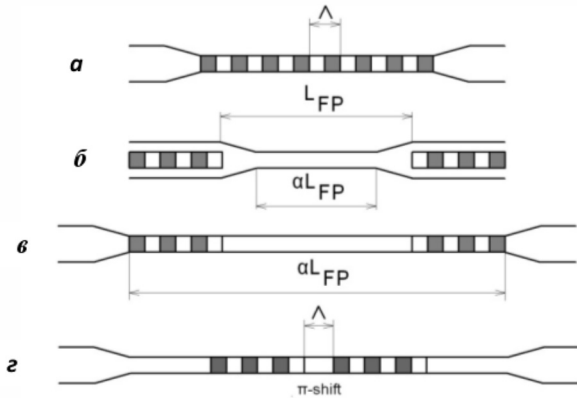


Рисунок 1. Типы чувствительных элементов ВОР.

Для ВОР на базе БР (рис. 1,а) центральная длина волны полосы отражения λ_B определяется как

$$\lambda_B = 2n_{eff}\Lambda, \quad (1)$$

где

Λ – период БР, определяемый фазовой маской,
 n_{eff} – эффективный коэффициент преломления БР.

Коэффициент преломления исследуемого материала (окружающей ВОР среды) n_{amb} может быть определен по измеренной λ_B и известным коэффициенте преломления

сердцевины n_{co} и радиусе a_{cl} оболочки вытравленного волокна по процедуре [4].

Чувствительность ВОР на базе БР может быть определена следующим образом

$$\Delta\lambda_B = 2 \left(\Lambda \frac{\partial n_{eff}}{\partial n_{amb}} \right) \Delta n_{amb}. \quad (2)$$

Для ИФП с вытравленным резонатором (рис.1,б) при условии постоянства его длины L_{FP} резонансная длина волны λ_{FP} определяется следующим выражением

$$m\lambda_{FP} = 2n_{eff}L_{FP} \quad (3)$$

где m – номер моды.

При изменении коэффициента преломления исследуемого материала n_{amb} эффективный коэффициент преломления изменяется на величину Δn_{eff} а резонансная длина волны m -ой моды сдвигается на величину $\Delta\lambda_{FP}$. Из (3) можно получить

$$\Delta\lambda_{FP} / \lambda_{FP} = \alpha \Delta n_{eff} / n_{eff}, \quad (4)$$

где α – доля оптической длины резонатора ИФП, вытравленная при изготовлении датчика.

Достоинством такого типа датчика является линейный характер зависимости сдвига резонансной длины волны от изменения эффективного показателя преломления и наличие узкополосного резонансного пика, обеспечивающего измерение коэффициента преломления с высоким разрешением.

Однако для ВОР наиболее существенной является зависимость сдвига центральной длины волны от изменения коэффициента преломления окружающей среды

$$\frac{\Delta\lambda_{FP}}{\lambda_{FP}} = \alpha \left(\frac{\Delta n_{amb}}{n_{eff}} \right) \left(\frac{\partial n_{eff}}{\partial n_{amb}} \right) \quad (5)$$

Оценки, проведенные нами [5], и результаты, приведенные в работах других авторов [1, 4], показали, что величина чувствительности ВОР в конфигурации ИФП с вытравленным резонатором меньше, чем чувствительность ВОР на базе БР. На основе данных указанных источников предельно детектируемое изменение коэффициента преломления для первого типа ВОР от двух до десяти раз меньше, чем для второго и составляет соответственно $\sim 10^{-5}$ и $\sim 10^{-6}$ RIU [4]. Компенсировать указанную разницу можно при изготовлении ВОР в конфигурации ИФП с травлением по полной оптической длине (рис.1,в).

Тогда полная чувствительность ВОР будет определяться комплексным откликом БР и фазовым сдвигом резонатора ИФП, не ухудшая при этом значения указанного для решеток Брэгга.

Недостатком приведенного решения является появление нелинейной зависимости между сдвигом длины волны и изменением коэффициента преломления, однако сохраняется значительное увеличение в разрешающей способности рефрактометрических измерений. Реально достижимая полуширина резонансного спектра ВОР в конфигурации ИФП составляет по данным [4] 0,025 нм, а для БР – 0,5 нм. Это значит, что разрешающая способность ИФП ВОР в 20 раз лучше, чем у датчика на одной БР.

Развивая данный подход нами в [5] был предложен ВОР параллельного типа на основе БР с фазовым π -сдвигом, который представляет собой два оптических волокна с записанными в них идентичными решетками. Одна из решеток вытравлена и выполнена как простейший ИФП с длиной резонатора, не превышающей λ_B (рис.1,г). Полуширина резонансного пика решетки, полученная нами, составила 0,01 нм [5], что свидетельствовало об увеличении разрешающей способности измерений в 50 раз по сравнению с датчиком на базе классической БР.

Дальнейшее повышение разрешающей способности может быть достигнуто при использовании (рис. 2) кольцевого резонатора (RR) с встроенной в него БР с фазовым π -сдвигом (π -FBG) [6].

В отличие от обычной БР спектральный отклик такого резонатора характеризуется асимметричным двойным расщеплением резонансной характеристики, состоящей из правого бокового резонанса, имеющего асимметричный профиль Фано, и левого бокового резонанса, имею-

щего симметричный профиль Лоренца. Правый резонанс Фано характеризуется более узким и острым пиком, чем все другие виды резонансов, достижимые с использованием как традиционных кольцевых резонаторов, так и БР с фазовым π -сдвигом. Уменьшение резонансной ширины линии достигает в такой структуре до пяти порядков и составляет сотые доли пм или десятки кГц. Теоретическое разрешение измерений может составить 10^{-9} RIU, что на три-четыре порядка выше, чем достигнутое в [5] – $1,3 \times 10^{-5}$ RIU и [4] – 10^{-6} RIU.

Основной проблемой съема информации о центральной длине волны или частоте данного типа резонанса является его узкополосность. Основная масса применений ВОР отличается использованием для зондирования БР широкополосных источников излучения и высокобюджетных оптических анализаторов спектра для регистрации информационных сигналов. При переходе к ВОР со сверхузкой индикационной полосой их использование становится не оптимальным и вызывает необходимость применения модуляционных методов измерений, практика реализаций которых в данной области пока ограничена, только применением для зондирования двухчастотных или полигармонических излучений, сформированных по методу Ильина-Морозова [7–9].

Однако данные методы использовались с применением лазеров с шириной линии излучения в десятки кГц. Поэтому необходимость использования сверхузкополосных лазеров для характеристики резонанса Фано представляет собой актуальную задачу для дальнейших исследований.

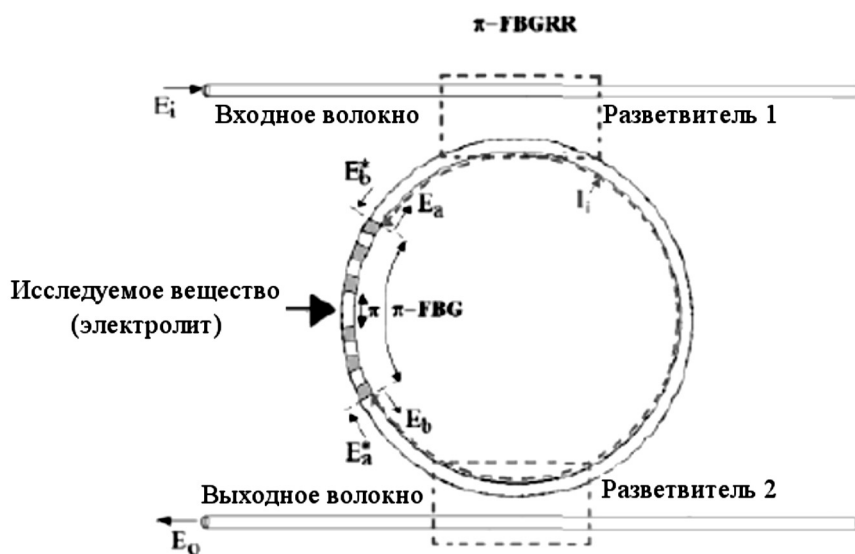


Рисунок 2. Кольцевой резонатор с встроенной БР с фазовым π -сдвигом (π -FBGRR).

2. ВОР параллельной структуры на базе трех БР с фазовым π -сдвигом

Существенная чувствительность БР к температурным изменениям и деформациям растяжения/сжатия приводит к значительным погрешностям ВОР в измерении показателя преломления (ПП). В связи с этим актуальной становится задача одновременного измерения как ПП, так и температуры и величины деформаций растяжения/сжатия.

Одна из частных задач исследований в области эксплуатации аккумуляторных батарей – повышение точности и достоверности измерения, плотности электролита при изменении температуры окружающей среды от -60 до $+60^\circ\text{C}$, а также разработка способа, позволяющего автоматизировать процесс измерения и максимально упростить конструкцию устройства в составе системы диагностирования, например, свинцовых аккумуляторов, для обеспечения непрерывного контроля плотности электролита в течение срока их эксплуатации на основе ВОР.

Температура также является одним из наиболее важных параметров, указывающим на выход из строя батареи литий ионных аккумуляторов, но даже в самых современных системах управления батареями не предусмотрен контроль распределения температуры по всему аккумулятору [3]. Поэтому дополнительным параметром, который может свидетельствовать о температурном профиле, может служить изменение размеров (объема) аккумуляторной батареи. Оба указанных параметра, также как и ПП, могут быть одновременно проконтролированы с помощью ВОР контроля рабочих характеристик аккумулятора, состоящего из нескольких БР с фаз. π -сдвигом.

Решение задачи одновременного измерения ПП и температуры было предложено нами в [5]. При этом использовался двухчастотный метод зондирования как ее центрального лоренцевского контура пропускания, так и внешнего гауссова контура отражения. Обработка сигнала велась для огибающих на соответствующих промежуточных частотах для каждого из контуров. При этом формируется двухконтурная система измерений с "грубым" гауссовским и "точным" лоренцевским контурами.

Центральные длины волн решеток БР1 и БР2 при одинаковой температуре отличаются в силу вытравливания в БР2 оболочки волокна на определенную глубину. На уровне зондирования это выражается в необходимости использования двух источников двухчастотного излучения, настроенных соответственно на средние длины волн λ_1 и λ_2 , и решения уравнения раздельно для температуры и коэффициента преломления аналогично задаче для двоянных решеток [9].

В этом случае расстройкам, полученным при двухчас-

тотном зондировании на каждой из длин волн, не ставится в соответствие какой-либо из физических параметров, а проводится дополнительная процедура вычислений по следующим алгоритмам.

Выходные сигналы U_{R1} и U_{R2} для огибающих на промежуточных частотах описываются следующими выражениями

$$U_{R_1} = \delta_{T_1}(\lambda_1)T + \delta_{n_{eff,1}}(\lambda_1)n_{eff}, \quad (6)$$

$$U_{R_2} = \delta_{T_2}(\lambda_2)T + \delta_{n_{eff,2}}(\lambda_2)n_{eff}, \quad (7)$$

где $\delta_{T_1}(\lambda_1)$, $\delta_{n_{eff,1}}(\lambda_1)$, $\delta_{T_2}(\lambda_2)$, $\delta_{n_{eff,2}}(\lambda_2)$

– известные коэффициенты на измерительных характеристиках, соответствующие зависимостям расстройки решеток, предварительно настроенных на длины волн λ_1 и λ_2 по температуре и эффективному ПП.

Отсюда

$$T = \frac{U_{R1}\delta_{n_{eff,2}}(\lambda_2) - U_{R2}\delta_{n_{eff,1}}(\lambda_1)}{\delta_{T_1}(\lambda_1)\delta_{n_{eff,2}}(\lambda_2) - \delta_{T_2}(\lambda_2)\delta_{n_{eff,1}}(\lambda_1)}, \quad (8)$$

$$n_{eff} = \frac{U_{R2}\delta_{T_1}(\lambda_1) - U_{R1}\delta_{T_2}(\lambda_2)}{\delta_{T_1}(\lambda_1)\delta_{n_{eff,2}}(\lambda_2) - \delta_{T_2}(\lambda_2)\delta_{n_{eff,1}}(\lambda_1)}. \quad (9)$$

Эти математические вычисления выполняются в программном блоке ВОР и позволяют одновременно получить значения параметров температуры и эффективного коэффициента преломления в зоне расположения БР1 и БР2.

С учетом деформаций растяжения/сжатия Брэгговская длина волны ВРБ меняет свое значение в зависимости от приложенных к ней температуры и натяжения:

$$\Delta\lambda = \lambda_B(1 - P_e) \in +(\xi_S + \alpha_S)\Delta T, \quad (10)$$

где

P_e – коэффициент фотоупругости;

ξ_S – термооптический коэффициент ($\sim 7 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$);

α_S – коэффициент теплового расширения ($\sim 5 \times 10^{-7} \text{ K}^{-1}$) волокна.

Известные значения разрешающей способности по температуре и натяжению соответственно составили $0,5^\circ\text{K}$ и 1 мкМ/м .

С учетом рассмотренных положений нами предложена параллельная структура ВОР, аналогичная [5], но состоящая из трех ВРБ (рис. 3).

Поскольку решетки расположены параллельно и в одном месте, идентичны по размерам и комплексированы через разветвитель, то они воспринимаются как одна ре-

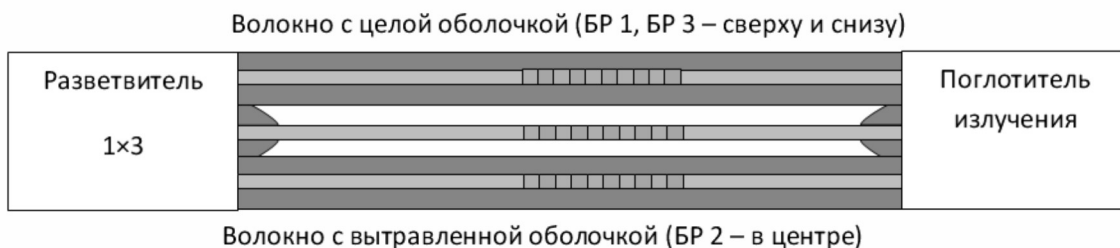


Рисунок 3. Структурная схема ВОР параллельной структуры из трех решеток.

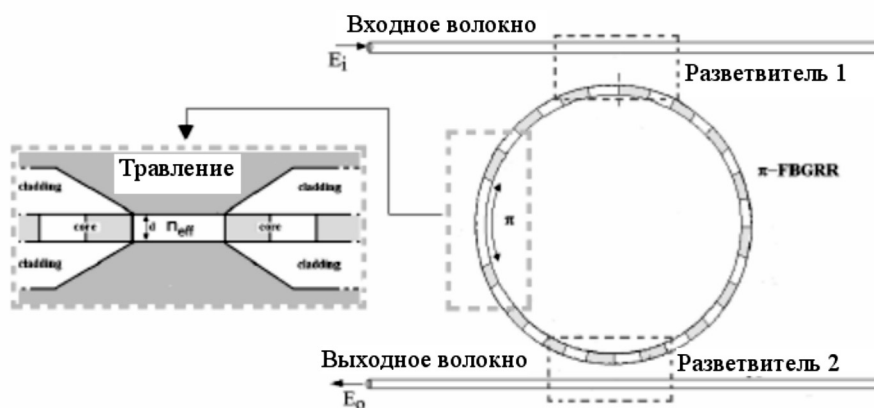


Рисунок 4. Выравненная кольцевая БР с фазовым π -сдвигом.

шетка. Центральные длины волн решеток БР1, БР3 и БР2 при одинаковой температуре отличаются в силу выравливания в БР2 оболочки волокна на определенную глубину. Если решетка БР3 для контроля размера электрода жестко будет к нему прикреплена, то ее длина волны также будет отличаться и от центральной длины волны БР1. На уровне зондирования это выражается в необходимости использования полигармонического источника зондирующего излучения (комб-генератора) [10], настроенного соответственно на средние длины волн λ_1, λ_2 и λ_3 , и решения уравнений раздельно для температуры и коэффициента преломления (6)–(9) и аналогично для температуры и растяжения электрода.

Подобный ВОР может быть изготовлен и на кольцевых структурах в различных вариантах. Вертикальная конфигурация: БР1 крепится на электрод, БР2 выполняется выравненной (рис. 4), БР1, БР2 и БР3 располагаются друг над другом, но так, чтобы БР2 и БР3 были изолированы от деформаций БР1. Горизонтальная конфигурация: решетки расположены так, что БР2 и БР3 в зоне измерения смотрят навстречу друг другу, а чувствительная зона решетки БР1 направлена в их сторону или установлена параллельно БР3.

3. Формирование зондирующего излучения

Как было показано в предыдущем разделе, для зондирования ВОР параллельного типа из двух или трех решеток необходимо сформировать двухчастотное излучение на средних длинах волн λ_1 и λ_2 или λ_1, λ_2 и λ_3 . Наиболее простым вариантом для такого формирования является использование двухпортового модулятора Маха-Цендера.

Напряженность поля сигнала на его выходе описывается следующим выражением:

$$E_{out}(t) = 0,5E_{in} \left[\exp(j\Delta\phi_1(t)) + \exp(j\Delta\phi_2(t)) \right] \cdot \exp(j\omega_0 t), \quad (11)$$

где $\Delta\phi_1(t)$ and $\Delta\phi_2(t)$ – фазовые сдвиги в первом и втором портах (плечах) модулятора,

E_{in} – амплитуда входного оптического сигнала. Фазовые сдвиги определяются воздействием модулирующих

сигналов $V_i(t)$ и заданными рабочими точками на склоне модуляционной характеристики модулятора ($i=1, 2$ – номер порта (плеча) модулятора):

$$\Delta\phi_i(t) = \frac{\pi}{U_\pi} (V_i(t) + V_{bias\ i}), \quad i = 1, 2. \quad (12)$$

Найдем передаточную функцию модулятора через отношение напряженностей выходного сигнала к входному с учетом устранения фазового чирпа модулятора $V_1(t) = V_2(t)$, получим:

$$\Psi = \cos(X \cos(\omega_{RF}t + \Delta\phi/2)) \cos(Y) + \sin(X \cos(\omega_{RF}t + \Delta\phi/2)) \sin Y, \quad (13)$$

где $X = \pi \cdot V \sin(\Delta\phi/2) / U_\pi$,

$$Y = \pi \cdot \Delta V_{bias} / 2U_\pi, \quad \Delta V_{bias} = V_{bias1} - V_{bias2},$$

V – амплитуда модулирующего сигнала, ω_{RF} – радиочастота модуляции.

Приняв в выражении (13) $\sin Y = 1$, получим

$$\pi \cdot \Delta V_{bias} / 2U_\pi = \pi/2, \quad \text{или} \quad \Delta V_{bias} = U_\pi.$$

Тогда

$$\Psi = \sin(X \cos(\omega_{RF}t + \Delta\phi/2)) = -2 \sum_{k=0}^{\infty} J_{2k+1}(X) \sin((2k+1)\omega_{RF}t). \quad (14)$$

Приняв $\Delta\phi = \pi$, получим $X = (\pi V) / U_\pi$.

После элементарных математических преобразований, принимая во внимание соотношение для X , получим выражение для напряженности выходного оптического излучения, которая будет определяться функциями Бесселя 1-го рода $[2k+1]$ -порядка:

$$\begin{aligned} E_{out}(t) &= \\ &= -2E_{in} \sin(\omega_0 t) \sum_{k=0}^{\infty} J_{2k+1}(X) \sin((2k+1)\omega_{RF}t) = \\ &= E_0 J_1(X) [\cos(\omega_0 + \omega_{RF})t - \cos(\omega_0 - \omega_{RF})t] + \\ &+ E_0 J_3(X) [\cos(\omega_0 + 3\omega_{RF})t - \cos(\omega_0 - 3\omega_{RF})t] + \\ &+ E_0 J_5(X) [\cos(\omega_0 + 5\omega_{RF})t - \cos(\omega_0 - 5\omega_{RF})t] + \dots \end{aligned} \quad (15)$$

Таблица 1.

Параметры модуляции и выходного излучения модулятора.

Параметры модуляции и амплитуда	Количество спектральных составляющих N			
	Две	Четыре	Шесть	Восемь
X	1,84	3,05	5,31	7,90
$J_1(X)$	0,582	0,319	0,346	0,220
$J_3(X)$	0,105	0,319	0,302	0,289
$J_5(X)$	-	0,046	0,300	0,210
$J_7(X)$	-	-	0,073	0,314

Из (15) видно, что несущая частота ω_0 подавлена, а излучение состоит из двух симметричных полос с нечетными гармоническими составляющими радиочастоты – $(\omega_0 + (2k+1)\omega_{RF})$ и $(\omega_0 - (2k+1)\omega_{RF})$.

Для нечетных гармоник результаты численного моделирования сведены в табл. 1, а результаты моделирования в пакете Optisystem 7.0 представлены соответственно на рис. 5, а–б.

Для демонстрации выбраны: четырехчастотное излучение для ВОР на двух решетках (рис. 5,а) и восьмичастотное для ВОР на трех решетках (рис. 5,б), причем одна из крайних его пар может быть использована для построения опорного канала.

4. Результаты моделирования

Результаты моделирования ВОР показаны на рис. 6.

Детектирование изменений коэффициента преломления может быть проведено на уровне 10^{-6} RIU.

Показанные четыре точки на рис. 6,а соответствуют плотности электролита 1,42, 1,5, 1,62 и 1,7 г/см³.

Погрешность измерения температуры (рис. 6,б) составила 0,1°C.

На рис. 7 показано приращение центральной длины волны решетки при измерении деформаций натяжения.

Полученные экспериментально значения трендов показали, что чувствительность БР с фазовым π -сдвигом по температуре составила ~ 7,72 пм/°С, а по давлению ~ 0,91 пм/με по центру окна прозрачности.

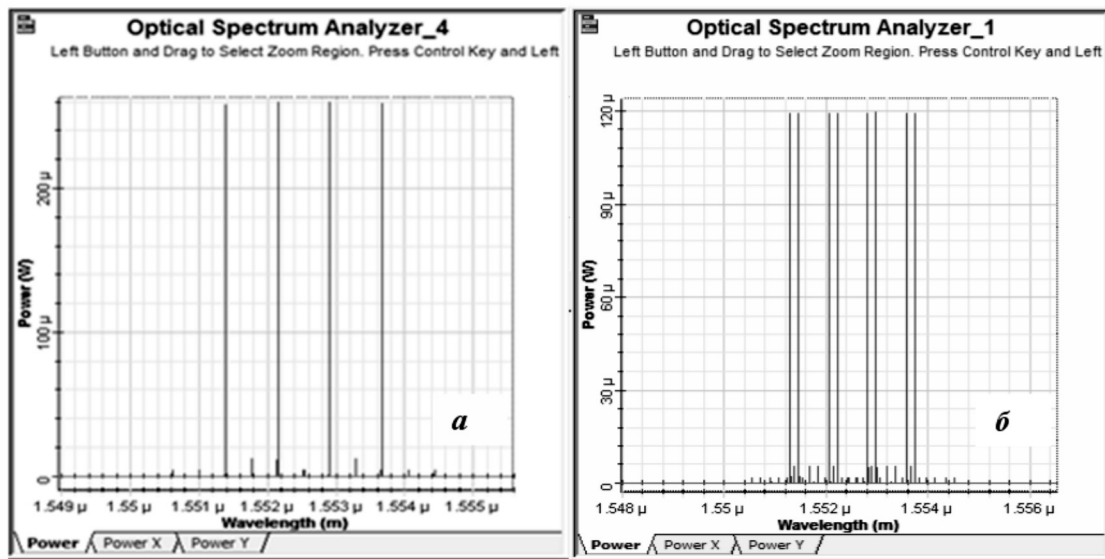


Рисунок 5. Излучение на выходе модулятора (нечетные гармоники):
а - двухчастотное; б - восьмичастотное.

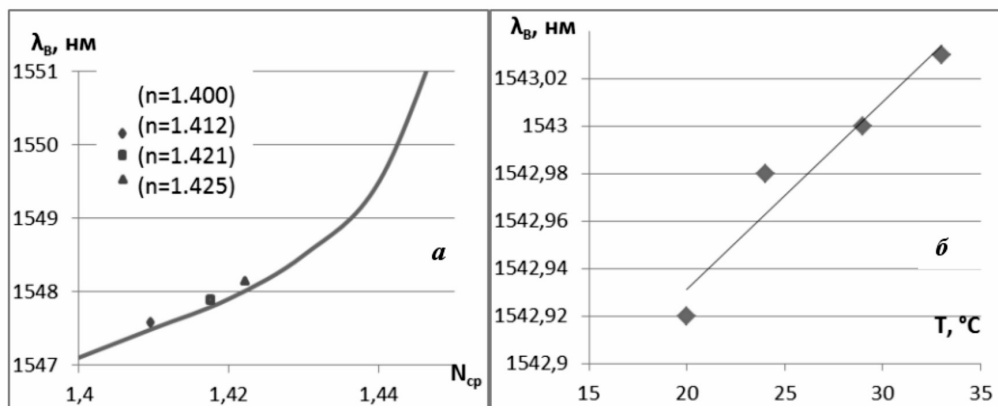


Рисунок 6. Измерительные характеристики ВОР: а - рефрактометр; б - термометр.



Рисунок 7. Измерительная характеристика ВОР по натяжению.

Выводы по работе

В работе рассмотрены задачи развития волоконно-оптических рефрактометров параллельного типа на основе трех брэгговских решеток с фазовым π -сдвигом с целью дополнительного контроля деформаций растяжения/сжатия структурных элементов, в которых находится исследуемое вещество, а также повышения разрешаю-

щей способности измерений до 10^{-9} RIU за счет создания кольцевых решеток с фазовым π -сдвигом и формирования в них резонанса Фано.

Показано решение задачи формирования полигармонических излучений из одночастотного для зондирования трех решеток, и определена задача поиска одночастотного лазера с шириной линии излучения до десятков, сотен Гц.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках проектной части госзадания 3.1962.2014 / К "Радиофотоника".

ЛИТЕРАТУРА

1. Asseh A. et al. Fiber optical Bragg grating refractometer // *Fiber Integr. Opt.* 1998. V. 17. No. 1. P. 51–62.
2. Сарварова Л.М. и др. Комплексный подход к решению задач сетевого мониторинга бортовых систем и устройств электроснабжения транспортных средств на основе волоконно-оптических технологий // *Современные проблемы науки и образования*. 2014. № 6. С. 246.
3. Meyer J. et al. Fiber optical sensors for enhanced battery safety // *Proc. of SPIE*. 2015. V. 9480. P. 94800Z.
4. Wei L. et al. Highly sensitive fiber Bragg grating refractive index sensors // *Applied Physics Letters*. 2005. V. 86. P. 151122.
5. Садыков И.Р. и др. Волоконно-оптический рефрактометрический датчик // *Труды МАИ*. 2012. № 61. С. 18.
6. Campanella C.E. et al. Investigation of refractive index sensing based on Fano resonance in fiber Bragg grating ring resonators // *Opt. Express*. 2015. V. 23. No. 11. P. 14301–14313.
7. Морозов О.Г. и др. Амплитудно-фазовые методы формирования зондирующих излучений для систем анализа волоконно-оптических структур // *Физика волновых процессов и радиотехнические системы*. 2007. Т. 10. № 3. С. 119–124.
8. Насыбуллин А.Р. и др. Радиофотонный синтез сложных радиосигналов с линейной частотной модуляцией // *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики*. 2015. №12.
9. Куревин В.В. и др. Структурная минимизация волоконно-оптических сенсорных сетей экологического мониторинга // *Инфокоммуникационные технологии*. 2009. Т. 7. № 3. С. 46–52.
10. Севастьянов А.А. и др. Формирование многочастотного излучения в двухпортовом модуляторе Маха-Цендера // *Научно-технический вестник Поволжья*. 2013. №4. С.232–236.

© В.Ю. Казаров, О.Г. Морозов, (microoil@mail.ru), Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики».

ЭкспоПрофи ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ИВАНОВСКОЙ ОБЛАСТИ
ПОСТОЯННО ДЕЙСТВУЮЩАЯ ВЫСТАВКА

ИВАНОВСКАЯ ОБЛАСТЬ

РЕКЛАМА

Организована по инициативе губернатора Ивановской области М.А. Меня
Действует при поддержке Департамента экономического развития Ивановской области

ОЦЕНКА ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ТЕМПЕРАТУРУ НАГРЕВА В СИСТЕМЕ ДИСКОВОГО ТОРМОЖЕНИЯ

ASSESSMENT OF THE FACTORS INFLUENCING THE HEATING TEMPERATURE OF THE DISK BRAKE SYSTEM

D. Mironov

Annotation

The article analyzes the main factors influencing the temperature in the heating system of the disk brake. It is shown that the main factors include: conducting train mode (braking process); forces and stresses occurring between the pads and the disk; interacting properties of materials; ambient temperature. Built according to temperature changes in the disk nodes located on the surface of the braking of the train braking time. It is shown that the temperature of the disk radials evenly distributed.

Keywords: heating temperature, disk brake system, factors.

Миронов Дмитрий Олегович

Аспирант, ФГБОУ ВО "Московский
государственный университет путей
сообщения Императора Николая II"

Аннотация

В статье проанализированы основные факторы, влияющие на температуру нагрева в системе дискового торможения. Показано, что к основным факторам, относятся: режим ведения поезда (процессы торможения); силы и напряжения, возникающие между накладками и диском; свойства взаимодействующих материалов; температуру окружающей среды. Построены зависимости изменения температур в узлах диска, расположенных на поверхности торможения от времени торможения поезда. При этом показано, что температура по радиусу диска распределена неравномерно.

Ключевые слова:

Температура нагрева, система дискового торможения, факторы.

Тормозные системы подвижного состава железных дорог являются одной из составляющих в обеспечении необходимого уровня безопасности движения, а дисковые тормозные системы позволяют обеспечить надёжность и безопасность при внедрении и развитии высокоскоростного движения.

Проведённый обзор работ в области тормозных систем подвижного транспорта железных дорог показал, что основным подходом при исследовании нагруженности деталей тормозных систем является рассмотрение нестационарных тепловых полей и напряжений с использованием расчётных схем, не позволяющих учесть геометрические размеры деталей, распределения давлений, тепловых потоков и теплообмена в полном объёме. Существующие методы расчета базируются на использовании конечно-элементных расчётных схем, методах конечных разностей и, которые позволяют произвести расчеты практически с учетом всех действующих факторов в процессе торможения. Следует отметить, что существует небольшое количество работ, посвящённых расчёту тормозных систем с использованием численных методов.

Для моделирования температурных полей и напряжений в дисковых тормозах подвижного состава следует

учитывать внутренние процессы фрикционных пар, такие как: теплопроводность и упругое поведение взаимодействующих материалов. Решение контактных задач необходимо начинать с построения структурной схемы создаваемых алгоритмов и программ.

Исходя из опыта эксплуатации дисковых тормозов подвижного состава, определено, что по температурным нагрузкам и износу, при различных режимах торможения, в самых жестких условиях находятся детали пары трения, т.е. материалы диска и тормозных накладок, поэтому следует более детально рассмотреть вопросы распределения температурных полей (градиентов температур, тепловых потоков, температурных напряжений), возникающих в процессе торможения.

Рассмотрим факторы, влияющие на температуру нагрева в системе дискового торможения. Так, к основным факторам, влияющим на кинетику тепловых процессов в системе дискового торможения следует отнести: режим ведения поезда (процессы торможения); силы и напряжения, возникающие между накладками и диском; свойства взаимодействующих материалов; температуру окружающей среды.

Процесс торможения железнодорожного подвижного состава характеризуется высокой тепловой нагрузкой фрикционных элементов, поэтому для обеспечения высокой эффективности работы дискового тормоза необходимы данные о тепловой нагрузке деталей пары трения. Эти данные учитываются для выбора материалов и конструктивных решений при проектировании деталей пары трения, для определения необходимого количества тормозных устройств, устанавливаемых на оси колесной пары, а также для обеспечения параметрической связи между силовыми характеристиками тормозного блока и тепловыми характеристиками деталей фрикционной пары.

Остановочные торможения осуществляются, как правило, при постоянной силе нажатия, однако коэффициент трения фрикционных материалов, применяющихся в современных тормозах, нелинейно изменяется в зависимости от скорости. Режим экстренного торможения с максимальной скорости движения до полной остановки можно считать одним из самых неблагоприятных в системе дискового торможения. Также тяжёлым для системы дискового торможения может оказаться режим чередования разгона и служебного торможения до остановки, который в случае пассажирских перевозок может реализовываться между достаточно близко расположенными станциями.

Каждый интервал характеризует либо разгон, либо торможение, либо движение с постоянной скоростью. Разгон и движение с постоянной скоростью соответствуют теплообмену деталей тормоза с обдувающим воздухом, а при торможении – теплообмен сопровождается, к тому же, притоком теплоты. Рассматривать такой процесс необходимо как непрерывный, но с разными граничными условиями, зависящими от графика движения поездов и ограничений скорости. По причине отсутствия данных об изменении силы нажатия с течением времени торможения, но, располагая данными о величине средней силы нажатия на колодку, равной 3,6 кН, последняя, принималась постоянной на всех участках движения поездов во время торможения. К тому же отличие значений ускорений при торможении с разных скоростей при одинаковой силе нажатия на колодки допускает одновременное действие тормозных устройств различных типов.

Интенсивность теплового потока, выделяемого на поверхностях торможения, определяется распределением давлений между накладками и диском, и скоростью движения вагона. В работе [1] исследовано влияние конструкции тормозных накладок на фрикционные характеристики дискового тормоза железнодорожного вагона.

Выполненные в работе [2] расчеты показали, что законы распределения давлений, определяемые конструк-

цией тормозного башмака, оказывают существенное влияние на теплонапряженность диска.

Одним из факторов, влияющих на кинетику тепловых процессов в системе дискового торможения, являются материалы, взаимодействующих элементов. Применение материалов с повышенными механическими свойствами и снижение возникающих напряжений за счёт применения материалов с высоким коэффициентом температуропроводности и низкими коэффициентом линейного расширения и модулем упругости, а также конструкций, увеличивающих коэффициент внешней теплопроводности, позволяют добиться снижения максимальной температуры нагрева диска в процессе экстренного торможения.

Применение материалов с комбинацией прочностных, теплофизических и технологических свойств, направленных на понижение максимальных температур и напряжений, будет только улучшать работоспособность такой конструкции.

В работах [3, 4] рассматривалась возможность применения алюминия как материала для тормозного диска в связи с его большим (в 7 раз) коэффициентом температуропроводности по сравнению с чугуном. Максимальные температуры на поверхности торможения для диска из алюминия получились всего на 10% меньше, чем для диска из чугуна [4]. К тому же из-за значительно более высокой стоимости алюминия и более сложной технологии получения отливок (литья под давлением), несмотря на возможности достижения высокого уровня износостойкости алюминиевых дисков и снижение неподрессоренной массы при их применении, преимущества дисков из алюминия не так очевидны, что требует более детального теоретического и экспериментального изучения. Рациональность использования чугуна в качестве материала для диска также неочевидна, поскольку разнообразие чугунов по теплофизическим, механическим, технологическим свойствам требует выбора типа чугуна с определённым балансом свойств, обеспечивающих венцу работу в поле допускаемых для материала температур и напряжений.

За счёт рациональной конструкции и правильно подобранных материалов тормозного диска и накладок удаётся предотвратить образование обусловленных термической нагрузкой дефектов на тормозном диске. Достигаемое при этом равномерное распределение температуры по тормозному диску значительно снижает опасность образования трещин и повышает тормозную мощность диска почти на 50 % при неизменном сроке службы.

Как известно [5], свойства материала во многом зависят от его структуры. При разработке накладок, был сделан переход на более мягкую систему связующего

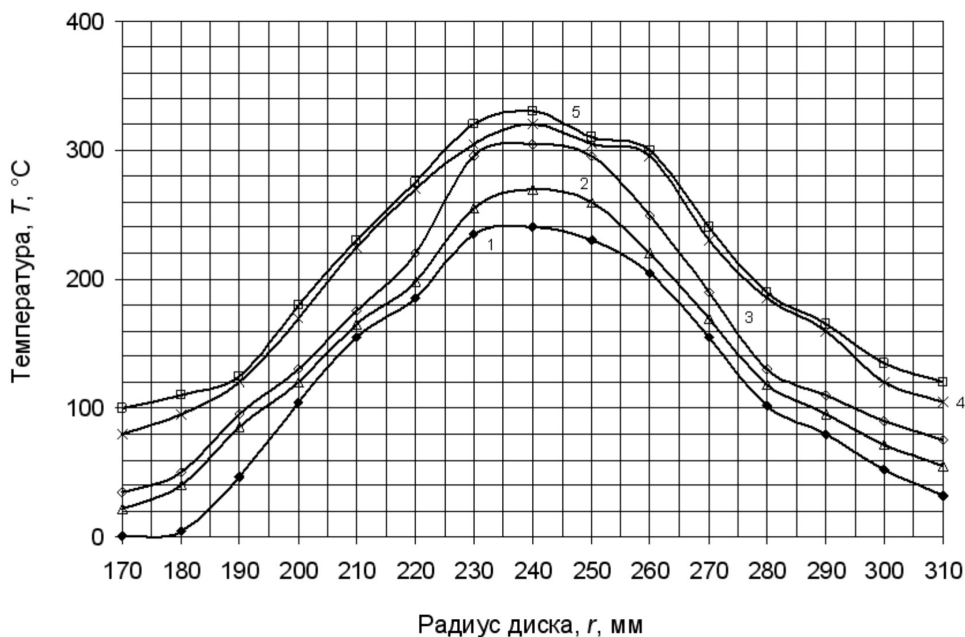


Рисунок 1. График изменения температур в узлах диска, расположенных на поверхности торможения в зависимости от времени торможения: 1 - 10 с; 2 - 30 с; 3 - 50 с; 4 - 70 с; 5 - 90 с.

материала [6] и, тем самым, улучшили теплоотвод от накладки за счет более плотного прилегания ее к диску. Итак, можно выделить следующие материалы, применяемые при изготовлении дискового тормоза (тормозного диска и накладок): различные марки стали, чугун (серый или с шаровидным графитом), керамика, металлокерамика, порошковые материалы, алюминий, углеродные материалы и полимеры, армированный карбидом кремний и т.д. [7–10].

Тормозные диски из специальных алюминиевых сплавов уменьшают неподрессоренную массу и снижают нагрузку на верхнее строение пути. Снижение массы способствует снижению расхода энергии, что особо ощутимо при частых разгонах и торможениях, характерных для пригородных поездов. За счет только этой экономии было достигнуто значительное сокращение эксплуатационных затрат [9]. Создаваемое удельное давление между накладками тормозных башмаков и диском составляет 0,357...0,536 МПа.

Материал диска работает при температурах, достигающих 400°C, а при контактировании по отдельным пятнам – температуры достигают более высоких значений. В этом диапазоне температур существенно меняются не-

которые физико-механические характеристики материалов.

В работе было проведено моделирование работы дискового тормоза. В результате, ниже на **рисунке 1**, представлен график изменения температур в узлах диска, расположенных на поверхности торможения в зависимости от времени торможения.

Температуры по радиусу диска распределены неравномерно. Наибольшая температура возникает в точке, расположенной на радиусе 240 мм. Температура быстро нарастает в течение первых 10 с торможения, достигает максимума на 50-й с, а к концу торможения несколько снижается.

В представленной работе были проанализированы основные факторы, влияющие на температуру нагрева в системе дискового торможения. Показано, что к основным факторам, влияющим на кинетику тепловых процессов в системе дискового торможения относятся: режим ведения поезда (процессы торможения); силы и напряжения, возникающие между накладками и диском; свойства взаимодействующих материалов; температура окружающей среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Моисеенко, М. А. Решение задачи термоупругости с использованием переходных конечных элементов высокой точности / М.А. Моисеенко, Г.А.

- Неклюдова // Материалы XII Международного симпозиума "Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред". Избранные доклады. – М.: Изд-во МАИ, 2006. – С. 121–124.
2. Мур, Д. Основы и применения трибоники / Д. Мур; перевод с английского канд. физ.-мат. наук С.А. Харламова под редакцией д-ра техн. наук, проф. И.В. Крагельского и канд. техн. наук Г.И. Трояновский. – М.: Мир, 1978. – 487 с.
3. Мошков, А.А. Разработка дискового тормоза для отечественного скоростного железнодорожного транспорта / А.А. Мошков, Е.С. Сипягин // Транспорт Российской Федерации. – № 6(49) – 2013. – С. 62–65.
4. Вуколов Л.А. Сравнительные характеристики железнодорожных колодок различных поставщиков / Л.А. Вуколов, В.А. Жаров // Вестник ВНИИЖТ, №2, 2005. – С. 16–20.
5. Боуден, Ф.П. Трение и смазка твердых тел [Текст] / Ф.П. Боуден, Д. Трейбор; пер. с англ. под ред. д-ра техн. наук И.В. Крагельского. – М.: Машиностроение, 1968. – 544 с.
6. Першин, В.К. Моделирование тепловых режимов при фрикционном взаимодействии колеса и тормозной колодки / В.К. Першин, Л.А. Фишбейн // Транспорт урала. – 2005. – №1 (4). – С. 34–44.
7. Колесниченко, А.И. Анализ силового взаимодействия фрикционных элементов в дисковом тормозе / А.И. Колесниченко // Труды ВНИИ вагоностроения. – 1974. – Вып. 25. – С.42–52.
8. Колесниченко, А.И. Стендовые испытания тормозного оборудования фирмы "Knorr-Bremse" / А.И. Колесниченко, Д.Ю. Пазухин, А.Н. Скачков // Проблемы и перспективы развития вагоностроения: материалы III всероссийской научно-практической конференции. – Брянск, 2006. – С. 50–56.
9. Налев, И.А. Опыт разработки и производства железнодорожных композиционных тормозных колодок в ОАО "ФРИТЕКС" / И.А. Налев, Д.А. Дружков, Н.А. Страхов // Вестник ВНИИЖТа. – М., 2002. – № 4. – С. 15–19.

© Д.О. Миронов, (9467067@gmail.com), 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

МОБИЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СЕРДЕЧНО СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА

MOBILE DEVICE FOR DIAGNOSTICS OF HUMAN CARDIOVASCULAR SYSTEM

V. Sokol'sky
I. Petrova
I. Kitiashvili

Annotation

In this article the integrated set of measured values and computational informative parameters for the mobile diagnostic devices used for monitoring and diagnostics of cardiovascular system of the person is brought. Methods of definition of current values of controllable parameters are examined, their merits and demerits are revealed. For most effective estimation of a condition of cardiovascular system of the person (definition of parameters of central and peripheral hemodynamics, control parameters of transport of oxygen) it is necessary to use the complex method including volumetric compression oscillometry, electrocardiography, blood pressure measurement by pulse wave together with a method of an estimation of requirement of an organism of the patient in oxygen. Modular scheme of the mobile diagnostic device were presented. The scheme includes the set of modules which defined a balance between degree of importance of controllable parameters and complexity in its realization. All modules have built-in batteries, equipped with non-contact charging system that supports wireless communication channel, and boxed in waterproof, ergonomic case. Results of testing of separate blocks of mobile diagnostic device were described in the article.

Keywords: mobile diagnostic device (MDD), cardiovascular system (CVS), hemodynamic parameters, cardiac index, oxygen delivery index.

Сокольский Виталий Михайлович
К.т.н., ООО "Системы, технологии
и сервис", г. Астрахань

Петрова Ирина Юрьевна
Д.т.н., ГАОУ АО ВО "Астраханский
государственный архитектурно-
строительный университет"

Китиашвили Ираклий Зурабович
Д.м.н., ГБОУ ВО "Астраханский
государственный медицинский
университет"

Аннотация

В статье проведен систематизированный выбор измеряемых величин и расчетных информативных параметров для мобильных диагностических устройств, используемых для мониторинга и диагностики сердечно-сосудистой системы человека. Рассмотрены методы определения текущих значений контролируемых параметров, выявлены их достоинства и недостатки. Показано, что для наиболее эффективной оценки состояния ССС пациента (определения параметров центральной и периферической гемодинамики, контроля параметры транспорта кислорода) следует использовать комплексный метод, включающий объемную компрессионную осциллометрию, электрокардиографию, анализ пульсовой волны совместно с методом оценки потребности организма пациента в кислороде. Представлена функциональная схема мобильного диагностического устройства, в которой определен набор модулей при соблюдении баланса между степенью важности контролируемого параметра и сложности в его реализации. Приведены результаты испытаний отдельных модулей МДУ.

Ключевые слова:

Мобильное диагностическое устройство (МДУ), сердечно-сосудистая система (ССС), гемодинамические параметры, сердечный индекс, индекс доставки кислорода.

Введение

Современные технологии позволяют дистанционно контролировать комплекс основных гемодинамических параметров пациента. Данные получаемые от пациента находящегося дома, в привычной обстановке, при минимальной стрессовой нагрузке являются наиболее информативными и позволяют более точно скорректировать курс лечения.

В статье [1] рассмотрены перспективы создания дистанционных систем мониторинирования состояния сердечной деятельности пациента и внедрения их в России, по-

казана актуальность этой проблемы.

В связи с тем, что мобильные диагностические устройства (МДУ) предназначены для широкого распространения среди населения, для использования в домашних условиях, важным показателем таких устройств является соблюдение баланса между степенью важности контролируемого параметра и сложности в его реализации. Это определяет соотношение цена/качество идентификации состояния сердечно-сосудистой системы (ССС) человека. Обоснование выбора модулей МДУ для анализа достаточного и полного набора показателей гемодинамики для мониторинирования ССС является важной задачей.

1. Набор измеряемых и расчетных параметров МДУ

Полное представление о состоянии системы кровообращения пациента, можно получить, зная параметры не только периферической, но и центральной гемодинамики. Сердечный индекс (СИ) – основной параметр, характеризующий состояние центральной гемодинамики. Его контроль в реальном времени – ключевая задача при оценке текущего состояния пациента. В настоящее время функция измерения СИ реализована только в специализированных кардиологических прикроватных мониторах и не встречается в МДУ.

Для оценки текущего состояния пациента, и своевременного выявления начальных проявлений гемодинамических и кислородотранспортных нарушений целесообразно контролировать индекс доставки кислорода.

Авторами проведен анализ основных параметров, позволяющих оценить текущее состояние пациента с позиций периферической и центральной гемодинамики, транспорта кислорода. Все параметры разделены на 2 группы: "измеряемые" и "расчетные". Расчетные параметры вычисляются в МДУ на основе проведенных измерений.

К измеряемым параметрам отнесены: артериальное давление диастолическое, конечное систолическое давление, боковое артериальное давление, среднее артериальное давление, частота пульса, частота сердечных сокращений и дыхательных движений.

К расчетным параметрам отнесены: артериальное давление систолическое, ударное и пульсовое, удельное и общее периферическое сопротивление сосудов, ударный объем, ударный индекс, диаметр аорты, фракция выброса левого желудочка, конечно диастолический и систолический радиусы и объемы, ударный объем, скорость и время распространения пульсовой волны, сатурация кислорода, сердечный выброс (минутный объем), сердечный индекс, содержание гемоглобина в крови, содержание O₂ в артериальной крови, индекс доставки кислорода.

Расчетные параметры могут быть получены, используя следующие методы: метод объемной компрессионной осциллометрии, метод анализа пульсовой волны, электрокардиографический метод (анализ ЭКГ). Для оценки транспорта кислорода используются дополнительно данные пульсоксиметрии. В результате получаем достаточный материал для комплексной оценки состояния ССС пациента.

2. Методы для расчета параметров периферической и центральной гемодинамики.

Рассмотрены наиболее перспективные неинвазивные методики, позволяющие производить расчеты параметров периферической и центральной гемодинамики.

Электрокардиографический метод позволяет определить основные функциональные характеристики кардиогемодинамики левого желудочка сердца на основе моделирования трансформации параметров электрокардиосигнала (ЭКС). Экспериментальные исследования пространства ЭКС с позиции антенно-волновой теории показали зависимость его временных параметров и механической деятельности сердца, а также возможность оценки функциональных объемов левого желудочка по ЭКГ [2].

Метод объемной компрессионной осциллометрии (ОКО) – косвенный, неинвазивный метод определения уровней артериального давления (АД) у человека путем регистрации объемных артериальных осциллограмм. ОКО состоит из отдельных пульсовых волн (ПВ) крупной артерии, зарегистрированных в процессе повышения давления в пережимной манжете с линейной амплитудной характеристикой по всему тракту преобразования и усиления. Анализируя ПВ можно измерять диастолическое, среднее, боковое систолическое и конечное систолическое давление в магистральном артериальном сосуде и на основании полученных данных произвести расчет целого ряда гемодинамических параметров, включая и сердечный индекс (СИ) [3]. При измерении давления, осциллометрическим способом, нет необходимости нагнетать давление в манжете до систолического, достаточно поднять давление в манжете до среднего артериального, а систолическое давление рассчитать [4]. Недостаток метода – чувствительность к вибрациям, возникающим при движении пациента. При мониторинговании в условиях с ожидаемой физической нагрузкой, для обеспечения бифункционального (АД + ЭКГ) мониторингования, авторами [5] использовался аускультативный метод измерения давления (вместо фонендоскопа используется микрофон). При этом метод остается чувствительным к внешнему шуму. Поэтому в МДУ используется акселерометр для измерения давления, когда человек находится в покое.

Из других методов, позволяющих произвести оценку АД без применения компрессионной манжеты, следует отметить метод измерения АД по времени распространения пульсовой волны (ПВ). При его использовании не требуется создавать никаких механических воздействий. Скорость распространения ПВ можно определять по разности моментов появления характерных пиков электрокардиосигнала и сигнала фотодатчика, который вместе с

осветителем крепится на пальце, запястье или мочке уха пациента. Сигнал периферического пульса, в частности лучевой артерии, содержит в себе информацию о многих физиологических процессах, протекающих в организме, и в первую очередь о ССС [6]. Скорость распространения ПВ представляет собой индекс артериальной жесткости сосудистой стенки. Чем выше скорость, тем выше жесткость, и ниже возможности растяжимости стенки сосуда. Известны работы, которые показывают взаимосвязь частоты возникновения сердечно сосудистых заболеваний и скорости ПВ [7,8].

На основе данных полученных по результатам измерения АД, ЧСС, ЧД, производят расчеты коэффициентов и индексов, характеризующих системное кровообращение.

Рассмотренные выше методики еще совсем недавно считались труднореализуемыми из-за потребности в значительной вычислительной мощности, вследствие чего были доступны только в дорогостоящем стационарном оборудовании. Появление дешевых 32-разрядных микроконтроллеров, соединивших в себе низкую стоимость, высочайшую производительность, при минимальном энергопотреблении позволяет реализовать сложные алгоритмы вычисления, работающие в реальном времени. Новые материалы, эффективные источники питания,

миниатюрные датчики и новые способы крепления их на тело пациента обуславливают уменьшение размеров МДУ при расширении функционала.

3. Мобильное диагностическое устройство (МДУ)

МДУ представляет собой аппаратно- программный комплекс, включающий несколько диагностических модулей: холтеровский монитор артериального давления и ЭКГ, пульсоксиметр, биохимический анализатор крови и мочи, термометр.

Для создания эффективного мобильного диагностического устройства (МДУ) необходимо определить набор контролируемых параметров при соблюдении баланса между степенью важности контролируемого параметра и сложности в его реализации, а также выбрать методики и методы расчета, используемые для определения текущего значения контролируемого параметра.

Авторами разработана модульная функциональная схема МДУ (Рис 1). Основные модули системы (8-13). Кардиологический модуль (10) и модуль измерения давления (8) дополнительно имеют память, необходимую для записи трендов суточного холтеровского мониторинга ЭКГ и давления.

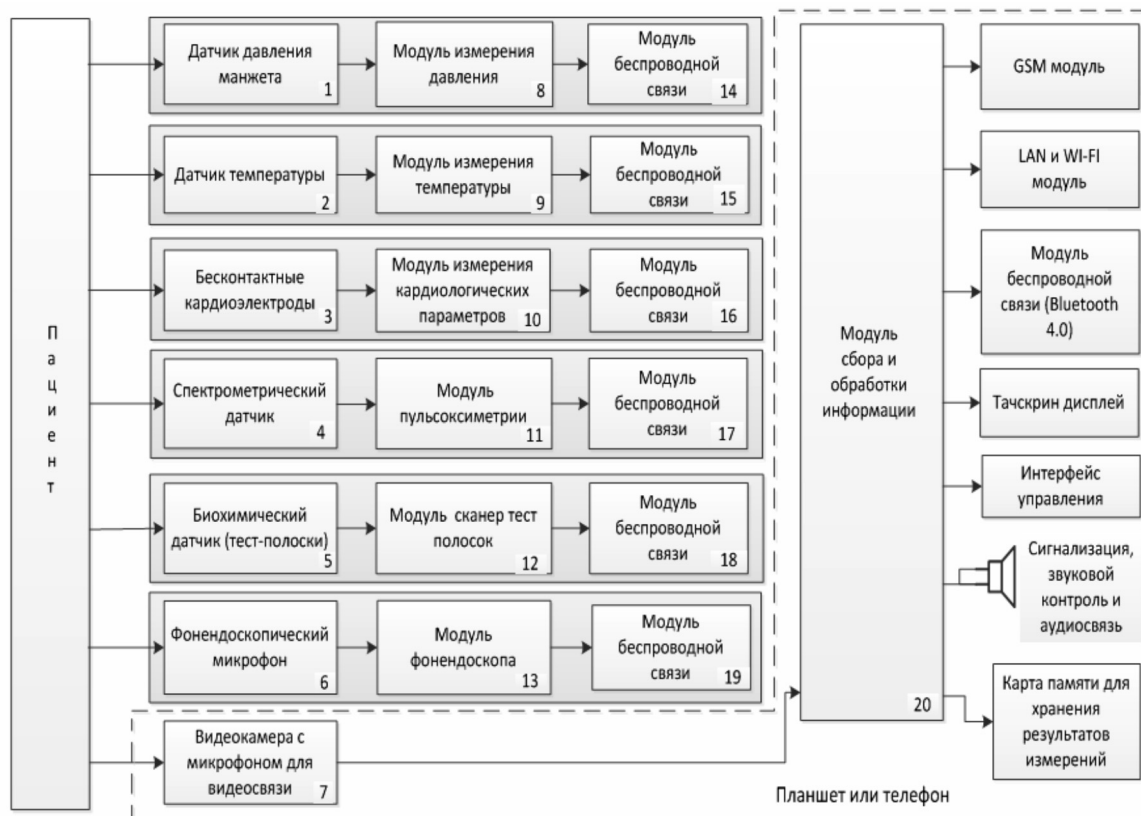


Рисунок 1. Функциональная схема МДУ.

Модуль измерения кардиологических параметров построен по классическому принципу с тремя типами электродов R, L, F, и дополнительными двумя электродами V1, V2. Получаемых данных достаточно для решения поставленных диагностических задач: получение трендов HR, RR, ST, QT, распознавание комплексов QRST на ЭКГ записи, выявление нарушений ритма, его вариабельности (BCP), маркировка аномалий и артефактов. Отличительные особенности конструкции кардиомодуля это работа совместно с фонокардиографом и использование бесконтактных кардиоэлектродов (EPIC фирмы Plessey Semiconductors PS25255) установленных в кардиопояс. Для выделения периодических изменений в работе сердца, используются методики, подробно описанные [9,10,11]. При наличии у пациента кардиостимулятора, производится оценка качества его работы, включая статистические данные о безответной стимуляции. Проблема подбора оптимальных параметров стимуляции, выбор методики их расчета крайне актуальна, т.к. статистические данные свидетельствуют, что до 30% кардиостимуляторов из-за неправильной настройки или по иным техническим причинам не только не улучшают состояния пациентов, но даже приводят к ухудшениям, таким как фибрилляция желудочков сердца.

Анализ различных видов контактных и бесконтактных электродов приведен в [12]. Электроды встраиваются в специальный пояс или жилет, который одевается на тело пациента. На одежде может быть предусмотрена возможность установки фонедоскопического микрофона (модуль 6), посредством которого прослушиваются шумы сердца и легких (модуль 13). Обычно в ходе проведения холтеровского мониторинга пациенту предлагается вести дневник, где он должен записывать текущий вид деятельности (испытываемую им нагрузку) и время. В данном МДУ встроен емкостной датчик, который включает аудиозапись при касании руки. По истечении 24 часов кардиомодулем будет подан звуковой сигнал, сигнализирующий о завершении мониторинга.

Особенностью реализации модуля измерения давления (8) является применение осциллометрического способа измерения давления. Данный способ позволяет нагнетать в манжету давление до среднего артериального, а не до систолического, систолическое давление рассчитывается. Это позволяет повысить комфортность измерения, сократить время релаксации сосудов, а также обеспечить большую точность измерений и возможность расчета целого спектра гемодинамических параметров. Для определения скорости пульсовой волны, сатурации кислорода, пульса и гемоглобина используется модуль (11). В качестве модуля сбора и обработки информации (20) используется планшет или смартфон, периферийные устройства (модули 7, 21–27) используются для коммуникации с врачом или родными пациента, а также для организации обработки данных с помощью облачных

сервисов. Пациенту достаточно оказаться в зоне действия Bluetooth модуля МДУ, данные автоматически будут загружены в МДУ обработаны и переданы в облако. При отсутствии канала связи с интернетом встроенная карта памяти (27) позволяет длительное время хранить результаты выполненных измерений.

4. Дополнительные параметры, измеряемые в МДУ.

Для постановки диагноза данных гемодинамики и транспорта кислорода недостаточно, требуются данные биохимических анализов. В МДУ контроль биохимических показателей мочи и крови можно реализовать двумя способами:

- ◆ использование тест полосок (например: по моче "Multicheck uro" 11 параметров, для глюкозы в крови "Accu-Chek"). Результаты считываются фотометрическим сканером тест – полосок, который может быть встроен в смартфон [13];
- ◆ использование новых биосенсоров [14,15] и молекулярных диагностических устройств (lab-on-a-chip technologies). [16].

5. Результаты лабораторных испытаний МДУ

Авторами проводились лабораторные испытания модуля давления (рис.2), кардиологического модуля и пояса с установленными датчиками EPIC (рис.3,5), модуля измерения сатурации кислорода и анализа пульсовой волны (рис.4). Для тестирования использовался генератор сигналов пациента RIGEL UNI-SIM (Великобритания), который предназначен для формирования и воспроизведения электрических сигналов специальной формы при проведении проверок и калибровок приборов функциональной диагностики, мониторов пациента, обеспечивающих измерение биоэлектрических потенциалов сердца, температуры тела, сигналов дыхания, частоты пульса (ЧП), пульсоксиметрии, а также воспроизведения избыточного давления в компрессионной манжете манометра артериального давления (АД).

Однако, параметры регистрации сигналов ЭКГ в значительной степени определены характеристиками используемых датчиков EPIC PS25255, поэтому проводить калибровку и поверку ЭКГ с помощью генератора сигналов пациента RIGEL UNI-SIM традиционным способом (подключив соответствующие выходы генератора ко входам ЭКГ модуля) не представляется возможным.

Для решения данной проблемы были разработаны емкостные переходники, при этом диапазон регистрируемых сигналов канала ЭКГ составил от 0,02 до 5 мВ.

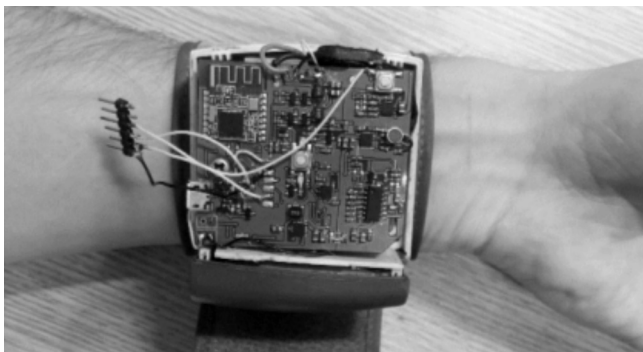


Рисунок 2. Фотография модуля измерения давления и температуры.



Рисунок 3. Фотография кардиологического пояса с установленными датчиками EPIC на пациенте (вид спереди).

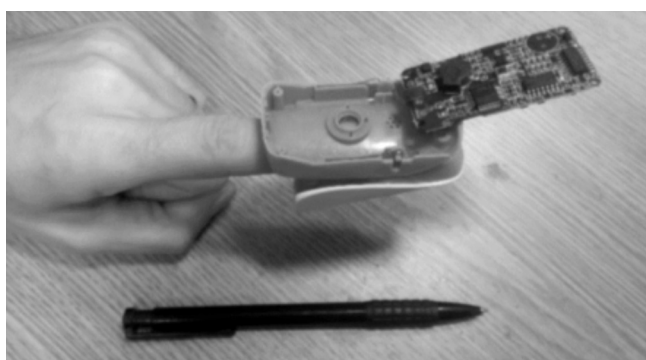


Рисунок 4. Фотография модуля измерения сатурации кислорода и анализа пульсовой волны.



Рисунок 5. Датчики EPIC PS25251, PS25255 в корпусе QFN используемые в кардиологическом поясе.

Чувствительность канала ЭКГ устанавливается программно из ряда 2,5, 5, 10, 20, 40, 80 мм/мВ. Отклонение установленной чувствительности от номинальной не превышает $\pm 10\%$. Входной импеданс канала ЭКГ не менее 20 ГОм; входная емкость 15 pF; полоса пропускания ЭКГ на уровне минус 3 дБ (0,05 – 80) Гц. Постоянная времени каналов ЭКГ не менее 3,2с; нелинейность амплитудной характеристики канала ЭКГ не более 2%; измерение ЧСС в диапазоне от 20 до 250 уд/мин; погрешность измерения ЧСС составила ± 2 уд/мин

Относительная погрешность измерения артериального давления в покое составила $\pm 4\%$. Относительная погрешность измерения сатурации кислорода (SpO_2) в диапазоне 80 – 99% не более $\pm 2\%$; в диапазоне 50 – 79% не более $\pm 4\%$; в диапазоне 0 – 49% не нормируется.

Диапазон измерения частоты пульса 20 – 250 уд/мин. Диапазон определения индекса перфузии 0,05–10%. Пределы абсолютной погрешности измерения частоты пульса: в диапазоне 20 – 99 уд/мин. ± 2 уд/мин; в диапазоне 100– 250 уд/мин. ± 3 уд/мин.

6. Заключение

Проведен системный анализ параметров, характеризующих ССС человека, выявлен необходимый набор измеряемых параметров и информативное множество всевозможных рассчитываемых параметров на основе измеренных.

Показано, что для наиболее эффективной оценки состояния ССС пациента (определения параметров центральной и периферической гемодинамики, контроля параметры транспорта кислорода) следует использовать комплексный метод, включающий объемную компрессионную осциллометрию, электрокардиографию, анализ пульсовой волны совместно с методом оценки потребности организма пациента в кислороде.

Наиболее оптимальным вариантом является модульное исполнение устройства. МДУ может состоять из шести модулей: модуль измерения давления, модуль измерения температуры, кардиологический модуль, модуль пульсоксиметрии, модуль бесконтактной зарядки и кейс для хранения модулей. Все используемые в МДУ модули,

должны иметь встроенные аккумуляторы, оснащены системой бесконтактной зарядки, поддерживать беспроводной канал связи и облачные технологии, иметь влагоза-

щищенный эргономичный корпус. Дополнительно можно использовать современные биохимические датчики для контроля параметров капиллярной крови и мочи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Морозов, В.В. Телемедицина в кардиологии: новые перспективы / Морозов, В.В. Серяпина, Ю.В., Кравченко, Ю.Л., Тарков, С.М., Бессмельцев, В.П., Катаонов, Д.Н., Служев, В.А. // *Фундаментальные исследования*. – 2013. – №7. с.589–593
2. Сафонов, М. Ю. Компьютерный электрокардиографический метод диагностики функционального состояния центральной гемодинамики // *Прикладные информационные аспекты медицины*. – 2009. – т.12 № 2. – с.25–28.
3. Giomarelli, P., Biagioli, B., Scolletta, S. Cardiac output monitoring by pressure recording analytical method in cardiac surgery. // *Eur J Cardiothorac Surg*. – 2004. – 26(3) – p.515–520, DOI:10.1016 / j.ejcts.2004.05.025
4. Ursino M, Cristalli C: A mathematical study of some biomechanical factors affecting the oscillometric blood pressure measurement. // *IEEE Trans Biomed Eng*. – 1996. – 43. p.761–778. DOI: 10.1109/10.508540
5. Тихоненко, В.М., Два метода измерения АД при суточном мониторинговании. / Тихоненко, В.М., Рогоза, А.Н., Гориева, Ш.Б., Павлова, Т.С.// *Функциональная диагностика* – 2007. № 1. с.52–57.
6. Миронова. Т.Ф., Мионов. В.А. Клинический анализ волновой структуры синусового ритма сердца (Введение в ритмокардиографию и атлас ритмокардиограмм). // Челябинск. – 1998, с. 162.
7. Meaume, S., Rudnichi, A., Lynch, A., et al. Aortic pulse wave velocity: an independent marker of cardiovascular risk. // *Hypertension*. – 2001. – 19. p.871–877.
8. Blacher J, et al. Aortic pulse wave velocity as a marker of cardiovascular risk in hypertensive patients. // *Hypertension*. – 1999 – 33. p.1111–1117
9. Dubin, D. *Rapid Interpretation of EKG's*. // (6th edition) COVER Publ. Co. Tampa, FL.368 pp. ISBN 0–912912–06–5.
10. Garcia T.B. and Miller G.T. *Arrhythmia Recognition: The Art of Interpretation*. // Jones & Bartlett Publ. Sudbury, MA. – 2004. – 633 pp. ISBN 0–7637–2246–4.
11. Thaler, M.S. *The Only EKG Book You'll Ever Need*. // Lippincott Williams & Wilkins. Philadelphia, PA. – 2003 – 317 pp. ISBN 0–7817–3921–7.
12. Amita Murthy, K. V. Padmaja *Developing Trends in Cardiac Monitoring Systems* // *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering* – 2014. – v.3, – Issue 1. pp.5252–5256
13. Ali K. Yetisen, et al. A smartphone algorithm with inter-phone repeatability for the analysis of colorimetric tests. // *Sensors and Actuators B: Chemical*. – 2014; v.196. p.156. DOI: 10.1016/j.snb.2014.01.077
14. Петрова И.Ю., Зарипова В.М., Лежнина Ю.А., Соколовский В.М., Митченко И.А. Энергоинформационные модели биосенсоров // *Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика*. 2015. №3.
15. Petrova, V. Zaripova, Y. Lezhnina, I. and V. Sokolskiy *Modeling of the Physical Principle of the Processes that is Occurring in Bioselective Elements*, *International Journal of Monitoring and Surveillance Technologies Research (IJMSTR)*3(4), pp.43–61 DOI: 10.4018/IJMSTR.2015100103
16. Erickson, D., O'Dell D., Jian L. *Smartphone technology can be transformative to the deployment of lab-on-chip diagnostics* // *Lab Chip*. – 2014. DOI:10.1039/C4LC00142G

© В.М. Соколовский, И.Ю. Петрова, И.З. Китиашвили, (Irapet1949@gmail.com), Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»,



ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС СОНИФИКАЦИИ СЛОЖНЫХ СЕТЕЙ

SOFTWARE SOLUTION FOR COMPLEX NETWORKS SONIFICATION

*G. Rohozynsky
A. Egorova
E. Ershov
I. Osipenko*

Annotation

The paper presents the software for complex networks sonification with dynamic behavior. The parameters of randomly created network can be analyzed and controlled in a real-time. The sonification server provides an auditory display for the given network.

Keywords: sonification, complex networks, computer music.

Рогозинский Глеб Гендрихович

*К.т.н., Рук. направления
аудиотехнологий НОЦ "Медиацентр"
Санкт-Петербургского государственного
университета телекоммуникаций
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича
Егорова Анна Николаевна
Ст. инженер лаборатории
сертификации средств защиты
информации ЛО ЦНИИС
Ершов Евгений Германович
Инженер лаборатории разработки ПО
и безопасности сетей связи ЛО ЦНИИС
Осипенко Иван Николаевич
Ст. инженер
звукового дизайна Saber Int.*

Аннотация

В статье представлен программный комплекс для экспериментальной сонификации модели сложной сети. Сеть создается на основе случайного графа, параметры которого задаются, изменяются и анализируются в реальном времени, затем отправляются на сервер сонификации для представления в звуковой форме.

Ключевые слова:

Сонификация, сложные сети, компьютерная музыка.

С увеличением объема информации, окружающей человека в современном информационном обществе, всё более остро встает вопрос поиска алгоритмов и инструментов для оперативного приёма и анализа данных.

Слуховое восприятие может служить отдельным каналом приёма внешней информации, наряду с визуальным, тактильным и другими способами представления. В пространственной, временной и частотных областях слуховое восприятие имеет ряд преимуществ, что делает целесообразным использование неречевого аудио для передачи информации, т.е. сонификации [1], [2].

За счет использования слухового анализатора методы сонификации расширяют возможности обработки больших массивов данных и сложных систем и сетей. Это позволяет уменьшить время на поиски закономерностей и выявление характерных особенностей.

Научно-технический прогресс имеет тенденцию затрагивать все области человеческой деятельности: на сегодняшний день, для того чтобы играть на рынке цен-

ных бумаг или узнать температуру воздуха, скорость ветра и температуру воды, достаточно иметь любое устройство с доступом в Интернет. Однако объем данных, который необходимо с высокой степенью точности анализировать человеку, значительно увеличивается с поступлением новой информации. Современные возможности в области звукового дизайна и вычислительной техники позволяют сонифицировать практически любой информационный поток или систему. В этой связи представляют особый интерес задачи, связанные с сонификацией различных сетей и трафика в них.

Моделирование сложных сетей

Сложные сети удобно формализовать с помощью инструмента теории графов. Авторы для исследования выбрали за основу вероятностную модель случайного графа Эрдеша-Реньи [3], входные параметры которой гибко управляются в процессе эксперимента.

Исходная модель графа представляет собой случайно сгенерированную матрицу смежности. Максимальный

размер матрицы смежности (1000 узлов) выбран так, чтобы она находилась в оперативной памяти одного приложения.

Активностью сети назовём изменение составляющих её элементов (узлов или ребер) во времени, а также изменение какого-либо параметра, описывающего их (например, интенсивности трафика на некотором участке).

Выделим следующие параметры, составляющие те-заурус активности сети:

1. Чёткие параметры модели, предоставленные оператору для изменения (в терминологии абстрактной модели динамических графов):

1.1 Только при генерации:

- ◆ исходное количество узлов

1.2 При генерации и на этапе существования сети:

- ◆ вероятность возникновения связи для каждой пары узлов
- ◆ параметры времени – частота "кадров" обновления состояния
- ◆ вероятность появления/исчезновения случайно выбранного узла
- ◆ вероятность появления/исчезновения случайно выбранной связи
- ◆ появление/исчезновение заданного оператором узла
- ◆ появление/исчезновение заданной оператором связи
- ◆ выбор двух узлов для поиска между ними кратчайшего пути.

2. Нечёткие параметры модели, являющиеся следствием динамических свойств графа и требующие применения алгоритмов анализа графов для своего выявления:

- ◆ относительный размер сети
- ◆ наличие / отсутствие / возникновение / исчезновение свойства связности (граф может оказаться "разделённым" на части, не имеющие между собой ни одной связи)
- ◆ наличие / отсутствие / возникновение / исчезновение скоплений
- ◆ наличие / отсутствие / возникновение / исчезновение цикличности
- ◆ общее удельное количество связей (плотность)
- ◆ изменение расположения кратчайшего пути между заданными точками.

Звуковой дизайн для комплекса сонификации

Основная задача сонификации представляет собой отображение события A , являющегося следствием активности сети, из информационного пространства Θ в область n -мерного тембрального пространства Ψ (в частном случае в точку $\Psi^A \in \Psi$, что соответствует определенному звуку в указанном тембральном пространстве).

На отображение $\Theta \rightarrow \Psi$, как правило, могут быть наложены дополнительные условия, например требование максимальной дистанции между двумя отображениями Ψ^A и Ψ^B для достижения их наибольшего тембрального отличия.

Возможно существование нескольких тембральных пространств $\{\Psi_1, \Psi_2, \dots, \Psi_K\}$.

Как правило, размерность каждого тембрального пространства связана с длиной вектора параметров выбранного алгоритма синтеза звука. Выбор параметров алгоритма синтеза звука, соответствующих координатам Ψ_i , относится к задачам звукового дизайна и не имеет одиночного решения.

Остановимся ниже на основных проблемах сонификации сложных сетей.

Объем сети.

С ростом объема сети увеличивается вероятность возникновения событий, указанных выше. Удовлетворительная (в плане различимости) сонификация всех событий становится невозможной, поэтому требуется установка приоритета событий, ограничение количества сонифицируемых сегментов сети или выбор окна анализа, в пределах которого вычисляется общий усредненный показатель активности сети.

Отделимость звуков.

Сходные по своему тембру звуки затрудняют правильную интерпретацию соответствующих им событий или требуют наличия определенных специальных навыков.

Для увеличения фактора отделимости сходных тембров используются регуляция громкости, стереопанорамирование, эквалазация, искусственная реверберация и линии задержки.

Различные задачи анализа.

Существование различных задач при наблюдении за сложной сетью обуславливает необходимость создания различных отображений, что, в свою очередь, приводит к использованию нескольких возможных профилей.

Например:

ПРОФИЛЬ 1.

Общая структурность сети. Выявление неоднородностей в структуре сети или в плотности трафика.

ПРОФИЛЬ 2.

Отслеживание бифуркаций. Выявление узлов и ребер с определенными девиациями относительно общей совокупности, а также узлов и ребер соответствующих определенным критериям.

ПРОФИЛЬ 3.

Комбинированный анализ. Удовлетворительное (компромиссное) отображение всех профилей.

В настоящей версии на профиле 1 используются техники гранулярного синтеза [4], реализация которых нацелена на создание в спектре звука центроидов с характерными особенностями, соответствующими неоднородностям в сети. В качестве основных параметров используются средняя громкость центроида, спектральная протяженность центроида, средняя длительность гранул, плотность облака гранул. Общие характеристики тембра – протяженный, стохастический, шумоподобный, гранулярный. Фрагмент спектрограммы, соответствующей такому тембру приведен на рисунке 1.

На профиле 2 используются техники FM-синтеза [5], предоставляющие большой диапазон различных тембров при минимуме параметров.

Общие характеристики – акцентированный, яркий, преимущественно тональный.

Оба звуковых пласта могут быть соединены для образования смешанного профиля.

Программный комплекс сонификации динамических графов

Рассматриваемый комплекс сонификации состоит из источника информации о состоянии сети (клиента) и приёмника этой информации, способного осуществить звуковой рендеринг (сервер).

По сети передаётся информация об изменениях, происходящих с моделью. Источник информации состоит из управляемого генератора модели и системы преобразования и отправки данных в требуемом формате. Для коммуникации приложений используется открытый пакетный протокол OSC (Open Sound Control), разработанный специально для сетевого взаимодействия мультимедийных устройств в реальном времени [6]. Приемник информации представляет собой специализированное звуковое приложение.

Интерфейс

Программный комплекс моделирования динамических процессов сложной сети предоставляет оператору возможность в реальном времени управлять всеми имеющимися числовыми параметрами (рис.2).

Язык

Для создания рассматриваемой модели пригоден практически любой высокоуровневый язык программирования, поддерживающий прикладную работу с массивами данных (необязательно работать с памятью на низ-

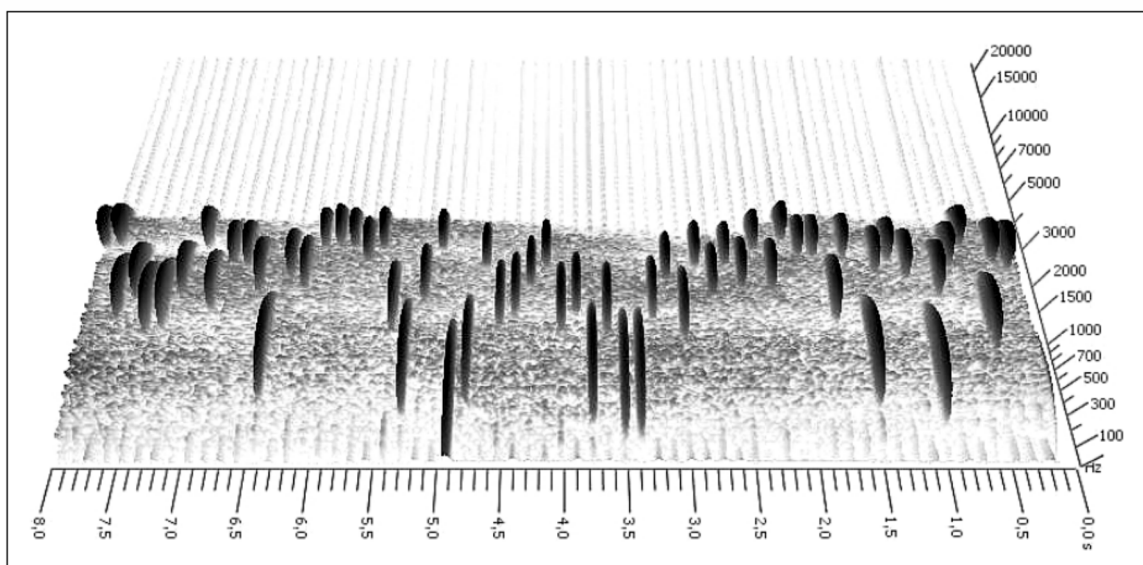


Рисунок 1. Трехмерная спектрограмма гранулярного звука.

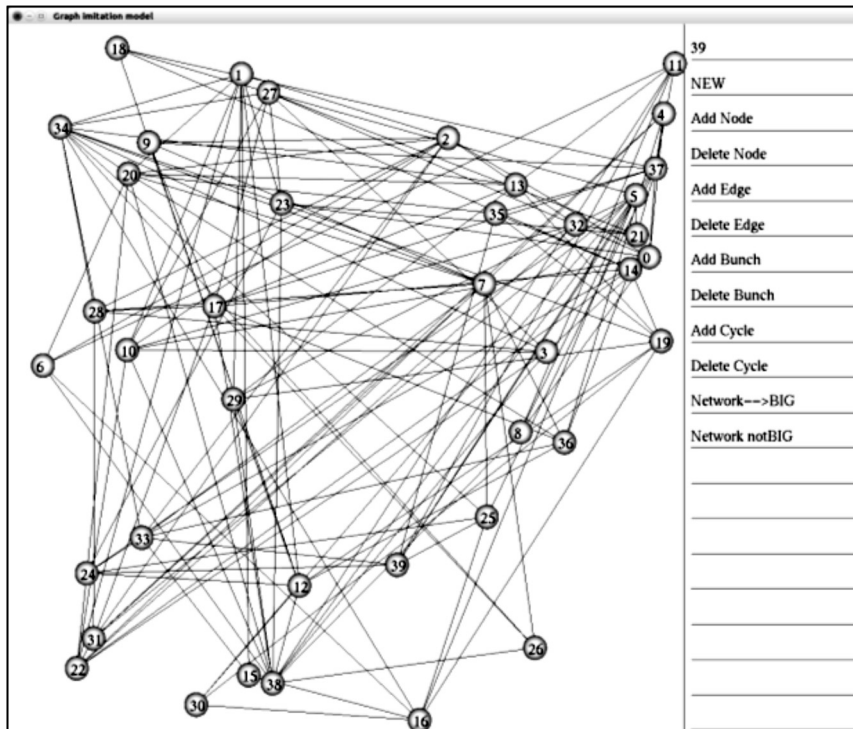


Рисунок 2. Окно визуализации графов. Количество узлов 40.

ком уровне, но наличие такой возможности не мешает). Авторы выбрали C++ с визуализацией графики на OpenGL с надстройкой GLUT как распространённые кроссплатформенные инструменты для гибкой работы с числовыми данными, системами координат и освещением.

Заключение

Разработанный программный комплекс открывает новые возможности для анализа сложных сетей и систем,

а также осуществления экспериментальных исследований в области управления такими системами.

Следующими задачами являются, в первую очередь, расширение тезауруса активности сети, адаптация модели к профессиональным системам визуализации и анализа сетей, таким как *Gephi* [7], а также проведение исследований, направленных на совершенствование сонификационных моделей, в том числе более детальная работа с кластерами сложной сети, внесение в модель неоднородности и получение параметров реально существующих сетей на входе в модель.

ЛИТЕРАТУРА

1. Rogozinsky G., Cherny E. The Internet of Machines – Technological Synergy and Computer Music // FRUCT16, Oulu, Helsinki, 2014.
2. Рогозинский Г.Г., Чесноков М.А., Щекочихин А.В., Черный Е.В., Смирнов И.Н. Особенности представления и обработки данных в сети дополненной акустической реальности // Системы управления и информационные технологии, №3(61), 2015. – С. 89–93.
3. Райгородский А. М. Модели случайных графов и их применения // Труды МФТИ, Том 2, №4, 2010. – С. 130–140.
4. Roads C. Microsound. – MIT Press, 2004. – 424 p.
5. Chowning J. The Synthesis of Complex Audio Spectra by Means of Frequency Modulation // Journal of the Audio Engineering Society, Vol. 21, №7, 1973. – 526–534 p.
6. Официальный сайт OSC <http://opensoundcontrol.org> (дата обращения 19.07.2016).
7. Bastian M., Heymann S., Jacomy M. Gephi: an open source software for exploring and manipulating networks. International AAAI Conference on Weblogs and Social Media, 2009.

ОБ УЧЕТЕ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ФОРМИРОВАНИИ ТАРИФОВ В СИСТЕМЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТЕПЛОСНАБЖАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

ABOUT THE ACCOUNTING OF THERMAL LOSSES AT THE AUTOMATED FORMATION OF TARIFFS IN SYSTEM OF REGULATION OF ACTIVITY OF THE HEATSUPPLYING COMPLEX OF THE KALININGRAD REGION

*G. Arunyants
T. Voronin*

Annotation

Analysis results of a condition of regulatory issues of activities of subjects of the heatsupplying complex of the Kaliningrad region and the main ways of increase of efficiency of activities of his subjects, including questions of the automated forming of rates for development, transportation and transfer of heat energy are given. The special attention is paid to a problem of the automated accounting of thermal losses in case of production and transfer of heat energy.

Keywords: heat supply, thermal networks, thermal losses, a rate, a method of calculation of rates, tariff regulation, the automated information system, a program complex, algorithm, information support, program providing.

*Арунянц Геннадий Георгиевич
Д.т.н., профессор, ФГБОУ ВПО
"Калининградский государственный
технический университет", г. Калининград
Воронин Тимофей Аркадьевич
Аспирант, ФГБОУ ВПО "Калининградский
государственный технический
университет", г. Калининград*

Аннотация

Приводятся результаты анализа состояния проблем регулирования деятельности субъектов теплоснабжающего комплекса Калининградской области и основных путей повышения эффективности деятельности его субъектов, включая вопросы автоматизированного формирования тарифов на выработку, транспортировку и передачу тепловой энергии. Особое внимание уделено проблеме автоматизированного учета тепловых потерь при производстве и передаче тепловой энергии.

Ключевые слова:

Теплоснабжение, тепловые сети, тепловые потери, тариф, методика расчета тарифов, тарифное регулирование, автоматизированная информационная система, программный комплекс, алгоритм, информационное обеспечение, программное обеспечение.

Сфера регионального теплоснабжения, в рамках которой осуществляется бесперебойное производство и распределение жизненно важного источника энергии – тепла, сегодня является жизненно необходимым элементом в системе энергетической безопасности региона и страны в целом. Одной из важнейших проблем при этом становится поиск новых инновационных концепций и подходов к формированию тарифов на тепловую энергию как компоненты эффективного тарифного регулирования деятельности субъектов региональных теплоэнергетических систем и координации их деятельности.

На первое место выходит необходимость соблюдения рационального баланса интересов потребителей производителей тепловой энергии при неукоснительном обеспечении роли государства как главного гаранта эффек-

тивного управления деятельностью субъектов регионального теплоэнергетического рынка.

В работе [1] на основе результатов проведенного анализ системы теплоснабжения Калининградской области показано, что необходимость тарифного регулирования деятельности ее субъектов связана с необходимостью обеспечения выполнения всех необходимых предпосылок для эффективного учета интересов как потребителей в поставках тепловой энергии по приемлемым ценам, так и производителей тепла и услуг по его распределению для компенсации произведенных ими затрат и получения нормированной прибыли от своей деятельности.

Ключевая роль при решении поставленных задач отводится региональной службе по государственному регулированию цен и тарифов Калининградской области

(СГРЦТ). Показано [1], что от состояния и эффективности функционирования общего информационного поля "СГРЦТ – субъекты регулирования" зависит оперативность и точность принимаемых решений, связываемых с расчетом и анализом произведенных затрат, включаемых в состав себестоимости производимых субъектами теплоэнергетического рынка продукции или услуг.

Совершенно ясно, что единственной полноценной возможностью для регулирования деятельности субъектов региональной системы теплоснабжения становится тарифная политика.

Несмотря на то, что вопросы повышения уровня управляемости региональной теплоэнергетической системы в течение последних 10 лет являлись предметом серьезных исследований [2], в настоящее время, к сожалению, мало что изменилось в этой области. Все еще имеет место систематическое повышение тарифов на тепло. К объективным причинам этого обычно относят сложности, связанные с проведением эффективного учета различных издержек на производство и потребление достаточно специфического товара – тепловой энергии. Именно поэтому решение проблем обоснования всех производимых затрат и формирования на их основе себестоимости единицы производимой продукции и услуг представляются полезными при модификации затратного механизма формирования и анализа тарифов, дифференцированного тарифного регулирования.

Учитывая, что регулирование становится эффективным при пересмотре тарифа на тепловую энергию не менее 4 раз в год [2], анализ состояния теплоэнергетических объектов связывается с необходимостью использования автоматизированных информационных систем (АИС), реализующих специально разрабатываемые для этих целей алгоритмы.

Проведенные авторами исследования основных принципов и подходов к автоматизации процессов тарифного регулирования в сфере теплоэнергетики позволили поставить и решить задачу разработки специального алгоритмического и программного обеспечения универсального программного комплекса РТ-Q-1 автоматизированного формирования и анализа тарифов в сфере теплоснабжения [3].

Комплекс, ориентированный на его использование теплоснабжающими предприятиями и региональными службами по государственному регулированию цен и тарифов, позволит реализовать единые правила для всех субъектов регулирования в части методики определения себестоимости выработки и передачи тепловой энергии, установление экономически обоснованных тарифов и защита интересов субъектов регионального теплоэнергетического рынка [3].

В основу при разработке специального алгоритмического обеспечения программного комплекса РТ-Q-1 была положена действующая Методика, утвержденная Федеральной службой по тарифам [4], в соответствии с которой за основу при расчете всех видов тарифов принимается показатель "необходимая валовая выручка (HBB_i)" регулируемой организации, возмещающая ей на i -й период регулирования экономически обоснованные расходы и прибыль по каждому регулируемому виду деятельности [4].

Тогда потребитель оплачивает тепловую энергию по тарифу (например, одноставочному), рассчитываемому по формуле

$$T = HBB_i / Q_{OПТ} , \quad (1)$$

где HBB_i – необходимая валовая выручка теплоснабжающей организации на производство тепловой энергии; $Q_{OПТ}$ – тепловая энергия, отпущенная в сеть [5].

Расходы, включаемые в HBB_i , должны формироваться с учетом выбранной социальной политики и результатов реализации программ энергосбережения и повышения эффективности функционирования регулируемой организации.

Принятая при разработке программного комплекса РТ-Q-1 Методика [4] предусматривает проведение расчета HBB_i несколькими методами: экономически обоснованных расходов; индексации установленных тарифов; обеспечения доходности инвестированного капитала; сравнения аналогов.

В соответствии с этим предложена стратегия выбора направления расчета полезного отпуска тепловой энергии HBB_i для соответствующего вида деятельности, календарной разбивки и установленных предельных уровней тарифов на энергию (мощность) в зависимости от наличия соответствующих схем теплоснабжения или программ развития систем коммунальной инфраструктуры [3].

В соответствии с Методикой [4] значительную часть расходов, включаемых в HBB_i , составляют операционные расходы и расходы на приобретение энергетических ресурсов, основную долю которых составляют $PP_i^Ф$ – расходы на приобретение прочих ресурсов, в том числе потерь тепловой энергии, холодной воды, теплоносителя в i -м году.

Исследование основных особенностей предусмотренных Методикой [4] подходов к расчету $PP_i^Ф$ позволило выявить реальные проблемы учета тепловых потерь при производстве и передаче тепловой энергии, составляющих в реальных системах теплоснабжения значительные размеры (до 15% в зависимости от состояния теплосе-

тей). Обоснована необходимость реализации такого учета с использованием программного комплекса РТ-Q-1 в разрезе плановых и фактических показателей. Используемые в Методике [4] обобщенные показатели тепловых потерь без их детализации при имеющей место тенденции к их росту затрудняют принятие своевременных эффективных мер по их снижению – важнейшей задачи энергосбережения. Более того необходимой представлялась автоматизированная оценка фактического и планового технического состояния самой региональной теплотрассы, что в условиях АИС позволяет проводить эффективный анализ, прогнозирование состояния и формирование мероприятий по обеспечению повышения эффективности региональной системы теплоснабжения в целом, сдерживания темпов роста тарифов на тепловую энергию. В результате был сделан вывод о необходимости включения в структуру разрабатываемого программного комплекса РТ-Q-1 подсистемы расчета тепловых потерь при производстве и распределении тепловой энергии по региональным теплотрассам (РТП-1).

При постановке задачи разработки подсистемы РТП-1 основное внимание было уделено решению проблем, связанных с автоматизированным расчетом тепловых потерь в региональных тепловых сетях, определяющих значительную часть затрат, учитываемых при формировании различных тарифов на тепловую энергию для различных классов сетей и потребителей. Основная задача при этом заключалась в преобразовании и структурировании известных математических выражений и правил расчета ключевых теплофизических показателей и параметров в машинные алгоритмы для последующего их использования при создании специального программного обеспечения подсистемы РТП-1.

Немаловажным здесь становится факт реальной сложности самой региональной тепловой сети, характеризующейся последовательно-параллельными соединениями, а также принадлежностью отдельных их частей и участков, как правило, различным заинтересованным владельцам. Такая структурная сложность вызывает необходимость создания информационной базы данных программного комплекса, обеспечивающей достоверность представления технических и технологических характеристик отдельных участков региональной тепловой сети.

В соответствии с принятой стратегией построения программного комплекса РТ-Q-1 все необходимые расчеты проводятся в рамках соответствующих программных модулей подсистемы РТП-1. Исходные данные, необходимые для расчетов, формируются с использованием действующих в теплоснабжающих организациях средств контроля и учета, структурируются и хранятся в специально создаваемых базах данных (БД) соответствующих подсистем программного комплекса РТ-Q-1.

Проведенный анализ структуры и особенностей построения тепловых сетей Калининградской области и применяемых методов оценки тепловых потерь в региональных теплосетях показал, что в целом потери тепловой энергии ($Q_{ТП}$) состоят из: потерь тепла, связанных с утечками воды из сети (Q_U); потерь тепла через изолированную поверхность подающей ($Q_{ПН}$) и обратной ($Q_{ОН}$) линий трубопроводов при транспортировании теплоносителя; количества тепла, расходуемого на собственные нужды производителя тепловой энергии ($Q_{СН}$).

$$Q_{ТП} = Q_U + Q_{ПН} + Q_{ОН} + Q_{СН} \quad \text{Гкал.} \quad (2)$$

Основные группы разработанных машинных алгоритмов расчета тепловых потерь при распределении по теплотрассам, реализованных в подсистеме РТП-1, приведены на рис. 1.

Для расчета потерь тепла, связанных с утечками из тепловой сети предварительно производится расчет необходимого количества воды (V_3) для первичного заполнения систем отопления и горячего водоснабжения, определяемого (Блок 1 на рис. 1) по формуле:

$$V_3 = V_{СО} + V_{ТС} + V_{ГОР} \quad \text{м}^3, \quad (3)$$

где: $V_{СО}$, $V_{ТС}$, $V_{ГОР}$ – соответственно объемы воды, необходимые для заполнения систем отопления зданий и сооружений; трубопроводов сети отопления и горячего водоснабжения, принадлежащих объектам-производителям тепловой энергии на участках от объекта до ЦТП.

Расчет $V_{СО}$ проводится с использованием величины планируемого расхода тепла на нужды отопления и вентиляции (Q_{Σ} , Гкал), определяемой в соответствии с действующей схемой теплоснабжения субъектами теплоснабжения или органами регулирования, на период отопления продолжительностью Z_0 (час) в установленном регулируемом периоде:

$$V_{СО} = 30 + Q_{\Sigma} / Z_0 \quad \text{м}^3, \quad (4)$$

где: 30 – принятый на основе рекомендаций [6] коэффициент удельного объема заполнения систем отопления, $\text{м}^3/\text{Гкал.ч}$.

Величины $V_{ТС}$ определяется с использованием технических характеристик тепловых сетей, включающих число участков сети отопления с трубопроводами i -го диаметра (n), соответствующие протяженности этих участков ($L_{ТСi}$, км) и рекомендованные для них удельные объемы воды ($V_i \text{ м}^3/\text{км}$):

$$V_{ТС} = \sum_{i=1}^n V_i \cdot L_{ТСi}, \quad \text{м}^3. \quad (5)$$

Подобный расчет проводится и для горячего водоснабжения

$$V_{ГОР} = \sum_{i=1}^n V_i \cdot L_{ГОРi}, \quad (6)$$

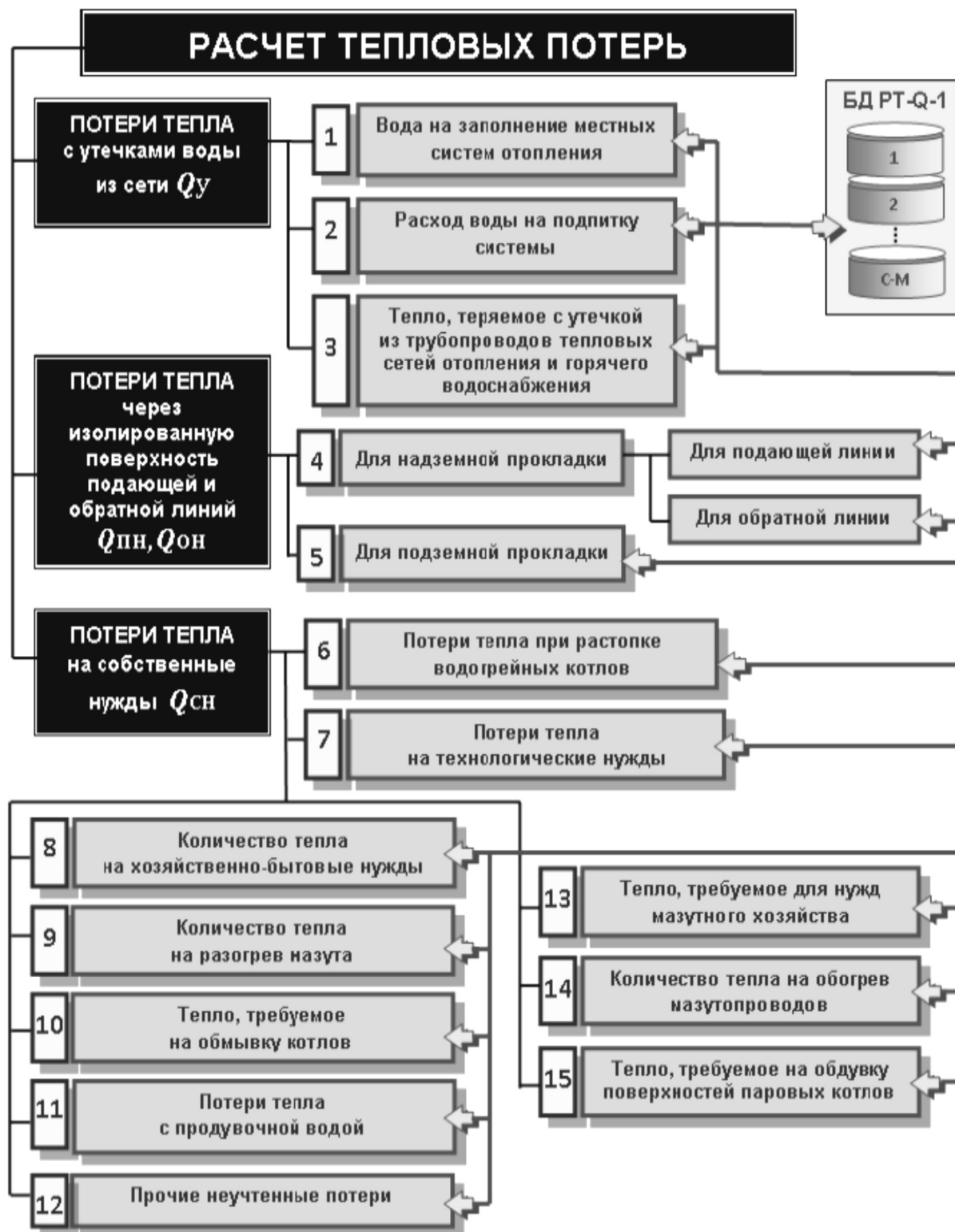


Рисунок 1. Основные группы алгоритмов расчета тепловых потерь программного комплекса РТП-1.

Общий расход воды на подпитку системы отопления в целом (V_{II}) представляется (Блок 2 на рис.1) как сумма объемов воды на подпитку систем отопления ($V_{ПТС}$) и сети горячего водоснабжения ($V_{ПГОР}$) для участков, принадлежащих объектам–производителям тепловой энергии от объекта до ЦТП:

$$V_{II} = V_{ПТС} + V_{ПГОР} \quad \text{м}^3, \quad (7)$$

В соответствии с рекомендациями, приведенными в работе [6], объемы $V_{ПТС}$, $V_{ТС}$, $V_{ПГОР}$ и $V_{ГОР}$ должны находиться в следующих пропорциях:

$$V_{ПТС} = 0,0025 \cdot V_{ТС} \quad (8)$$

$$V_{ПГОР} = 0,0025 \cdot V_{ГОР} \quad (9)$$

Наиболее приемлемой для расчета (Блок 3 на рис.1) величины потерь тепла с утечкой воды из трубопроводов сетей отопления и горячего водоснабжения (Q_y , Гкал) за планируемый период в соответствии с рекомендациями [6] представлялась известная формула:

$$Q_y = V_3 \cdot C_B \cdot \rho \cdot \left(\frac{t_{II} + t_O}{2} - t_{XB} \right) \cdot Z \cdot 10^{-6}, \text{ Гкал} \quad (10)$$

где: C_B и ρ – соответственно нормативные значения удельной теплоемкости и плотности воды; t_{II} , t_O и t_{XB} – соответственно температуры теплоносителей подающего и обратного трубопроводов и усредненная температура холодной воды (по действующим нормативам +5°C);

Z_O – продолжительность отопления в периоде регулирования, час.

При разработке машинных алгоритмов расчета потерь тепла через изолированную поверхность подающей и обратной линий тепловых сетей при транспортировании теплоносителя была принята стратегия декомпозиции расчеты этого показателя для надземного (Блок 4) и подземного (Блок 5) способа прокладки теплопроводов.

С использованием нормативных значений [6] плотности теплового потока через изолированную поверхность трубопроводов подающих (q_{Pi} , ккал/м.ч) и обратных (q_{Oi} , ккал/м.ч) линий для различных условных проходов и видов их прокладки (на открытом воздухе и внутри помещений), протяженностей i -х участков этих линий (I_{Pi} , I_{Oi} , м), длительностей работы (Z) тепловых сетей для установленного периода (месяц, квартал, год и др.), а также установленные для каждой территориальной зоны значения коэффициентов (β), учитывающих потери для каждого вида элементов сетей (теплоопоры, компенсаторы арматура) рассчитывается тепловые потери при транспортировании теплоносителя от объектов–производителей тепла до потребителя для надземной прокладки:

$$Q_{ПН}^{НАД} + Q_{ОН}^{НАД} = \beta \cdot \left(\sum_{i=1}^n q_{Pi} \cdot I_{Pi} + \sum_{i=1}^n q_{Oi} \cdot I_{Oi} \right) \cdot Z \cdot 10^{-6}, \text{ Гкал}, \quad (11)$$

где n – количество участков тепловой сети.

для участков подающей линии надземной прокладки:

$$q_{Pi} = q_{Pi} \cdot (t_{II}^{CP} - t_{HB}^{CP}) / (t_{II}^{CPI} - 5), \text{ Ккал} \quad (12)$$

для участков обратной линии надземной прокладки:

$$q_{Oi} = q_{Oi} \cdot (t_O^{CP} - t_{HB}^{CP}) / (t_O^{CPI} - 5), \text{ Ккал} \quad (13)$$

где: t_{HB}^{CP} , t_{II}^{CPI} , t_O^{CPI} – соответственно принятые энергоснабжающей организацией справочные данные по среднегодовым температурам наружного воздуха и теплоносителям подающего и обратного трубопроводов.

Количество тепла, теряемого при транспортировании теплоносителя от объекта–производителя тепла до потребителя для подземной прокладки определяют по формуле:

$$Q_{ПН}^{ПОД} + Q_{ОН}^{ПОД} = \beta \cdot \left(\sum_{i=1}^n q_i \cdot I_i \right) \cdot Z \cdot 10^{-6}, \text{ Гкал} \quad (14)$$

Предусмотрена возможность пересчета значений плотностей тепловых потоков (q_i) в случаях, когда принимаемые значения средних температур грунта

$$(t_{СП}^{CPI}) \text{ и теплоносителей } (t_{II}^{CPI}, t_O^{CPI}):$$

в планируемом периоде значительно отличаются от этих величин, принятых при расчетах

$$(q_{Pi}^{CPI}, t_{II}^{CP}, t_O^{CP}):$$

для подземной двухтрубной прокладки участков трубопроводов:

$$q_i = q_{Pi}^{CPI} \cdot (t_{II}^{CP} + t_O^{CP} - 2t_{СП}^{CPI}) / (t_{II}^{CPI} + t_O^{CPI} - 2t_{СП}^{CPI}), \text{ Ккал / м-ч} \quad (15)$$

Потери тепла трубопроводами в помещениях определяют по формуле [11].

Тепловые потери с поверхности изоляции паропроводов и конденсаторов, приведенных в действующих строительных нормах и правилах (СНиП 2.04.14–88. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. М.: ЦИТП Госстрой СССР. – 1989), рассчитываются аналогично потерям водяных тепловых сетей с использованием нормированных значений плотности теплового потока для таких элементов сетей. Фактические значения потерь тепла в структурированных региональных сетях напрямую зависят от реального их состояния и условий эксплуатации. Потери возрастают при плохом приборном контроле за техническим состоянием теплосети, что влечет за собой увлажнение и разрушение тепловой изоляции.

Общий расход тепла на собственные нужды –

(Блоки 6–15) определяют как сумму расходов тепла на подогрев воды, удаляемой из котлов с продувкой; на собственные нужды хозяйственно-бытового характера; на разогрев мазута в цистернах, хранилищах и расходных емкостях мазута; на распыление жидкого топлива в паровых форсунках; на технологические процессы подготовки воды и другие.

$$Q_{CH} = \sum_{i=1}^n Q_{CHi}, \text{ Гкал}, \quad (16)$$

где: Q_{CH} – потери тепла на i -е нужды, Гкал, n – количество собственных нужд котельной.

В целом долю тепла на собственные нужды можно рассчитать по формулам:

$$K_{CH} = Q_{CH} / Q_{ВЫР}; \quad (17)$$

$$K_{CH} = 1 - Q_{ОТН} / Q_{ВЫР}, \quad (18)$$

где: $Q_{ВЫР}$ – суммарный расход тепла на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение, рассчитываемые в соответствии с Методикой [4] в подсистеме ФНВВ-1 (формирование необходимой валовой выручки регулируемой организации) программного комплекса РТ-Q-1, и потери тепловой энергии в тепловых сетях.

Расход тепла на растопку паровых котлов определяют по формуле:

$$Q_{РАСТi} = K_{РАСТi} \cdot Q_{OKi}, \text{ Гкал}, \quad (19)$$

где: $K_{РАСТ}$ – коэффициент потери тепла, принимается в соответствии с установленными нормами для котлов различных типов [6]; Q_{OKi} – проектная мощность i -го котла, Гкал/час.

Тогда потери тепла в целом за расчетный период $[Z]$ составят:

$$Q_{OK} = \sum_{i=1}^n K_{РАСТi} \cdot Q_{OKi} \cdot Z_i, \text{ Гкал}, \quad (20)$$

Тепловые потери при растопке водогрейных котлов (Блок 6) принимают равным 0,9 аккумулирующей способности обмуровки, определяемой из таблицы значений потерь тепла в зависимости от типа и мощности котла [6].

Для расчета потерь тепла на технологические нужды химводоочистки (ХВО) (Блок 7) предлагается использовать формулу:

$$Q_{ХВО} = K_{ХВО} \cdot G_{ХВО} \cdot C_B \cdot (t'' - t') \cdot Z_{ХВО} \cdot 10^{-6} + K_{ВЗ} \cdot 0,004 \cdot G_D \cdot (I_{ВЫП} - I') \cdot Z_D \cdot 10^{-6} \quad (21)$$

где: $G_{ХВО}$, G_D – соответственно проектные мощности ХВО и деаэратора, т/ч; $K_{ХВО}$, $K_{ВЗ}$ – соответственно нормированное значение удельного расхода воды на ХВО, определяемое в зависимости от общей жесткости ис-

пользуемой воды и поправочный коэффициент, равный 1,0 или 1,2 в зависимости от наличия или отсутствия в системе взрыхлителей; t'' , t' – соответственно температура воды после подогревателя сырой и исходной воды, °С; $Z_{ХВО}$, Z_D – соответственно расчетные продолжительности работы ХВО и деаэратора, час; $I_{вып}$, I' – соответственно энтальпия пара из деаэратора и исходной воды, ккал/кг.

Машинные алгоритмы расчета потерь, реализуемых в Блоках 8–15, связанных с оценкой в частности потерь тепла с продувочной водой, зависящих от периодичности продувки котла; расхода тепла на хозяйственно-бытовые нужды и нужды мазутного хозяйства, включая мазутопроводы; расхода тепла на обдувку поверхностей нагрева и обмывку паровых котлов; прочих и неучтенных потерь разрабатывались с применением апробированной Методики [6].

Как это следует из приведенных выше алгоритмов расчета основных планируемых и непредвиденных тепловых потерь, решение поставленной задачи создания подсистемы РТП-1 потребовало разработки сложной по своей структуре базы данных, содержащей необходимую оперативную информацию о текущем состоянии технических и технологических характеристик линий теплопередачи и структурной организации региональных тепловых сетей.

Все это создало реальные предпосылки для использования разрабатываемого программного комплекса РТ-Q-1 как полигона для проведения различных компьютерных экспериментов с целью выявления оптимальной организации самих региональных тепловых сетей и поиска оптимальных их характеристик путем варьирования различными управляемыми факторами (заменой элементной базы, методов организации транспортировки тепловой энергии, изменением конкретных характеристик, влияющих на качество оказываемых услуг и др.). Результаты таких исследований могут быть использованы для формирования на их основе реальных предложений по повышению эффективности функционирования региональной системы теплоснабжения и снижения тарифов на оказываемые услуги по производству и распределению тепловой энергии.

В целом реализованная в программном комплексе РТ-Q-1 методика расчета необходимых для формирования тарифов показателей, включая тепловые потери в процессе производства и транспортировки тепловой энергии по региональным тепловым сетям, характеризуется особенностями, которые не могли не отразиться на принятых принципах создания алгоритмического и специального программного обеспечения. Это, прежде всего, необходимость организации разветвленного алгоритма расчета, обеспечивающего реализацию различных

подходов (расчетных методик) с использованием условных переходов, связанных с необходимостью разбивки затрат по различным видам деятельности, а также учетом особенностей производственно-технологической структуры регулируемого объекта теплоснабжения и его деятельности, напрямую связанных с составом и наполненностью учитываемых при расчетах статей затрат.

Предварительно проведенные системные исследования различных подходов (концепций) к построению сложно структурированных программных продуктов, разбиение всего комплекса поставленных задач на отдельные функциональные подсистемы (модули) позволили выбрать структурную организацию разрабатываемого программного комплекса РТ-Q-1, обеспечивающую эффективное их раздельное функционирование в соответствии с реализованными в них алгоритмами и с учетом их вза-

имосвязей в процессе решения поставленных задач в условиях изменяющихся исходных данных.

В целом разрабатываемый программный комплекс РТ-Q-1 относится к структурированным программным продуктам, реализующим множество достаточно сложных алгоритмов, успешная реализация которого связывается с необходимостью организации и контроля за ходом работы самого комплекса. Становится совершенно очевидным, что скорейшее освоение пользователями всех особенностей и приемов работы с ним возможно только при реализации в рамках комплекса соответствующих средств автоматизированного обучения.

С учетом накопленного опыта [7] задача разработки такой подсистемы была поставлена и в настоящее время реализуется в рамках комплекса РТ-Q-1.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арунянц Г. Г. Процесс регулирования деятельности субъектов теплоснабжающего комплекса Калининградской области и пути его автоматизации / Г.Г. Арунянц, Т.А. Воронин, С.А.Айрапетов // Научное обозрение. – 2016. – № 9. – С. 231–239.
2. Арунянц Г.Г., Хузмиев И.К., Калинин А.Ю. Об эффективном регулировании деятельности естественных монополий в теплотехнике / Г.Г. Арунянц, И.К. Хузмиев, А.Ю. Калинин. // Труды международной конференции "Информационные технологии и системы: наука и практика". – Владикавказ: Издательство ВНЦ РАН. – 2002. – С. 345–349.
3. Арунянц Г. Г. Концепция и особенности построения программного комплекса РТ-Q-1 автоматизированного формирования тарифов в сфере теплоснабжения / Г.Г. Арунянц, Т.А. Воронин, С.А.Айрапетов // Наука и бизнес: пути развития. – 2016. – № 3 (57). – С. 66–73.
4. Приказ Федеральной службы по тарифам от 13 июня 2013 года N 760-э "Об утверждении Методических указаний по расчету регулируемых цен (тарифов) в сфере теплоснабжения (с изменениями на 27 мая 2015 года)".
5. Лисин Е. М. Анализ влияния структурных факторов на эффективность применения стратегий рыночной силы генерирующими компаниями на оптовом рынке электроэнергии / Е.М. Лисин, В. Стриелковски, А.О. Гуца, Ю.А. Анисимова // Инновационное развитие экономики. – 2013. – № 6 (17). – С. 159–164.
6. Методические указания по расчету тарифов на тепловую энергию для энергоснабжающих организаций Московской области. – М.: Энергетическая комиссия Московской области. – 2001. – 41 с.
7. Арунянц Г.Г. Разработка автоматизированных обучающих систем: проблемы и пути их решения / Г.Г. Арунянц, А.Ч. Хатагов, П.А. Румянцев. – Владикавказ: Изд-во "Терек". СКГМИ. – 2005. – 368 с.

© Г.Г. Арунянц, Т.А. Воронин, (Suro99@mail.ru), Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»,



МОБИЛЬНАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПЕРЕДАЧИ РЕЧИ

MOBILE VOICE QUALITY ASSESSMENT SYSTEM

*M. Gusev
I. Guseva*

Annotation

In the article the algorithm for estimating the quality of voice and audio signals are describes. It offers a software implementation of the algorithm, oriented to work on mobile devices. The experimental results confirm the effectiveness and the practical significance of the proposed solutions.

Keywords: sound quality evaluation, MOS, Android, psychoacoustics, AquA.

*Гусев Михаил Николаевич
К.т.н., Санкт–Петербургский государственный
университет телекоммуникаций
им. проф. М.А. Бонч–Бруевича,
Санкт–Петербург
Гусева Инна Юрьевна
Санкт–Петербургский политехнический
университет Петра Великого,
Санкт–Петербург*

Аннотация

В статье рассматривается алгоритм оценки качества передачи речи и звуковых сигналов. Предлагается программная реализация алгоритма, ориентированная на работу в мобильных устройствах. Приводятся результаты экспериментов, подтверждающие эффективность и практическую значимость предложенных решений.

Ключевые слова:

Оценка качества передачи речи, MOS, Андроид, психоакустика, AquA.

Введение

Оказание коммерческих услуг сотовой связи в сетях GSM (Global System for Mobile telecommunications) началось в середине 1991 года. В 1993 году существовало уже 36 сетей стандарта GSM в 22 странах мира, а к 1994 году число абонентов GSM сетей в мире достигло 1,3 миллиона. Сегодня более трети населения земного шара использует услуги на базе стандарта GSM.

Качество услуг сотовой связи является ключевым фактором, влияющим на конкурентоспособность операторов связи. Соответственно, исследование вопросов обеспечения качества услуг мобильной связи является актуальной задачей.

Для повышения качества оказания услуг сотовой связи в условиях конкуренции на рынке телекоммуникационных услуг необходима разработка методов, средств и регламентов оценки качества связи. Результаты такой разработки будут востребованы как операторами связи так и федеральными органами исполнительной власти, осуществляющими контроль деятельности в области связи, а также гражданами и организациями, являющимися пользователями услуги связи.

В связи со сказанным представляется целесообразным разработка системы оценки качества передачи речи

на базе смартфонов.

Выбор платформы и средств разработки

Согласно исследованиям компании IDC (International Data Corporation) рынок между мобильными операционными системами распределен следующим образом [1] (табл. 1):

Таблица 1.

Доли рынка мобильных платформ.

Платформа	Доля рынка, %
Android	68,3
iOS	18,8
Windows	2,6
BlackBerry, Linux	10,3

Целесообразным представляется разработка программного обеспечения для наиболее популярной мобильной платформы – Android.

Само мобильное приложение под Android разрабатывается на языке Java. Для реализации математических функций удобно использовать язык C/C++. Среда разра-

ботки принципиального значения не имеет – может использоваться как Android Studio так и Eclipse.

Ядро системы оценки качества

В качестве ядра системы оценки качества передачи речевого сигнала воспользуемся алгоритмом AQuA [2, 3], дополненным психоакустической моделью, предложенной в [4].

Схема алгоритма оценки качества представлена на рис. 1.

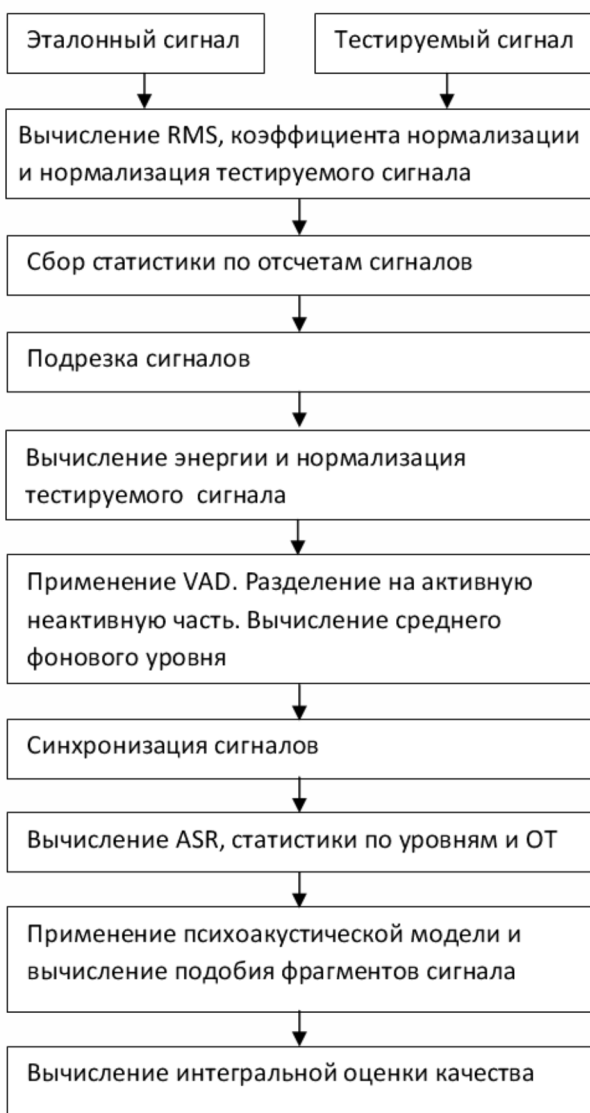


Рисунок 1. Схема алгоритма AQuA.

Рассмотрим подробнее основные этапы работы алгоритма.

На вход системы оценки качества подаются два си-

гнала: исходный и тестовый. Качество исходного (или эталонного) сигнала принимается на 100%, он считается идеальным, не содержащим искажений. Предполагается, что тестовый сигнал получен из эталонного путем передачи по каналам сотовой связи, и может содержать различные искажения.

Вычисление RMS и нормализация

На первом шаге обработки вычисляются RMS (Root Mean Square) сигналов и, если включена нормализация по RMS, выполняется нормализация – RMS тестового сигнала приводится к RMS эталонного сигнала.

Для каждого сигнала вычисляется пара значений RMS (1) и RMS_{bound} (2):

$$RMS = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} \left(\frac{x_i}{32768} \right)^2 \quad (1)$$

$$RMS_{bound} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} \left\{ \begin{array}{ll} \frac{x_i}{32768}, & xl \leq \frac{x_i}{32768} < xh \\ 0, & иначе \end{array} \right. \quad (2)$$

где

$$xl = \begin{cases} 1.1 \cdot \min(X), & 1.1 \cdot \min(X) \geq 0,0078125 \\ 0,0078125, & 1.1 \cdot \min(X) < 0,0078125 \end{cases}$$

$$xh = 0,9 \cdot \max(X)$$

Значение RMS_{bound} представляет собой попытку исключить из расчета коэффициента нормализации низкоуровневую часть сигнала, а также пиковые значения отсчетов, образующиеся в результате искажений.

Статистика по отсчетам и "подрезка" сигналов

Статистика, собираемая по сигналу, включает в себя минимум, максимум и среднее значение энергии и отсчетов, а также относительное количество клипированных отсчетов сигнала [3] и SNR (signal-to-noise ratio).

$$Clp = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^{N-1} \begin{cases} 1, & x_{i-1} = x_i = \min(X) \text{ или} \\ & x_{i-1} = x_i = \max(X) \\ 0, & иначе \end{cases} \quad (3)$$

Далее, для повышения точности синхронизации сигналов по VAD (Voice Activity Detection), выполняется удаление начальной и конечной тишины из обоих обрабатываемых сигналов. Удаление тишины производится по пороговому значению энергии отсчетов в дБ, причем может использоваться как абсолютное пороговое значение, так и значение, вычисляемое относительно минимальной

энергии сигнала. Уровень энергии отсчета вычисляется по формуле [4].

$$e_i = 10 \cdot \lg \left(\frac{x_i^2}{240} + const \right). \quad (4)$$

Нормализация по энергии

Если включена нормализация сигнала по энергии, вычисляются средние значения максимумов сигналов Max_{Avg} , коэффициент нормализации сигнала, и выполняется нормализация тестируемого сигнала. При расчете значения Max_{Avg} используются только максимумы, превосходящее среднее значение амплитуды сигнала [5].

$$Max_{Avg} = \frac{1}{NC} \sum_{i=1}^{N-1} \begin{cases} |x_i|, & x_i > avg(X) \delta \\ 0, & x_{i-1} < x_i < x_{i+1} \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}, \quad (5)$$

где

$$NC = \sum_{i=1}^{N-1} \begin{cases} 1, & x_i > avg(X) \delta \\ 0, & x_{i-1} < x_i < x_{i+1} \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}.$$

Использование среднего значения максимумов и ограничения, вызвано желанием исключить из нормализации низкоуровневую часть сигнала.

Применяемый алгоритм VAD и синхронизация сигналов по результатам его работы детально описано в [2, 3].

ASR, статистики по уровням и ОТ

ASR (Active Speech Ratio) вычисляется на основе результатов работы алгоритма VAD как отношение количества активных фреймов в сигнале к общему количеству фреймов в сигнале, выраженное в процентах.

Статистики по уровням и ОТ (Основной Тон) строятся по гистограммам уровней, скорости изменения значений отсчетов и основного тона. Коэффициент искажений вычисляется как [6]:

$$Dist = \frac{100}{ND} \sum_{i=1}^{N-1} \begin{cases} \frac{|h1_i - h2_i|}{h1_i + h2_i}, & h1_i - h2_i > 0 \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}, \quad (6)$$

где

$$ND = \sum_{i=1}^{N-1} \begin{cases} 1, & h1_i - h2_i > 0 \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}.$$

Психоакустическая модель включает в себя три уровня:

- ◆ пси-фильтрацию;
- ◆ нормализацию уровней;
- ◆ перевод в различные градации.

Основу психоакустической модели составляют различные полученные экспериментально зависимости, оформленные в виде таблиц значений.

Пси-фильтрация [3] – наиболее сложный уровень обработки. На рис. 2 представлена укрупненная схема пси-фильтра. Поступающий фрейм данных сохраняется в блоке текущего фрейма, и передается на вход пси-маскера. На основе поступивших данных формируется пре-маска. Пре-маска накладывается на предыдущий фрейм данных, и результат маскирования принимается за выходное значение фильтра.

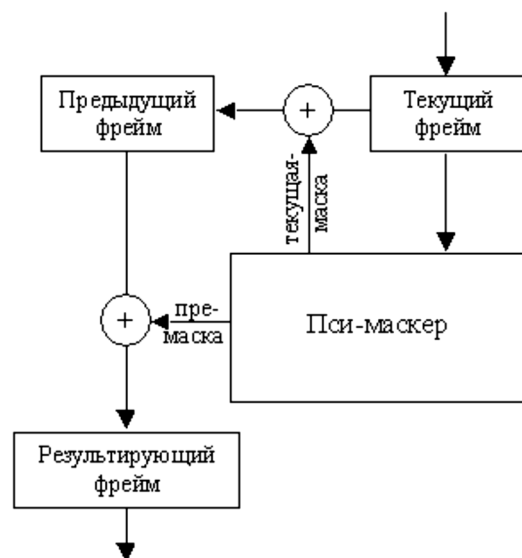


Рисунок 2. Укрупненная схема пси-фильтра.

Кроме того, маскером формируется текущая маска, являющаяся объединением внутренней – и пост – масок. Текущая маска накладывается на текущий фрейм данных, и результат маскирования сохраняется в блоке предыдущего фрейма.

Процесс маскирования описывается формулой [7]:

$$s_i = \begin{cases} s_i, & s_i > m_i \\ 0, & s_i \leq m_i \end{cases}, \quad (7)$$

где

s_i – компонента спектра с номером i ;
 m_i – компонента маски с номером i .

Процедура построения масок включает следующую последовательность действий:

- ◆ обработка порога слышимости;
- ◆ маскирование флюидных уровней;
- ◆ разделение спектра на тоны и шумы;
- ◆ построение масок от тональных компонент;
- ◆ построение масок от шумовых компонент;
- ◆ объединение масок от тональных и шумовых компонент.

Порог слышимости характеризует чувствительность уха к интенсивности звуковой энергии. Один из возможных вариантов определения порога слышимости зафиксирован в стандарте ISO/R-226 (International Organization for Standardization). Обработка порога слышимости заключается в построении соответствующей маски mt_i путем интерполяции [8]:

$$mt_i = HThres_{k-1} + \frac{(F_i - THFreq_{k-1})(HThres_k - HThres_{k-1})}{THFreq_k - THFreq_{k-1}}. \quad (8)$$

Частота, соответствующая индексу определяется как [9]:

$$F_i = \frac{(i - 0.5) \cdot SampleRate}{2 \cdot (SpecSize - 1)}. \quad (9)$$

Маскирование флюидных уровней позволяет избежать ошибок вычислений, связанных с эффектом растекания спектра. Значения флюидных уровней рассчитываются относительно максимальной компоненты спектра. Пересчет компонент маски выполняется по формуле [10]:

$$mt_i = \max \left(mt_i, 0.01 \cdot \max_j^{SpecSize} (s_j) \right). \quad (10)$$

Разделение спектра на тональные и шумовые компоненты связано с различиями в процессе построения масок.

При разделении спектра используется простейший алгоритм, выделяющий пики:

- ◆ ищутся локальные максимумы, уровень которых превышает некоторое пороговое значение;
- ◆ слева и справа от локальных максимумов ищутся локальные минимумы;
- ◆ компоненты спектра, между найденными парами локальных минимумов считаются тональными;
- ◆ оставшиеся компоненты спектра – шумовыми.

Степень маскировки определяется как разность в децибелах между уровнем порога слышимости маскируемого тона в присутствии маскирующего тона и уровнем порога слышимости маскируемого тона в тишине. Общее описание всех возможных кривых маскировки представляется весьма затруднительным, поэтому в рамках ре-

шаемой задачи было решено использовать упрощенную модель маскировки, близкую к используемой в стандарте MPEG (Moving Picture Coding Experts Group).

Для каждой выделенной тональной компоненты строятся маски путем интерполяции промежуточных кривых маскировки в зависимости от ее уровня энергии. Результирующая маска (ms_i) определяется как набор максимумов из значений с совпадающими индексами.

При построении маски от шумовых компонент (mn_i) для каждой тональной компоненты определяется ее собственная критическая полоса и в пределах этой критической полосы определяется уровень маскирующего шума. Далее степень маскирования определяется согласно кривым маскировки, представленным в [3].

На вход процедуры объединения поступают следующие маски: маска порога слышимости и флюидных уровней (mt_i), маски тональных (ms_i) и шумовых (mn_i) компонент. Результирующая маска вычисляется по формуле [11]:

$$m_i = \begin{cases} \max(mt_i, ms_i), & l_i = 1 \\ \max(mt_i, mn_i), & l_i = 0 \end{cases}, \quad (11)$$

где l_i – признак является ли i -тая компонента спектра тональной или шумовой.

Второй уровень психоакустической модели осуществляет перевод интенсивностей компонент спектра в соответствующие значения уровня воспринимаемой громкости. Для пересчета используется семейство кривых равной громкости [3]. По значению частоты и интенсивности компоненты спектра определяется пара кривых равной громкости, между которыми находится нормализуемое значение. Затем с помощью линейной интерполяции определяется соответствующее значение громкости в фонах.

Под различной градацией понимается минимально заметное на слух изменение амплитуды сигнала. Частотная разрешающая способность слуха – не учитывается. Известно, что в зависимости от уровня громкости и частоты сигнала разрешающая способность слуха варьируется от 2 до 40%.

Общая громкость сигнала определяется как сумма максимальной громкости по всем компонентам спектра и 0.3 средней громкости по всем остальным компонентам спектра. Т.к. при расчете градаций используются воспринимаемые уровни громкости, вызов третьего уровня психоакустической модели возможен только после применения второго уровня.

Для рассчитанного уровня громкости интерполируется кривая амплитудной разрешающей способности. Для

каждой компоненты спектра определяется минимально-различимое изменение громкости и текущий уровень громкости компоненты спектра делится на найденное значение.

Вычисление оценки качества

Вычисление подобия выполняется отдельно для активной и неактивной фаз сигнала, причем сравниваются пары синхронизированных фрагментов. Сравнение (12) производится по энергиям в критических полосах, вычисленных по интегральным спектрам сигналам:

$$Q = 100 - \sum_{n=1}^{N_p} \begin{cases} 100 \cdot Vc_n \min\left(1, \left| \frac{E_n^{src} - E_n^{tr}}{E_n^{src}} \right| \right), & E_n^{src} > E_{\min} \\ 0, & \delta = 0 \end{cases} \quad (12)$$

Оценка для каждой фазы определяется как среднее по всем парам фрагментов.

Оценка для всего сигнала вычисляется как сумма взвешенных оценок активной и неактивной фаз.

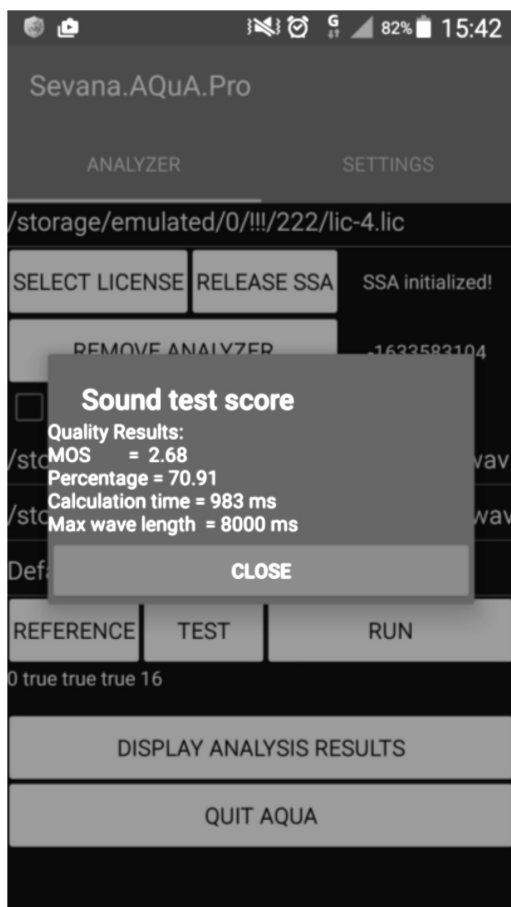


Рисунок 3. Основное окно приложения.

Программная реализация

Программа для мобильного устройства выполнена в виде двух модулей: динамически загружаемой библиотеки оценки качества (нативный C++) и пользовательского интерфейса (JAVA).

В библиотеке предусмотрена работа как со звуковыми файлами, так и со звуковым потоком. Допускается создание нескольких экземпляров контекстов оценки качества, в которых оценка качества выполняется параллельно.

В GUI (Graphical User Interface) поддерживает только работу со звуковыми файлами. Реализован функционал выбора файлов, вызов библиотеки оценки качества, визуализация результатов оценки и настройка параметров алгоритма AQuA. На рис. 3 представлено основное окно приложения.

Видно, что библиотека инициализирована, создан контекст оценки, выбраны эталонный и тестируемый файлы, и заданы настройки по умолчанию. После нажатия на кнопку "RUN" вызывается функционал библиотеки, вычисляющий оценку качества по двум звуковым файлам. Результаты оценки отображаются на экране как показано на рис. 4.

Программа предоставляет возможность просмотреть подробный отчет по результатам анализа звуковых файлов (рис. 5). Отчет отображается по нажатию кнопки "DISPLAY ANALYSIS RESULTS".

По значениям спектральных пар и интегральным спектрам сигнала могут быть построены графики, представленные на рис. 6 и 7.

Окно настроек параметров алгоритма AQuA представлено на рис. 8. При выборе параметра отображается окно ввода значения, в котором приводится его имя, краткое описание и диапазон допустимых значений (рис. 9).

Эксперимент

Тестирование мобильного приложения показало совпадение оценок качества получаемых в программах, разработанных для мобильных телефонов и персонального компьютера.

Для сравнения метода AQuA с рекомендацией ITU-T P.562 [5] была использована речевая база данных ITU-T для тестов кодеков [6].

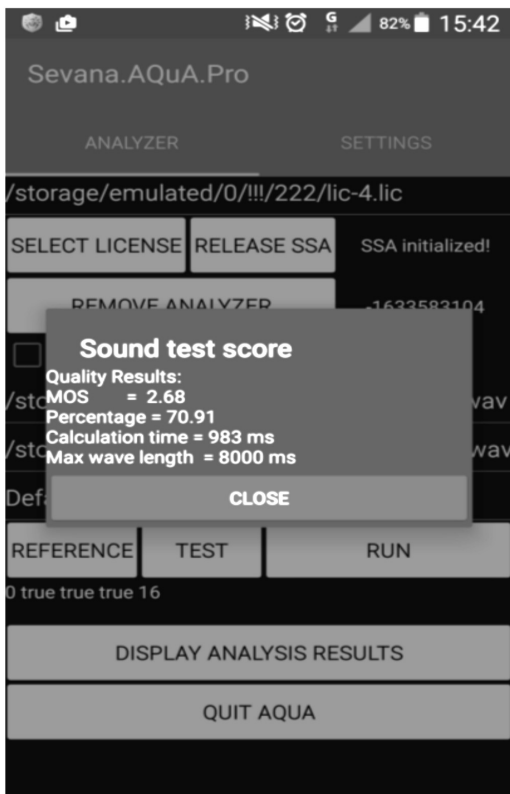


Рисунок 4. Отображение результатов оценки.

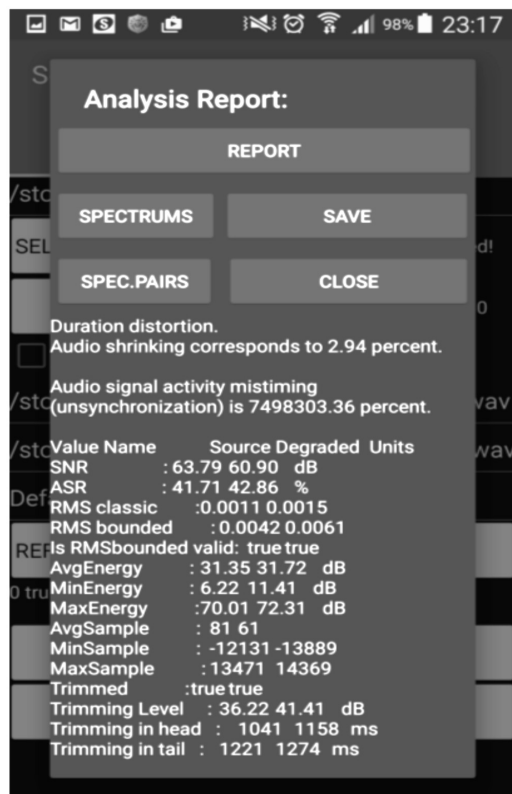


Рисунок 5. Отчет по результатам анализа.

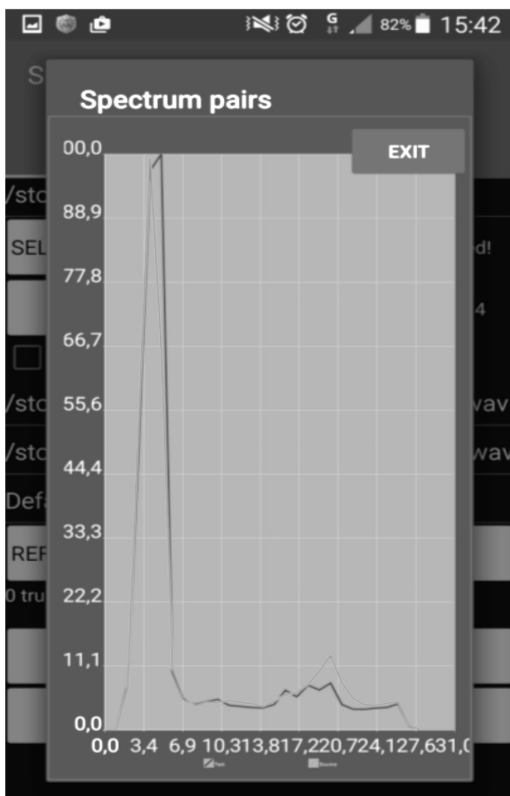


Рисунок 6. Отображение спектральных пар.

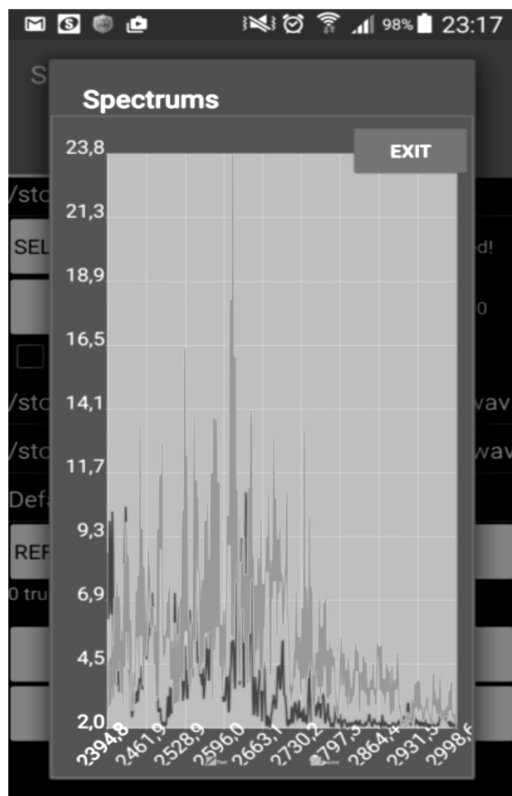


Рисунок 7. Отображение интегрального спектра.

В табл. 2 приводятся суммы ошибок (модуль разности экспертного и вычисленного значения MOS) полученные

в результате работы стандартного ПО и предложенного метода.

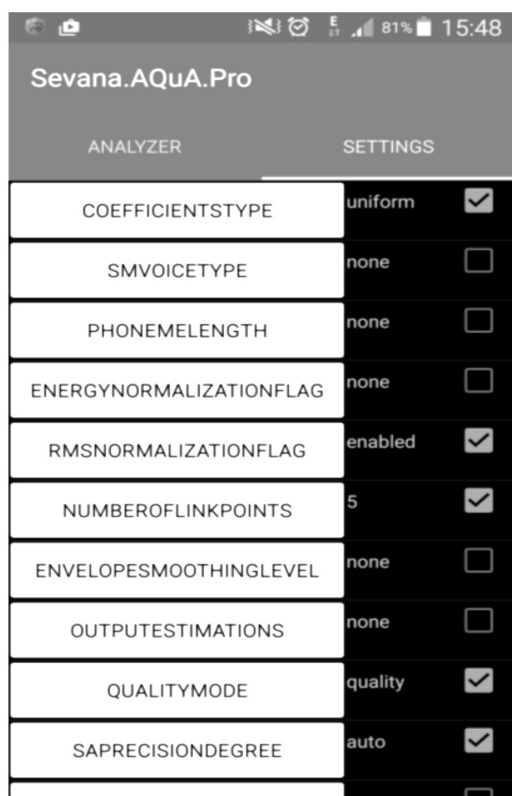


Рисунок 8. Окно настроек алгоритма AquA.

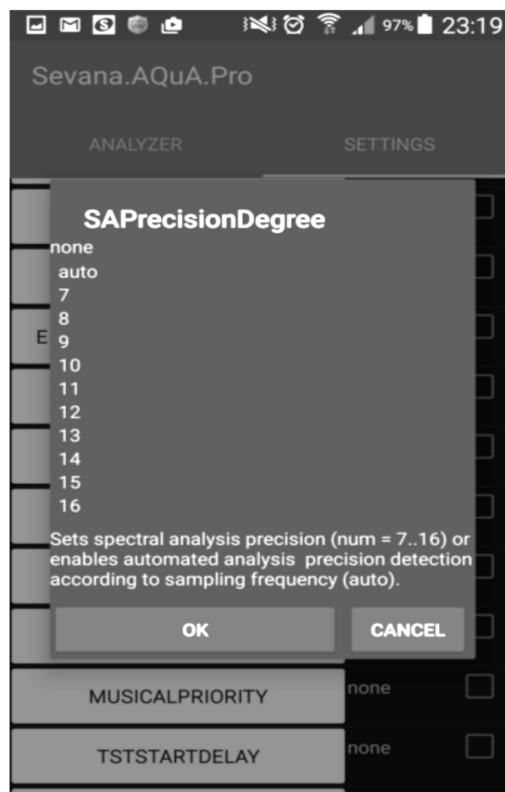


Рисунок 9. Окно ввода параметра "SAPrecisionDegree".

Видно, что в ряде случаев предложенный метод дает лучшую точность оценок. В данный момент ведутся работы по совершенствованию метода.

Известны результаты исследования [7], показывающего, что точность оценок алгоритмов PESQ и AQUA для GSM сетей связи совпадает, а в случае CDMA сетей точность оценок AQUA оказывается выше.

Таблица 1. Сравнение алгоритмов ITU-T P.562 и AquA.

Язык	Сумма ошибок			
	PESQ-OS	MOS-LQ0	MOS-WB-LQ0	AQUA
Японский	105,75	92,40	59,31	90,43
Французский	66,32	59,20	80,03	64,27
Английский	51,02	50,74	135,92	59,65

ЛИТЕРАТУРА

1. Винницкий А. Рынок мобильных систем к 2016 году не изменится // электронный источник <http://appleinsider.ru/analysis/rynok-mobilnyx-os-k-2016-godu-ne-izmenitsya.html> / доступ 25.02.2016
2. Пат. 2312405 Российская Федерация, МПК G 10 L 19 / 02 (2006.01), G10L15/00 (2006.01). Способ осуществления машинной оценки качества звуковых сигналов, Гусев М. Н., Дегтярёв В.М., Жарков И.В.; заявитель и патен-тообладатель Гусев М.Н. – № 2005128572/09; заявл. 13.09.2005; опубл. 10.12.2007, Бюл. №34(ч.2) – 2с: ил.
3. Гусев М.Н. Расчет и измерение качества речевых сигналов/ Гусев М.Н., Дегтярев В.М. // Геликон Плюс, СПб., 2008, 275с
4. Пат. 2435232 Российская Федерация, МПК G 10 L 15 / 14 (2006.01). Способ машинной оценки качества передачи речи, Гусев М. Н.; заявитель и патен-тообладатель Гусев М. Н. – №2010133428/08; заявл. 09.08.2010; опубл. 27.11.2011, Бюл. №33 – 2с: ил.
5. Perceptual evaluation of speech quality (PESQ): An objective method for end-to-end speech quality assessment of narrow-band telephone networks and speech codecs / ITU-T Recommendation P.862 // Режим доступа: <http://www.itu.int/rec/T-REC-P.862/en>
6. ITU-T coded-speech database [Электронный ресурс] / Supplement 23 to ITU-T P-series Recommendations // Режим доступа: <http://www.itu.int/rec/T-REC-P.Sup23-199802-I/en>
7. Bruno Daniel M.L. Characterisation of noisy speech channels in 2G and 3G mobile networks // Master Thesis to obtain the degree of master at the Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2013 / электронный источник http://www.sevana.fi/MSc_Thesis_-_Bruno_Daniel_Moreira_Leite_-_2013.rar

ИНТЕГРАЛЬНОЕ ПОСЕГМЕНТАРНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ДЕРИВАТОВ МИОТОМОВ МЫШЕЧНОГО КОРСЕТА СПОРТСМЕНА

INTEGRATED POLIGONALNOM
THE MEASUREMENT
OF THE FUNCTIONAL STATE
OF THE DERIVATIVES OF MYOTOMAL
MUSCULAR SYSTEM SPORTSMEN

*G. Bobkov
S. Tolstykh*

Annotation

The present research has been initiated to explore the relationship between different areas of the skin and muscle apparatus of the human body. Proposed in this article method has been tested on athletes-skiers, athletes, martial artists I. It proved its usefulness and can be used for wide applications in sports medicine and kinesitherapy.

Keywords: leather, embryogenesis, reflector, attractor, muscular system, myofascial.

Бобков Геннадий Александрович

*Д.биол.н., ФГБУ ФНЦ физической культуры
и спорта, ФГБУ ФНЦ ВНИИФК, Москва*

Толстых Светлана Сергеевна

*Аспирант, ФГБУ ФНЦ физической культуры
и спорта, ФГБУ ФНЦ, ВНИИФК, Москва*

Аннотация

Настоящее исследование было проведено с целью изучения взаимосвязи между различными участками кожных покровов и мышечным аппаратом человеческого тела. Предложенный в данной статье метод был протестирован на спортсменах-лыжниках и спортсменах-единоборцах. Он доказал свою полезность и может быть использован для широкого применения в спортивной медицине и кинезитерапии.

Ключевые слова:

Кожа, эмбриогенез, рефлектор, аттрактор, мышечный корсет, миофасциограмма.

Для практики спорта, спортивной медицины, кинезитерапии принципиальное значение имеет инструментальное определение "паттерна" тонуса всех мышц опорно-двигательного аппарата, ибо спортсмен (пациент) может жаловаться, например, на мышечные боли в пояснице, тогда как эта боль может иметь своим происхождением мышечную недостаточность либо вышележащих, либо нижележащих отделов миофасциального меридиана (ММ). Термин введен Т.Майерсом, для обозначения совокупности мышц связанных фасциями для выполнения совместной деятельности, например, задняя поверхностная линия состоит из семи мышц, удерживает тело в вертикальном положении со стороны спины. [1]. Соответственно, стратегия лечения должна быть направлена на аналитическое развитие: усиление слабых ММ и "разгрузку" перенапряженных ММ. Аналитические манипуляции с отдельными мышцами или синергичными группами можно проводить только с применением специализированных тренажеров, либо мануальными операциями [2].

В этой связи возникает проблема количественного определения посегментарного функционального состояния дериватов миотомов мышечного корсета организма.

Существующие методы исследования костно-мышечной системы (КМС): электромиография, полиэлектромииография, миотонметрия, стабилметрия и др. не дают общей, целостной картины состояния мышечного аппарата во взаимосвязи как в пределах одного миофасциального сочленения, так и взаимоотношений между ними. Между тем, практика кинезиологии, вообще, и кинезитерапии, в частности, практика спортивной медицины требуют именно такого, с одной стороны целостного, с другой, – аналитического подхода к тестированию КМС.

В настоящей работе мы предприняли попытку применить современные и древнейшие знания и практики для целостного, но аналитического определения функционального состояния отдельных мышечных групп, иннервированных разными сегментами спинного мозга.

Исходная гипотеза была следующей: Многовековым опытом были показаны связь между определенными участками кожи и состоянием висцеральных органов. Также показана связь между висцеральными органами и мышцами [4]. Современные исследования подтверждают эту связь [3]. Не касаясь идеологических объяснений их

существования, мы предположили, что подобная связь существует между мышечным аппаратом и определенными участками кожи. Соответственно исследуя их, нам удастся судить о функциональном состоянии частей КМС. Такой посыл предполагает, в первую очередь, рассмотрение структуры и функции кожи, как таковой и ее связь с КМС.

Кожа, уникальная часть тела млекопитающих, изучаемая наукой дерматологией, представляющей собой медицинскую дисциплину, специализирующуюся на исследованиях структуры кожного покрова, слизистых оболочек, установлением диагноза различных кожных заболеваний, а также изучающая их методы лечения и профилактики [5]. Эта отрасль медицины изучает строение, проблематику и функционирование кожного покрова, его придатков (волос, ногтей, слизистой), и методы лечения и профилактики заболеваний кожи. Однако, к дерматологии вынуждены "обращаться" множество других медицинских дисциплин, симптоматика которых проявляется на коже. Инфекционная патология (разного рода наружные и внутренние высыпания), педиатрия (детские заболевания, симптомы которых часто проявляются через высыпания на коже – краснуха, корь, скарлатина), венерология, внутренние заболевания (кожный зуд при диабете, уремии), аллергология, эндокринология, хирургия, акушерство и гинекология (климактерические высыпания, дерматозы беременных), невропатология и другие области медицинских дисциплин, изучающие конкретные органы и системы организма, но вынужденных обращаться к дерматологии.

Эти "противоречия" объясняются многообразием функций, выполняемых кожей, каждую из которых, специалисты разных медицинских направлений считают "своей", считая кожу обособленного в виде комплекса тканей входящую именно в его круг компетентности.

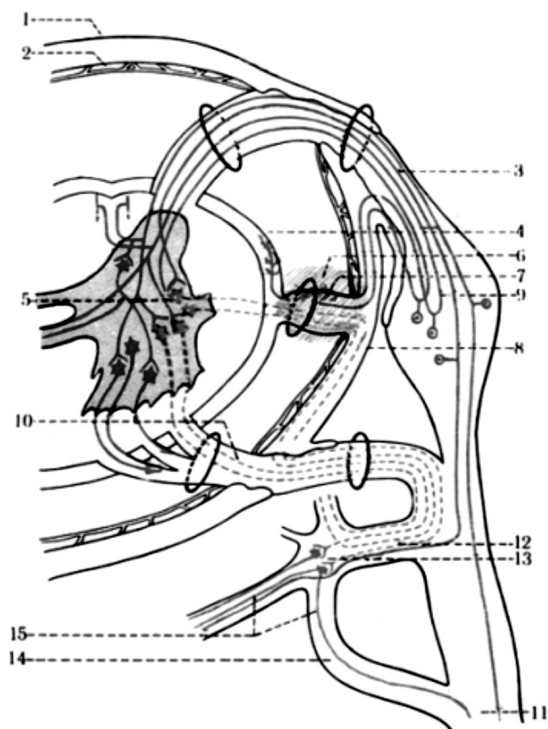
Начиная рассматривать функции кожи, прежде всего, обращает на себя внимание амортизационная функция кожи за счет сетчатого и жирового слоев, предохраняющих организм от сотрясений, поддерживая форму тела. В этом плане, кожу следует рассматривать как "чехол", оформляющий и стабилизирующий тело человека. Одновременно, кожа есть граница, отделяющая организм от внешней среды, первая, принимающая на себя все ее многосторонние воздействия. Поэтому, она выполняет множество рецепторных функций: чувствительность к температуре, массе, болевым воздействиям, прикосновениям. В связи с этим, кожа представляет собой большое рецепторное поле с общей площадью порядка 1.5 кв.м. с соответствующей афферентной и эфферентной иннервацией.

Выполняя выделительную функцию, потовые железы выделяют в день около 40 грамм соли, а сальные – 300 грамм сала за неделю; при сухом и жарком климате

потовые железы выделяют много жидкости. Так, скорость локального потоотделения (в пересчете на всю поверхность кожи) могла составлять 15 л/мин [6]; Состав пота не постоянен. Дополняя выделительную функцию почек, ним выделяются и органические вещества, в соответствии с разницей в парциальном осмотическим давлением между железой и кровью. Выделительная функция предполагает усиленное кровоснабжение кожи и ее вегетативную иннервацию. На 1 кв. мм кожи человека в среднем приходится по 22 капиллярных петли. Если принять длину капилляра равной 0.4 мм, то протяженность капиллярного русла в коже составляет в среднем порядка 30 км. Лимфатическая сеть кожи непрерывна на всей поверхности тела, а поскольку клапаны в поверхностной сети отсутствуют, то лимфа может перетекать в этих сетях одинаково легко по всем направлениям, в частности, под влиянием силы тяжести, движения тела, давления одежды, массажа и прочих воздействий. Для регуляции кровотока, кожа обладает многочисленными эфферентами со стороны вегетативной нервной системы, а также эфферентами двигательных нейронов ЦНС, например, на мышцах поднимающих волоски, натягивающих кожу и др. сократимых элементах соединительной составляющей кожи. Весь приведенный нами материал демонстрирует необычайную сложность соотношений и взаимосвязи афферентной и эфферентной иннерваций центральной и автономной нервных систем "сфокусированных" на различных участках кожи, (реагирующих на малейшие изменения в любой из систем организма). Эту сложность можно представить на **рис.1**, на котором показаны "сплетения" центральных и периферических волокон с кожей и их связь со всеми другими органами, и это только в пределах одного сегмента спинного мозга.

Кроме вышеперечисленных функций кожи, она обладает рядом "мистических" свойств. Так, разные участки кожи обладают разными электрическими потенциалами, меняющимися в зависимости от функционального состояния организма. Впервые зависимость электрических параметров кожи в ответ на сенсорные раздражения была установлена в конце позапрошлого века независимо друг от друга русским исследователем Тархановым (Тарханов, 1884, 1889) и французским врачом Фере (Fere, 1888). Первый определял электрические потенциалы кожи, второй – ее сопротивление. Соответственно установились две методики определения электродермальных характеристик: по Тарханову и по Фере. Эти методики обычно объединяют общим наименованием: кожно-гальваническая реакция (КГР). В последнее время предпочтение отдается термину электродермальные реакции (ЭДР), как более точно отображающему суть явлений. [8]

Методы регистрации ЭДР нашли широкое применение в психологических и физиологических исследовани-



1 - твердая мозговая оболочка; 2 - паутинная спинномозговая оболочка; 3 - задний (чувствительный) корешок; 4 - мягкая спинномозговая оболочка; 5 - клетки промежуточно-латерального ядра; 6 - зубчатая связка; 7 - чувствительные волокна зубчатой связки; 8 - преганглионарные симпатические волокна, проходящие через зубчатую связку; 9 - чувствительные клетки спинномозгового узла; 10 - преганглионарные симпатические волокна, проходящие в составе переднего корешка; 11 - спинномозговой нерв; 12 - белая соединительная ветвь; 13 - симпатический узел; 14 - серая соединительная ветвь; 15 - постганглионарные симпатические волокна.

Рисунок 1. Схема вегетативной рефлекторной дуги (по В. Соколову).

ях. Под влиянием различных факторов электрические характеристики кожи могут резко изменяться. Было обнаружено наличие суточной периодичности в величине электрических потенциалов. В еще большей степени выражены изменения в распределении КГР на поверхности кожи при воздействии селективно направленных нагрузок, кратковременно изменяющих состояние того или иного внутреннего органа. В частности, было установлено, что химическое и термическое воздействие на желудок, как и механическое его раздражение, могут вызвать статистически достоверное увеличение КГР в рефлексогенной зоне желудка по сравнению с контрольной зоной.

Природа, механизмы и биологическая значимость этих потенциалов дискутируются.

На коже выделяют зоны Захарьина – Ге'да (Г.А. Захарьин, отечественный терапевт, 1829–1897; Н. Head, ан-

глийский невролог, 1861–1940; синоним зоны Геда). Это ограниченные участки кожи (зоны), в которых при заболеваниях внутренних органов часто появляются отраженные боли, а также изменения чувствительности в виде болевой и температурной гиперестезии. Большинство исследователей работающих в этой области считают, что анатомо-физиологической основой возникновения таких зон является метамерное строение сегментарного аппарата спинного мозга имеющего постоянную анатомическую связь как с определенными участками кожи (дерматомами), так и с внутренними органами (спланхнотомами). В процессе эмбрионального развития взаиморасположение внутреннего органа и иннервирующего его сегмента спинного мозга значительно изменяется, однако их нервные связи сохраняются. Например, яичник у эмбриона закладывается на уровне шеи, а в процессе созревания плода перемещается в полость таза, сохраняя при этом вегетативные нервные связи с шейной частью спинного мозга. Поэтому при воспалении яичника отраженная боль (ноющая, тупая) нередко локализуется в области шеи и надплечья (синдром Лапинского). Эти представления крайне важны для наших дальнейших рассуждений. При поражении внутреннего органа патологические импульсы по чувствительным нервным волокнам передаются в иннервирующий его сегмент спинного мозга и вызывают возбуждение сегментарного аппарата, включающего вторые нейроны кожной чувствительности и двигательные нейроны (иннервирующие мышцы). Существует определенная схема расположения З. – Г. З. на туловище и конечностях обнаружены также З. – Г. З. в области головы и шеи. Гистологических отличий в коже в зонах З–Г, по отношению к другим ее участкам не обнаружено. Впоследствии представления о механизмах возникновения и функционирования этих зон обсуждались и уточнялись разными авторами, в частности [9–12]

Еще одно "мистическое" свойство кожи – наличие в ней "точек акупунктуры" (ТА) в Китайской медицине, или "биологически активных точек" (БАТ) в рефлексотерапии и диагностике. Их существование, эмпирически, доказано многовековой практикой Китайской медицины ("черный ящик": входящий сигнал – укол, исходящий, – результат). В Европе с середины XX столетия нашел применение метод электропунктурной диагностики по Р.Фоллю и Накатани [3,14] (ЭАФ) [Voll R. Elektroakupunktur und Medikamententestung. Zeitschrift fur Spagyrik, 1960, N 2], являющимся синтезом западных и восточных, в том числе, традиционной китайской медицины, подходов к оценке состояния здоровья пациента, с использованием ТА, основанный на измерении их электрокожного сопротивления. С середины 90-х годов XX столетия и в России, началось широкое внедрение в практическое здравоохранение методов электропунктурной диагностики, в 1999 году этот метод был официально разрешен МЗ РФ к использованию в медицинской практике (Яновский О.Г., Карлыев К.М., Королева Н.А. и др.). Возможности ком-

пьютеризированной диагностики по методу Р. Фолля в терапии методами рефлексотерапии гомеопатии: [14] в силу достаточно широких диагностических и терапевтических возможностей стал широко использоваться в лечебно-профилактических учреждениях страны, в том числе и врачами Института рефлексотерапии ФНКЭЦ ТМДЛ Росздрава.

Естественно, эмпирическое наличие БАТ предполагает наличие соответствующей структуры в коже, обеспечивающей ей подобный физиологический эффект. Единственный достоверный факт, на котором и основан метод Фолля и Накатани, это – отличие в электрокожном сопротивлении точек ТА и БАТ, по сравнению с другими участками кожи. Других достоверных, морфологически оформленных, различий в участках БАТ, по отношению к другим участкам кожи, не обнаружено. Некоторые исследователи отмечают лишь некоторые количественные отличия в нахождении в этих участках некоторых клеточных элементов, например, число тучных клеток в зонах БАТ на 5–10 % больше.

Задаваясь вопросом о происхождении "волшебных свойств" БАТ, которых, гистологически нет, а свойства есть, мы сделали попытку рассмотреть онтогенез и структуру кожи, в связи с ее многочисленными функциями. Необычайную сложность соотношений и взаимосвязи афферентной и эфферентной иннерваций центральной и автономной нервных систем "сфокусированных" на различных участках кожи. (реагирующих на малейшие изменения в любой из систем организма). В эмбриогенезе, в процессе гастрюляции, а именно при инвагинации эктодермы, с образованием энтодермы, а далее, – мезодермы (третьего слоя), обращает на себя внимание то, что все зародышевые листки есть производное эктодермы. Из этих трех слоев клеток формируются ткани и органы будущего организма. Из эктодермы развивается покровная и нервная ткань, из мезодермы – скелет, мышцы, кровеносная система, половые органы, органы выделения, из энтодермы – органы дыхания, питания, печень, поджелудочная железа. При этом, многие органы, в частности кожа, формируются из нескольких зародышевых слоев. [15]

При органогенезе, когда нервная пластинка погружается под эктодерму и превращается в нервную трубку, которая состоит из отдельных сегментов – невротомов, – и дает начало развитию нервной системы. Спинные отделы мезодермы образуют первичные сегменты тела – сомиты, каждый из которых в свою очередь делится на склеротом, который дает начало скелету и миотом, из которого развивается мускулатура. Из сомита (на боковой его стороне) выделяется также кожный сегмент – дерматом. Рассматривая под таким углом зрения эмбриогенез кожи, становится очевидная общность происхождения и посегментарной иннервации всех производных трех за-

родышевых лепестков. Другими словами, все развивающиеся вегетативные органы, дериваты миотомов и метамеры кожи "привязаны" к одним и тем же сегментам как к автономной, так и центральной нервных систем. Это отражается на строении кожи, в связи выполнением ею многочисленными функциями. [15]

Поэтому, есть основания утверждать, что кожа, благодаря своему необычайно сложному строению и богатой центральной и вегетативной иннервации, как эфферентной, так и эфферентной, а также единой метамерной сегментарной иннервации с другими органами, в силу общности эмбрионального происхождения, есть своеобразный "рефлектор", отражающий в себе (на себе) многие (если не все) проявления деятельности организма, включая психические (изменения цвета кожи при сильных эмоциях). В пользу этого тезиса свидетельствует то обстоятельство, что дерматология, как наука о коже, онтогенетически связана с другими медицинскими науками (см. выше). В этом ряду не составляет исключение и мышечный аппарат человека. Кроме непосредственной анатомической связи, через соединительную ткань, с ее фасциями и апоневрозами, объединяющей все органы, начиная с кожи, включая головной и спинной мозг, дериваты миотомов, посегментарно, опосредованно, связаны с кожей и висцеральными органами [4] многочисленными афферентами и эфферентами вегетативной нервной системы (ВНС) и центральной нервной системы (ЦНС).

Рассматривая кожу как "рефлектор", многочисленными исследованиями (см. выше) показано, что на отдельных ее участках в большей мере "сфокусированы" многочисленные нервные афферентные, эфферентные влияния, как со стороны ЦНС, так и ВНС, двусторонняя нервная связь с вегетативными органами и системами в результате чего они приобретают "особые" свойства. (Электродермальные реакции кожи ЭДР, зоны Захарьина–Геда, точки с пониженным электрическим сопротивлением Накатани–Фолля, аккупунктурные точки. См. выше). Исследуя функциональное состояние этих точек, воздействуя на них различными агентами (от прижигания до лазерного воздействия) судят о функциональном состоянии отдельных висцеральных органов, корректируют его и т.д. Сложилась отдельная отрасль диагностики и терапии со своей идеологией, терминологией. Мы исходим из того обстоятельства, что мышечный аппарат, составляющий не менее 40% массы тела, имеющий многосторонние кут-мионевральные связи, не может не быть представлен специфическими участками кожи, функциональное состояние которых (выраженное через электрокожное сопротивление) отражает посегментарное функциональное состояние дериватов миотомов мышечного корсета. В доступной нам литературе, мы не нашли серьезных исследований по этому вопросу. В настоящей работе мы сделали попытку восполнить этот пробел. Дабы не использовать термины уже сложившихся научных направ-

лений со своей идеологией, представлениями вроде "энергетические меридианы", мы сочли возможным, для наших целей, ввести свой термин для обозначения участков кожи, где сфокусированы в большей мере кутано-мио-невро-висцеральные связи – "аттракторами".

Этот термин заимствован из синергетики [16]. В ней под аттрактором понимается (англ. attract – привлекать, притягивать) – компактное подмножество частиц, полей, элементов фазового пространства динамической системы, все траектории из некоторой окрестности которого стремятся к нему при времени, стремящемся к бесконечности [16]. "Фазовый портрет аттрактора – это не точка и не предельный цикл... а некоторая область, по которой происходят случайные блуждания" [17]. В синергетике говорят о конусе притяжения аттрактора, который как бы "затягивает" в себя множество возможных траекторий системы, определяемых разными начальными условиями. Воронка притяжения стягивает разрозненные исходные линии траекторий в общий, все более узкий пучок. На графике аттрактор выглядит как схождение траекторий к одной точке или замкнутой петле, в пределах которой регулярно колеблется состояние системы. Точка схождения не зависит от того, из какого места графика тянется траектория, то есть от начальных условий движения. Следуя Пригожину, аттрактор можно назвать "привлекающим хаосом". [16]

Нам представляется, для наших целей, термин аттрактор наиболее удачно отражает свойства этих участков кожи. Действительно, в них, как в воронке, сходятся множество "случайных" нервных воздействий. Для наших целей кутано-мио-невро-висцеральных. Вместе с тем, он не предполагает их качественных гистологических отличий от других участков, но только количественные, что и придает им особые свойства аттрактора.

При идентификации аттракторов с конкретными мио-фасциальными группами КМС человека, где в наибольшей степени сфокусированы кутано-мио-невро-висцеральные связи дериватов именно этого миотома, провоцирующих возникновение именно этих аттракторов, мы опирались на классические представления о сегментарном принципе иннервации как мышц, так и висцеральных органов и их связи с топографией аттракторов [4]. Важнейшей особенностью прямых и обратных органо-нейро-миотомально-кожных связей, обусловленных общим онтогенезом, есть их сегментарный характер. Эти сегментарные связи сохраняются, несмотря на значительные анатомические смещения в процессе пре- и постнатального онтогенеза и изменения их анатомо-топографических проекций. Более того, при рассмотрении этих связей в постнатальном онтогенезе, оказалось, что в одном сегменте спинного мозга могут "сходиться" более одной проекции связей висцеро-кутаных отношений, связанных с вегетативной нервной системой. И наоборот, один аттрактор

может представлять несколько сегментов спинного мозга и его ганглиев. (Фолль, Накатани) Сегментарный характер иннервации от спинного мозга устроен таким образом, что активность невротомы (нейронов конкретных сегментов) влияет на: соответствующий спланхнотом (внутренние органы морфофункциональные системы) (МФС); дерматом (представительство данной МФС на коже); миотом (мышечные группы МФС); склеротом (связки, сухожилия); остеотом (костные структуры); вазотом (сосуды). Отростки же нейронов в составе нервных стволов и проводящих путей обеспечивают целостность всей МФС и ее взаимосвязь с другими системами.

Учитывая тесную связь центральной и вегетативных нервных систем и посегментарную иннервацию дериватов миотомов мышечного аппарата человека со стороны центральной нервной системы, мы предположили, что "репрезентативные точки" (БАТы), аттракторы по нашей терминологии, отражающие функциональное состояние висцерального органа в данном сегменте, должны отражать функциональное состояние дериватов миотомов этого же сегмента. Поэтому, в качестве аттракторов, должны отражать функциональное состояние дериватов миотомов данного сегмента мозга.

В качестве аттракторов отражающих функциональное состояние дериватов миотомов мы выбрали те, которые чаще всего проецированы на данный сегмент и наоборот с соответствующими коэффициентами (по формуле Накатани).[13] Сообразуясь с вышесказанным, используя базу данных программы "Диакомс", созданную под руководством В.В.Лакина,[18] утвержденную Минздравом РФ, содержащую данные об электропроводности БАТов более 2000 здоровых мужчин и женщин разного возраста, мы "привязали" репрезентативные точки акупунктуры (по нашей терминологии – аттракторам) к сегментам спинного мозга, иннервирующих дериваты соответствующих миотомов. Далее, путем измерения электропроводности по методу Накатани, с помощью созданной нами программы "графическое изображение функционального состояния дериватов миотомов", регистрируется кривая, названная нами "миофасциограммой" пациента (патент № 2424766) [19] отражая, количественно, состояние дериватов миотомов (миофасциальных групп) ими иннервируемые.

В качестве примера (рис.2) представлены миофасциограммы одного из спортсменов (прыжки в воду): до цикла корректирующих тренировок (квадратики) и после двенадцати аналитических тренировок (треугольники).

На графике прерывистыми линиями (по горизонтали) обозначен диапазон "нормы" тонуса мышц. Отклонение показателя вверх – степень гипертонуса, вниз – степень мышечной недостаточности (в относительных единицах). Из рисунка виден отчетливый гипертонус (в 30 у.е.)

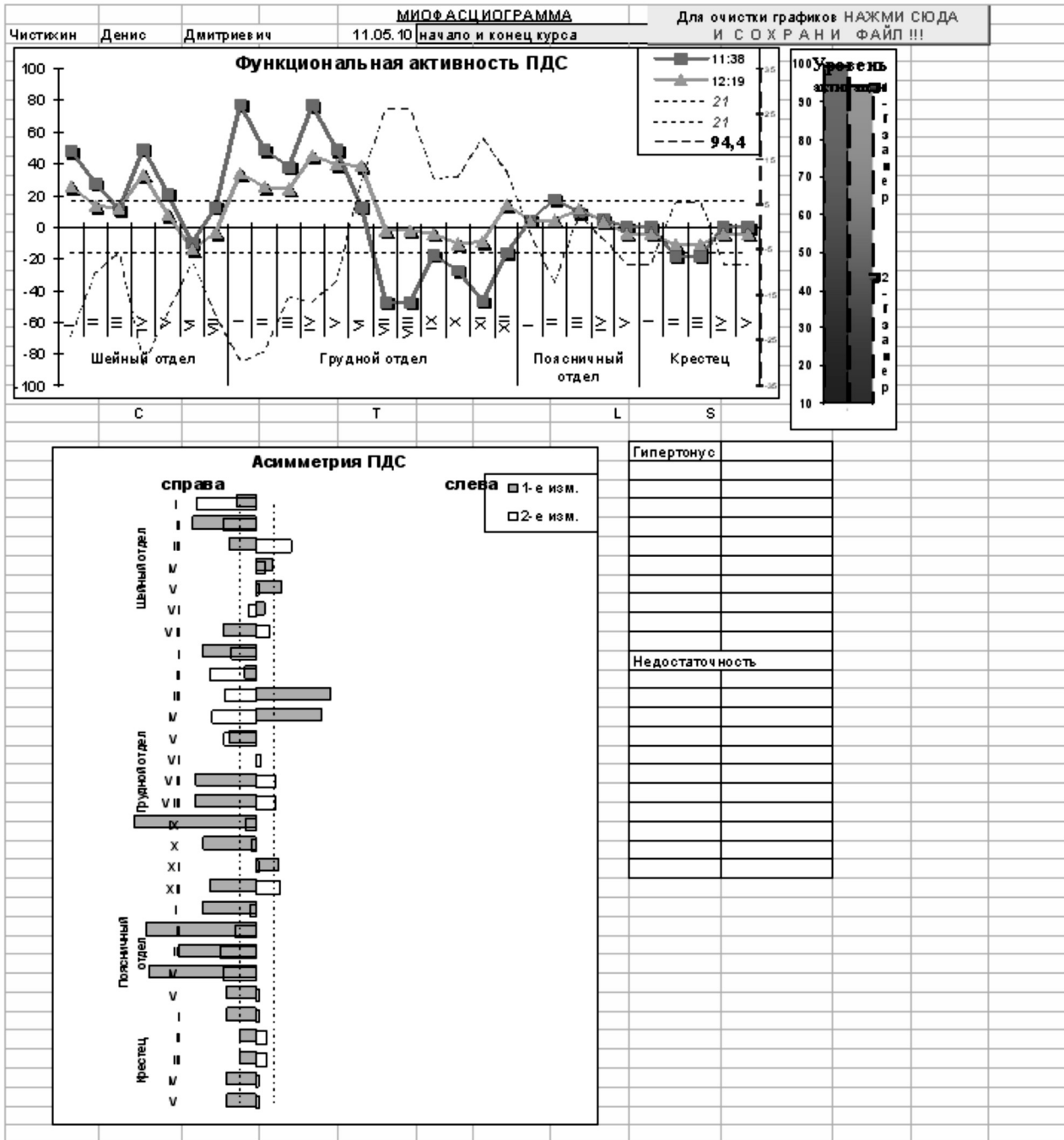


Рисунок 2. Миофасциограммы спортсмена (прыжки в воду) до цикла корректирующих тренировок (квадратики) и после (треугольники). Справа: уровни функционального состояния до- и после тренировок. Снизу: перераспределение тонусов (посегментарно): право-лево.

мышц, иннервированных 1–м и 4–м шейным отделом, 1–м 4–м (в 60 у.е.) грудным и сильная мышечная недостаточность (в 30 у.е.) 7–м, 8–м и 11–м грудного отдела. После цикла аналитических тренировок ситуация значительно исправилась (см. миофасциограммы с треугольниками). Удалось исправить и асимметрию тонуса мышц (право–лево). До тренировок тонус мышц был "скошен"

вправо, после – соотношение, в значительной степени, выровнялось (темные столбики – до, светлые – после тренировок). Полагаем, что для прыгунов равномерное соотношение тонуса справа–слева не позволит "скрутиться" в одну сторону. Столбики справа показывают индивидуальный уровень общего функционального состояния организма.

На примере этих миофасциограмм виден "общий паттерн" (треугольники) распределения тонуса мышц всей КМС, с одной стороны, с другой, – видны "слабые" стороны кинематических цепей (избыточный и недостаточный тонус мышц их составляющих, посементарно). Это дает возможность направленно корректировать кинематические цепи КМС в нужном для вида спорта направлении, то ли с помощью специальных упражнений, то ли другими физиотерапевтическими средствами, что и показано на второй миофасциограмме (квадратики).

Другой пример применения миофасциографии показан на рис. 3, где использовано одно из статических упражнений

ражнений (из арсенала партерной гимнастика по Бубновскому) [20] для коррекции паттерна мышечного тонуса КМС пациента с ригидностью мышц, иннервированных 1–4 шейными и 2–5 грудными отделами спинного мозга, вследствие недостаточности мышц, иннервированных 1–2 поясничными отделами. Здесь, на рис. 4 зарегистрирована миофасциограмма в состоянии покоя и во время выполнения статического упражнения в позе, изображенной на рис. 3 (обозначения те же, что и на рис.2). Из рисунка видно, что при выполнении этого упражнения "выравнивается" как гипертонус, так и мышечная недостаточность. При этом, мы не утверждаем, что это окончательный результат, после разового выполне-



Рисунок 3. Одно из статических упражнений партерной гимнастики по Бубновскому.



Рисунок 4. Миофасциограмма в состоянии покоя и во время выполнения статического упражнения.

ния упражнения не может произойти коренных сдвигов ни в регуляции мышечных тонусов КМС, ни в структуре самих мышц. Нужны длительные тренировки, как с применением поз, так и на специальных тренажерах. Но, показан путь и направление тренировок, коренным образом изменяющих паттерн тонусов мышц КМС, благодаря развитию гипертрофии мышц по механизму описанному в [21].

Приведенные примеры показывают, что в отличие от практикуемых сегодня методов мануальной диагностики состояния КМС, носящих исключительно субъективный

характер, или инструментальных методов физиологии, не дающих интегральную картину функционального состояния мышц КМС, предложенный метод дает, одновременно, и интегральную и аналитическую картину функционального состояния отдельных мышц как спортсменов, так и пациентов с нарушениями КМС.

Данный метод показал свою полезность при обследовании спортсменов во многих видах спорта, в частности при обследовании лыжников и спортсменов-единоборцев [22,23] и может быть рекомендован для широкого применения в спортивной медицине и кинезитерапии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Томас В. Майерс. Анатомические поездки. Миофасциальные меридианы для мануальной и спортивной медицины. Издательство Harcourt Publishers Limited, 2001.
2. Васильева Л.Ф. Визуальная диагностика нарушений статики и динамики опорно-двигательного аппарата человека. Иваново: МИК, 1996.
3. Россманн Х., Россманн А. Электроакупунктура по Р. Фоллю. Пер. с нем. Москва: Арнебия, 2000.
4. Петров К.Б., Митичкина Т.В. Миовисцеральные связи в традиционном и современном представлении. Новокузнецк: ООО "Полиграфист", 2010.
5. Б.М.Э. Москва: Советская энциклопедия, 1974.
6. Бобков Г.А. Диссертация.
7. Соколов В.Е. Избранные труды: В 2 т., РАН. Ин-т пробл. Экологии и эволюции им. А.Н. Северцова. Москва: Наука, 2002–2003.
8. Уфа: УГАТУ, 2008 Вестник УГАТУ Т.11, №2(29).С.169–177 электроника, измерительная техника_ инф.–измерительные и управляющие системы. УДК 616–085:681.5 Дудов О.А., Фетисов В. С. Алгоритмические аспекты построения систем для электропунктурной диагностики состояния пациента
- 9–11. Гусев Е.И., Гречко В.Е., Бурд Г.С. Нервные болезни. Москва. 1988.
12. Соломянский А.Е. О кожно-температурных зонах Захарьина-Геда. Журнал "Невропат. и психиат.", т. 74, №7, 1974.
13. Махонькина Л.Б., Сазонова И.М. Резонансный тест. Возможности диагностики и терапии. Москва.: Издательство Университета Дружбы Народов, 2000
14. Методические рекомендации № М 98/232. – М.: НИИ ТМЛ МЗ РФ, 1999. – 28 с.).
15. Токин Б.П. Общая эмбриология: Учебник для биологических специальностей университетов. 4-е изд., перераб. и доп. Москва.: Высшая школа, 1987.
16. Пригожин И.Р. Вопросы философии. 1991, № 6, с. 46–52
17. Котельников Г.А. Теоретическая и прикладная синергетика.– Белгород, 2000.
18. Лакин В.В. Метод электропунктурной диагностики Накатани и компьютерного комплекса "Диакомс": Учебно-методическое пособие. Москва.:РГМУ. 2003.
19. Патент на изобретение №2424766. Патентообладатели: Бубновский С.М., Бобков Г.А., Пермяков И.А. Зарегистрировано 27 июля 2011г.
20. Бубновский С.М. Руководство по кинезитерапии. Секреты суставов или 20 незаменимых упражнений. Москва.: Издательство "Астрей-центр", 2004.
21. Бубновский С.М. Руководство по кинезитерапии. Синдром болезненного плеча. Москва.: Издательство "Астрей-2000", 2003.
22. Особенности показателей миофасциограммы у спортсменов лыжников. Материалы III Всероссийского конгресса Медицина спорта. Сочи 2012РАСМИРБИ http://new.volsu.ru/upload/medialibrary/aac/kovalenko_conf.pdf p.80–84
23. Бобков Г.А., Пермяков И.А., Морозов В.Н., Надинский О.Ю., Матов В.В., Назаров С.Е., Бобков И.Г. Инновационный метод количественного определения и коррекции функционального состояния миофасциальных меридианов спортсменов www.vniifk.ru/content/files/VSN/2014/Vestnik_4_2014_blok.pdf p.50–52

© Г.А. Бобков, С.С. Толстых, (bod_dan3@mail.ru), Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»,



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

Реклама

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРЕДРАСПОЛОЖЕННОСТИ К КАРИЕСУ ЗУБОВ У ДЕТЕЙ С ВРОЖДЕННЫМИ ПОРОКАМИ РАЗВИТИЯ ЦНС

GENETIC FEATURES OF THE PREDISPOSITION TO DENTAL CARIES IN CHILDREN WITH CONGENITAL MALFORMATIONS OF CENTRAL NERVOUS SYSTEM

*O. Gulenko
I. Udina*

Annotation

The paper presents peculiarities of caries development in children with defects of central nervous system, including children with defects of psycho-neurological development. The stages of dental formation in ontogenesis are considered. The role of children hygiene with psycho-neurological defects in caries development is mentioned. Genetic markers mediating development of caries in the group of children are described.

Keywords: caries, defects of development of central nervous system, defects of psycho-neurological development, ontogenesis, hygiene, saliva biochemical characteristics, caries genetic markers.

Гуленко Ольга Владимировна

*К.мед.н., доцент, ГБОУ ВПО
"Кубанский медицинский университет"
Минздрава России*

Удина Ирина Геннадьевна

*Д.биол.н., доцент, ФАНО ФГБУН
Институт общей генетики
им. Н.И.Вавилова РАН*

Аннотация

В статье рассмотрены особенности развития кариеса у детей с дефектами ЦНС, включая детей с дефектами ПНР (психоневрологического развития). Рассмотрены этапы формирования зубов в онтогенезе. Отмечена роль гигиены детей с ПНР в развитии кариеса. Описаны генетические маркеры, влияющие на формирование кариеса у данной группы детей.

Ключевые слова:

Кариес, дефекты развития ЦНС, дефекты ПНР, онтогенез, гигиена, биохимические характеристики слюны, генетические маркеры кариеса.

В структуре детской заболеваемости и смертности врожденные пороки развития занимают первое место и являются наиболее чувствительным барометром оценки состояния здоровья популяции [4]. Значительная часть ВПР ЦНС выявляются в периоде новорожденности и раннем детском возрасте [11]. По данным центрального НИИ организации и информатизации МЗ РФ (ФГБУ "ЦНИИОИЗ") в рамках мониторинга здоровья населения России за 2013 год удельный вес детей по Российской Федерации с диагнозом "психические расстройства и расстройства поведения" впервые установленным составил 3,2 %, с болезнями нервной системы 9,5%; по ЮФО, соответственно, 2,8% и 10,5%; по Краснодарскому краю 3,4% и 9,2% от общего числа детского населения. Однако, по мнению Сопруновой И.В. (2012), истинная частота пороков развития ЦНС остается неуточненной в связи с различными сроками клинической манифестации, трудностями диагностики ВПР и различными подходами к их регистрации.

Установление возможных генетических причин формирования пороков развития центральной нервной сис-

темы (ЦНС) предпринимаются многими исследователями [24, 25, 26, 27, 29, 30]. По данным ряда авторов наиболее существенный вклад в этиологию дефектов нервной трубки (ДНТ) вносят генетические и экологические факторы [20, 27, 29]. Попытки установления генетических факторов риска дефектов нервной трубки были предприняты Wang J. с соавторами (2011). Им удалось определить связь между возникновением дефектов нервной трубки и I/D полиморфизмом (45-bp) в 3'-UTR гена UCP2, который кодирует разобщающий белок 2 и является членом семейства митохондриальных белков-переносчиков анионов. Частоты аллелей I и генотипов I/D и I/I были выше в группе пациентов с ДНТ, чем в контрольной группе исследования. По данным Минайчевой Л.И. с соавт., (2009), полиморфизм UCP2 является потенциальным фактором риска развития дефектов нервной трубки.

Доступные литературные источники указывают, что стоматологическая заболеваемость данной категории детей выше, чем соматически здоровых, что, возможно, обусловлено комплексом факторов, действующих на разных стадиях развития организма ребенка. [9, 3, 1].

Жизненный потенциал организма – это генетическая программа онтогенеза, обеспечиваемая непрерывным взаимодействием материнского и отцовского генных комплексов в составе генотипа при постоянном участии факторов окружающей среды. Эта программа интегрирует и контролирует адекватное воздействию факторов среды развитие профиля и спектра молекулярно-генетических, биохимических и биофизических реакций в каждой клетке и организме в целом, обеспечивая формирование всех его признаков и гомеостаза в соответствии с возрастной изменчивостью. В соответствии с биогенетическим законом Геккеля-Мюллера, индивидуальное развитие (онтогенез) – есть краткое повторение филогенеза (эволюционного развития), что подтверждается очередностью процессов прорезывания и смены зубов в онтогенезе. Таким образом, отклонения от нормальных сроков и порядка прорезывания зубов в анамнезе пациента с высокой вероятностью могут свидетельствовать о нарушении нормального развития – дизонтогенезе. Причины его могут быть, разумеется, самые разные, в том числе, патогенное действие средовых факторов, моногенные и хромосомные синдромы [7,20].

Во внутриутробном периоде развития выделены критические периоды перестройки, смысл которых заключается в оценке чувствительности организма к повреждающему действию факторов среды. По современным представлениям, для зародыша характерен I критический период (6–9-й дни беременности) – период бластогенеза. В этот период зародыш реагирует на действие факторов среды по принципу "все или ничего", т.е. он либо гибнет, либо продолжает развиваться. Для эмбриона характерен II критический период (3–6 неделя беременности). Развившиеся в этом периоде нарушения называются эмбриопатиями: очаговые и диффузные нарушения формирования органов. Для эмбриопатий характерен высокий удельный вес моногенных (МБ) и хромосомных болезней (ХБ). Критический период эмбриогенеза совпадает с периодом наиболее интенсивной дифференцировки клеток и тканей, в том числе, параллельным формированием нервной трубки и полости рта [7, 20].

При МБ и ХБ, а также в случае врождённых пороков развития (ВПР), в поражение вовлекается не менее двух-трех систем организма, что объясняется плейотропным действием мутантного гена (в случае МБ), генным или хромосомным дисбалансом (в случае ХБ и множественных ВПР). Задержка физического и психомоторного (психического) развития, олигофрения и выраженная неврологическая симптоматика характерны для большинства МБ и ХБ [7].

Органогенезы, заключающиеся в образовании отдельных органов, составляют основное содержание эмбрионального периода. Необходимой предпосылкой перехода к органогенезам является формирование зародышевых листков, которые, контактируя и взаимодействуя, обеспечивают взаимоотношения между различными клеточными группами. По современным представлениям в образовании зуба, эпителия ротовой полости, нервной трубки, нервного гребня участвует в основном наружный зародышевый листок – эктодерма. Известно, что формирование зубных зачатков осуществляется на основе взаимодействия орального эпителия и клеток эктомезенхимы нейрального гребня. За счет ротовой эктодермы развивается эмаль и кутикула эмали. Эктодерма головного отдела нервного гребешка идет на построение дентина, пульпы, цемента и периодонта [7, 20].

Ряд авторов придерживаются мнения, что стоматологические нарушения можно рассматривать как прямое следствие перинатальной патологии нервной системы [5, 11, 15]. Наибольшая интенсивность кариеса характерна для детей с тяжелыми формами ДЦП [11, 5]. По мнению Елизаровой В.М. с соавторами [2012] активность кариозного процесса у детей с ДЦП обусловлена сочетанием нарушений гистоорганогенеза и минерализации зубов. Елизарова В.М. и Баширова Н.В. (2012) рекомендуют включать в группу риска развития основных стоматологических заболеваний детей, в анамнезе которых отмечаются пре-, интра- и постнатальные факторы развития патологии ЦНС, с момента их рождения.

Также, высокий уровень стоматологической заболеваемости у детей с ПНР (психоневрологическими расстройствами) может быть связан с трудностью восприятия, недоразвитием познавательной сферы, нарушением поведенческих реакций и, как следствие, неполноценным соблюдением необходимых гигиенических правил детьми с психоневрологическими расстройствами [10]. Работа врача с детьми с ПНР сопряжена, в ряде случаев, с невозможностью проведения стоматологических манипуляций ввиду отсутствия психологического и эмоционального контакта между врачом и пациентами. [5, 10, 13, 12].

В ряде публикаций отмечено, что, даже при хорошем уходе за полостью рта при врожденной психоневрологической патологии, такие заболевания, как кариес зубов и болезни пародонта, чаще распространены среди больных с ПНР [9, 20]. Клинические нарушения развития нервной системы характеризуются аномалией или задержкой развития основных психоневрологических функций – двигательных, перцептивных, речевых, интеллектуальных, коммуникативных, а также эмоционально-волевой сферы. Поэтому, неврологическое лечение детей с ПНР сопряжено с пожизненным применением психотропных препаратов (нейролептиков, антиконвульсантов, антидепрессантов и др.), которые дестабилизируют функции вегетативной нервной системы и вызывают обменные и эндокринные нарушения [5,20]. Сенсорные нарушения (изменения элементарных видов контактной чувствитель-

ности), возникающие как возможное осложнение психотропной терапии приводят к отсутствию жалоб у данного контингента (болевого синдрома), что способствует увеличению интенсивности и распространённости стоматологической патологии [1,2,3,5]. Анализируя причины, влияющие на развитие заболеваний пародонта и состояние слизистой полости рта у пациентов с ПНР, многие авторы не учитывая воздействия лекарственных препаратов, продолжают считать основными этиологическими факторами отсутствие ухода за полостью рта, а не тяжесть и продолжительность основного заболевания [8,9]. Формированию высокого уровня интенсивности кариеса зубов у пациентов с ПНР может способствовать уменьшение объёма саливации, сдвиг pH в кислую сторону, изменение микробного пейзажа ротовой полости [1, 14, 20, 6, 2].

В доступной литературе представлено ограниченное количество исследований клинико-патогенетических механизмов развития кариеса у детей с ПНР [12]. Изучение стоматологического статуса детей с ПНР и данных медико-социальных паспортов позволило Денисовой Е.Г. (2011) выявить управляемые и неуправляемые факторы риска, способствующие развитию кариеса и заболеваний пародонта. К управляемым факторам риска развития кариеса у детей с ПНР автор относит высокую активность кариесогенной микрофлоры, повышенную скорость бляшкообразования, низкую резистентность эмали зубов на фоне низкой реминерализующей способности слюны. К наиболее значимым неуправляемым факторам риска развития кариеса и заболеваний пародонта отнесли особенности соматического статуса ребенка, социально-экономические факторы (например, низкий уровень жизни семей) и генетические факторы [4].

При оценке костной структуры и содержания в крови остеотропных гормонов, в 89% случаев при ДЦП были выявлены структурные нарушения костей, различные формы остеопороза [5]. Ряд отечественных и зарубежных авторов обосновывает роль изменения структуры множества генов, продукты которых оперируют в костном метаболизме, в развитии кариеса [8, 7, 25, 24, 29]. Большинство современных исследований посвящены изучению ассоциации полиморфизма гена рецептора витамина D (VDR) [8, 17, 28], гена остеокальцина [8, 17, 21] с биохимическими маркерами костного ремоделирования и степени деминерализации костной ткани в основном у взрослых пациентов (у детей с ПНР данные исследования не проводились). Недостаточно изучена взаимосвязь полиморфизма гена VDR по сайтам рестрикции Bsm I, Tag I, Apa I, гена остеокальцина по сайту рестрикции Hind III, + 1245GT – полиморфизма гена, кодирующего альфа 1 цепь коллагена типа 1 (COLA1), биохимических маркеров костного метаболизма [8], связь между степенью деминерализации костной ткани и развитием кариеса у детей с ПНР.

Одним из первых, М. Brucker (1944) подчеркивал влияние наследственности на конституцию зуба и его предрасположенность к кариесу. М. Л. Гликман (1977) отмечал популяционное многообразие клинической картины кариеса, четко выраженные индивидуальные количественные характеристики процесса. Автор утверждал, что наследственность влияет как на резистентность зубов к кариесу, так и на их предрасположенность к кариозному процессу, выраженность которого генетически детерминирована. При изучении групп генов, отвечающих за патогенетические механизмы кариозного процесса, Г. Н. Пахомов и соавторами (1979) выдвинули гипотезу о влиянии наследственности на резистентность зубов к нему. После того как изучили распределение признака в семьях, отличающихся "накоплением" случаев "кариесной атаки", была построена математическая модель. Неполная пенетрантность и высокий коэффициент наследуемости дают основание предполагать, что в генетическую систему, детерминирующую резистентность зубов к кариесу, вовлечены более чем один ген. Определенный ген (главный) контролирует возможность развития данного признака, вклад которого минимален по отношению к гену, детерминирующему предрасположенность к кариесу. Резистентность зубов к кариесу определяется не только морфологическими признаками, но и состоянием иммунной системы. А. И. Рыбаков и В. С. Иванов (1980) указывали на наследственную предрасположенность к кариесу, которая может проявляться уже в период закладки и развития органа, а также зависит от состояния иммунной системы организма. А. А. Зубов и Л. Т. Левченко (1981), И. А. Бальчюнене (1985) отмечали, что в известной степени резистентность зубов к кариесу зависит от морфологических, генетически детерминированных признаков зубов (наличие и строение бороздок, ямок, размеры зуба, его дифференцированность). У лиц, резистентных к кариесу, более архаичное строение жевательной поверхности первого верхнего моляра, а у больных с множественным кариесом сильнее выражены эволюционно сравнительно "молодые" вариабельные особенности строения верхних моляров. Известно, что так называемые "тавродонтные" зубы, являющиеся своеобразным атавизмом и иногда встречающиеся у пациентов в разных группах постоянных зубов, кариесом практически никогда не поражаются. Таким образом, по мнению Тактарова В.Г. (2009) влияние наследственности на конституцию зуба и его предрасположенность к кариесу можно считать доказанной.

Для изучения генетических аспектов кариеса зубов широко применялся близнецовый метод: изучали соотносительную роль наследственности и среды в возникновении кариеса зубов при сопоставлении конкордантности (частоты встречаемости признака) в близнецовых парах у одно- и разнояйцовых близнецов. Анализ распределения признака резистентности зубов к кариесу при исследовании близнецовых пар также подтвердил

гипотезу о мультифакториальной природе кариеса зубов [15]. Интересные данные получены при определении роли генетического фактора в развитии кариеса зубов у моно- и дизиготных близнецов в противомикробной резистентности к *Streptococcus mutans*. При оценке интенсивности процесса и состояния противомикробной активности цельной крови было установлено достоверное влияние противомикробной резистентности на формирование кариеса, а именно: интенсивность кариеса и уровень противомикробной активности крови генетически детерминированы [15]. Точнее, влияние генотипа на развитие кариеса в значительной мере опосредуется через действие на уровень противомикробной резистентности организма. Изучен признак поражения кариесом и классическим клинико-генеалогическим методом. Клинико-генеалогический анализ и результаты близнецового метода показали наследственное влияние на локализацию кариозных поражений постоянных зубов; факторы питания и внешней среды обуславливали интенсивность кариеса [15].

В последнее десятилетие изучение наследственной предрасположенности к кариесу зубов велось и в отношении ассоциации генетических маркеров клеток крови (антигены системы ABO, MN, Льюис, Rh, HLA и некоторые другие) с интенсивностью кариеса. Установлена ассоциация между интенсивностью кариеса зубов и рядом антигенов. Интенсивный кариозный процесс одинаково часто наблюдается у больных с различными группами крови. Предполагают, что агглютинины крови, для которых установлена связь с интенсивностью кариеса зубов, самостоятельного значения в его развитии не имеют, а действуют синергично с другими защитно-приспособительными механизмами гомеостаза [15].

Изучаются генетические аспекты кариеса зубов и при использовании дерматоглифики как одного из генетических маркеров [28]. Оказалось, что некоторые дерматоглифические показатели у мужчин и женщин с различной интенсивностью поражения зубов кариесом имеют неодинаковую выраженность, а в некоторых случаях и разную направленность [15]. В настоящее время еще недостаточно разработаны генетические аспекты дерматоглифики. Дерматоглифический анализ представляет собой хороший вспомогательный метод выявления врожденной, точнее наследственной компоненты заболевания кариесом, но определенные трудности связаны с отсутствием патогномичности в строении кожных узоров, а также с тем, что при различных заболеваниях могут быть однотипные изменения [15, 28].

Несомненно, что резистентность зубов к кариесу во многом зависит от иммунного статуса. Имеются существенные особенности гуморального иммунитета у пациентов группы риска. Наследственная предрасположенность к кариесу, связанная с особенностями врожденного им-

мунитета, может проявляться уже в период закладки и развития органа и также зависит от общего состояния иммунной системы. По данным исследователей, 3–4% населения Европы резистентны к кариесу. Предполагают, что иммунной основой этой резистентности является, с одной стороны, высокий титр сывороточных антител, с другой – Т-лимфоциты пациентов имеют более высокий потенциал пролиферации при стимуляции антигенами *Streptococcus mutans* [15].

Кроме того, при изучении наследственного полиморфизма белков слюны человека, была доказана ведущая роль генетических факторов, при этом предполагается аутомно-доминантное наследование ряда белков слюны [15]. Так, подчеркивается, что размер зубной бляшки зависит от кислотных белков слюны, которые играют определенную роль в повышении сопротивляемости зубов к кариесу. Популяционное и семейное изучение с помощью лабораторного электрофореза белков слюны показало, что выработка многих из них находится под генетическим контролем множественных аллелей [15]. Слюнные железы вырабатывают иммуноглобулины класса А (IgA), продукция которых не отражается на их содержании в сыворотке крови. Колебания уровня IgA и других иммуноглобулинов в слюне человека являются важным фактором, определяющим возможность возникновения и развития патологического процесса в полости рта. Следовательно, резистентность зубов к кариесу также ассоциирована с вариабельностью состава белков ротовой жидкости [15]. У детей при кариесе зубов декомпенсированной формы было обнаружено, что содержание в слюне sIgA уменьшено более чем в 2 раза. Иммуноглобулины смешанной слюны играют определенную роль в развитии кариеса зубов, так как оказывают антибактериальное действие, препятствуя тем самым образованию зубного налета и проникновению антигенов в ткани зубов. Отмечают также зависимость между течением кариозного процесса и состоянием секреторного иммунитета. Острое течение кариеса сопровождается повышением уровня sIgA, при этом уровни IgG и IgM уменьшаются [15].

Отличаются также и многие значения клеточного иммунитета. У лиц с высокой частотой кариеса выявлены изменения средних значений ряда показателей Т- и В-клеточных систем иммунитета как в плазме крови, так и местно в слюне. Иммунный статус (иммунологические клеточные показатели, секреция иммуноглобулинов слюны) у кариес-резистентных и кариес-восприимчивых пациентов четко различается, что дает возможность применять такие исследования для прогнозирования течения кариозного процесса и выбора лечебно-профилактических мероприятий. Взаимосвязь между некоторыми наследственно-обусловленными факторами в слюне человека и индивидуальной восприимчивостью к заболеваниям зубов значительна. Многие специалисты, как стоматологи, так и генетики из разных стран, предлагают

проводить диспансеризацию семей, члены которых имеют высокий уровень поражения кариесом (создание клинического Регистра) [15].

О. Golonzhka et С. Kioussi с соавт. (2009) выявили новый ген, обозначенный как *Stip2*, который контролирует формирование белков отвечающих за поступление информации с молекулы ДНК в структуру мРНК. По мнению американских исследователей, ген *Stip2* участвует в развитии эпителия и нервной системы человека, в регуляции иммунитета, а также контролирует образование амелобластов (клеток, продуцирующих зубную эмаль) и скорость их созревания [19].

Исследователи из Imperial College London, University of Bristol (Великобритания) и университета Oulu (Финляндия) проанализировали генетический код 6000 человек из Финляндии и Великобритании, принимавших участие в двух долгосрочных исследованиях, в ходе которых ученые отслеживали весь жизненный путь участников, начиная с первых дней беременности до периода взросления. В ходе исследования было выявлено пять генов, отвечающих за раннее развитие и формирование зубов у детей. При этом было обнаружено, что активация одного из генов, увеличивает возможность заболевания зубов и их раннего выпадения на 30 %, а другой ген связан с высокой вероятностью (35%) того, что до 30-летнего возраста у человека сформируется ортодонтическая патология. Авторы исследования подчеркивают, что развитие зубов – процесс не изолированный.

Зубы развиваются параллельно и в связке с некоторыми внутренними органами и системами: череп, челюсти, уши, пальцы рук и ног, сердце. Поиск возможностей контроля функций этих генов может помочь в профилактике и лечении заболеваний полости рта [23, 26].

Таким образом, закодированная в геномной индивидуальной программе развития является главной молекулярно-генетической, биохимической и биофизической основой (потенциалом). От содержания и величины этого потенциала зависят онтогенетическое здоровье, качество и продолжительность жизни организма. Онтогенетическое здоровье базируется на геномном и протеомном здоровье, формирующем соматическую, психическую и репродуктивную составляющие, и связано с сохранением баланса обмена веществ в ходе развития, стабилизации, угасания и утраты функций и навыков организма. Нарушения онтогенеза сопровождаются структурными и функциональными отклонениями в развитии организма, следствием которых является изменение стабильности обмена веществ, обусловленное генетическими и негенетическими причинами [24, 25]. Факторы окружающей среды выступают в роли сигналов к развитию нового качественного состояния организма (от нормы до болезни). В критические периоды перестройки функций и навыков организма его возраст объединяет все регуляторные и защитные системы в единое целое, определяет преемственность, взаимосвязь и синхронность, интенсивность и продолжительность их функционирования [20].

Для определения тактики ведения пациента с пороками развития, в том числе нервной системы, и для прогнозирования заболевания важно установить причину, которая привела к развитию патологии. [16, 18, 17, 30]. Изучение связи молекулярно-генетических маркеров генов с формированием кариеса и его осложнений представляется особенно актуальным у детей с ПНР. Обоснование методов современного выявления маркеров кариеса зубов, выяснения механизмов его развития позволит прогнозировать течение заболевания, риск возможной ранней потери зубов и развития зубочелюстных аномалий у детей с ПНР.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бутаева С.А., Митронин А.В. Оценка стоматологического статуса у больных шизофренией // Волгоградский научно-медицинский журнал. – 2012. – №2. – С. 38–41.
2. Гилязева В.В. Современные аспекты донозологической диагностики кариеса зубов // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 5.
3. Гуленко О.В., Волобуев В.В., Севастьянова И.К. и др. Структурно-функциональный анализ стоматологического статуса у детей с умственной отсталостью // Кубанский научный медицинский вестник. – 2013. – № 6. – С.81–85.
4. Денисова Е.Г., Олейник Е.А. Определение риска развития кариеса у детей с синдромом Дауна // Научные ведомости БелГУ" Серия "Медицина. Фармация". – 2011. – №16(111).–Вып.15/1.–С.69–77.
5. Елизарова В.М., Баширова Н.В. Стоматологическая помощь детям с ограниченными возможностями, детям с ДЦП // Актуальные вопросы стоматологии детского возраста и профилактики стоматологических заболеваний: сб. науч. тр. под ред. проф. Кисельниковой Л.П., доц. Дроботько Л.Н. – М., СПб, 2012.
6. Кисельникова Л.П., Зайцева О.В., Милосердова К.Б., Царев В.Н., Ягодина Е.А. Микробиологический мониторинг состояния биопленки зуба и оценка уровня секреторного иммуноглобулина а при применении адаптированных молочных смесей с пробиотиками среди детей раннего возраста / Л.П. Кисельникова // Стоматология детского возраста и профилактика.– М.: Поли Медиа Пресс, 2013. – Т. XII, № 4 (47), 2013.– С.21–25.
7. Клиническая генетика. Геномика и протеомика наследственной патологии : учеб. пособие. – 3-е изд., перераб. и доп. – Мутовин Г.Р. 2010. – 832 с. : ил.
8. Кузьмина Д.А., Новикова В.П., Тыртова Л.В. и др. Биохимические и молекулярно-генетические маркеры костного метаболизма у детей с разной интенсивностью кариеса // Стоматология детского возраста и профилактика. – М. : Поли Медиа Пресс, 2010. – Т. IX, № 1 (32). – С. 34–38.

9. Максимовский Ю.М., Мартынова С.А., Алексеев Ф.И. Состояние тканей пародонта у больных с нарушением психики // Dental Forum. – 2009. – № 2. – С. 50–54.
10. Османов С.Э. Некоторые показатели стоматологической заболеваемости у детей с умственной отсталостью // Вестник Тамбовского университета. – Том 15. – выпуск 2. – 2010. – Серия: Естественные и технические науки. – С. 694–697.
11. Сабгайда Т.П., Окунев О.Б. Изменение заболеваемости российских детей, подростков и взрослого населения болезнями основных классов в постсоветский период // Электронный научный журнал "Социальные аспекты здоровья населения". – №1. – 2012 (23).
12. Савичук Н.О., Дзюба С.А., Степаненко Л.В. Оценка стоматологического статуса детей с психоневрологическими расстройствами // Современная стоматология. – №4. – 2011. – С.46–50.
13. Скрипник Ю.В. Кариес временных зубов у детей с задержкой психического развития, имеющих тяжелые нарушения речи// Стоматология детского возраста и профилактика.– М.: Поли Медиа Пресс, 2014. – Т.ХIII, №1.– С.18–21.
14. Скрипкина Г.И., Питаева А.Н. Факторы риска в патогенезе развития кариеса зубов у детей дошкольного возраста // Стоматология детского возраста и профилактика.– М.: Поли Медиа Пресс, 2013. – Т.ХII, № 3 (46). – С. 7–11.
15. Тактаров В.Г. Медицинская и клиническая генетика для стоматологов: учебник для вузов / Под ред. О.О. Янушевича., – 2009. – 400 с.
16. Attali R., Warwar N., Israel A., et al. Mutation of SYNE-1, encoding an essential component of the nuclear lamina, is responsible for autosomal recessive arthrogyposis // Hum. Mol. Genet. – 2009; 18:3462–3469.
17. Bartlett J.D. Dental Enamel Development: Proteinases and Their Enamel Matrix Substrates // ISRN Dent. – 2013. – P.24.
18. Biggs L.C., Mikkola M.L. Early inductive events in ectodermal appendage morphogenesis // Semin. Cell. Dev. Biol. – 2014 Jan–Feb; 25–26:11–21.
19. Cherrier T., Le Douce V., Eilebrecht S., et al. CTIP2 is a negative regulator of P-TEFb // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2013 Jul 30; 110(31):12655–12660.
20. Detrait E.R., George T.M., Etchevers H.C. Human neural tube defects: developmental biology, epidemiology, and genetics // Neurotoxicol. Teratol. 2005; 27:515–524.
21. Gibson C.W., Li Y., Suggs C., et al. Rescue of the murine amelogenin null phenotype with two amelogenin transgenes // Eur .J.Oral.Sci. 2011 Dec;119 Suppl 1:70–4.
22. Golonzhka O., Metzger D., Bornert J.M., et al. CtIP2/Bcl11b controls ameloblast formation during mammalian odontogenesis // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. Mar 17, 2009; 106(11): 4278–4283.
23. Hu J.C., Hu Y., Lu Y., et al. Enamelin is critical for ameloblast integrity and enamel ultrastructure formation // PLoS One. 2014.–Vol. 9(3): e89303.
24. John D. Bartlett, a, Yamakosh Y., James P. et al. MMP20 Cleaves E-Cadherin and Influences Ameloblast Development // Cells Tissues Organs. Aug 2011; 194(2–4): 222–226.
25. Katsuragi Y., Anraku J., Nakatomi M., et al. Bcl11b transcription factor plays a role in the maintenance of the ameloblast–progenitors in mouse adult maxillary incisors // Mech Dev. 2013 Sep–Oct; 130 (9–10): 482–92.
26. Pillas D., Hoggart Clive J., Marjo–Riitta Jarvelin et al. Genome–Wide Association Study Reveals Multiple Loci Associated with Primary Tooth Development during Infancy // PLoS Genetics, 2010 Feb 26;6(2):e1000856.
27. Shang Y., Zhao H., Niu B., et al. Correlation of polymorphisms of MTHFRS and RFC–1 genes with neural tube defects in China // Birth Defects Res. A Clin. Mol. Teratol.– 2009; 82:3–7.
28. Sachdeva S. et al. Dermatoglyphic assessment in subjects with different dental arch forms: an appraisal // J. Indian Prosthodont Soc. – 2014. – Vol.14, №3. – P. 281–288.
29. Van G. M.M.H.J. et al. Teratogenic mechanisms of medical drugs. Hum Reprod Update. 2010; 16(4):378–94.
30. Wang J., Liu C., Zhao H., et al. Association Between a 45–bp 3'Untranslated Insertion/Deletion Polymorphism in Exon 8 of UCP2 Gene and Neural Tube Defects in a High–Risk Area of China // Reproductive Sciences. – 2011. – V. 18. № 6. – P. 556–560.

© О.В. Гуленко, И.Г. Удина, (olga.gulenko@mail.ru), Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики».

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ИНСТИТУТ БИЗНЕС-ОБРАЗОВАНИЯ

негосударственное образовательное учреждение высшего профессионального образования

Традиции. Инновации. Успех!

Реклама

ИИБО

ФАКТОРЫ РИСКА ПРЕЖДЕВРЕМЕННОГО РАЗРЫВА ПЛОДНЫХ ОБОЛОЧЕК ПРИ СРОКЕ ГЕСТАЦИИ 22-34 НЕДЕЛИ

RISK FACTORS OF PREMATURE RUPTURE OF MEMBRANES AT GESTATIONAL AGE OF 22-34 WEEKS

V. Gurjeva
J. Shadeeva
T. Chugunova

Annotation

The aim of the study was to investigate the frequency and severity of risk factors of premature rupture of membranes (PROM) at a gestational age of 22–34 weeks. The study is built on the basis of retrospective analysis of case – control. The main group consisted of 205 patients, a pregnancy which was complicated by the PROM. The control group included 107 patients who gave birth at term pregnancy. The factors that increase the risk of PROM is proved: age of pregnant women older than 35 years, illegitimate pregnancy, premature births, history of abortions, multiple pregnancy, acute infections, Smoking during pregnancy, isthmic–cervical insufficiency. Thus, knowledge of risk factors is the possibility of predicting the risk of PROM in terms of 22–34 weeks of gestation and to prevent taking into account controlled factors.

Keywords: Preterm labor, premature rupture of membranes, premature pregnancy, risk factors.

Гурьева Валентина Андреевна

Д.мед.н., профессор, ФГБОУ ВО "Алтайский государственный медицинский университет"
Минздрава России

Шадеева Юлия Александровна

Ассистент, ФГБОУ ВО "Алтайский государственный медицинский университет"
Минздрава России

Чугунова Татьяна Николаевна

Зам. гл. врача КГБУЗ "Перинатальный центр (клинический) Алтайского края"
по педиатрической помощи

Аннотация

Целью исследования явилось изучение частоты и выраженности факторов риска преждевременного разрыва плодных оболочек (ПРПО) в сроке гестации 22–34 недели. Исследование построено на основании ретроспективного анализа случай – контроль. Основную группу составили 205 пациенток, беременность у которых осложнилась ПРПО. В контрольную группу вошли 107 пациенток, родивших в сроке доношенной беременности. В качестве факторов, повышающих риск ПРПО доказаны: возраст беременных старше 35 лет, внебрачная беременность, преждевременные роды, аборт в анамнезе, многоплодие, острые инфекции, табакокурение во время беременности, истмико–цервикальная недостаточность. Таким образом, знание факторов риска представляет возможность прогнозирования риска ПРПО в сроках 22–34 недели гестации и проводить мероприятия профилактики с учетом управляемых факторов.

Ключевые слова:

Преждевременные роды, преждевременный разрыв плодных оболочек, недоношенная беременность, факторы риска.

За последние 40 лет в мире не прослеживается тенденция к снижению числа преждевременных родов (ПР). Каждый десятый ребёнок на Земле (11,1%) рождается преждевременно. Это служит причиной увеличения перинатальной смертности (ПС), заболеваемости и инвалидизации [1–4]. Снижение частоты ПР, особенно ранних и сверхранних обозначены как приоритетные задачи в концепции Глобальных целей тысячелетия ВОЗ (Резолюция Экспертного совета в рамках 16–го Всемирного конгресса по вопросам репродукции человека) [5]. По данным разных авторов в 35–60% случаев инициирующей причиной спонтанных ПР является ПРПО и несвоевременное излитие околоплодных вод, а в сроке сверхранних ПР (22–28 недель гестации) до 90% случаев [6–10]. Причины, вызывающие ПРПО при недоношенной беременности, многообразны, до конца не изучены, и

нельзя с точностью ответить на вопрос какой именно из факторов риска приведет к этой патологии, нередко причину ПРПО выявить не удаётся [12–14].

Американская коллегия акушеров и гинекологов (ACOG) выделяет материнские и маточно–плацентарные факторы риска ПРПО при недоношенной беременности [11]. К числу материнских факторов отнесены внебрачная беременность, низкий социально–экономический статус, вредные привычки (табак, наркотики), индекс массы тела менее 20 кг/м², дефицит получения с пищей меди и аскорбиновой кислоты, анемия, длительное лечение стероидами, нарушения содержания сосудистого коллагена, преждевременные роды, хронические воспалительные заболевания женской половой сферы, тупые травмы живота при падении матери или ударе. Большое

значение придают преждевременному разрыву плодных оболочек при недоношенной беременности в анамнезе. Повторение риска достигает 16–32% по сравнению с 4% в группе женщин с предшествующими неосложненными своевременными родами.

Из числа маточно–плацентарных факторов наибольшее значение придают аномалиям развития матки, отслойке плаценты, истмико–цервикальной недостаточности (ИЦН), укорочению шейки матки во II триместре беременности, предшествующей конизации шейки матки, перерастяжению матки вследствие многоводия, многоплодной беременности, интраамниотической инфекции, многократным влагалищным бимануальным исследованиям.

Таким образом проблема изучения причин и выявления факторов риска ПРПО при недоношенной беременности является одной из актуальных проблем современной медицины. Необходимым условием обеспечения своевременной, эффективной, индивидуально нацеленной первичной профилактики ПРПО при недоношенной беременности является выделение групп риска и возможность проведения профилактических мероприятий у женщины в раннем антенатальном периоде или, в идеальном случае, при планировании беременности.

Целью настоящего исследования явилось изучение частоты и выраженности социально–гигиенических и клиничко–анамнестических факторов риска ПРПО в сроках 22–34 недели гестации.

Материал и методы

Исследование выполнено на основании клинического материала КГБУЗ "Перинатальный центр (клинический) Алтайского края" (главный врач Ершова Е.Г.), г. Барнаул. Проведен ретроспективный анализ 312 историй родов за период 2012 – 2014 гг. Основную группу составили 205 пациенток, беременность которых осложнилась ПРПО при сроке гестации 22–34 недели. Основным критерием включения явился факт спонтанных преждевременных родов пусковым моментом которых явился ПРПО в сроки 22–34 недели гестации. Критериями исключения из исследования послужили индуцированные преждевременные роды по медицинским показаниям со стороны матери и плода. В контрольную группу вошли – 107 беременных с физиологическими срочными родами, отобранные по принципу четных чисел.

Диагноз преждевременного излития вод устанавливали на основании клинических данных (осмотр в зеркалах и обнаружение околоплодных вод в заднем своде влагалища), данных цитологического исследования мазка (кристаллизация амниотической жидкости в виде "феномена папоротника"), результатов специфических нит-

разиновых тестов. В сомнительных случаях, применяли тест набор Amnisur ROM Test (Амнишур).

В настоящем исследовании проводилось изучение частоты и выраженности в группах сравнения факторов риска (социально–гигиенических, клиничко–анамнестических) с учетом данных лабораторных (общеклинических, бактериологических, цитологических, ПЦР исследование) и инструментальных методов обследования (ультразвуковое обследование, доплерометрия, кардиотокография) в сроках 22–34 недели гестации.

Статистическая обработка цифрового материала проводилась методами, принятыми медицинской статистикой с использованием пакета прикладных программ IBM SPSS Statistics (США), версия 20. Для количественных показателей определяли M – среднюю арифметическую, стандартное отклонение по выборке, ошибку средней арифметической (m). Проверку на нормальность распределений проводили по критерию Колмогорова – Смирнова, показателям эксцесса и асимметрии. При сравнении показателей, выраженных средними величинами, оценка статистической значимости различий производилась с помощью t -критерия Стьюдента. Качественные характеристики представлены в виде процентной частоты и ее ошибки. При сравнении относительных показателей статистическая значимость оценивалась при помощи критерия χ^2 Пирсона, точный критерий Фишера, а также показателя отношения шансов (ОШ) с 95% доверительным интервалом (95% ДИ). Различия считались статистически значимыми при значении вероятности ошибки $p < 0,05$.

Результаты исследования и обсуждение

За анализируемый период в КГБУЗ "Перинатальный центр (клинический) Алтайского края" наблюдалась динамика увеличения удельного веса ПР в общей структуре родов. Так доля ПР в 2012 г составила – 12%, в 2013 г – 13,8%, в 2014 г – 15,8%. Данный перинатальный центр – лечебное учреждение 3–го уровня помощи, специализирован по ведению ПР и оказывает помощь беременным женщинам г. Барнаула и края, что объясняет достаточно высокие показатели родов при сроках гестации 22–37 недель.

Доля ПР при сроках 22–34 недели в структуре ПР составляет – 48,6%. по отношению к общему числу родов – 3%. Больше половины случаев ПР были спонтанными – 55,1%, в 44,9% случаев – индуцированными. Установлено, что ПРПО наблюдался в 72% случаев, что явилось иницирующей причиной спонтанных ПР при сроках беременности 22–34 недель.

В соответствии срока гестации в структуре ПР в ПЦ за анализируемый период 10% всех ПР составили сверх-

ранние ПР (22–27 недель 6 дней), 16% очень ранние (28–30 недель 6 дней), 22,6% случаев ПР при сроке 31 – 33 недели 6 дней, и в 51,4% в сроке 34 – 36 недель 6 дней.

В исследуемых группах роды произошли у жительниц города Барнаула в 14,5% случаев, у пациенток из городов и районов Алтайского края в 85,5%. Данные цифры отражают политику края, направленную на концентрацию ПР в учреждениях 3–го уровня.

Возраст беременных в группах сравнения варьировал в пределах от 15 до 43 лет. Средний возраст женщин основной группы составил 29 ± 0,4 лет (95% ДИ: 28,1–29,8), средний возраст пациенток контрольной группы – 25,9 ± 0,4 лет (95% ДИ: 25–26,9, p<0,001). В контрольной группе преобладали пациентки оптимального репродуктивного возраста 19 – 24 лет, удельный вес которых составил 40,2%, в основной группе – 22,9%. Таким образом, одним из факторов снижающих риск ПРПО является возраст женщины 19–24 года, шансы развития ПРПО в данной возрастной группе в 2,5 раза ниже, чем среди женщин старших возрастных групп (ОШ=2,5; 95% ДИ: 1,4–5; p=0,001). Между тем, в основной группе преобладал удельный вес женщин позднего репродуктивного возраста (старше 35 лет) – в 20 % случаев против 5,4% в контрольной группе, при этом возраст женщины старше 35 лет в 4,2 раза повышает шансы развития ПРПО в сроке 22–34 недели гестации (ОШ=4,2; 95% ДИ: 1,7–10,2) (табл. 1). В тоже время доля беременных юного возраста (до 18 лет) в сравниваемых группах встречались с практически одинаковой частотой (4,4% и 3,7% соответственно, p = 1,0).

При сравнительном анализе уровня образования пациентки в основной группе чаще имели неполное среднее образование – в 18% случаев против 3,7% в контрольной группе. Шансы развития ПРПО среди беременных с неполным средним образованием в 4,5 раза выше, чем среди женщин имеющих более высокий уровень образования (ОШ=5,6; 95% ДИ: 1,9–16,3; p<0,001). Значительно реже среди пациенток основной группы встречались женщины имеющие высшее образование – в 22% против 45,8% в контрольной группе. Таким образом наличие высшего образования является фактором снижающим

риск ПРПО в 3,3 раза (ОШ=3,3; 95% ДИ: 2–5; p<0,001).

Удельный вес женщин со средним и средним специальным образованием не имел значимых различий в группах. В основной группе среднее специальное образование имели 41% женщин, в контрольной – 34,6% (p=0,27), доля женщин со средним образованием в основной группе составила 19%, в контрольной 15,9% (p=0,49).

Изучение социального статуса беременных в сравниваемых группах показало, что в основной группе удельный вес безработных женщин составил 40% против 23,4% в группе контроля, таким образом шансы ПРПО среди безработных женщин в 2,1 раза выше, чем среди имеющих постоянное место работы (ОШ=2,1; 95% ДИ: 1,2–3,7; p = 0,003). Профессиональная принадлежность к категории служащих в основной группе составила 24,4% против 47,7% в контрольной, таким образом шансы ПРПО в 3,3 раза ниже среди представительниц служащих специальностей (ОШ=3,3; 95% ДИ: 2–5; p <0,001). Доля рабочих и учащихся в сравниваемых группах была сопоставима (29,8% и 21,5%, p= 0,11 и 5,9% и 7,5%, p= 0,75).

При оценке семейного положения в сравниваемых группах установлено, что одним из факторов повышающих риск ПРПО является внебрачная беременность. Так в основной группе доля незамужних женщин составила 38,5%, тогда как в контрольной была значимо меньше – в 27,1% случаев, т.о. шансы возникновения ПРПО в сроке гестации 22–34 недели в 1,6 раза выше среди незамужних женщин (ОШ=1,6; 95% ДИ: 1,1–2,8; p=0,04).

Сравнительный анализ места проживания (город, село) не выявил значимых различий в группах. Удельный вес женщин проживающих в сельской местности составил 55,1% в основной группе, в контрольной – 53,3%, доля жительниц города составила 44,9% и 46,7% соответственно (ОШ=0,9; 95% ДИ: 0,6–1,5; p=0,75).

Табакокурение как признанный фактор риска повышает шанс развития ПРПО в 5,8 раза, установлено, что курящие во время беременности женщины в основной группе составили – 25,9%, в контрольной группе – в 5,6% случаев (ОШ=5,8; 95% ДИ: 2,4–14,1; p I<0,001). (Табл. 2).

Таблица 1.

Оценка влияния возраста беременной на вероятность ПРПО в сроках 22–34 недели.

Возраст	Группы женщин						
	Основная (n=205)		Контрольная (n=107)		ОШ	95% ДИ	P
	Абс.	%	Абс.	%			
19–24	47	22,9	43	40,2	2,5	1,4–5	0,001
Старше 35	41	20	6	5,6	4,2	1,7–10,2	0,001

Большой вклад в частоту материнской и перинатальной заболеваемости и смертности вносит наличие экстрагенитальной патологии, удельный вес которой неуклонно растет в популяции беременных. Частота статистически значимых факторов соматической патологии в группах сравнения представлена в **табл. 3**. Из экстрагенитальной патологии неинфекционного генеза у пациенток основной группы чаще регистрировалась нейроциркуляторная дистония по гипотоническому типу – в 42,9% в основной группе против 27,1% в контрольной, таким образом шансы ПРПО в 2 раза выше у женщин при наличии нейроциркуляторной дистонии по гипотоническому типу ($p=0,006$; ОШ=2; 95% ДИ: 1,2-3,3). Всякая другая, выявленная у пациенток соматическая патология неинфекционного генеза, не имела статистически значимых различий в сравниваемых группах: ожирение 1–2 ст (37,6% в основной группе против 27,1% в контрольной, $p=0,06$), заболевания щитовидной железы (15,6% и 10,3%, $p=0,19$), миопия (19,5 и 14%, $p=0,22$), варикозная болезнь нижних конечностей (8,8 и 8,4%, $p=1$), НЦД по гипертони-

ческому типу (9,3 и 3,7%, $p=0,12$), артериальная гипертензия (7,3 и 4,1%, $p=0,08$), мочекаменная болезнь (3,9 и 1,9%, $p=0,5$).

При анализе соматических заболеваний инфекционно-воспалительного характера установлена более частая патология почек и мочевыводящих путей – в 21,5% случаев против 12,1% в контрольной, которая в 1,9 раза повышает шансы развития ПРПО ($p=0,04$; ОШ=1,9; 95% ДИ: 1-3,8). Удельный вес беременных имеющих в анамнезе социально значимые инфекции (ВИЧ, сифилис, туберкулез, гепатит С) преобладал в основной группе и составил 13,2% против 2,8% в контрольной группе. Данные инфекции повышают шансы ПРПО в 3,9 раза ($p=0,008$; ОШ=3,9; 95% ДИ: 1,3-11,8). Шансы развития ПРПО среди женщин нуждающихся в санации кариеса в 2 раза выше, чем среди беременных не имеющих данного фактора ($p=0,02$; ОШ=2; 95% ДИ: 1-3,9), доля беременных нуждающихся в санации кариеса в основной группе составила 23,9% против 13,1% в контрольной. Не установлено вли-

Таблица 2.

Оценка влияния социально-гигиенических факторов на вероятность ПРПО в сроках 22-34 недели.

Признак	Группы женщин						
	Основная (n=205)		Контрольная (n=107)		ОШ	95% ДИ	P
	Абс.	%	Абс.	%			
Высшее образование	45	22	49	45,8	3,3	2-5	<0,001
Неполное среднее	37	18	4	3,7	5,6	1,9-16,3	<0,001
Служащие	50	24,4	51	47,7	3,3	2-5	<0,001
Безработные	82	40	25	23,4	2,1	1,2-3,7	0,003
Не замужние	79	38,5	29	27,1	1,6	1,1-2,8	0,04
Табакокурение	53	25,9	6	5,6	5,8	2,4-14,1	<0,001

Таблица 3.

Оценка влияния соматической патологии на риск возникновения ПРПО в сроке 22-34 недели гестации.

Заболевание	Группы женщин						
	Основная (n=205)		Контрольная (n=107)		ОШ	95% ДИ	P
	Абс.	%	Абс.	%			
НЦД по гипотоническому типу	88	42,9	29	27,1	2	1,2-3,3	0,006
Воспалительные заболевания почек и МВС	44	21,5	13	12,1	1,9	1-3,8	0,04
Кариес	49	23,9	14	13,1	2	1-3,9	0,02
Социально значимые инфекции	27	13,2	3	2,8	3,9	1,3-11,4	0,008

яние на риск возникновения ПРПО такой патологии, как хронические воспалительные заболевания ЛОР-органов (22% и 14%, $p=0,08$), бронхолегочные заболевания (6,3% и 2,8%, $p=0,28$), хронический гастрит (11,2% и 6,5%, $p=0,18$) а также холецистит на фоне желчнокаменной болезни (2,9% и 0%, $p=0,08$).

Изучение гинекологического анамнеза не установило влияние таких факторов как: возраст наступления менархе (в основной группе – $13,2 \pm 1,3$ лет (95% ДИ: 13,1-13,4), в контрольной группе – $13,3 \pm 1,3$ лет (95% ДИ: 13,1-13,6, $p=0,6$), частота нарушений менструального цикла (6,3% и 3,7% – в контрольной ($p=0,48$)). Установлена значимость инфекционного фактора в инициации ПРПО (табл. 4). Возраст начала половой жизни у женщин основной группы был более ранним – $16,9 \pm 1,7$ лет (95% ДИ: 16,7–17,2), по сравнению с контрольной группой – $18,2 \pm 1,9$ (95% ДИ: 17,8–18,5), ($p<0,001$). При этом доказано, что раннее начало половой жизни в 2,4 раза повышает шансы ПРПО (ОШ=2,4; 95% ДИ: 1,2-4,9; $p=0,01$). Хронические воспалительные заболевания органов малого таза (хронический эндометрит, сальпингоофорит) повышают шансы ПРПО при недоношенной беременности в 2,7 раза (ОШ=2,7; 95% ДИ: 1,3-5,6; $p=0,006$), они значительно чаще встречались среди женщин основной

группы – в 20% случаев, против 9,3% в контрольной группе. Фоновая патология шейки матки повышает шансы развития ПРПО в 2,6 раза (ОШ=2,6; 95% ДИ: 1,5-4,3; $p<0,001$) (49,3% – в основной группе и в 27,1% случае – в контрольной). Не влияли на риск развития ПРПО: миома матки, частота которой не различалась в группах сравнения – 8,8% и 4,7% ($p=0,27$), бесплодие – 6,8% и 3,7% ($p=0,39$), аномалии развития матки – 5,9% и 2,6% ($p=0,35$), доброкачественные опухоли яичников – 2,4% и 2,8% ($p=1$).

При оценке акушерского анамнеза в исследуемых группах было выявлено, что одним из факторов статистически значимо снижающих риск ПРПО, является первая беременность, которая в 2,5 раза снижает риск возникновения ПРПО (ОШ=2,5; 95% ДИ: 1,4-5, $p=0,005$). По результатам исследования удельный вес первобеременных в основной группе составил 17,1%, тогда как в контрольной группе он значительно преобладал и составил 30,8%. Доказано, что неблагоприятный исход первой беременности в 2,8 раза повышает шансы ПРПО при недоношенной беременности (ОШ=2,8; 95% ДИ: 1,2-6,6; $p=0,01$), установлено, что первые роды у повторнобеременных в основной группе составили 16,6% случаев, в то время как в контрольной – лишь у 6,5%. Доля повторнородящих женщин в сравниваемых группах была сопоставимой и со-

Таблица 4.

Оценка влияния акушерско-гинекологического анамнеза на риск возникновения ПРПО при сроке 22-34 недели гестации.

Особенности акушерско-гинекологического анамнеза	Группы женщин						
	Основная (n=205)		Контрольная (n=107)		ОШ	95% ДИ	P
	Абс.	%	Абс.	%			
Ранее начало половой жизни (до 15 лет)	45	22	11	10,3	2,4	1,2-4,9	0,001
Хронические воспалительные заболевания (эндометрит, аднексит)	45	22	10	9,3	2,7	1,3-5,6	0,006
Фоновая патология шейки матки	101	49,3	29	27,1	2,6	1,5-4,3	<0,001
Первобеременные	35	17,1	33	30,8	2,5	1,4-5	0,005
Первородящие повторнобеременные	34	16,6	7	6,5	2,8	1,2-6,6	0,01
Наличие ПР в анамнезе	37	18	3	2,8	7,6	2,2-25,3	<0,001
Артифициальные аборт	107	52,2	31	29	2,6	1,6-4,4	<0,001
2 и более аборт	61	29,8	11	10,3	3,6	1,8-7,3	<0,001
Самопроизвольные выкидыши	49	23,9	12	11,2	2,4	1,2-4,9	0,007
Кесарево сечение	39	19	11	10,3	2	1-4,1	0,04

ставила в основной группе – 66,3%, в контрольной – 62,6% ($p=0,51$), доля многорожавших в группах сравнения также не имела значимых различий и составила 6,3% и 1,9% соответственно ($p=0,14$).

Большое значение для прогноза имеет факт преждевременных родов в анамнезе, шанс ПРПО у таких женщин повышается в 7,6 раз (ОШ=7,6; 95% ДИ: 2,2–25,3, $p<0,001$) – преждевременные роды в анамнезе наблюдались у 18% пациенток основной группы против 2,8% в контрольной. Меньшее значение имеют искусственные аборты, которые имелись в анамнезе у 52,2% женщин основной группы, против 29% в контрольной и повышали шансы ПРПО в 2,6 раза (ОШ=2,6; 95% ДИ: 1,6–4,4; $p<0,001$). При этом большую значимость имеет число искусственных абортов в анамнезе, так при их количестве 2 и более, шансы возникновения ПРПО при недоношенной беременности увеличивались в 3,6 раза (ОШ=3,6; 95% ДИ: 1,8–7,3; $p<0,001$). Самопроизвольные выкидыши повышали шансы возникновения ПРПО в 2,4 раза (ОШ=2,4; 95% ДИ: 1,2–4,9; $p=0,007$), удельный вес женщин, имевших в анамнезе самопроизвольный аборт составил 23,9% против 11,2% в контрольной. Родоразрешение путем операции кесарево сечение в 2 раза увеличивало шансы ПРПО (ОШ=2; 95% ДИ: 1–4,1; $p=0,04$), частота которого составила 19% у женщин в основной группе против 10,3% – в контрольной, Удельный вес женщин имевших в анамнезе неразвивающуюся беременность в анализируемых группах был практически сопоставим и составил 9,8% и 8,4% соответственно ($p=0,85$).

Изучались также факторы риска, способствующие снижению или повышению его в течение настоящей беременности в сроках 22–34 недели гестации (в табл.5). Большинство беременных в группах сравнения наблюдались в женской консультации (97,6% в основной группе, и 100% в контрольной, $p=0,17$). Установлено, что женщины в основной группе становились на учет по беременности позже, по сравнению с пациентками группы контроля, так средний срок при взятии на учет составил в основной группе $11,1 \pm 0,3$ недель, в контрольной группе $9,8 \pm 0,3$, ($p=0,01$). Доказано, что раннее взятие (до 11–12 недель) на учет по беременности снижает риск ПРПО в 2,5 раза снижает риск возникновения ПРПО ($p=0,02$, ОШ= 2,5; 95% ДИ: 1,4–5). У женщин, забеременевших в результате ЭКО шансы ПРПО увеличиваются в 1,6 раза ($p=0,03$; ОШ=1,6; 95% ДИ: 1,4–2). Бесспорным фактором риска развития ПРПО явилось многоплодие. Так, доля многоплодия у беременных в основной группе наблюдалась в 10,2% случаев (18 двоен и 3 тройни) против 1,9% в контрольной группе (2 двойни). Шансы ПРПО при многоплодной беременности в 5,9 раз выше, чем при одноплодной ($p=0,01$; ОШ= 5,9; 95% ДИ: 1,3–26).

В ходе анализа установлено, что настоящая беременность у женщин в основной группе чаще протекала с раз-

личными осложнениями. Так ПРПО чаще предшествуют клинически значимая угроза прерывания беременности (УПБ), которая в I триместре гестации увеличивала шансы ПРПО в 3 раза ($p<0,001$; ОШ=3; 95% ДИ: 1,7–5,2), еще более увеличивался риск при угрозе во II триместре беременности – в 5,7 раза ($p<0,001$; ОШ=5,7; 95% ДИ: 3,1–10,4), которая преимущественно сопровождалась истмико-цервикальной недостаточностью. Риск ПРПО при угрозе преждевременных родов увеличивался в 3,9 раза (28,8% против 9,3%, $p<0,001$; ОШ=3,9; 95% ДИ: 1,8–8,3). Число повторных госпитализаций в стационар по поводу угрозы прерывания беременности в группах сравнения варьировала в основной группе от 2 до 5, в контрольной группе не превышала 2 в течении всей беременности. Особо высокий риск, повышающий шансы ПРПО в 7,9 раза, наблюдался при рецидивирующей угрозе прерывания беременности ($p<0,001$; ОШ=7,9; 95% ДИ: 3,6–17,1). Имела значение как фактор риска ПРПО – анемия легкой и средней степени тяжести, развившаяся в течение беременности, в этом случае шансы разрыва плодных оболочек возрастали в 2,5 раза ($p<0,001$; ОШ=2,5; 95% ДИ: 1,5–4,2) при сроке гестации 22–34 нед. Широко обсуждаемым фактором риска ПРПО при недоношенной беременности является истмико-цервикальная недостаточность (ИЦН) [15,16], что подтвердило наше исследование. По результатам исследования у беременных с ИЦН шансы развития ПРПО повышались в 10 раз ($p<0,001$, ОШ=10,1; 95% ДИ: 4,2–24,3). У беременных с преэклампсией в 1,6 раза увеличивался риск ПРПО, которая в основной группе регистрировалась с частотой 8,3%, среди беременных в контрольной группе случаев преэклампсии не наблюдалось ($p=0,005$; ОШ = 1,6; 95% ДИ: 1,6–2). Частота инвазивной пренатальной диагностики не имели статистически значимых различий в группах сравнения (2,9% и 0%, $p=0,09$).

Многие зарубежные и отечественные авторы среди ведущих причин ПРПО выделяют восходящую инфекцию [17–19]. У беременных с вагинитами по результатам нашего исследования шансы возникновения ПРПО увеличивались в 6 раз ($p<0,001$; ОШ=6; 95% ДИ: 1,4–6,4), частота которых наблюдалась у женщин в основной группе – в 61% случаев, против 20,6% – в контрольной. Инфекционные заболевания, передающиеся половым путем повышали риск ПРПО в 4,2 раза ($p<0,001$; ОШ=4,2; 95% ДИ: 2,1–8,2), они были установлены у 44,6% женщин в основной группе и в 16,1% – в контрольной группе. При этом в структуре возбудителей чаще других выявлялся уреоплазмоз – в 25,6% случаев у беременных в основной группе против 5,7% в контрольной ($p<0,001$), микоплазмоз – в 13,2% случаев, против 3,4% в контрольной ($p=0,03$), хламидиоз – в 11,5% случаев в основной группе, против 2,3% в контрольной ($p=0,02$), гарднереллез был выявлен у 13,2% беременных основной группы против 4,6% в контрольной ($p=0,06$).

Таблица 5.

Оценка влияния течения гестационного процесса на риск возникновения ПРПО при сроке 22-34 недели гестации.

Течение настоящей беременности	Группы женщин						
	Основная (n=205)		Контрольная (n=107)		ОШ	95% ДИ	P
	Абс.	%	Абс.	%			
Ранняя явка на учет по беременности	153	74,6	92	86	2,5	1,4-5	0,02
Беременность в результате ЭКО	9	4,4			1,6	1,4-2	0,03
Многоплодие	21	10,2	2	1,9	5,9	1,3-26	0,01
Анемия	95	46,3	27	25,2	2,5	1,5-4,2	<0,001
Рецидивирующая УПБ	80	39	8	7,5	7,9	3,6-17,1	<0,001
Преэклампсия	17	8,3			1,6	1,6-2	0,005
ИЦН	73	37,6	6	5,6	10,1	4,2-24,3	<0,001
ОРВИ	59	28,8	16	15	2,2	1,2-4,2	0,007
Острая бактериальная инфекция	14	6,8	1	0,9	7,1	1,1-59,9	0,02
Вагинит	122	61	22	20,6	6	3,4-10,4	<0,001
ЗППП всего	54	44,6	14	16,1	4,2	2,1-8,2	<0,001
Патологический рост УПФ	46	35,1	17	19,8	2,1	1,1-4,1	0,01
Низкая плацентация в I триместре	76	60,8	30	33,3	3,1	1,7-5,4	<0,001
Частичная отслойка плодного яйца	22	16,5	5	5,6	3,3	1,2-9,2	0,01
Гипофункция желтого тела	24	19,7	6	6,7	3,4	1,3-8,7	0,007
Низкая плацентация во II триместре	37	20,6	8	8,9	2,6	1,1-5,9	0,01
Косвенные признаки ВАИ	59	33,1	12	13,3	3,2	1,6-6,3	0,001
Укорочение шейки матки матки < 25 мм	64	34	6	5,6	8,6	3,6-20,8	<0,001

При анализе данных бактериологического исследования мазков из цервикального канала был выявлен выраженный рост условно-патогенной флоры – у 35,1% беременных в основной группе, против 19,8% – в контрольной, повышая шансы возникновения ПРПО в 2,1 раза (p=0,01; ОШ=2,1; 95% ДИ: 1,1-4,1). Микробный пейзаж был представлен следующими микроорганизмами: преимущественное большинство представляли *Candida albicans* – 23,7% в основной группе против 16,3% – в контрольной (p=0,18), *Staphylococcus epidermalis* – 8,4% в основной группе против 2,3% – в контрольной (p=0,12),

Staphylococcus aureus – 1,2% в основной группе против 0,8% – в контрольной (p=1). *Echerichia coli* (3,1%), *Enterococcus faecalis* (1,5%), *Streptococcus agalactiae* B (1,5%) были выделены в единичных случаях только у беременных в основной группе (p>0,05).

Острая респираторно-вирусная инфекция во время беременности повышала шанс ПРПО в 2,2 раза (p=0,007; ОШ=2,2; 95% ДИ: 1,2-4,2), которая среди пациенток основной группы наблюдалась в 28,8 % случаев, против 15% в контрольной группе. Большой риск представляли

острые бактериальные инфекции других локализаций (пневмония, острая кишечная инфекция, фурункулез, гнойный пародонтит, мастит, лимфаденит), протекающие как правило с выраженной интоксикацией, которые увеличивали шансы ПРПО в 7,7 раза ($p=0,02$, ОШ:7,7; 95% ДИ: 1,1-59,9), они наблюдались у беременных в основной группе – в 6,8% случаев, против 0,9 % – в контрольной группе. Необходимо отметить, что частота гестационного пиелонефрита в сравниваемых группах (8,8% и 4,7 %, $p=0,2$) и бессимптомной бактериурии (1,7% и 5,6%, $p=0,08$) статистически значимых различий не имела.

Примечание:

ЗППП – заболевания передающиеся половым путем, УПФ – условно-патогенная флора, ВАИ – внутриамниотическая инфекция, УПБ – угроза прерывания беременности.

По результатам ультразвукового обследования были установлены достоверные различия в формировании фетоплацентарной системы (табл. 4). В группе женщин с ПРПО в I триместре гестации достоверно чаще регистрировались такие нарушения как низкая плацентация, предлежание хориона – в 60,8% случаев, против 33,3% в контрольной группе, при этом в 3,1 раза увеличивался риск ПРПО при наличии патологической плацентации в I триместре ($p<0,001$; ОШ= 3,1; 95% ДИ: 1,7-5,4). При гипофункции желтого тела шансы ПРПО повышаются в 3,4 раза ($p=0,007$; ОШ=3,4; 95% ДИ: 1,3-8,7), недостаточность желтого тела наблюдалась в 19,7% случаев среди беременных имевших ПРПО, против 6,7% в контрольной группе. При частичной отслойке плодного яйца с формированием ретрохориальной гематомы шансы ПРПО при сроке гестации 22–34 нед увеличивались в 3,3 раза ($p=0,01$; ОШ=3,3; 95% ДИ: 1,2-9,2). Укорочение шейки матки менее 25 мм по данным ультразвуковой цервикометрии увеличивало в 8,6 раза риск ПРПО (ОШ=8,6; 95% ДИ: 3,6-20,8; $p<0,001$), удельный вес женщин, имеющих укорочение шейки матки в основной группе составил 34%, против 5,6% в контрольной группе. В 2,6 раза повышался риск ПРПО при низкой плацентации во II триместре гестации, частота которой среди беременных основной группы установлена в 20,6% случаев, против 8,9% – в контрольной ($p=0,01$; ОШ=2,6; 95% ДИ: 1,1-5,9). В 3,2 раза увеличивался риск при косвенных признаках внутриутробной инфекции по данным УЗИ – (плацентит, многоводие, наличие взвеси в околоплодных водах, неоднородность структуры плаценты в виде расширения межворсинчатого пространства), которые наблюдались у 33,1% беременных основной группы и лишь у 13,1% женщин в группе контроля ($p=0,001$; ОШ= 3,2; 95% ДИ: 1,6-6,3). Признаки истончения плаценты чаще имели место среди беременных в основной группе – в 4,5% случаев, тогда как в контрольной группе во всех случаях толщина плаценты соответствовала сроку гестации ($p=0,03$). Частота заре-

гистрированных нарушений гемодинамики в маточно-плацентарном комплексе и плодово-плацентарном комплексе не имела статистически значимых различий в группах сравнения. Наиболее часто регистрировались нарушения гемодинамики 1 А степени, частота которых составила –13,8% в основной группе, против –8,9% в контрольной ($p=0,24$), нарушения гемодинамики 1 Б степени и 2 степени были зарегистрированы лишь у беременных в основной группе с частотой 2 и 1,7% ($p=0,5$).

Таким образом, в результате полученных данных с учетом деления факторов риска ПРПО при недоношенной беременности на материнские и маточно-плацентарные, согласно рекомендациям Американской коллегии акушеров и гинекологов (ACOG) [11], необходимо отметить, что наиболее частые риски представлены со стороны матери, такие как: низкий социально-экономический статус (безработные, имеющие неполное среднее образование), внебрачная беременность, табакокурение во время беременности, наличие в анамнезе хронических воспалительных заболеваний женских половых органов, преждевременных родов, репродуктивных потерь, анемии. В меньшей степени в основной группе встречались плодово-плацентарные факторы риска ПРПО: истмико-цервикальная недостаточность, укорочение шейки матки менее 25 мм, многоплодная беременность, отслойка плаценты, интраамниотическая инфекция.

Заключение

Прогнозирование риска ПРПО возможно как на этапе планирования беременности на основании анамнестических данных, так и при вынашивании беременности женщин группы риска. К факторам значительно повышающим риск более, чем в 5 раз следует относить неполное среднее образование, табакокурение во время беременности, многоплодие, рецидивирующую угрозу прерывания беременности, истмико-цервикальную недостаточность, острую бактериальную инфекцию, вагиниты, укорочение длины шейки матки менее 25 мм.

К факторам менее значимым, повышающим риск от 1,6 до 5 раз следует относить возраст беременной старше 35 лет; отсутствие трудоустройства; соматическая отягощенность в виде: НЦД по гипотоническому типу, хронических воспалительных заболеваний мочевыделительной системы, кариеса; наличия социально значимых инфекций в анамнезе (ВИЧ, сифилис, туберкулез, гепатит С); раннее начало половой жизни; хронические воспалительные заболевания репродуктивных органов; наличие фоновой патологии шейки матки; первые роды у повторно беременных; более двух прерываний беременности и кесарево сечение в анамнезе; беременность наступившая в результате ЭКО; осложнения течения беременности (патология плацентации, гипофункция желтого тела, частичная отслойка плаценты, преэклампсия, ОРВИ во

время беременности, патологический рост условно-патогенной флоры в цервика-вагинальном отделяемом); косвенные признаки ВУИ (плацентит, многоводие, наличие крупнодисперсной взвеси в водах, расширение межворсинчатого пространства).

К факторам снижающим риск ПРПО необходимо отнести: молодой возраст беременных (19–24 года), высшее образование, профессиональная принадлежность к категории служащих, ранняя явка на учет по беременности.

ЛИТЕРАТУРА

1. ВОЗ. Рожденные слишком рано. Доклад о глобальных действиях в отношении преждевременных родов. // www.who.int URL: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44864/8/9789244503430_rus.pdf?ua=1&ua=1 (дата обращения: 14.08.16).
2. Дударева Ю.А., Шойхет Я.Н., Гурьева В.А. Влияние неблагоприятной экологической ситуации на частоту преждевременных родов в поколении потомков. // Проблемы клинической медицины. №3–4 (25) 2011. – С. 92–96.
3. Сидельникова В.М., Сухих Г.Т. Невынашивание беременности: Руководство для практикующих врачей. М.: Медицинское информационное агентство, 2010.
4. Caughey AB, Robinson JN, Norwitz ER. Contemporary diagnosis and management of preterm premature rupture of membranes. Rev Obstet Gynecol – 2008 – № 1 (1) – р. 11–22.
5. Профилактика невынашивания и преждевременных родов в современном мире Резолюция Экспертного совета в рамках 16-го Всемирного конгресса по вопросам репродукции человека (Берлин, 18–21 марта 2015 года). Информационное письмо.–М.: Редакция журнала Status Praesens, 2015.–4с.
6. ACOG Practice Bulletin No. 139: Premature rupture of membranes. Clinical management guidelines for obstetrician–gynecologists. Obstet. Gynecol. 2013; 122(4): 918–30.
7. Макаров О.В., Козлов П.В., Иванников Н.Ю., Кузнецов П.А., Багаева И.И. Преждевременный разрыв плодных оболочек: этиология, перинатальная патология, гнойно-септические осложнения. Вопросы гинекологии, акушерства и перинатологии, 2014, т.13, №6, с. 42–48.
8. Goldenberg R.L. et al. // Lancet. 2008 Jan 5; –№ 371(9606): – р. 75–84.
9. Кулаков В.И., Серов В.Н., Сидельникова В.М. Преждевременные роды – тактика ведения с учетом срока гестации. Журнал акушерства и женских болезней, 2002; 51(2): 7–13.
10. Parry S, Strauss JF, Merser BM. Preterm birth, prevention and management. Blackwell Publishing LTD, 2010.
11. ACOG Committee on Practice Bulletins–Obstetrics1. ACOG Practice Bulletin no. 80: Premature rupture of membranes. Clinical management guidelines for obstetrician–gynecologists. Obstet. Gynecol. 2007; 109(4): 1007–19.
12. Радзинский В.Е., Ордынец В.М., Алеев И.А. Преждевременный разрыв плодных оболочек. М.: Медиабюро Status Praesens, 2011. 20 с.
13. Башмакова Н.В., Мелкозерова О.А., Давыденко Н.Б., Русанов С.Ю. Преждевременное излитие околоплодных вод при недоношенной беременности. // Акушерство и гинекология. 2008. №5. С. 24–27.
14. Сидельникова В.М., Антонов А.Г. Преждевременные роды. Недоношенный ребенок. М.: ГЭОТАР–Медиа, 2006. 454 с.
15. Hong J.S., Park K.H., Noh J.H., Suh J.H. Cervical length and the risk of microbial invasion of the amniotic cavity in women with preterm premature rupture of membranes. J. Korean Med Sci. 2007; 22 (4): 713–7.
16. Мальгина Г.Б., Башмакова Н.В., Шафиева К.А., Косовцова Н.В. Преждевременный разрыв плодных оболочек в сроке сверхранних преждевременных родов: факторы риска, акушерская тактика и перинатальные исходы // Российский вестник акушера–гинеколога. 2014. №6. С. 60–64.
17. Chan G.J., Lee A.C., Baqui A.H., Tan J., Black R.E. Risk of early – onset neonatal infection with maternal infection or colonization: a global systematic review and meta–analysis/ PLoS Med. 2013; 10 (8): e 1001502.
18. Al. Kadri H.M., Vamuhair S.S., Johani S.M., Al–Buriki N.A., Tamim H.M. Maternal and neonatal risk factors for early–onset group B streptococcal disease: a case control study. Int J. Womens Health. 2013; 29 (5): 729–35.
19. Menon R., Fortunato S.J. Infection and the role of inflammation in preterm premature rupture of the membranes. Best Pract Res Clin Obstet Gynecol. 2007; 21 (3): 467–78.

© В.А. Гурьева, Ю.А. Шадеева, Т.Н. Чугунова, (vгурjeva@yandex.ru), Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»,

РЕКЛАМА



Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта

БИБЛИОТЕКА



АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРАБОТАННОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ РИСКА ХИРУРГИЧЕСКОГО ВМЕШАТЕЛЬСТВА У ПАЦИЕНТОВ ПОЖИЛОГО И СТАРЧЕСКОГО ВОЗРАСТА С ПЕРЕЛОМОМ ПРОКСИМАЛЬНОГО ОТДЕЛА БЕДРА

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF THE DEVELOPED RISK ASSESSMENT SYSTEM SURGERY IN ELDERLY PATIENTS WITH FRACTURE OF THE PROXIMAL FEMUR

*G. Kavalerskiy
A. Chenskiy
A. Tarbushkin
M. Prokhorova
D. Usmanov
K. Mhitaryan*

Annotation

This article presents the results of the work done on the bases of trauma and orthopedic Departments of the hospital №67 named after L.A.Vorohoba and Ministry of Health Russian Federation Medical and Rehabilitation Center, Moscow in the period from January 2014 to June 2015. Given the trend of population ageing, the incidence of injury fracture of the proximal femur, mortality and frequency of complications in this cohort the topic presents to be extremely important. The study was divided into stages. The first, based on the known point estimates of the severity of the condition, together with retrospective analysis of 240 histories of the mathematical model assessing the risk of surgery in patients of elderly and senile with a fracture of the proximal femur. At the 2nd stage, prospective analysis of the effectiveness of the developed scales and recommendations in the treatment of 160 patients of elderly and senile age with fractures of the proximal femur. Analysis of the data showed that the application of the scale to estimate surgical risk leads to lower complications almost 3 times and deaths 4.5 times, which indicates their effectiveness and suitability for use. Thus, the proposed evaluation scale has shown excellent results and is recommended for use in the practice traumatology.

Keywords: hip fracture, gerontology, elderly, risk, arthroplasty.

Кавалерский Геннадий Михайлович

Д.мед.н., профессор, зав. каф. травматологии, ортопедии и хирургии катастроф Первого МГМУ

Ченский Анатолий Дмитриевич

Д.мед.н., профессор каф. травматологии, ортопедии и хирургии катастроф Первого МГМУ

Тарбушкин Антон Александрович

К.мед.н., врач травматолог–ортопед травматолого–ортопедического отд. ФГАУ "ЛРЦ"

Прохорова Марина Юрьевна

Аспирант каф. травматологии, ортопедии и хирургии катастроф Первого МГМУ

Усманов Дамир Ниямович

Врач травматолог–ортопед ортопедического отделения №2 ФГАУ "ЛРЦ"

Мхитарян Кристина Эдуардовна

Врач–невролог отд. восстановительного лечения ФГАУ "ЛРЦ"

Аннотация

В данной статье представлены результаты работы, выполненной на базах травматолого–ортопедических отделений ГКБ№67 им.Л.А.Ворохובה и ФГАУ ЛРЦ МЗ РФ в период с января 2014 года по июнь 2015 года. Учитывая тенденцию старения населения, частоту встречаемости травмы перелома проксимального отдела бедренной кости, смертность и частоту осложнений в данной когорте, представленная тема является крайне актуальной. Исследование было разделено на этапы. На первом, на основе известных балльных оценок тяжести состояния в совокупности с ретроспективным анализом 240 историй болезни создана математическая модель для оценки риска хирургического вмешательства у пациентов пожилого и старческого с переломом проксимального отдела бедренной кости. На 2–м этапе проведен проспективный анализ эффективности применения разработанной шкалы и рекомендаций при лечении 160 пациентов пожилого и старческого возраста с переломом проксимального отдела бедренной кости. Анализ полученных данных показывал, что применение шкалы для оценки хирургического риска приводит к снижению осложнений почти в 3 раза, а летальных исходов в 4,5 раза, что указывает на их эффективность и пригодность для использования. Таким образом, предложенная оценочная шкала показала отличные результаты и рекомендована к применению в практической травматологии.

Ключевые слова:

Перелом шейки бедра, геронтология, пожилой возраст, риск, эндопротезирование.

Введение

Сущность балльной оценки тяжести повреждений заключается в квантификации риска тех или иных последствий, возможных в результате полученных травм. Данная процедура, сочетающая в себе элементы клинической интуиции и статистической теории, призвана обеспечить универсальную систему оценки состояния пострадавшего. Оцениваться могут такие показатели как выживаемость, длительность пребывания в стационаре или в отделении интенсивной терапии, эффективность какой-либо процедуры и т.п.[2]

В 1983 г. Champion et al [13], впервые описали метод, позволяющий свести клинические и физиологические данные к одному показателю – балльной оценке травмы (англ. Trauma Score).

Впоследствии данная методика была модернизирована и получила название Усовершенствованной балльной оценки Травмы (англ. Revised Trauma Score; сокр. RTS). При расчете RTS индексные значения по GCS, систолическое кровяное давление и частота дыхания умножаются на логистические коэффициенты регрессии и суммируются. Значение RTS может варьировать в пределах от 0 до 7,84. При этом чем меньше оценка по RTS, тем более серьезными являются физиологические нарушения, имеющиеся у пациента. Оценка по системе RTS четко ассоциируется с летальностью и по сей день не утрачивает своего значения для травматологической статистики [4,10].

Оценка коморбидности изучена в работах Morris et al., идентифицирующих основные патологии, наличие которых на момент получения травмы ухудшает прогноз для пострадавшего. При этом шкалы, принимающие во внимание сопутствующие заболевания (например, Шкала Charlson), широко применяются в других областях медицины [10,11].

Один из возможных путей решения данной проблемы заключается в том, чтобы учитывать возраст пострадавшего в качестве показателя, имеющего определенную связь с наличием серьезных сопутствующих заболеваний [1,11,17].

Более четкое понимание важных клинических взаимосвязей между предикторами и исходами будет способствовать дальнейшему развитию травматологии. В частности, необходимо разрабатывать механизмы учета отдельных типов коморбидности и эффектов взаимовлияния различных повреждений, полученных конкретным пациентом [7,9,12,15].

Одно из наиболее частых повреждений у пациентов пожилого и старческого возраста является перелом

проксимального отдела бедренной кости. В первый месяц летальность превышает уровень по возрастной в 15 раз (Miller, 1978; Dahl, 1980). Это не удивительно, так как перелом проксимального отдела бедренной кости в этой когорте, как правило, отягощение сопутствующей патологией, представляет собой серьезное повреждение, которое может в кратчайшее время превратиться в тяжелейшее общее заболевание. Возможность выздоровления во многом зависит от тактики лечения [6,8,14].

Резюмируя вышеизложенное, необходимо отметить, что, не смотря на многочисленные исследования и на разработку четких показаний для оперативного вмешательства, до настоящего времени отсутствует системный подход и четкий алгоритм методики обследования пострадавших для определения жизненного риска операции [3,16,18].

Цель исследования: анализ эффективности созданного стандарта определения риска операции у больных пожилого и старческого возраста с переломами проксимального отдела бедренной кости.

Материалы и методы

В своей работе мы попытались оценить степень риска и возможности хирургического вмешательства на двух базах травматолого-ортопедических стационаров ФГАУ ЛРЦ МЗ РФ и ГКБ№67 им.Л.А.Ворохобова г.Москва. В общей сложности для обработки использовали данные 360 человек в возрасте от 60 до 90 лет с переломом проксимального отдела бедренной кости. Средний возраст 72,4 года.

Для решения поставленных задач проведенные нами исследования разделены на 2 этапа. На первом этапе проведена разработка способа оценки тяжести состояния и рисков оперативного вмешательства по ретроспективному анализу материалов исследований селективной группы больных по данным архивного материал 240 историй болезней пациентов пожилого и старческого возраста с переломом проксимального отдела бедренной кости. И на 2-м – анализ эффективности.

Для обеспечения практической целесообразности разрабатываемого нами способа балльной оценки тяжести состояния в общее число обследованных включены пациенты с наиболее часто встречающимися переломами проксимального отдела бедренной кости.

При анализе всей полученной информации проведено изучение частоты встречаемости всех признаков, отражающих результаты клинических, инструментальных и лабораторных исследований. В дальнейшем с использованием компьютерных технологий отобраны критерии с наибольшим информативным весом.

При создании шкалы по количественной оценке симптомов заболевания и результатов обследования у пожилых и старых пациентов следует поставить признаки, манифестирующие критические состояния: частота сердечных сокращений, частота дыхательных движений и когнитивные реакции. Этим требованиям отвечает "переработанная травматическая шкала" – RTS, которая также является динамической. Формула имеет коэффициенты и выглядит следующим образом: $RTS = 0.9368 GCS + 0.7326 SBP + 0.2908 RR$, где GCS – балл по шкале комы Глазго, SBP – балл за систолическое давление и RR – балл за частоту дыхания. Данная шкала помогает объективно оценить состояние пострадавшего при поступлении в стационар, то есть позволяет оценить объем требуемой терапии и необходимость госпитализации в реанимационное отделение. Однако для определения дальнейшей тактики лечения данная шкала малоприменяема.

Итоговая расстановка критериев включила вторую группу признаков, включающую наиболее часто встречающиеся сопутствующие заболевания, влияющие на исход. Исследуемый материал также был распределен на группы согласно шкале коморбидности Charlson. Данная шкала является показательной для оценки коморбидности, но не совсем точно отражает состояние пострадавшего, а также функциональный резерв и двигательную функцию.

При анализе имеющегося клинического материала установлено, что при сопоставлении результатов исследований у пострадавших нет полного соответствия между тяжестью сопутствующей патологией и ее клиническими проявлениями. У большинства пациентов со значительными сопутствующими заболеваниями клиническая картина начинала прогрессивно ухудшаться при длительном постельном режиме и замедленном функциональным восстановлением. Для того чтобы прогнозирование исхода было более точным был введен коэффициент двигательной активности.

Сохранив принцип построения известных шкал, макет

балльной шкалы оценки хирургического риска (ОХР) оперативного вмешательства была создана следующая математическая модель:

$$ОХР = X (8 - RTS \text{ (балл)} + \text{Charlson (балл)},$$

где X – переменный показатель двигательных возможностей, равный 0,5 у пациента, самостоятельно передвигающийся без ограничений, и равный 2, если пациент был прикован к постели.

И так, данная шкала позволяет характеризовать состояние больного в динамике, то есть количество баллов может меняться в процессе лечения, по мере стабилизации состояния и активизации.

Принимая во внимание оценку хирургического риска, были определены диапазоны, характеризующие тактику ведения пациентов в зависимости от 5-ти следующих классов риска: 1-й класс (1–3 балла) – низкий риск оперативного вмешательства, возможно выполнение большой ортопедической операции, например, тотальное эндопротезирование, 2-ой класс (3,1–6 баллов) – средний риск, но возможно эндопротезирование или остеосинтез, 3-ий класс (6,1–9 баллов) – высокий риск, может быть рекомендован остеосинтез PFN, 4-ый класс (9,1–12 баллов) – очень высокий риск, рекомендовано малоинвазивное и наименее травматичное вмешательство, например, остеосинтез канюлированными винтами, после стабилизации состояния и 5 класс (более 12,1 баллов) – риск максимально высокий, оперативное лечение противопоказано.

При анализе данных всех 240-ка пациентов по разработанной шкале оценки были определены классы хирургического риска. Достоверно установлено, что с повышением класса хирургического риска неуклонно возрастает процентное число осложнений и летальных исходов. Корреляционный анализ полученных данных продемонстрировал наличие статистически значимой взаимосвязи между шкалами RTS, Charlson и ОХР с риском послеоперационных осложнений и смертельных исходов (табл. 1).

Таблица 1.

Коэффициенты корреляции шкал оценки состояния пациента и наличия послеоперационных осложнений и смертельных исходов.

Шкала	Наличие осложнений		Смертельный исход	
	R*	P	R	P
RTS	-0,55	0,004	-0,64	0,001
Charlson	0,69	0,001	0,43	0,04
ОХР	0,78	0,0005	0,85	0,0001

* R - коэффициент корреляции Спирмена.

Показатели по всем шкалам оказались статистически связаны с риском осложнений и смертельных исходов ($p < 0,05$). Вместе с тем показатели по шкале RTS больше коррелировали с числом смертельных исходов ($R = -0,64$), нежели с числом осложнений ($R = -0,55$), в то время как индекс Charlson, наоборот, оказался сильнее связан с частотой осложнений ($R = 0,69$), нежели смертельных исходов ($R = 0,43$). Разработанная шкала ОХР, в свою очередь, показала более высокую по силе связь как с наличием осложнений ($R = 0,78$), так и с числом смертельных исходов ($R = 0,85$).

Далее следовал 2-й этап, в который вошли 120 аналогичных пациентов. Для определения эффективности предлагаемой шкалы оценки рисков оперативного вмешательства все наши больные были, как было указано, разделены на две группы по 60 человек обоего пола в каждой идентичных по возрасту и физиологическому состоянию.

1-ю основную группу составили пострадавшие, лечение которых было осуществлено согласно рекомендациям предлагаемой шкалы.

2-ю контрольную группу составили пациенты, которые были осуществлено лечение по принятым стандартам без учета наших рекомендаций.

Результаты исследования

Произведен сравнительный анализ эффективности применения шкалы по количеству осложнений и летальности в обеих группах пациентов.

В 1-й группе в соответствии с распределением по классу операционного риска был выбран соответствующий метод лечения (табл. 2).

Таким образом, согласно данным таблицы 2, в 1-м классе ($N = 11$), семи пациентам установлен тотальный механический эндопротез бесцементной фиксации и 4-м – проксимальный бедренный штифт. Во 2-м классе ($N = 24$), установлено 9 эндопротезов гибридной фиксации, 8 – полный цемент, 7 пациентов прооперированы проксимальным бедренным штифтом. В 3-м классе ($N = 11$) 11 пациентов синтезированны бедренным штифтом. В 4-м классе ($N = 9$) всем пациентам выполнен остеосинтез тремя канюлированными винтами и в 5-м классе ($N = 5$) всем пациентам решено отсрочить оперативное лечение или вообще отказаться от него.

Во 2-й контрольной группе пациентов применялись общепринятые стандартные методы лечения без учета наших рекомендаций (табл. 3).

Как видно из таблицы 3 распределены методы хирургического лечения в классах риска шкалы. В принципе, имеется сходная тенденция с выбором лечения и рекомендациями шкалы. Таким образом, в 1-м классе ($N = 10$) выполнено 3 эндопротезирования бесцементной фиксации, 3 – гибридной, 3 – остеосинтеза проксимальным бедренным штифтом и 1 – канюлированными винтами. Во 2-м классе ($N = 20$) 12 пациентам выполнено тотальное эндопротезирование, из них 5 – бесцементной фиксации, 2 – гибридной и 5 – на полном цементе, 7 – остеосинтез проксимальным бедренным штифтом, одному пациенту отказано в операции. В 3-м классе ($N = 16$) 6 пациентам

Таблица 2.

Распределение пациентов по оценке шкалы и выполненным операциям в 1-й группе.

Метод лечения			Эндопротезирование			Остеосинтез		Без операции
Класс Риска	Баллы	Кол-во пациентов	Тотальный протез б/ц фиксации	Тотальный протез гибридной фиксации	Тотальный протез цементной фиксации	PFN	Канюлированными винтами	
1	1-3	11	7	-	-	4	-	-
2	3,1-6	24	-	9	8	7	-	-
3	6,1-9	11	-	-	-	11	-	-
4	9,1-12	9	-	-	-	-	9	-
5	12,1 и более	5	-	-	-	-	-	5
<i>Всего больных:</i>	60	60	7	9	8	22	9	5

Таблица 3.

Распределение пациентов по оценке шкалы
и выполненным операциям во 2-й контрольной группе.

Х-ка больных		Эндопротезирование			Остеосинтез		Без операции
Класс Риска	Кол-во пациентов	Тотальный протез б/ц фиксации	Тотальный протез гибридной фиксации	Тотальный Протез цементной фиксации	PFN	Канюлированными винтами	
1	10	3	3	-	3	1	-
2	20	5	2	5	7		1
3	16	-	4	2	5	3	2
4	8	-	-	1	4	2	1
5	6	-	-	-	3	1	2
<i>Всего:</i>	60	8	9	8	22	7	6

Таблица 4.

Число осложнений и летальных исходов в 1-й и во 2-й группах.

Исход	Общее количество больных		1 группа		2 группа		P (точный тест Фишера)
	N	В %	N	В %	N	В %	
Осложнения	37	25,8	10	16,7	27	45	0,003*
Летальный исход	11	9,3	2	3,3	9	15	0,04*

* различия между группами статистически значимы.

установлены эндопротезы и в 8 случаях выполнен остеосинтез, 2-м пациентам решено отсрочить оперативное лечение. В 4-м классе (N=8) установлен 1 тотальный протез на полном цементе, 6 металлоконструкции и 1 отказ от операции. В 5-м классе (N=6) произведено 4 остеосинтеза и двоим решено отказать в хирургическом вмешательстве.

При изучении результатов явное преимущество было в 1-й основной группе (табл. 4).

При анализе усредненных значений среди обеих групп (N=120) уровень осложнений составил 20,8%(N=37), а летальность 9,3% (N=11).

В 1-й группе осложнения отмечались у 10 (16,7%) больных, а смертельные исходы у 2 (3,3%) пациентов.

Летальный исход зафиксирован у 1 больного вследствие тромбоза легочной артерии и у 1-го больно-

го на фоне полиорганной недостаточности при консервативном лечении.

Во 2-й группе количество пациентов с осложнениями в послеоперационном периоде отмечено существенно больше – у 27 (45%) больных, а летальный исход отмечен в 9 (15%) случаев.

Выводы

Таким образом, разработанный нами способ помогает объективизировать определение степени тяжести состояния возрастных пациентов с ППОБ. Создание алгоритма терапии в зависимости от балльной оценки тяжести состояния пациентов пожилого и старческого возраста с переломом проксимального отдела бедренной кости привело к снижению летальности и осложнений. Способ разработан с использованием критериев, доступных для получения в учреждениях любого уровня. Использование

разработанного способа позволяет разделить пострадавших на однородные группы с целью составления обоснованных программ дообследования и последующего лечения, а также определения сроков проведения этих мероприятий. Наибольшую значимость для практического использования имеет величина в баллах. Резюмируя вышеизложенное необходимо отметить, что анализ полученных данных позволил установить, что применение шкалы для оценки физиологического состояния и соблюдения рекомендаций шкалы хирургического риска приводит к снижению осложнений и летальных исходов в группе пациентов пожилого и старческого возраста с переломом проксимального отдела бедренной кости, что

указывает на её эффективность и пригодность для использования в практической травматологии.

Данной работой хотелось бы подчеркнуть, что не возраст, а именно физиологическое состояние определяет показания к операции. Возраст больного никак не является противопоказанием к хирургическому вмешательству, а наоборот может оказаться единственным шансом на выживание. Вместе с тем, оперативное вмешательство с учетом риска для жизни, снижает летальность, уменьшает вероятность инвалидизации, что делает данную проблему актуальной не только в медицинском, но и в социально-экономическом плане.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абельцев В.П. Десятилетний опыт эндопротезирования тазобедренного сустава при диспластическом коксартрозе / В.П. Абельцев // Вестник травматологии и ортопедии имени Н.Н. Приорова, 2002. – № 1. – С. 54–57.
2. Белова А.Н., Щепетова О.Н. Шкалы, тесты и опросники в медицинской реабилитации // Руководство для врачей и научных работников. М.: Антидор, 2002. – С. 359–374.
3. Божкова С.А. Особенности выбора антикоагулянтов для профилактики венозных тромбозов и эмболий после крупных ортопедических операций: взгляд клинического фармаколога. / Травматология и ортопедия России 2011–1(59) с. 138–143
4. Гурылева М.Э. Качество жизни больных с показаниями к эндопротезированию тазобедренного сустава / М.Э. Гурылева, А.И. Юсеф, Г.Г. Гарифуллов, А.Н. Коваленко // "Эндопротезирование в России". Всероссийский монотематический сборник научных статей, 2005. – Вып. I. – С. 138–145.
5. Демьянов В.М. Зависимость исходов переломов шейки бедренной кости от возраста больных // Ортопедия, травматология и протезирование. 1969. – № 3. – С. 7–11.(026)
6. Каграманов С.В. Среднесрочные результаты применения отечественного имплантата ЭСИ в практике первичного тотального эндопротезирования тазобедренного сустава / С.В. Каграманов, В.И. Нуждин // Вестник травматологии и ортопедии имени Н.Н. Приорова, 2004. – № 3. – С. 44–48.
7. Ключевский В.В., Белов М.В., Даниляк В.В., Гильфанов С.И. Лечение перипротезных переломов // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н.Приорова. 2005. – № 3. – С. 45–48.
8. Тихилов Р. М., Стойко Ю. М., Замятин М. Н., Божкова С. А. Профилактика тромбозоэмболических осложнений в травматологии и ортопедии. Методические рекомендации под редакцией академика РАМН Ю. Л. Шевченко. М.2006. С. 20.
9. Adunsky A, Levy R, Mizrahi E, et al. Exposure to opioid analgesia in cognitively impaired and delirious elderly hip fracture patients. Arch GerontolGeriatr. 2002;35:245–251.
10. Borgquist L, Ceder L, Thorngren KG. Function and social status 10 years after hip fracture. Prospective follow-up of 103 patients. Acta OrthopScand. 1990;61:404–410.
11. Browner WS, Li J, Mangano DT. In-hospital and long-term mortality in male veterans following noncardiac surgery. The Study of Perioperative Ischemia Research Group. JAMA. 1992;268:228–232.
12. Ceder L, Thorngren KG, Wallden B. Prognostic indicators and early home rehabilitation in elderly patients with hip fractures. Clin Orthop Relat Res. 1980;152:173–184.
13. Champion H., Copes W., Sacco W.: A new characterization of injury severity. J Trauma 30:539, 1990.
14. Cohen, A.T. Venous thromboembolism risk and prophylaxis in the acute hospital care settings (ENDORE study): a multinational cross-sectional study / A.T. Cohen [et al.] // Lancet. – 2008. – Vol.371 – P.387–394
15. Michel JP, Klopfenstein C, Hoffmeyer P, et al. Hip fracture surgery: is the pre-operative American Society of Anesthesiologists (ASA) score a predictor of functional outcome? Aging Clin Exp Res. 2002;14:389–394.
16. Sculco TP, Colwell CW Jr, Pellegrini VD Jr, Westrich GH, Bottner F. Prophylaxis against venous thromboembolic disease in patients having a total hip or knee arthroplasty. J Bone Joint Surg Am. 2002;84:466–77
17. Sexson SB, Lehner JT. Factors affecting hip fracture mortality. J Orthop Trauma. 1987;1:298–305.
18. Zuckerman JD, Skovron ML, Koval KJ, et al. Postoperative complications and mortality associated with operative delay in older patients who have a fracture of the hip. J Bone Joint Surg Am. 1995;77:1551–1556.

АРТРОСКОПИЧЕСКИЙ АРТРОДЕЗ ГОЛЕНОСТОПНОГО СУСТАВА

Мацакян Артак Мацакович
Зав. 2-м травматологическим
отделением ГКБ им. С.С. Юдина
Бутаев Бугай Гайдарович
Зав. ортопедическим
отделением ГКБ им. С.С. Юдина
Процко Виктор Геннадиевич
Доцент каф. травматологии
и ортопедии РУДН

ARTHROSCOPIC ANKLE ARTHRODESIS

A. Matsakyan
B. Bhutaev
V. Protsko

Annotation

The article is devoted to the issues of arthroscopic ankle arthrodesis. Arthrodesis of the ankle at the present level of development of clinical medicine is considered the gold standard for post-traumatic arthrosis, deforming arthrosis with osteonecrosis, and infection. Proposed modifications to the set of surgical interventions with open arthrotomy of the ankle joint. One technique involves osteotomy of the fibula. This technology is always fraught with danger edge necrosis, postoperative wounds of wound infection.

Keywords: Arthroscopic arthrodesis, ankle, deforming arthritis, low back pain, post-traumatic arthritis.

Аннотация

Статья посвящается вопросам артроскопического артродеза голеностопного сустава. Артродез голеностопного сустава на современном уровне развития клинической медицины считается золотым стандартом при посттравматическом артрозе, деформирующем артрозе при остеонекрозах и инфекции. Предложено множество модификаций оперативных вмешательств с использованием открытой артротомии голеностопного сустава. Одна из методик предусматривает остеотомию малоберцовой кости. Эта технология всегда сопряжена с опасностью краевых некрозов послеоперационной раны, развития раневой инфекции.

Ключевые слова:

Артроскопический артродез, голеностопный сустав, деформирующий артроз, остеохондроз, посттравматический артроз.

Введение

Важное медицинское и социально-экономическое значение проблемы лечения больных с дегенеративно-дистрофическими заболеваниями суставов обусловлено значительной частотой данной патологии и высокой степенью инвалидизации, в связи, с чем актуально постоянное совершенствование методов ее лечения. Деформирующий остеоартроз голеностопного сустава – заболевание, которое занимает одно из ведущих мест среди причин стойкой утраты трудоспособности и инвалидности.

Большинство исследователей расценивают эту патологию как поли-этниологический процесс, и наиболее значимыми этиологическими факторами считаются следующие: биомеханические, воспалительные, метаболические, эндокринные, ишемические [6, с. 72]. Однако наиболее частой причиной развития, деформирующего остеоартроза голеностопного сустава являются последствия острой или хронической травмы. Количество повреждений голеностопного сустава, по данным отечественной и зарубежной литературы, составляют от 6 до 12% повреждений опорно-двигательного аппарата.

Повреждения голеностопного сустава с нарушением конгруэнтности суставных поверхностей – перелом лодыжек с разрывом дистального межберцового синдесмоза, отрыв больших фрагментов переднего и заднего края большеберцовой кости, разрушении дистального эпифиза большеберцовой кости, занимают ведущее место в данной группе по тяжести повреждений. При такой травме неудовлетворительные исходы лечения, с развитием деформирующего артроза, по данным литературы достигают 25%.

Деформирующий артроз голеностопного сустава до настоящего времени является одним из наиболее трудно поддающихся лечению заболеванием, поражающим опорно-двигательный аппарат.

При этом внутрисуставные изменения служат отправной точкой в механизме развития взаимосвязанных анатомических и функциональных нарушений изначально на уровне голеностопного сустава, а затем и вышележащих структурах конечностей, таза и позвоночника [1, с. 65].

Лечение и реабилитация больных с деформирующим артрозом голеностопного сустава до настоящего време-

ни представляет определенные сложности. Традиционно применяемые консервативные методы лечения, включая в себя медикаментозную терапию, физиотерапевтическое лечение, кинезотерапию, различные реабилитационные мероприятия, направленные на замедление или прекращение прогрессирования дегенеративных изменений в хряще и субхондральной кости, уменьшение боли и воспаления, улучшение функции сустава. Однако весь арсенал консервативных мероприятий позволяет приостановить прогрессирование деформирующего артроза и субъективно улучшить состояние больного лишь на некоторое, порой весьма непродолжительное, время.

Лечение, предпринятое без учета характера и выраженности патологического процесса существенно не влияет на улучшение качества жизни больных с деформирующим артрозом голеностопного сустава.

Среди современных технологий, позволяющих на качественно новом уровне подойти к проблеме диагностики и лечения патологии голеностопного сустава, особый интерес представляет артроскопия, позволяющая не только провести точную диагностику и дать детальную характеристику дегенеративно-дистрофическим изменениям, затронувших голеностопный сустав, но и провести комплекс лечебных мероприятий, позволяющих нормализовать внутрисуставную среду.

В то же время, артроскопия голеностопного сустава до сих пор не получила широкого распространения.

Таким образом, несмотря на распространенность деформирующего артроза голеностопного сустава, до настоящего времени не выработано четкой стратегии лечения, на используются в полной мере возможности современной медицины в отношении малоинвазивных технологий. В связи с этим весьма актуальной представляется разработка системы лечебно-диагностических и реабилитационных мероприятий при остеоартрозах голеностопного сустава, основанной на комплексном подходе с учетом этиологии, стадий патологического процесса, степени поражения внутрисуставных структур, использовании возможностей артроскопии, поэтапном контроле за восстановлением функции сустава, позволяющей добиться улучшения качества жизни пациентов [8, с. 450].

Методы исследования. Из находившихся под наблюдением 32 больных было 18 мужчин и 14 женщин. Возраст больных колебался от 16 до 64 лет. Большинство пациентов (71,8%) находилось в возрасте от 21 до 60 лет (трудоспособный возраст).

У семерых пациентов профессиональная деятельность была связана с физическими нагрузками.

В работе использованы следующие методы исследо-

вания: клинический, рентгенологический (включая компьютерную томографию), магнитно-резонансная томография, артроскопический.

В исследуемой группе пациентов в большинстве случаев (71,9%) деформирующий артроз развился вследствие полученной травмы.

По результатам проведенного исследования определяли стадию деформирующего артроза. В наблюдаемых группах преобладали II (37,5%) и III (50%) стадии.

Для оценки функции голеностопного сустава была использована модифицированная шкала, разработанная Д.Д. Черкес-Заде с соавт., (1999г). Шкала включает 10 позиций, что позволяет дать объективную оценку биомеханических параметров, характеризующих функциональные возможности голеностопного сустава. Изучались такие показатели, как болевой синдром и наличие параартикулярного отека, двигательная активность, максимальная прогулочная дистанция, ходьба по поверхности, нарушение походки, амплитуда тыльного и подошвенного сгибания, инверсия и эверсия, стабильность сустава, прилегание стопы к поверхности при ходьбе, наличие признаков деформирующего артроза на рентгенограммах. Данные функционального исследования голеностопных суставов выражались в баллах по пятибалльной шкале. Каждая группа включает в себя от трех до пяти показателей, соответствующих системе оценок.

Согласно данной шкале, при общей сумме 45–50 баллов функция признавалась отличной, от 34 до 44 – хорошей. От 31 до 38 – удовлетворительной, ниже 30 баллов – неудовлетворительной [4, с. 72].

В зависимости от стадии заболевания и степени функциональных нарушений была избрана различная лечебная тактика, в соответствии с чем пациенты были распределены по трем группам (табл. 1).

При I–II стадии заболевания мы стремились восстановить функцию сустава или существенно улучшить ее: при III стадии заболевания выполняли операцию артродезирования.

Все операции выполняли с использованием артроскопических методик. При выполнении артроскопии применяли антеромедиальный, антеролатеральный и постериолатеральный доступы. Использование данных доступов позволило нам во всех случаях добиться достаточной визуализации и выполнить все необходимые манипуляции в рамках поставленных задач.

Показанием к операции явилось: болевой синдром (все пациенты в исследуемой группе неоднократно проходили курсы консервативного лечения без эффекта),

Таблица 1.

Распределение пациентов по группам. [2, с. 21]

Группа	Стадия заболевания	Метод хирургического лечения	Средняя оценка в группе до операции
1 группа n=10	I-II стадия	Санационная артроскопия	31,7 баллов ("удовлетворительно")
2 группа n=6	I-II стадия с передним импинджмент синдромом	Санационная артроскопия + Резекция остеофита	32,4 баллов ("удовлетворительно")
3 группа n=16	III стадия	Артроскопический артродез	18,3 баллов ("неудовлетворительно")

ограничение двигательной активности. Средний балльный показатель в этой группе составил 31,7, что находится в диапазоне "удовлетворительно". При рентгенологическом обследовании в данной группе пациентов выявлен деформирующий артроз I – II стадии, позволяло надеяться на улучшение или восстановление функции голеностопного сустава [5, с. 125].

При выполнении санационной артроскопии мы применяли методы мануальной и петлевой деструкции.

В ходе санационной артроскопии выполняли коррекцию суставных поверхностей, удаление хондромных тел, иссечение и удаление спаек и гипертрофированной синовиальной оболочки, тунеллизацию дефектов хрящевого покрова. Проведение этих мероприятий позволило улучшить состояние внутрисуставной среды голеностопного сустава.

В дальнейшем пациентам проводили курс реабилитационного лечения. Внешнюю иммобилизацию не применяли, пассивные движения в суставе разрешали на 2–е сутки после операции, активные на 7 сутки, полную нагрузку при наличии хондропатии 1–2 степеней через 2 недели после операции, при наличии хондропатии 3–4 степеней и выполненной тонеллизации – через 5 недель с момента операции [3, с. 181].

С целью дальнейшей коррекции синовиальной среды сустава в послеоперационном периоде внутрисуставно вводили препараты гиалоурановую кислоты (остенил, ферматрон, дьюралан) по рекомендованной схеме.

Оценка результатов функции голеностопного сустава у пациентов 1–ой группы показала, что уже через 8 недель после операции средний показатель улучшился в 1,3 раза, перейдя в диапазон "хорошо", а через 6 месяцев – в 1,46 раза перейдя в диапазон "отлично".

Лечение пациентов третьей стадии (артроскопический артродез).

В эту группу вошло 16 пациентов с III стадией дефор-

мирующего артроза голеностопного сустава. Показанием к операции явилось: выраженный болевой синдром со значительным нарушением функции (средний показатель в группе по балльной шкале функциональной оценкой 27,4), резкое ограничение активности (все больные в этой группе передвигались с помощью костылей или на инвалидном кресле), резкое ограничение амплитуды движений в голеностопном суставе, рентгенологические признаки деформирующего артроза III стадии.

Этим больным мы выполнили артродез голеностопного сустава артроскопическим методом.

Артроскопический артродез голеностопного сустава выполняли с использованием стандартных артроскопических инструментов и техники, операция состояла из трех этапов:

1. Удаление всего гиалинового хряща и аваскуляризированной субхондральной кости.
2. Установка стопы в нейтральную позицию.
3. Трансмаллеолярная фиксация двумя (иногда тремя) трамемаллеолярными винтами.

Дистракцию осуществляли с помощью инвазивных приспособлений вследствие выраженной ригидности голеностопного сустава при III стадии заболевания. Дистрактор накладывали по латеральной поверхности. Далее выполняли артроскопию с ревизией и дебридментом полости сустава.

После обработки суставных поверхностей до появления кровотока на протяжении всех соприкасающихся поверхностей, проводили две направляющие спицы для последующего введения канюлированных 7 мм винтов чрезкожно в тело таранной кости одна через метафизарную область малоберцовой кости, другая через метафизарную зону берцовой кости [7, с. 57].

Далее определяли длину винтов и под контролем ЭОП вводили их по спице, обеспечивая компрессию и некоторое медиальное смещение. Раны зашивали синтетическим материалом, накладывали асептическую повязку, заднюю лонгету с мягкой подложкой или ортез.

Иммобилизацию продолжали до 8 недель. Этапный рентгенконтроль проводили через 4 недели. Если имелись рентгенологические признаки формирующегося анкилоза – разрешали дозированную нагрузку на конечность в ортезе или повязке. Нагрузку увеличивали поэтапно до полной к 8-ой неделе наблюдения, после этого проводили следующий рентгенконтроль. При наличии признаков сформированного анкилоза иммобилизацию прекращали и переводили пациента на ходьбу без дополнительной опоры. Всем пациентам рекомендовали стандартный курс ЛФК, направленный на предотвращение гипотрофии мышц нижней конечности.

У всех пациентов состоялся анкилоз в средние сроки 8,5 недель с восстановлением опористости конечности, что значительно лучше, чем при выполнении артрореза традиционными "открытыми" методами.

Пациенты, которым был выполнен артрорез, до операции имели выраженное нарушение функции голеностопного сустава, а после операции эта функция отсутствовала. Поэтому в данной группе мы применяли объективную оценку состоятельности анкилоза по данным рентгенологического обследования. Кроме того, мы оценивали такие параметры как походка, состояние мягких тканей области голеностопного сустава, наличие отека и его связь с физической нагрузкой, двигательная активность, необходимость использования опоры при ходьбе, необходимость использования ортопедической обуви, максимальная прогулочная дистанция. Каждый из показателей оценивали по пятибалльной шкале.

В соответствии с полученными баллами определяли результат лечения как "неудовлетворительный", "удовлетворительный", "хороший" и "отличный".

Средние показатели результатов у пациентов с III стадией показали, что у всех пациентов был достигнут "отличный" (81.3%) или "хороший" (18.7%) результат.

Выводы

1. Наиболее частой причиной развития деформирующего артроза голеностопного сустава является механическая травма в сочетании с нерациональной лечебной тактикой в остром периоде и неполноценной реабилитацией.

2. Артроскопия голеностопного сустава позволяет полноценно и не травматично выполнить широкий спектр воздействий – от ревизии и санации до артрорезирования, причем пребывание этих пациентов в стационаре сводится к минимуму (в среднем 2,6 дня).

3. Санационная артроскопия, проводимая при деформирующем артрозе голеностопного сустава I–II стадий, позволила добиться 90% отличных и хороших результатов с полным восстановлением трудоспособности у всех пациентов.

4. При переднем импиджмент синдроме голеностопного сустава артроскопическая коррекция является методом выбора и позволяет добиться отличных и хороших результатов при I и II стадиях остеоартроза.

5. При деформирующем артрозе голеностопного сустава III стадии показано артрорезирование. Использование артроскопических методик артрорезирования позволяет добиться у всех пациентов костного анкилоза в сроки до 8,5 недель.

6. Сочетание артроскопии с внутрисуставным введением препаратов гиалуроновой кислоты и ранней реабилитацией позволяет добиться отличных и хороших результатов в 93,8% наблюдений и существенно повысить качество жизни у всех пациентов.

ЛИТЕРАТУРА

- Архипов С.В., Лычагин А.В., Современные аспекты лечения посттравматического деформирующего артроза голеностопного сустава // Вестник травматологии и ортопедии. 2000. №4. С. 64–67.
- Архипов С.В., Лычагин А.В. Лечение деформирующего артроза голеностопного сустава артроскопическим методом. // Минимально-инвазивные и эндоскопические технологии в травматологии и ортопедии–Ялта. 2002. С. 21.
- Архипов С.В., Лычагин А.В., Артрорезирование голеностопного сустава артроскопическим методом. // Научно-практическая конференция Человек и его здоровье. Санкт-Петербург 2003. С. 181.
- Архипов С.В., Лычагин А.В., Малоинвазивный метод артрорезирования голеностопного сустава. // Научно-практическая конференция Новые технологии в лечении и реабилитации больных с патологией суставов–Курган, 2004. С. 72.
- Кавалерский Г.М., Архипов С.В., Дрогни А.Р., Лычагин А.В., Артрорезирование голеностопного сустава артроскопическим методом // Научно-практическая конференция с международным участием Новые подходы в диагностике и лечении травм и заболеваний тазобедренного и коленного суставов. Киев, 2004. С. 125.
- Кавалерский Г.М., Архипов С.В., Дрогни А.Р., Лычагин А.В., Малотравматичный метод артрорезирования голеностопного сустава // Пироговская студенческая научная конференция. Вестник РГМУ. 2005. № 3. С. 42.
- Лычагин А.В., Архипов С.В. Лечение переднего импиджмент синдрома голеностопного сустава артроскопическим методом // Скорая медицинская помощь конгресс Российского артроскопического общества. Санкт-Петербург. 2003. С. 57.
- Мусалатов Х.А., Архипов С.В., Лычагин А.В., Хирургическое лечение дегенеративно-дистрофических заболеваний голеностопного сустава артроскопическим методом. // Съезд травматологов-ортопедов России. Новосибирск, 2002. С. 450.

КАЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА АДАПТАЦИОННЫХ РЕЗЕРВОВ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ РЕГУЛЯТОРНЫХ ПАТТЕРНОВ ЭТАЛОННОГО КАРДИОЦИКЛА ОДНОКАНАЛЬНОЙ ЭКГ

A QUALITATIVE EVALUATION
OF ADAPTATION RESERVES
OF CARDIOVASCULAR BODY'S SYSTEM
BASED ON REGULATORY PATTERNS
SAMPLE SINGLE-CHANNEL ECG
CARDIAC CYCLE

*E. Minina
L. Fainzilberg
K. Orihovskaya*

Annotation

Level of adaptable resources of cardiovascular system of young men of different ages has been first examined and regulatory patterns during physical exercises (20 squatting within 20 seconds) have been determined. A diagnostic system FASEGRAPH[®] was used with an original technology to handle electrocardiogram (ECG) data at a phase plane and determine standard (reference) cardiac cycle. Different level of adaptable resources mainly related to regulatory patterns with information about temporary characteristics (intervals Δ_P , Δ_T , Δ_{QRS}) and it was more obvious among the older groups of people that shows how important the process of development of different parts of nervous system is. Regulatory patterns enabled to reveal peculiarities of phase dynamic systematic "learning" in the process of a long-term adaptation.

Keywords: regulatory pattern, sample cardiac cycle, FASEGRAPH[®], adaptable resources.

Минина Е.Н.

*К.биол.н., доцент, ФГАОУ ВО
Крымский Федеральный университет
им. В.И. Вернадского, Таврическая академия,
Симферополь, Республика Крым
Файнзилберг Л.С.*

*Д.т.н., гл.н.с., Международный научно-
учебный центр информационных технологий и
систем НАН и МОН Украины, Киев, Украина
Ориховская К.Б.*

*Мл.н.с., аспирант, Международный научно-
учебный центр информационных технологий и
систем НАН и МОН Украины, Киев, Украина*

Аннотация

Впервые проведено исследование юношей разных возрастных групп и уровня адаптационных резервов сердечно-сосудистой системы с определением регуляторных паттернов при проведении нагрузочного тестирования с 20 приседаниями за 30 секунд. Исследования проводились с использованием диагностического комплекса ФАЗАГРАФ[®], реализующего оригинальную информационную технологию обработки ЭКГ на фазовой плоскости и определение эталонного кардиоцикла. Отличия для лиц с разным уровнем адаптационных резервов главным образом относились к регуляторным паттернам, несущим информацию о временных характеристиках (интервалах Δ_P , Δ_T , Δ_{QRS}), причем более выражены такие отличия наблюдались в старшей возрастной группе, что указывало на значимость процесса созревания управляющих структур различных отделов нервной системы. Регуляторные паттерны позволили выявить особенности стадийного функционального системного "обучения" в процессе долговременной адаптации.

Ключевые слова:

Регуляторный паттерн, эталонный кардиоцикл, ФАЗАГРАФ[®], адаптационные резервы.

Введение

Важная роль в функциональной диагностике принадлежит информации, получаемой с помощью проб и тестов, позволяющих интегрально оценивать функциональное состояние организма, его физическую и спортивную подготовленность. Такие тесты должны обеспечивать не только информативность, но и быть достаточно простыми и удобными для оперативного получения результата, в

том числе, в полевых условиях.

Однако традиционная интерпретация результатов популярных одномоментных проб с малой нагрузкой, например, пробы с 20 приседаниями, не обеспечивает требуемую достоверность при определении тренированности и раннего распознавания функциональных изменений аппарата кровообращения, как у спортсменов, так и у относительно здоровых людей. Даже при отсутствии доста-

точной тренированности общепринятые количественные показатели результатов такой пробы часто бывают вполне удовлетворительными [1, 2].

Необходимо также отметить, что при оценке только пульсовой реакции на физическую нагрузку и в восстановительном периоде, нельзя определённо знать, отражает ли она функциональное состояние самого исполнительного органа (сердца) или же связана с особенностями вегетативной регуляции сердечной деятельности. При этом изменения работы той или иной висцеральной системы, связанные с возмущающими воздействиями на организм, в значительной мере определяются регуляторными нейрогуморальными влияниями.

В то же время привлечение инновационных информационных технологий, реализующих новые подходы к интерпретации реакций организма и специфические методы представления такой информации, могут даже при малой и краткосрочной физической нагрузке обеспечить построение моделей для изучения переходных процессов и давать важные дополнительные сведения о процессах, характеризующих динамику изучаемых показателей при их изменении от величин покоя или нагрузки, до величин, регистрируемых при наступлении устойчивого состояния. Дело в том, что при физической нагрузке работа управляющих параметров изменяет свой режим: гомеостатическое регулирование сменяется гетеростатическим режимом регуляции системы кровообращения. Такая "двухпозиционная" [3] система регулирования обеспечивает необходимое кровоснабжение тканей при мышечной работе. При гетеростатическом регулировании механизмы поддержания гомеостаза, как известно, оказываются заторможенными. В этом режиме работа сердца находится под контролем сложной нейрорегуляторной системы и механизмов саморегуляции, отражающих эффективность управления сердечно-сосудистой системы и её резервов.

С другой стороны, известно, что изменение частоты сердечных сокращений (ЧСС) как в покое, так и при нагрузке влияет на динамику фаз сердечного цикла, отражающих процессы электрогенеза, причем продолжительности отдельных фаз могут по-разному реагировать на изменения ЧСС. Поэтому анализ изменений продолжительностей отдельных фаз сердечного цикла несет важную информацию об ухудшении качества регуляции сердечных сокращений, а в некоторых случаях и о нарушении функционального состояния миокарда.

Так, например, формализована прямая зависимость механической систолы и фазы изгнания с ЧСС. Известно также более 30 формул, которые описывают взаимосвязь между длительностью интервала Q-T и ЧСС линейной, экспоненциальной, или логарифмической зависимостями [4].

В диапазоне ЧСС от 60 до 90 уд/мин. большинство формул обеспечивают сопоставимые результаты коррекции и являются взаимозаменяемыми. Напротив, количественная оценка фаз, слабо связанных с ЧСС, например, фазы асинхронного сокращения, не полностью может отражать кардиодинамические сдвиги и механизмы, их обеспечивающие при изменении ЧСС.

Следует напомнить, что ещё в 1966 году В. Л. Карпман отмечал ряд расхождений в результатах количественного анализа кардиодинамики на основе универсальных зависимостей между длительностями электрической систолы и сердечного цикла при брадикардии, нормальном ритме и тахикардии, если не учитывать механизмы их происхождения. Сочетание хроно- и инотропных влияний на сердце, а также механизмов его саморегуляции могут формировать различные комбинации, обеспечивающие положительный приспособительный эффект насосной функции сердца.

Поэтому количественную оценку кардиодинамики полезно дополнить качественным анализом индивидуальных особенностей динамики изменения показателей, характеризующих сердечную деятельность в процессе выполнения функциональных проб [5].

Следует заметить, что качественный анализ функционирования сердечно-сосудистой системы имеет давнюю историю. С.П. Летуновым (1937) предложен алгоритм определения типов реакций организма, основанный на оценке сдвигов частоты сердечных сокращений и артериального давления, а также скорости их восстановления после нагрузки. Такой подход с выделением пяти типов реакций был использован и в дальнейших исследованиях [6]. Отталкиваясь от этих подходов можно полагать, что качественный анализ индивидуальных особенностей динамики изменения показателей ЭКГ можно свести к анализу регуляторных паттернов (РП), построенных для конкретного пациента при выполнении дозированной физической нагрузки. В этом плане "обучение" системы к формированию функциональных синергий в процессе долговременной адаптации будет порождать тот или иной характерный тип РП, который отражает эффективность функционирования системы кровообращения конкретного человека.

Цель статьи – физиологическое обоснование информативности РП эталонного цикла одноканальной ЭКГ при оценке адаптационного потенциала организма.

Материалы и методы

Исследования проводились с использованием диагностического комплекса ФАЗАГРАФ®, реализующего оригинальную информационную технологию обработки ЭКГ на фазовой плоскости [7, 8]. Комплекс обеспечива-

ет регистрацию сигнала первого стандартного отведения с помощью сенсора с пальцевыми электродами и позволяет автоматически определить $N=32$ показателей ЭКГ и вариабельности сердечного ритма. Показатели определялись в три момента времени: состояние покоя $x_i^{(1)}$, сразу после физической нагрузки (20 глубоких приседаний за 30 с) $x_i^{(2)}$ и после 3-х минутного отдыха $x_i^{(3)}$, $i=1, \dots, N$ (рис. 1).

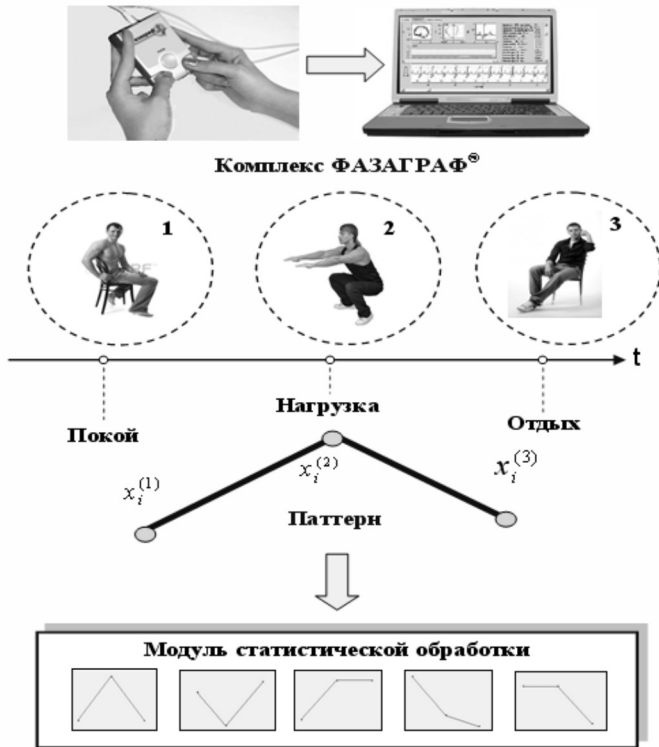


Рисунок 1. Схема выполнения исследований.

На основании измеренных значений

$$x_i^{(1)}, x_i^{(2)}, x_i^{(3)}$$

для каждого тестируемого определялся класс регуляторного паттерна, характеризующего динамику изменения i -го показателя под нагрузкой и в период реституции. Классы паттернов автоматически определялись последовательной проверкой логических условий [5]

класс 1 "Максимум", если

$$(E_i^{(2)} - E_i^{(1)}) > h_i \wedge (x_i^{(2)} - x_i^{(3)}) > h_i, \quad (1)$$

класс 2 "Минимум", если

$$(E_i^{(1)} - E_i^{(2)}) > h_i \wedge (x_i^{(3)} - x_i^{(2)}) > h_i, \quad (2)$$

класс 3 "Возрастание", если

$$(E_i^{(2)} - E_i^{(1)}) > h_i \vee (x_i^{(3)} - x_i^{(2)}) > h_i \vee (x_i^{(3)} - x_i^{(1)}) > h_i, \quad (3)$$

класс 4 "Убывание", если

$$(E_i^{(1)} - E_i^{(2)}) > h_i \vee (x_i^{(2)} - x_i^{(3)}) > h_i \vee (x_i^{(1)} - x_i^{(3)}) > h_i, \quad (4)$$

класс 5 "Постоянная", если соотношения (1)–(4) не выполняются, (5)

где h_i – пороговая величина (настраиваемый параметр алгоритма).

Условия (1)–(5) позволяют однозначно определить принадлежность паттерна определенному классу (рис. 2).

Паттерны "Максимум" и "Минимум" характеризуют ситуацию, в которой значение показателя сразу после физической нагрузки возросло (снизилось), а в период реституции более или менее вернулось к значению в состоянии покоя. Такие паттерны физиологичны для адекватной реакции организма на нагрузку и отдых после неё.

Паттерны "Возрастание" и "Убывание" описывают показатели, значение которых после отдыха является большим (меньшим) его значения в состоянии покоя, т.е. характеризуют динамику на возрастание (уменьшение) значения в ходе исследования.

И, наконец, паттерн "Постоянная" описывает отсутствие видимой динамики в значениях показателей независимо от нагрузки.

Три последних класса регуляторных паттернов являются атипичными для реакции организма на нагрузку и отдых после неё.

Было обследовано 110 условно-здоровых лиц 18 – 25 лет с различным уровнем функциональных резервов. Из них 35 спортсменов (футбол, бокс, лёгкая атлетика со стажем занятий не менее 4-х лет) и 75 человек, которые не занимаются спортом.

Исследования проводили в двух возрастных группах:

- ◆ группа 1 – возраст 18–21 год;
- ◆ группа 2 – возраст 22–25 лет.

Протокол исследований соответствовал стандартам надлежащей клинической практики (GCP), принципами Хельсинской Декларации и Этическими комитетами всех участвующих организаций. До включения в исследование у всех участников было получено письменное согласие.

Протокол исследований соответствовал стандартам надлежащей клинической практики (GCP), принципами Хельсинской Декларации и Этическими комитетами всех участвующих организаций. До включения в исследование у всех участников было получено письменное согласие.

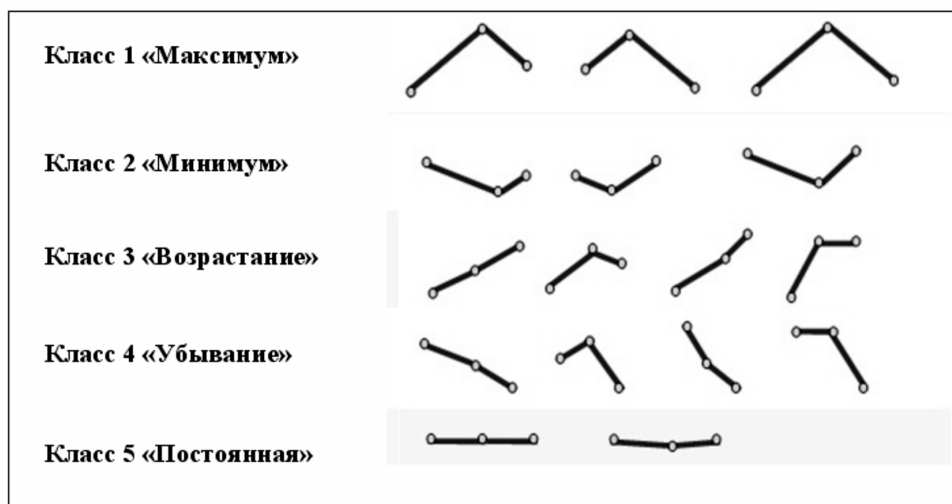


Рисунок 2. Варианты формы классов регуляторных паттернов.

В качестве показателей ЭКГ ФАЗАГРАФ® автоматически вычислял традиционные амплитудно–временные параметры эталонного цикла, в том числе: ЧСС (уд./мин.), амплитуды A_P, A_R, A_T (мВ) зубцов P, R, T , продолжительности $\Delta_Q, \Delta_P, \Delta_T, \Delta_R$ (мс) зубцов Q, P, T , продолжительности $\Delta_{PQ}, \Delta_{QT}, \Delta_{QRS}$ (мс) интервалов PQ, QT, QRS .

Кроме того определялся оригинальный диагностический признак β_T (ед.), который характеризует показатель симметрии зубца T усредненной фазовой траектории, и его среднеквадратическое отклонение СКО β_T (ед.). Вычислялись также показатели S_{PR} и S_{TR} (ед.), характеризующие отношения площадей зубцов P к T и T к R соответственно.

Интервал QT_c автоматически рассчитывался по формуле Базетта. Дисперсию интервала $QT\delta_{QT}$, определяли как разницу между максимальным и минимальным значениями длительности интервала QT в 12 стандартных отведениях ЭКГ, полученные с использованием компьютерного ЭКГ–комплекса "Cardiolife" (Харьков).

ФАЗАГРАФ® определял также стандартные статистические и спектральные показатели variability сердечного ритма (BCP), в том числе: $SDNN$ (мс) – среднеквадратическое отклонение продолжительностей нормальных RR –интервалов; $MxDMn$ (мс) – разность между максимальным и минимальным значениями нормальных RR –интервалов; ИИ (ед.) – индекс Баевского (индекс напряжения регуляторных систем); HF (%) – спектр мощности ритмограммы в диапазоне высоких частот (более 15 Гц); LF (%) – спектр мощности ритмограммы в диапазоне низких частот (0,4 - 15 Гц); LF/HR (ед.) – коэффициент вагосимпатического баланса.

Статистическую обработку полученных результатов проводили с помощью программного пакета STATISTICA 6.0 (StatSoft, Inc., USA). Оценки расхождения распределений признаков проводились с помощью критерия согласия Колмогорова–Смирнова. Для оценки достоверности различий между одноименными показателями у исследуемых при различных условиях использовали непараметрический T –критерий Wilcoxon. Достоверность различий между одноименными показателями в независимых выборках (группа 1 и группа 2) оценивали с помощью непараметрического U –критерия Mann–Whitney. При условии нормального распределения применяли параметрический t –критерий Стьюдента.

С помощью дополнительного программного модуля статистической обработки (рис.1) оценивались частоты появления регуляторных паттернов каждого типа в группах. Оценка достоверности отличий этих частот проводилась по стандартной методике вычисления доверительных интервалов при заданной надежности вывода [9].

Результаты и их обсуждение

При проведении количественного анализа особенностей адапционных реакций кардиогемодинамики были выявлены общеизвестные перестройки в процессе долговременной адаптации в тренированном организме. Как видно из табл. 1 интегральный показатель кардиогемодинамической регуляции ЧСС у лиц с различными адапционными резервами сердечно–сосудистой системы был достоверно различен как в покое, после нагрузки, так и в восстановительном периоде.

При этом долговременная адаптация спортсменов и

Таблица 1.

Показатели эффективности регуляции кардиогемодинамики исследованных разного возраста с различным уровнем адаптационных резервов при различных условиях.

В	Показатели	Г	Условия			Достоверность		
			Покой (1)	Нагрузка (2)	Восстановление (3)	1-2	1-3	2-3
1	ЧСС, уд/мин	н	75,8±1,6	94,1±2,6	81,0±2,1	< 0,001	< 0,001	< 0,05
		с	70,2±1,6**	78,1±3,0***	73,0±2,7**	-	-	-
	ИН, усл. ед.	н	71,17±10,4	95,8±21,8	149,2±32,8	-	< 0,05	-
		с	42,6±7,8*	39,5±13,2*	76,1±17,6*	-	-	-
	LF/HF, ед.	н	2,1±0,2	1,25±0,19	1,87±0,20	< 0,01	-	< 0,05
		с	1,5±0,3	1,05±0,25	1,28±0,18*	-	-	-
2	ЧСС, уд/мин	н	73,3±1,6	92,4±3,0	81,3±2,4	< 0,001	< 0,01	< 0,01
		с	67,4±2,2*	81,3±2,9**	70,1±2,8**	< 0,001	-	-
	ИН, усл. ед.	н	58,1±5,8	95,3±16,0	145,7±21,5	< 0,05	< 0,001	-
		с	49,1±9,8	37,6±9,9**	55,4±9,0***	-	-	-
	LF/HF, ед.	н	1,8±0,2	1,38±0,21	1,82±0,46	-	-	-
		с	1,8±0,4	1,32±0,32	1,71±0,86	-	-	-

Примечание: н - группа не спортсменов; с - группа спортсменов; различие достоверно между показателями в разных группах на уровне

* - $p < 0,05$; ** - $p < 0,01$; *** - $p < 0,001$; В - возрастная группа; Г - группа в зависимости от уровня адаптационных резервов: н - не спортсмены, с - спортсмены.

первой и второй группы проявлялась урежением ЧСС на фоне снижения централизации управления. При анализе спектральных характеристик вариабельности сердечного ритма (табл. 1) доминирование высокочастотного вклада в регуляторные механизмы в восстановительном периоде у спортсменов 1 группы по показателю вагосимпатического баланса, сниженного на 32,6 % $< 0,05$ относительно показателей не спортсменов, свидетельствовало об их трофотропной и саморегуляционной направленности.

Сочетание механизмов автономной и центральной регуляции определяют степень оптимальности, как функционирования, так и управления процессами приспособления. Было выявлено, что у спортсменов при не различающихся показателях ЧСС, ИН и вагосимпатического баланса в покое, после физической нагрузки и в восстановительном периоде существуют различия в степени напряжения механизмов регуляции по снижению значения показателя ИН в среднем на 25,5 % $< 0,05$ в группе 2, в которую вошли спортсмены 21-25 лет. При этом как в группе 1, так и в группе 2 у спортсменов ИН оставался стабильным, а в обеих возрастных группах не спортсменов был выявлен рост этого показателя в восстановительном периоде в два раза $< 0,05$ в первой группе и в 2,5 раза $< 0,001$ во второй группе. Очевидно, что различия регуляции ЧСС в процессе краткосрочной адаптации в группах юношей с учётом возрастных особенностей и уровня адаптационных резервов соотносилась с динамикой распространения электрического импульса в миокарде. Количественные различия показателей однокамерной ЭКГ изображены на рис.3 и рис.4.

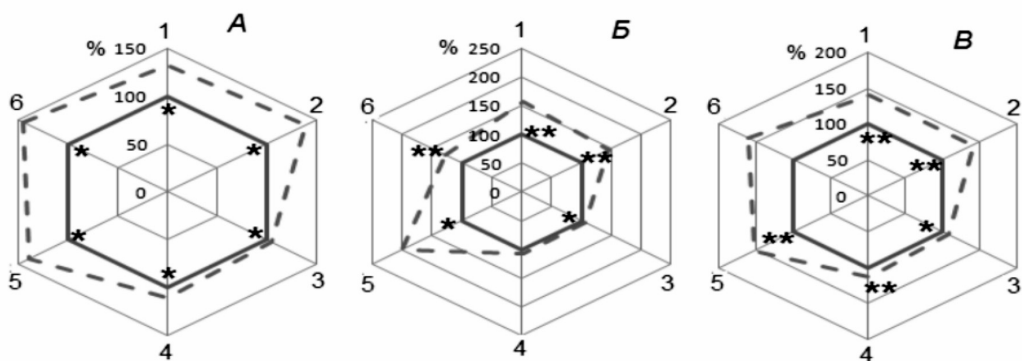
Во второй возрастной группе у спортсменов были выявлены увеличенные значения продолжительности зубца Р, амплитуды Т на фоне укорочения R и интервала QRS.

При сравнении показателей, исследованных с различным уровнем адаптационных резервов соотношение площадей зубцов T/R и P/R, были значительно выше в группе спортсменов, что вероятно характеризовало особенности электрогенеза и саморегуляции спортивного сердца.

Количественную оценку адаптационных особенностей исследованных, которая подтверждает ранее полученные многочисленные результаты, возможно дополнить новыми информативными данными на основе качественного анализа системной реакции по РП, которые подтвердили достоверные отличия вероятностей их появления характерных РП в группах (табл. 2 и табл. 3).

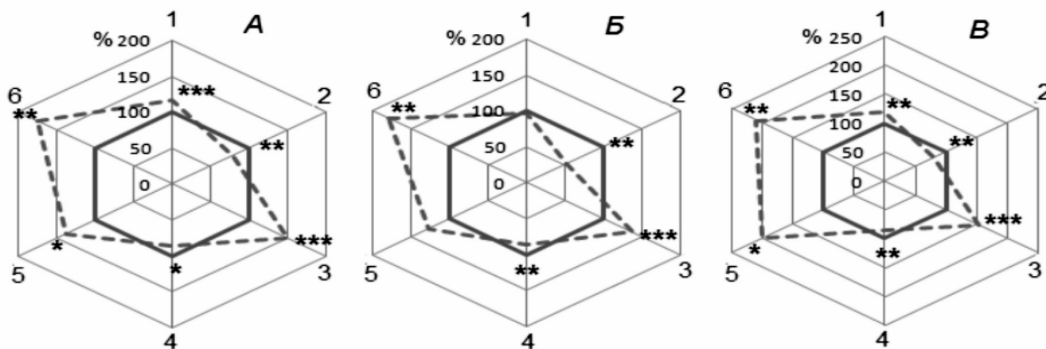
Такие отличия для лиц с разным уровнем адаптационных резервов главным образом относились к РП, несущих информацию о временных характеристиках (интервалах Δ_P , Δ_T , Δ_{QRS}), причем более выражены такие отличия наблюдались в старшей возрастной группе, что указывало на значимость процесса созревания управляющих структур различных отделов нервной системы.

Этот процесс завершается к возрасту 20-21 года, что играет важную роль в оптимизации приспособительного ответа и поэтому явилось критерием разделения контингента обследованных на возрастные группы.



Примечание: сплошная линия - не спортсмены, пунктирная - спортсмены
 А - покой, Б - физическая нагрузка, В - восстановление;
 1 - ΔAP ; 2 - ΔAT ; 3 - ΔQT ; 4 - ΔPQ ; 5 - ΔS_{PR} ; 6 - ΔS_{TR} ;
 Различия достоверны на уровне * - $p < 0,05$; ** - $p < 0,01$; *** - $p < 0,001$.

Рисунок 3. Профили различий средних значений показателей ЭКГ в Группе 1.



Примечание: сплошная линия - не спортсмены, пунктирная - спортсмены
 А - покой, Б - физическая нагрузка, В - восстановление;
 1 - ΔP ; 2 - ΔT ; 3 - ΔAT ; 4 - ΔQRS ; 5 - ΔS_{PR} ; 6 - ΔS_{TR} ;
 Различия достоверны на уровне * - $p < 0,05$; ** - $p < 0,01$; *** - $p < 0,001$.

Рисунок 4. Профили различий средних значений показателей ЭКГ в Группе 2.

Другими словами, использование временного ресурса в механизмах адаптационных перестроек являлось резервом приспособления к изменяющимся условиям внешней среды. Так, в обеих возрастных группах при выполнении нагрузки на фоне отсутствия достоверного изменения ЧСС наблюдались достоверные различия вероятностей появления регуляторных паттернов у спортсменов и не спортсменов, характеризующих время прохождения возбуждения по предсердиям и атриовентрикулярному соединению (укорочение продолжительности зубца *P* и сегмента *PQ*).

Как известно, вагусные и симпатические влияния модулируют электрофизиологические характеристики

предсердных клеток (длительность потенциала действия, рефрактерность и скорость проводимости), а стимуляция парасимпатической нервной системы способствует сокращению продолжительности потенциала действия (и эффективного рефрактерного периода) в миоцитах предсердий и легочных вен. На фоне стимуляции симпатической нервной системы отмечаются увеличение внутриклеточной концентрации ионов кальция и повышение автоматизма кардиомиоцитов.

При таком значительном влиянии ВНС, ее влияние на функционирование миокарда можно косвенно оценивать по данным ВСП. Однако механизмы саморегуляции сердечной мышцы в виде взаимодействующих нейронов,

Таблица 2.

Достоверные отличия ($p < 0,05$) распределений паттернов в группах лиц 1995 - 1997 г.р.















Показатель	Тип паттерна	Оценка вероятности	
		Спортсмены (n=19)	Не спортсмены (n=35)
Δ_p	«Убывание» 	$0,5 \pm 0,12$	$0,214 \pm 0,07$
Δ_T	«Минимум» 	$0,737 \pm 0,1$	$0,457 \pm 0,08$
	«Убывание» 	$0,053 \pm 0,05$	$0,257 \pm 0,07$
Δ_{QRS}	«Возрастание» 	$0,526 \pm 0,12$	$0,229 \pm 0,07$

Таблица 3.

Достоверные отличия ($p < 0,05$) распределений паттернов в группах лиц 1990 - 1994 г.р.

Показатель	Тип паттерна	Оценка вероятности	
		Спортсмены (n=16)	Не спортсмены (n=40)
Δ_p	«Минимум» 	$0,75 \pm 0,11$	$0,258 \pm 0,07$
Δ_Q	«Максимум» 	$0,583 \pm 0,13$	$0,258 \pm 0,07$
	«Возрастание» 	$0,167 \pm 0,1$	$0,419 \pm 0,08$
Δ_{PQ}	«Минимум» 	$0,562 \pm 0,13$	$0,222 \pm 0,07$
Δ_{QT}	«Минимум» 	$0,375 \pm 0,13$	$0,825 \pm 0,06$
	«Возрастание» 	$0,312 \pm 0,12$	$0,075 \pm 0,04$
	«Постоянная» 	$0,25 \pm 0,11$	$0,05 \pm 0,03$
Δ_T	«Минимум» 	$0,25 \pm 0,11$	$0,65 \pm 0,08$
β_T	«Возрастание» 	$0,062 \pm 0,06$	$0,3 \pm 0,07$
A_R	«Минимум» 	$0,875 \pm 0,09$	$0,675 \pm 0,07$

обеспечивающих межнейрональную взаимосвязь внутри и вне ганглионарного сплетения, отражены в таком анализе в меньшей степени. В этой связи РП позволили выявить особенности стадийного функционального системного "обучения" в процессе долговременной адаптации.

Так у спортсменов младшей возрастной группы 1 РП "Убывание" характеризовал преобладание у исследованных укорочение значения продолжительности волны Р в восстановительном периоде, а в старшей группе 2 в восстановительном периоде уже наблюдалось восстановление значений Р до исходных состояний с проявлением РП "Минимум".

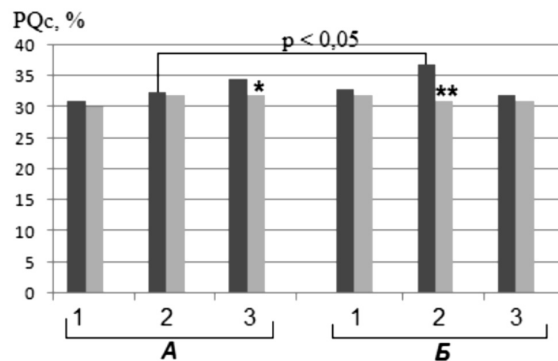
Таким образом, совершенствование регуляции в процессе тренировочной деятельности и возрастного созревания позволяла формировать устойчивый ответ в виде РП с достоверной вероятностью вышеописанной динамики продолжительности зубца Р.

Особый интерес представила динамика атриовентрикулярной проводимости в виде РП Δ_{PQ} в условиях гетеростатического типа регулирования у юношей исследуемых групп. Интервал PQ, отражая продолжительность проведения импульса возбуждения по предсердиям, атриовентрикулярному узлу, пучку Гиса до желудочков, обеспечивает точное согласование между сокращением предсердий и желудочков, благодаря которому осуществляется последовательность их сокращения.

Наряду с этим скорость распространения возбуждения по миокарду и проводящей системе не одинакова. Так импульс с высокой скоростью распространяется по предсердиям и проводящей системе желудочков, а в атриовентрикулярном же узле скорость оказывается значительно сниженной, отражаясь на ЭКГ сегментом PQ, длительность которого является критерием адаптивности саморегуляционных механизмов сердца.

В этой связи РП Δ_{PQ} "Минимум" в сочетании с РП Δ_p "Минимум" с наибольшей вероятностью зафиксированные у юношей-спортсменов возрастной группы 2, при выполнении нагрузки обеспечивал рост длительности сегмента PQ в среднем на 7,1 % $p < 0,01$ относительно юношей – не спортсменов (рис.5).

Как известно с позиции риска развития внутрисердечного гемодинамического конфликта и возможности сердца к выполнению нагрузок, ведущим показателем является не укорочение интервала PQ, а укорочение – исчезновение сегмента PQ [3] Из рисунка 5 видно, что в возрастной группе 1 в восстановительном периоде среднее групповое значение продолжительности сегмента PQ на 3,5 % $p < 0,05$ выше в группе спортсменов, что так же соответствовало укорочению продолжительности зубца Р с формированием РП Δ_p "Минимум".



Примечание: 1-покой, 2-нагрузка, 3- восстановительный период.

Рисунок 5. Динамика сегмента PQc в группах спортсменов (темные столбцы) и группах не спортсменов (светлые столбцы) в первой (А) и во второй (Б) возрастных группах.

Таким образом, оптимизация кардиодинамической регуляции при переходе на гетеростатическое управление проявляется в укорочении интервала PQ за счёт укорочения продолжительности волны Р на фоне уменьшения центрального тонуса блуждающего нерва, что информативно показывают особенности РП у спортсменов.

Изменчивость интервала QT при реакции на физическую нагрузку служит важным показателем динамики реполяризации и электрической стабильности миокарда. Среди причин удлинения и укорочения интервала QT выделяют врожденные и приобретенные факторы. Как известно основной причиной данных нарушений является наследственная каналопатия, обусловленная мутацией ряда генов, кодирующих белки трансмембранных калиевых и натриевых ионных каналов. Однако наряду с генетическими причинами его возникновения немаловажны влияние экзогенных и эндогенных факторов [10].

Приобретенное увеличение интервала QT, как уже было сказано, может быть обусловлено острыми и хроническими заболеваниями. Так, артериальная гипертензия, начиная с периода "белого халата", сопровождается рядом электрофизиологических нарушений в миокарде левого желудочка, что ассоциируется с дисфункцией регуляции вегетативной нервной системы и гипертрофией миокарда. L. Oikarinen и соавт [10] установили, что увеличение индекса массы миокарда ЛЖ, независимо от типа гипертрофии, ассоциируется с высокими значениями QTc и dQT.

При анализе динамики интервала QT эталонного кардиоцикла потенциально опасные изменения в виде его увеличения-укорочения не выявлено ни у одного исследованного. Среднее значение в группе спортсменов при всех условиях превышало значения здоровых нетренированных юношей только в первой возрастной группе: в

покое $0,372 \pm 0,005$ с против $0,390 \pm 0,007$ с, $< 0,05$; после нагрузки $0,352 \pm 0,006$ с против $0,354 \pm 0,008$ с, $< 0,05$; в восстановительном периоде $0,377 \pm 0,006$ против $0,396 \pm 0,007$, $< 0,05$ в группе 1 и группе 2 соответственно. Нивелирование разницы между группами с увеличением возраста при переходе на другой режим регулирования вероятно связано с созреванием центральных регуляторных структур и формированием более адекватного управления у юношей 21–25 лет, независимо от уровня тренированности.

Однако в рамки функциональной нормы количественных значений интервала QT, как электрофизиологического параметра деятельности сердца, отражающего структурное и функциональное состояние миокарда, непосредственно – электрическую систолу, с увеличением возраста были выявлены различия в качественных характеристиках регуляторных реакций. Так паттерны "Возрастание" и "Постоянная" в группе 2 у спортсменов достоверно проявлялись с большей вероятностью (табл.3), чем в группе юношей – не спортсменов, которым был характерен паттерн "Минимум". При этом преобладающее укорочение этого интервала при данной нагрузке у здоровых, но не тренированных юношей сопровождалось дисперсией его значений на 12–канальной ЭКГ после нагрузки.

Так показатели дисперсии QT у спортсменов на 24,5 % $< 0,05$ от исходного уровня были зафиксированы ниже, чем у юношей, не занимающихся спортом и не превышали $0,028$ с. В восстановительном периоде дисперсия QT у спортсменов в отличие от нетренированных возвращались к исходным значениям. Как известно, абсолютная продолжительность интервала QT в покое и в периоде вработывания выше у спортсменов вследствие брадикардии, формирования "рабочей" гипертрофии миокарда и, как результат, замедленной реполяризации [11].

При анализе QTc у всех исследованных как занимающихся, так и не занимающихся спортом различий в покое не выявлено. При этом после выполнения 20 приседаний, что можно считать незначительной нагрузкой с соответствием периоду вработывания, возрастная группа 2 характеризовалась увеличением продолжительности электрической систолы в среднем на 5,1 % $< 0,05$ на фоне учащения ЧСС в среднем на 20,1 % $< 0,001$.

Вышеописанный анализ динамики оптимизации саморегуляции сердца с увеличением резервов в процессе долговременной адаптации можно дополнить качественным анализом с использованием РП. Так спортсменам группы 2 с наибольшей достоверной вероятностью соответствовали паттерны Δ_{QT} типов "Постоянная" и "Возрастание", а не спортсменам – "Минимум".

Дополнительно тенденция роста QTc в восстано-

тельном периоде у спортсменов, выраженная РП Δ_{QT} "Возрастание", характеризовала повышение риска возникновения патологических состояний. Как известно, длительность QTc в периоде раннего восстановления после нагрузки свыше 480 мс у взрослых согласно последним рекомендациям Peter J. Schwartz [12] является дополнительным диагностическим критерием синдрома удлиненного интервала (СУИ) QT.

Таким образом, в результате длительной адаптации и формирования "структурного следа" сердечно-сосудистая система у спортсменов группы 2 обеспечивала функционирование в переходных периодах на более экономичном и надёжном уровне, вероятно за счёт своевременного включения механизмов саморегуляции сердца. Такие приспособительные изменения обеспечивали увеличение периода изгнания в обеспечении УО, а не укорочение этого периода, как это имеет место при центральной регуляции сердечного ритма. Напротив, в аналогичной возрастной группе не тренированных юношей на фоне незначительного прироста ЧСС в среднем на 19 ударов в минуту $< 0,001$ при выполнении 20 приседаний укорочение QTc с $0,422 \pm 0,004$ до $0,408 \pm 0,005$ $< 0,05$ отражало адекватную реакцию на нагрузку, но которая являлась достаточной для включения центральных механизмов управления. Как видно более узкий коридор адаптации к интенсивности физической нагрузки саморегуляторных механизмов не тренированного сердца сказывался на процессах электрогенеза миокарда.

Дифференцированный анализ выявления генеза изменения длительности электрической систолы при её реакции на нагрузку так же возможно провести с использованием оценки РП. Как видно из табл. 3 при оценке Δ_Q у спортсменов преобладал РП "Максимум", а у не спортсменов – "Возрастание". Начало фазы асинхронного сокращения и возбуждение межжелудочковой перегородки приводит к формированию на кривой ЭКГ зубца Q, что принято относить к электрической деполяризации, или систоле желудочков. Этот процесс определяется индивидуальными особенностями обмена веществ в миокарде, регулирующим скорость распространения деполяризации и величину электромеханической латентности в каждом сократительном элементе [3]. Исходя из этих позиций преобладание РП Δ_Q "Возрастание" у не спортсменов указывало на ухудшение обменных процессов, в том числе электролитного дисбаланса, что не позволяло в восстановительном периоде приводить параметры в исходное состояние, а в конечном итоге могло явиться лимитирующим фактором, приводящим к СУИQT, как у спортсменов так и у не занимающихся спортом юношей.

Важно отметить что QT состоит из периодов, функционально обозначающих качественно различные процессы. Так, соотношение электрического потенциала действия (ЭПД) на ЭКГ распределяется следующим образом.

Комплекс QRS обозначает начало сокращения миокарда и на кривой ЭПД соответствует фазе быстрой начальной реполяризации. Фазе медленной реполяризации соответствует сегмент ST, и первая половина зубца T. Фазе быстрой реполяризации на ЭКГ соответствует вторая половина зубца T. В этой связи высокая степень корреляции показателя симметрии зубца $T\beta_T$ и QTc у спортсменов в покое и в восстановительном периоде отражало увеличение риска удлинения QT. Это связано со снижением функциональных резервов при перетренированности и утомлении, что приводило к увеличению симметрии зубца T (табл. 4), а РП β_T "Возрастание" соответствовал с большей степенью достоверности не спортсменам при укорочении зубца T на нагрузке с проявлением РП Δ_T "Минимум".

При этом рост симметрии зубца T происходил за счёт укорочения фазы медленной реполяризации или фазы плато. Укорочение этой фазы менее 50 % относительно доли систолы приводит к снижению сократительной функции миокарда. Как видно из таблицы 4 и в первой и во второй возрастной группе у не спортсменов показатель β_T при проводимой нагрузке достоверно увеличивается – на $16,2 \pm 0,5 \% < 0,001$ и на $25,3 \pm 0,7 \% < 0,001$ соответственно. У спортсменов группы 1 увеличение β_T зафиксировано в меньшей степени – на $11,1 \pm 0,3 \% < 0,05$, а во второй группе изменения не выявлены.

При сравнении внутри группы 1 у спортсменов рост β_T в среднем на $0,07 \text{ мс} < 0,01$ меньше, чем у не спортсменов, а в группе 2 – на $0,012 \text{ мс} < 0,01$. В группе спортсменов

этот показатель, в отличие от группы не занимающихся спортом, приходил в исходное состояние.

Выводы:

1. Адаптационные модификации прохождения электрического импульса по сердечной мышце как в покое, так и в процессе кратковременной адаптации у спортсменов характеризовались в первой возрастной группе большими значениями амплитуд зубцов P и T, интервалов PQ и QT как после нагрузки, так и в восстановительном периоде. Во второй возрастной группе у спортсменов были выявлены увеличенные значения продолжительности зубца P, амплитуды T на фоне укорочения R и интервала QRS. При сравнении показателей, исследованных с различным уровнем адапционных резервов соотношение площадей зубцов T/R и P/R, были значительно выше в группе спортсменов, что вероятно характеризовало особенности электрогенеза и саморегуляции спортивного сердца.

2. Отличия для лиц с разными адапционными резервами главным образом относились к регуляторным паттернам, несущих информацию о временных характеристиках (интервалах $\Delta_P, \Delta_T, \Delta_{QRS}$), причем более выражены такие отличия наблюдались в старшей возрастной группе, что указывало на значимость процесса созревания управляющих структур различных отделов нервной системы.

3. РП позволили выявить особенности стадийного

Таблица 4.

Показатель симметрии зубца T (β_T) и коэффициенты ранговой корреляции QTc- β_T в группах с разным уровнем адапционного потенциала при различных условиях.

Группа	Показатели	Условия			Достоверность			
		Покой (1)	Нагрузка (2)	Восст-ние (3)	1-2	1-3	2-3	
1	н	β_T	$0,74 \pm 0,01$	$0,86 \pm 0,02$	$0,77 \pm 0,03$	< 0,001	-	< 0,05
		QTc- β_T	-	-	-			
	с	β_T	$0,71 \pm 0,03$	$0,79 \pm 0,02^{**}$	$0,72 \pm 0,02$	< 0,05	-	< 0,05
		QTc- β_T	0,48*	-	0,69***			
2	н	β_T	$0,71 \pm 0,01$	$0,89 \pm 0,02$	$0,82 \pm 0,02$	< 0,001	< 0,05	< 0,01
		QTc- β_T						
	с	β_T	$0,67 \pm 0,02$	$0,77 \pm 0,05^{**}$	$0,65 \pm 0,04^{**}$	-	-	-
		QTc- β_T	0,55**	-	-			

Примечание: достоверность на уровне * - $p < 0,05$; ** - $p < 0,01$; *** - $p < 0,001$.

функционального системного "обучения" в процессе долговременной адаптации. Так у спортсменов младшей возрастной группы 1 РП "Убывание" характеризовал преобладание у исследованных укорочение значения продолжительности волны Р в восстановительном периоде, а в старшей группе 2 в восстановительном периоде уже наблюдалось восстановление значений Р до исходных состояний с проявлением РП "Минимум".

4. РПД_{PQ} "Минимум" в сочетании с РПД_P "Минимум", с наибольшей вероятностью зафиксированные у юношей-спортсменов возрастной группы 2, при выполнении нагрузки обеспечивал рост длительности сегмента PQ в среднем на 7,1 % $p < 0,01$ относительно юношей-не спортсменов.

5. В возрастной группе 1 в восстановительном периоде среднегрупповое значение продолжительности сегмента PQ на 3,5 % $p < 0,05$ выше в группе спортсменов, что так же соответствовало укорочению продолжительности зубца Р с формированием Δ_P "Минимум".

6. В рамки функциональной нормы количественных значений интервала QT с увеличением возраста были выявлены различия в качественных характеристиках регуляторных реакций. Так паттерны "Возрастание" и "Постоянная" в группе 2 у спортсменов достоверно проявились с большей вероятностью, чем в группе юношей – не

спортсменов, которым был характерен паттерн "Минимум".

7. Спортсменам группы 2 с наибольшей достоверной вероятностью соответствовали паттерны Δ_{QT} типов "Постоянная" и "Возрастание", а не спортсменам – "Минимум".

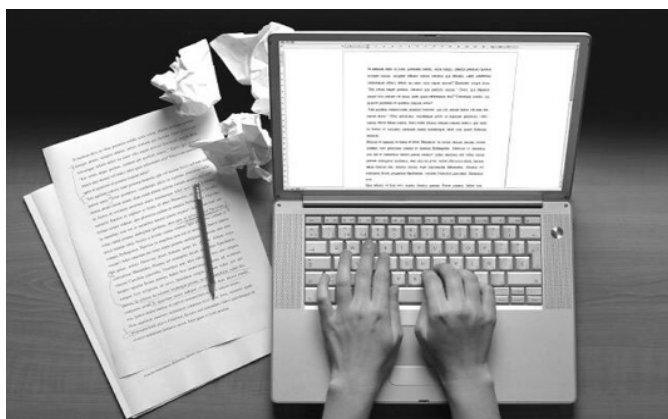
8. Преобладание РПД_Q "Возрастание" у не спортсменов указывало на ухудшение обменных процессов, в том числе электролитного дисбаланса, что не позволяло в восстановительном периоде приводить параметры в исходное состояние, а в конечном итоге могло явиться лимитирующим фактором, приводящим к СУИQT, как у спортсменов так и у не занимающихся спортом юношей.

9. Снижение функциональных резервов при перетренированности и утомлении сопровождалось увеличением β_T , а РП β_T "Возрастание" соответствовал с большей степенью достоверности не спортсменам при укорочении зубца Т на нагрузке с проявлением РПД_T "Минимум".

10. Качественный анализ РП, полученных на основе кратковременной пробы с физической нагрузкой (20 приседаний за 30 сек) может использоваться как важный дополнительный признак оценки адаптационных резервов организма и уровня его тренированности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прокопьев Н.Я. Физиологические подходы к оценке функциональных нагрузочных проб /Н.Я. Прокопьев, Е.Т. Колунин, М.Н. Гуртовая, Д.И. Митасов // Фундаментальные исследования. – 2014.– № 2. – С. 146 – 150.
2. Сидоров С.П. Значение корректного выполнения методики функциональной пробы с 20 приседаниями при оценке состояния сердечно-сосудистой системы юных спортсменов / С.П. Сидоров, А.М. Перхуров, О.С. Штефан // Физкультура в профилактике, лечении и реабилитации. – 2009. – № 2 (29). – С. 39 – 44.
3. Судаков К.В. Нормальная физиология / К.В. Судаков. Учебник. – М.: –ООО "МИА". – 2006. – 920 с.
4. Goldenberg I. QT Interval: How to Measure It and What Is "Normal" / I Goldenberg, A.J. Moss., W Zareba. // J. Cardiovasc. Electrophysiol. – 2006. –Vol.17 (3). – P. 333–336.
5. Файнзильберг Л.С. Информационная технология оценки адаптационных резервов организма в полевых условиях / Л.С.Файнзильберг, К.Б.Ориховская // Кибернетика и вычислительная техника. – 2015. – Вып. 181. – С. 4–22.
6. Макарова Г.А. Спортивная медицина / Макарова Г. А. – М.: Советский спорт. – 2003. – 380 с.
7. Файнзильберг Л.С. Компьютерная диагностика по фазовому портрету электрокардиограммы / Л.С.Файнзильберг – Киев: Освита України, 2013. – 191 с.
8. Минина Е.Н. Возможности оценки процессов реполяризации миокарда с использованием эталонного кардиоцикла / Е.Н. Минина Е.Н., З.Р. Курбетдинова, И.Ю. Тимашов // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. 2015. Т. 1 (67). № 4. С. 26–35.
9. Вентцель Е.С. Теория вероятности / Е.С. Вентцель. – М. Наука, 1969. – 575 с.
10. Бокерия Л.А. Синдром удлиненного интервала QT клиника, диагностика и лечение / Л.А. Бокерия, А.Ш. Ревшвили., И.В. Проничева // Анн. аритм.. – 2005. – №4. С. 7 – 17.
11. Макаров Л.М. Динамика интервала QT при велоэргометрической пробе у юных девочек спортсменок и лиц, не занимающихся спортом / Л.М. Макаров с соавт. // Материалы III Всероссийского конгресса с международным участием "Медицина для спорта – 2013" / Спортивная медицина: наука и практика. – Приложение 1 (10). – 2013. – С. 165.
12. Schwartz P.J. QTC Behavior During Exercise and Genetic Testing for the Long-QT Syndrome / P.J. Schwartz, L. Crotti // Circulation. – 2011. – Vol. 124. – P. 2181–2184.



НАШИ АВТОРЫ OUR AUTHORS

Andreev V.

Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev
e-mail : microoil@mail.ru

Arounyants G.

Kaliningrad State Technical University
e-mail : Suro99@mail.ru

Arsenyeva D.

Graduate student, Moscow State University of Design and Technology
e-mail : darseniya@mail.ru

Baiserkenova T.

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg
michael.n.gusev@gmail.com
e-mail : Baiserkenova@nnc.kz

Berezovskaya N.

National Research University "MEI"
e-mail : Natalia.Berezovskaya@inbox.ru

Bhutaev B.

Head of orthopedic department GKB them. SS Yudin
e-mail : matsakian_am@list.ru

Bliznyuk V.

National Research University "MEI"
e-mail : 40595141@mail.ru

Bobkov G.

Doctor of Biology, Russian Science Institute of Physical Education, Moscow
e-mail : bod_dan3@mail.ru

Chenskiy A.

Ph.D., Professor, First Moscow State Medical University named after I.M. Sechenov, Russia, Moscow
e-mail : chenskiy@list.ru

Chugunova T.

For pediatric care deputy chief medical officer. Altai Perinatal Center
e-mail : omo_krai@mail.ru

Egorova A.

Ph.D., Hund. direktions audio technologies SPEECH "Media Center", Art. Petersburg Article Universiti of-Telekommunitations. prof. MA Bonch-Bruevich
e-mail : iamosci@gmail.com

Ershov E.

Engineer software development laboratory and safety communications networks LO CNIS
e-mail : iamosci@gmail.com

Fainzilberg L.

International Research and Training Center for Information Technologies and Systems NAS and MES of Ukraine, Kiev, Ukraine
e-mail : cere-el@yandex.ua

Gulenko O.

Medical University "Kuban Medical University" Russian Ministry of Health
e-mail : olga.gulenko@mail.ru

Gurjeva V.

Doctor of medical Sciences, Professor, Altai state medical University
e-mail : vgurjeva@yandex.ru

Gusev N.

Ph.D., The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications, Saint-Petersburg
e-mail : michael.n.gusev@gmail.com

Guseva I.

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg
e-mail : michael.n.gusev@gmail.com

Kabdyrakova A.

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg
michael.n.gusev@gmail.com
e-mail : Kabdyrakova@nnc.kz

Kavalerskiy G.

Ph.D., Professor, Head of Department of Traumatology, Orthopaedics and Surgery Disasters, First Moscow State Medical University named after I.M. Sechenov, Russia, Moscow
e-mail : chenskiy@list.ru

Kazarov V.

Kazan National Research Technical University n.a. A.N. Tupolev-KAI
e-mail : microoil@mail.ru

Kitiashvili I.

Astrakhan State Medical University
e-mail : IrPET1949@gmail.com

Kunduzbayeva A.

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg
michael.n.gusev@gmail.com
e-mail : Kunduzbaeva@nnc.kz

Larionova N.

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg
michael.n.gusev@gmail.com
e-mail : Larionova@nnc.kz

Lukashenko S.

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg
michael.n.gusev@gmail.com

e-mail : Lukashenko@nnc.kz

Maslovskaya L.

Tobolsk Pedagogical Institute named after D.I Mendeleev branch
Tyumen State University

e-mail : Lybasha81.81@mail.ru

Matsakyan A.

Head of the 2 nd casualty department GKB them. SS Yudin

e-mail : matsakian_am@list.ru

Mendubaev A.

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg
michael.n.gusev@gmail.com

e-mail : Mendubaev@nnc.kz

Mhitaryan K.

Neurologist, Ministry of Health Russian Federation Medical and
Rehabilitation Center, Moscow

e-mail : chenskiy@list.ru

Minina E.

Crimean Federal University, IN AND. Vernadsky Taurian Academy,
Simferopol, Republic of Crimea

e-mail : cere-el@yandex.ua

Mironov D.

Graduate student, Moscow state University of railway engineering

e-mail : 9467067@gmail.com

Morozov O.

Kazan National Research Technical University n.a. A.N. Tupolev-KAI

e-mail : microoil@mail.ru

Orihovskaya K.

International Research and Training Center for Information Technologies
and Systems NAS and MES of Ukraine, Kiev, Ukraine

e-mail : cere-el@yandex.ua

Osipenko I.

Art. sound design engineer Saber Int.

e-mail : iamoscii@gmail.com

Parshin V.

National Research University "MEI"

e-mail : ParshinVasA@gmail.com

Petrova I.

Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering

e-mail : lrapet1949@gmail.com

Prokhorova M.

Graduate student, First Moscow State Medical University named after
I.M. Sechenov, Russia, Moscow

e-mail : prkhrvmarina@rambler.ru

Protsko V.

Associate Professor of Traumatology and Orthopaedics, People's
Friendship University

e-mail : matsakian_am@list.ru

Rohozynsky G.

Ph.D., Hand. directions audio technology REC "Media Center", St.
Petersburg State University of Telecommunications. prof. MA Bonch-
Bruevich

e-mail : iamoscii@gmail.com

**Shadeeva J.**

Assistant, Altai state medical University

e-mail : shadeieva@mail.ru

Sokol'sky V.

LTD. "Systems, Technologies and Services", Astrakhan

e-mail : lrapet1949@gmail.com

Tarasov A.

National Research University "MEI"

e-mail : TarasovAYO1@gmail.com

Tarbushkin A.

MD, orthopedist, trauma and orthopedic department, Ministry of Health
Russian Federation Medical and Rehabilitation Center, Moscow

e-mail : chenskiy@list.ru

Tolstykh S.

Postgraduate student, Russian Science Institute of Physical Education,
Moscow

e-mail : seta_89@mail.ru

Udina I.

Institute of General Genetics. Vavilov, Russian Academy of Sciences

e-mail : irina_udina@mail.ru

Usmanov D.

Orthopedist, orthopedic department №2, Ministry of Health Russian
Federation Medical and Rehabilitation Center, Moscow

e-mail : usmanov.damir.86@bk.ru

Voronin T.

Kaliningrad State Technical University

e-mail : Suro99@mail.ru

Zakharova A.

Candidate of Technical Sciences, Professor, Moscow State University
of Design and Technology

e-mail : darseniya@mail.ru

НАШИ АВТОРЫ OUR AUTHORS

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).