

ISSN 2223-2966



СОВРЕМЕННАЯ НАУКА:
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ

ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

№6-2 2022 (ИЮНЬ)

Учредитель журнала
Общество с ограниченной ответственностью
«НАУЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

Журнал издается с 2011 года.

Редакция:

Главный редактор
А.В. Царегородцев
Выпускающий редактор
Ю.Б. Миндлин

Подписной индекс издания
в каталоге агентства «Пресса России» — 80016
В течение года можно произвести подписку
на журнал непосредственно в редакции.

Издатель:

Общество с ограниченной ответственностью
«Научные технологии»

Адрес редакции и издателя:
109443, Москва, Волгоградский пр-т, 116-1-10
Тел/факс: 8(495) 142 8681
E-mail: redaktor@nauteh.ru
<http://www.nauteh-journal.ru>

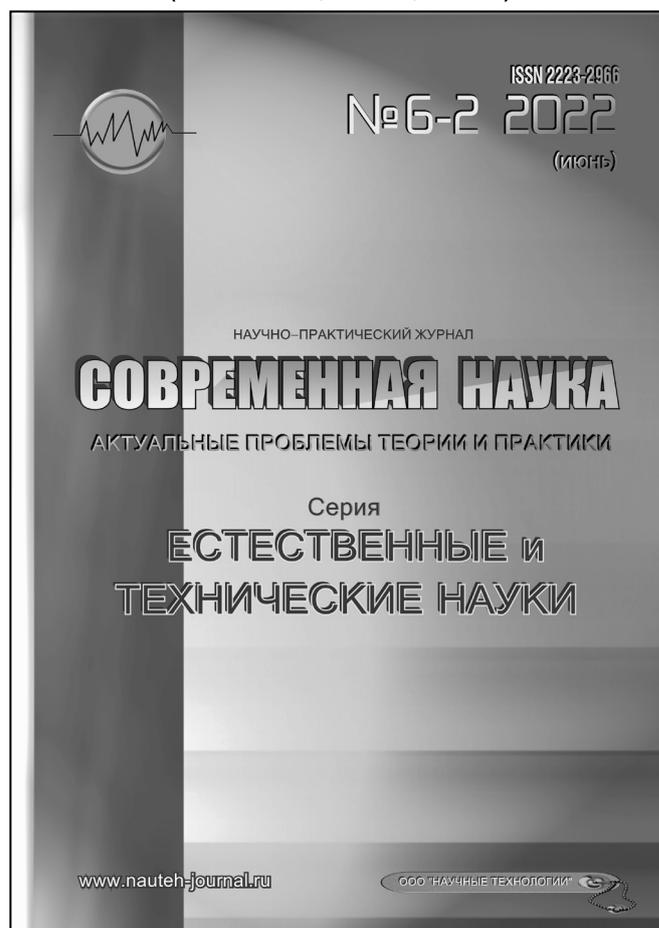
Журнал зарегистрирован Федеральной службой
по надзору в сфере массовых коммуникаций,
связи и охраны культурного наследия.

Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС 77-44912 от 04.05.2011 г.

Научно-практический журнал

Scientific and practical journal

(BAK – 05.13.00, 03.02.00, 14.01.00)



В НОМЕРЕ:

ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ, ИНФОРМАТИКА,
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА
И УПРАВЛЕНИЕ,
КЛИНИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

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 29.06.2022 г. Формат 84x108 1/16
Печать цифровая Заказ № 0000 Тираж 2000 экз.

ISSN 2223-2966



Редакционный совет

Атаев Алевдин Рашитханович — д.м.н., профессор, Дагестанский государственный медицинский университет

Безруких Марьям Моисеевна — д.б.н., профессор, Институт возрастной физиологии РАО

Бекетов Сергей Валериевич — д.б.н., ФГБНУ НИИ Пушного звероводства и кролиководства имени В.А. Афанасьева

Белых Владимир Иванович — Д.м.н., доцент, Алтайский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации

Грачев Николай Николаевич — доктор высшей степени в области технических наук (DoctorHabilitatus), профессор, Московский государственный институт электроники и математики НИУ ВШЭ (технический университет)

Гусева Анна Ивановна — д.т.н., профессор, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Зубкова Валентина Михайловна — д.б.н., профессор, Российский государственный социальный университет

Каллаев Нажмудин Омаркадиевич — д.м.н., профессор, Дагестанский государственный медицинский университет

Квасов Андрей Иванович — д.т.н., профессор, Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева

Корнеев Андрей Матиславович — д.т.н., профессор, Липецкий государственный технический университет

Корягина Наталья Александровна — д.м.н., доцент, Пермский государственный медицинский университет им. ак. Е.А. Вагнера Министерства здравоохранения Российской Федерации

Кравец Бронислава Борисовна — д.м.н., профессор, Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко Министерства здравоохранения Российской Федерации

Кулик Сергей Дмитриевич — д.т.н., с.н.с., Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Матвеев Всеволод Борисович — д.м.н., профессор, ФГБУ РОНЦ им. Н.Н. Блохина, член-корреспондент РАН

Надежкин Сергей Михайлович — д.б.н., профессор, Всероссийский НИИ селекции и семеноводства овощных культур Россельхозакадемии

Овезов Алексей Мурадович — д.м.н., доцент, ГБУЗ МО Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского

Олейникова Светлана Александровна — д.т.н., доцент, Воронежский государственный технический университет

Рахимов Ильгизар Ильясович — д.б.н., профессор, Казанский (Приволжский) федеральный университет

Ромашкова Оксана Николаевна — д.т.н., профессор, Московский городской педагогический университет

Симаков Юрий Георгиевич — д.б.н., профессор, Московский государственный университет им. К.Г. Разумовского (ПКУ)

Симоненков Алексей Павлович — д.м.н., профессор, независимый эксперт

Трапезов Олег Васильевич — д.б.н., в.н.с., ФИЦ «Институт цитологии и генетики СО РАН»

Федорова Оксана Ивановна — д.б.н., доцент, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии им. К.И. Скрябина

Харитонов Михаил Анатольевич — д.м.н., профессор, Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

Общая биология

Габитова А.А., Ахмедьянов Д.И. — Естественное возобновление дубрав в Башкирском Зауралье
Gabitova A., Achmedyanov D. — Natural regeneration of oak forests in the Bashkir trans-Urals 6

Денежкина А.А. — Теоретико-методическое обоснование выбора способа биоремедиации нефтезагрязненных почв
Denezhkina A. — Theoretical and methodological substantiation of the choice of the method for bioremediation of oil-contaminated soils 9

Думченко Н.Б., Нечаева Е.А. — Бессывороточные питательные среды для культуральной гриппозной живой вакцины
Dumchenko N., Nechaeva E. — Serum-free culture media for cultured influenza live vaccine. 14

Лаврентьев М.А., Турковский П.С., Макаров Д.К. — Реконструкция локальных палеоэкологических обстановок позднего голоцена по донным отложениям Лахтинского разлива с применением микропалеонтологического метода
Lavrentiev M., Turkovsky P., Makarov D. — Reconstruction of late holocene local paleoecological conditions from bottom sediments of the Lakhta lowland using the micropaleontological method. 19

Радаева И.Ф., Думченко Н.Б., Нечаева Е.А. — Культуры клеток коллекции ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора
Radaeva I., Dumchenko N., Nechaeva E. — Cell cultures of the collection of the State Scientific Center of Virology and Biotechnology "vector" of Rospotrebnadzor 26

Семенова А.Ю., Малько С.В., Чарнецкий Р.А. — К вопросу о влиянии некоторых антропогенных экологических факторов при эксплуатации транспортного перехода через Керченский пролив
Semenova A., Malko S., Charnetskiy R. — On the issue of the influence of some anthropogenic environmental factors during the operation of the transport crossing through the Kerch strait 31

Шмелев Н.А., Самойлова Т.А. — Комплексная оценка экологического состояния атмосферного воздуха г. Бирск Республики Башкортостан
Shmelev N., Samoylova T. — Comprehensive assessment of the ecological state of atmospheric air in Birsik of Republic of Bashkortostan 36

Информатика, вычислительная техника и управление

Ахметов В.К. — Спектральные характеристики неустойчивых мод свободного вихря
Akhmetov V. — Spectral characteristics of unstable modes of a free vortex. 43

Блягоз С.Х., Штенников Д.Г. — Метод повышения качества идентификации пользователей электронных систем на основе ИХ ЭКГ
Blyagoz S., Shtennikov D. — Method of increasing the quality of identification of users of electronic systems based on IH ECG. 49

Боташев Р.А., Токова С.И. — Применение цифровых технологий для оптимизации структуры и годового оборота стада
Botashev R., Tokova S. — Application of digital technologies for optimization of the structure and annual turnover of the herd. 59

Голодков Ю.Э., Руденко М.Б., Колесников А.А. — Особенности моделирования систем управления процессами полимеризации
Golodkov Yu., Rudenko M., Kolesnikov A. — Features of simulation of control systems of polymerization processes. 66

Денисюк А.Ю. — Современные методы обработки изображений сверхвысокого разрешения и практические приложения
Denisyuk A. — Modern ultrahigh resolution image processing methods and practical applications 69

Диамонд Карильо Джосет Моисес — Модели хранения цифровых финансовых активов: анализ угроз и контрмеры <i>Diamond Carrillo Joseth Moises</i> — Models for digital financial assets: threats analysis and countermeasures . . . 76	Мелешкин К.Н., Худяков Д.С. — К возможности применения программной фильтрации для зашумленных сигналов реального датчика положения <i>Meleshkin K., Khudiakov D.</i> — About the possibility of the software-based filtration for noisy signals of the actual location sensor. 113
Долматов Р.А., Молодяков С.А. — Разработка программного обеспечения сбора данных с датчиков локомотива в условиях нестабильной передачи данных <i>Dolmatov R., Molodyakov S.</i> — Development of a storage system using quick data access methods . . . 82	Монастырев В.В., Молодяков С.А. — Методика модульно-конвейерной обработки данных на основе Spark SQL и Spark MLlib с интеграцией языков программирования <i>Monastyrev V., Molodyakov S.</i> — The methodology of modular pipeline data processing based on Spark SQL and Spark MLlib with the integration of programming languages 119
Ишанов С.А., Кащенко Н.М., Зубков Е.В., Савкин Д.А., Худенко В.Н. — Численное исследование динамики ионосферной плазмы в спокойных и возмущенных условиях <i>Ishanov S., Kashchenko N., Zubkov E., Savkin D., Khudenko V.</i> — Numerical study of the dynamics of ionospheric plasma in quiet and disturbed conditions. . . 87	Смирнов С.П. — О возможности применения нейронных сетей и машинного обучения для выявления обструкционных приемов в коммуникациях проектов по созданию сложных технических систем для Индустрии 4.0 <i>Smirnov S.</i> — Using neural networks and machine learning to identify obstructive techniques in communications in large scale systems implementation projects for Industry 4 125
Казакова У.В., Макуха Л.В., Романова Б.Б., Сидоров А.Ю. — Расширение функциональности светофорного объекта <i>Kazakova U., Makukha L., Romanova B., Sidorov A.</i> — Expanding the functionality of a traffic light object. 95	Стальнов А.Н. — Общекорабельная вычислительная среда: концепция ее формирования и инфраструктура <i>Stalnov A.</i> — General ship computing environment: the concept of its formation and infrastructure. 131
Каравашкин Л.А., Шкригунов А.Е., Молодяков С.А., Медведев Б.М. — Использование метода аудио отпечатка для построения музыкальных рекомендательных систем <i>Karavashkin L., Shkrigunov A., Molodyakov S., Medvedev B.</i> — Using the audio fingerprint method to create music recommendation systems 99	Таран В.В. — Библиотека SDL как вспомогательный инструмент алгоритмического дизайна при создании композиций и синтезированных звуковых комбинаций на языке программирования Nyquist <i>Taran V.</i> — SDL library as an auxiliary algorithmic design tool when creating compositions and synthetic audio combinations by using Nyquist programming language. 139
Лукин К.И., Сагдеев А.К., Стахеев И.Г., Титова О.В. — Обоснование использования боевых кибернетических систем в информационном противоборстве <i>Lukin K., Sagdeev A., Staheev I., Titova O.</i> — Justification of the use of combat cybernetic systems in information warfare 105	Чубаров Ф.Л., Сизов А.Н., Никитин А.В., Голиков А.С. — Решение прикладной задачи автоматического управления работой системы подачи рабочего тела в проточную часть турбоустановки <i>Chubarov F., Sizov A., Nikitin A., Golikov A.</i> — Solution of the applied problem of automatic control of the working fluid supply system in the turbine unit flow part 160
Лукин К.И., Сагдеев А.К., Стахеев И.Г., Титова О.В. — Содержательное описание модели конфликта информационно- телекоммуникационных систем специального назначения в киберпространстве <i>Lukin K., Sagdeev A., Staheev I., Titova O.</i> — A meaningful description of the conflict model of special-purpose information and telecommunication systems in cyberspace 108	

Клиническая медицина

Алимирзоев Ф.А., Бигаева У.С.,

Алимирзоев А.Ф. — Некоторые вопросы в организации ортодонтической помощи детям с зубочелюстными аномалиями

Alimirzoev F., Bigaeva U., Alimirzoev A. — Some issues in the organization of orthodontic care for children with dentoalveolar anomalies 168

Валеева Г.А., Хайбуллина Р.Р., Данилко К.В., Шангина О.Р., Герасимова Л.П., Гадиуллин А.М., Сорокин А.П. — Лечение деструкции костной ткани препаратом стимулятором остеогенеза

Valeeva G., Khaibullina R., Danilko K., Shangina O., Gerasimova L., Gadiullin A., Sorokin A. — Treatment of bone tissue destruction with an osteogenesis stimulant 171

Далгатова А.А., Байрамалиева Г.Ф., Нурудинова Б.А., Гасанова А.К., Агаев Т.А., Бекмирзаева П.Б. — Общая характеристика синдрома длительного сдавления

Dalgatova A., Bayramalieva G., Nurudinova B., Gasanova A., Agaev T., Bekmirzayeva P. — General characteristics of the syndrome of prolonged compression 174

Карлаш А.Е., Леншина Н.П., Журбенко В.А. — Дифференциальный подход к профилактике кариеса зубов у детей с различной степенью развития кариеса

Karlash A., Lenchina N., Zhurbenko V. — Differential approach to the prevention of dental caries in children with different degrees of caries development 178

Левченко Е.В., Мухина С.А., Роцин Ю.В. —

Общие и частные признаки почерка у лиц с расстройствами личности

Levchenko E., Mukhina S., Roshchin Yu. — General and particular characteristics of handwriting in individuals with personality disorders 185

Лопатина Н.В., Хайбуллина Р.Р., Данилко К.В., Шангина О.Р., Герасимова Л.П., Голубь А.А. — Лечение рецессии десны препаратом стимулятором регенерации

Lopatina N., Khaibullina R., Danilko K., Shangina O., Gerasimova L., Golub A. — Treatment of gum recession with a regeneration stimulant 195

Максимова П.Е., Румянцева З.С., Сулима А.Н., Аникин С.С. — HLA-система и её роль в невынашивании беременности

Maximova P., Rummyantseva Z., Sulima A., Anikin S. — HLA-system and its role in mission of pregnancy 200

Минкаилова С.Р., Шамов И.М., Багатаева П.Р. — Взаимосвязь воспалительных заболеваний пародонта и сердечно-сосудистой системы (обзор литературы)

Minkailova S., Shamov I., Bagataeva P. — Relationship between inflammatory periodontal disease and the cardiovascular system (literature review) 204

Плиев С.А., Хутиев Ц.С., Беслеков У.С. —

Актуальные вопросы диагностики послеоперационного панкреатита и основные направления профилактики его развития

Pliev S., Hutiev C., Beslekov U. — Topical issues of diagnosis of postoperative pancreatitis and the main directions of prevention of its development ... 208

Сайгина О.А., Нормайкин В.И., Чегодаева Л.В., Куркина Н.В. — Трудности дифференциальной диагностики при дилатационной кардиомиопатии

Saigina O., Normaykin V., Chegodaeva L., Kurkina N. — Difficulties of differential diagnosis in dilated cardiomyopathy 211

Салахутдинов И.М., Цыганова Е.В., Денисенко А.Н. — Клинический случай наблюдения увеальной меланомы на протяжении 12 лет

Salakhutdinov I., Tsyganova E., Denisenko A. — Clinical case of observation of uveal melanoma for twelve years 215

Информация

Наши авторы. Our Authors 219

Требования к оформлению рукописей и статей для публикации в журнале 223

ЕСТЕСТВЕННОЕ ВОЗОБНОВЛЕНИЕ ДУБРАВ В БАШКИРСКОМ ЗАУРАЛЬЕ

NATURAL REGENERATION OF OAK FORESTS IN THE BASHKIR TRANS-URALS

A. Gabitova
D. Achmedyanov

Summary. Studies of the natural renewal of oak forests in the Bashkir Trans-Urals are carried out on a geographically isolated border from the main range of the species. The success of the natural renewal of oak, in addition to climatic and environmental factors, depends on fruiting and the repeatability of productive years. A plentiful harvest of acorns is celebrated in a year with favorable climatic conditions, when there is no shortage of moisture. Studies of undergrowth under the canopy of natural low-stemmed oak forests have allowed us to establish some patterns and features of its formation, growth and living condition, species composition and abundance. traditional methods of oak farming do not ensure their preservation and natural renewal. Reproduction of oak stands requires more effort than reproduction of other breeds. It was found that the renewal of the pedunculate oak on the trial area strongly depends, in addition to the type of forest, on the sanitary condition of seed-bearing trees. There is less undergrowth under the dry-topped trees. Therefore, selective felling of trees with varying degrees of dryness is necessary to ensure the renewal of the pedunculate oak. At the same time, the potential in the yield of individual trees is being realized and will be strengthened, and the planting will be provided with a greater degree of renewal. Studies have been conducted that it is necessary to carry out forestry measures for the preservation of forest plantations in the future.

Keywords: pedunculate oak, natural regeneration, undergrowth.

Габитова Айгуль Айдаровна

ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет», Уфа
abigabi@yandex.ru

Ахмедьянов Дим Исламович

ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет», Уфа

Аннотация. Изучение естественного возобновления дубрав в Башкирском Зауралье проводится на географически изолированной от основного ареала вида границе. Успешность естественного возобновления дуба, помимо природно-климатических и экологических факторов, зависит и от плодоношения, повторяемости урожайных лет. Обильный урожай желудей отмечается при благоприятных климатических условиях, когда нет недостатка во влаге. Исследования подростка под пологом естественных низкоствольных дубрав позволили установить некоторые закономерности и особенности его формирования, роста и жизненного состояния, видового состава и численности. Традиционные методы ведения дубового хозяйства не обеспечивают их сохранность и естественное возобновление. Для воспроизводства дубовых насаждений требуется приложить больше усилий, чем для воспроизводства других пород. Установлено, что возобновление дуба черешчатого на пробной площади в значительной степени зависит (кроме типа леса) от санитарного состояния семяносащих деревьев. Под суховершинными деревьями подростка меньше. Поэтому для обеспечения возобновления дуба черешчатого необходима выборочная рубка деревьев с разной степенью сухостойности. При этом реализуется и будет усилен потенциал в урожайности отдельных деревьев, и насаждение будет обеспечено большей степенью возобновления. В результате проведенных исследований сделан вывод, что необходимо проводить лесохозяйственные мероприятия для сохранности лесных насаждений в будущем.

Ключевые слова: дуб черешчатый, естественное возобновление, подрост.

Для анализа мы взяли дуб черешчатый, который произрастает в Мясогутовской лесостепи (Дуванский и Салаватский районы) на северо-западе Республики Башкортостан. В Башкирском Зауралье дуб встречается лишь отдельными участками. Согласно визуальному анализу, подрост представлен преимущественно растениями с многократным перевершинованием в древостоях под пологом леса.

Для проведения детального обследования был рассмотрен выдел со смешанным составом — 9Б3Кл2Дн. Было выбрано ГКУ РБ Салаватское лесничество. В выделе представлен дуб низкоствольный, он составляет 30%

запаса древостоя и имеет таксационные показатели: высота — 18 м, диаметр — 25 см, возраст — 70 лет. Таксационные описания взяты по данным лесоустройства (2002 г.), в нем численность подростка состоит из 2020 шт/га, их возраст — 20 лет.

Для изучения была заложена пробная площадь размером 20 x 20 м. На пробном участке провели измерение высоты, диаметра и определили состояние растений с осуществлением сплошного перечета подростка.

Была составлена гистограмма (рисунок 1), характеризующая распределение подростка дуба черешчатого

Таблица 1. Статистические параметры подростка дуба черешчатого

Показатель	Объем выборки	В среднем	Пределы изменения	Коэффициент вариации, %
Все растения				
Высота, см	72	161,0±11,5	20–500	60,4
Диаметр, см		2,8±0,2	0,5–8,0	61,3
Растения с нарушениями роста и развития				
Высота, см	64	138,5±9,6	20–350	54,4
Диаметр, см		2,6±0,2	0,5–6,0	60,1
Растения без нарушений роста и развития				
Высота, см	8	320,0±35,8	230–500	31,6
Диаметр, см		4,2±0,8	2,0–8,0	51,5

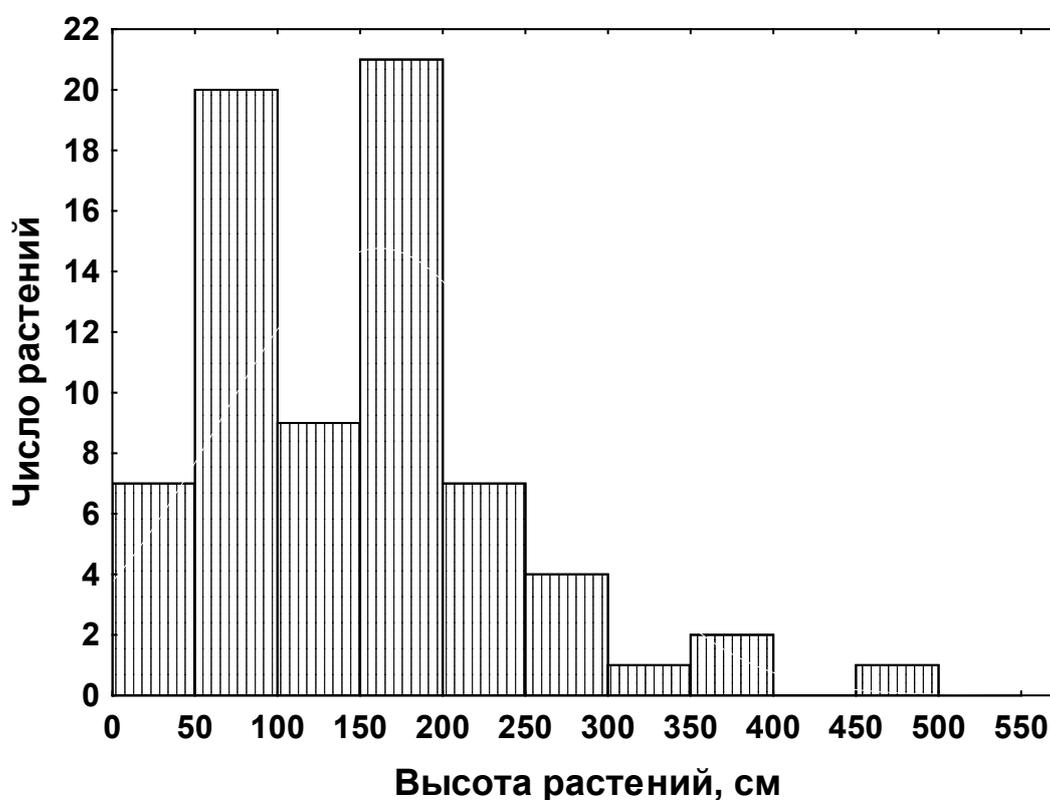


Рис. 1. Распределение подростка дуба черешчатого по высоте

по высоте. В ней видим уменьшение численности подростка с возрастом, которая закономерна для многих растений. Но наблюдается двухвершинный характер — растения высотой 0,5–1,0 и 1,5–2,5 м охватывает 27,8% и 29,2%. А растения высотой до 0,5–1,0, 1,0–1,5 и 1,0–2,5 м в совокупности составили всего 31,5%. На это повлияли сроки плодоношения дуба черешчатого, чередование засушливого года и с урожайным годом.

Большое значение имеет и фактор нарушения корреляции возраста растений с высотой (таблица 1), из-

за чего происходит нарушение корреляции возраста. По проведенным статистическим подсчетам, лишь 11,5% растений не имеют факторов роста и развития, у 80% же наблюдается «перевершинования», а 8,5% выявлены высохшими элементами.

По таксационным описаниям общий запас дуба — 30 куб. м/га. С учетом высоты деревьев и среднего диаметра выявлено, что на 1 га дуб черешчатый произрастает 150–200 деревьями. Следовательно, на изучаемой площади на 1 га имеется подростка 1155 шт/га, из которых

лишь 130 шт. не имеет особых нарушений развития и роста. Эти растения (подрост) имеют основания для включения их в состав древостоя. К сожалению, проведенные исследования доказывают влияние человеческого фактора на воспроизводство дубрав северо-восточной части ареала, они обречены на гибель, а популяция — на деградацию производства и в будущем на сокращение биологического потенциала.

Согласно историческим сведениям [5], дуб черешчатый на северо-восточной границе ареала несколько веков подвергался истреблению в ходе хозяйственного освоения территории, обустройства пашен на плодородных почвах вырубаемых лесов. В результате этого на исследуемой территории дубравы и леса с участием дуба оказались сильно сокращенными и наблюдаются

лишь на маломощных щербенистых карбонатных почвах. Дуб черешчатый имеет длительный жизненный цикл, следовательно, на него приходится небольшой срок для сокращения генофонда популяций из-за инбридинга и дрейфа генов. Мы рекомендуем сохранять остатки дубрав (изученный подрост), возрождать генофонд прежних популяций. Правда, его восстановление будет недостаточной мерой лишь за счет отдельных дубрав *in situ*, так как они не будут возобновляться впоследствии и обеспечивать свой природный потенциал к адаптации условиям среды. В этих условиях рекомендуется [4] создание локальных «синтетических популяций» *ex situ*, заготовка семенного материала в большом количестве древесных растений республики, посадочный материал выращивать в специализированных питомниках и создания лесных культур.

ЛИТЕРАТУРА

1. Degen B., Yanbaev R., Yanbaev Y. Genetic differentiation of *Quercus robur* in the South-Ural // *Silvae Genetica*. 2019. V. 68 (1). P. 111–115. <https://doi.org/10.2478/sg-2019-0019>.
2. Schröder H., Mader M., Degen B., Kersten B., Cronn R., Yanbaev Y.A., Jennings T. Development of molecular markers for determining continental origin of wood white oaks (*Quercus L.*, sect. *Quercus*) // *PLoS one*. — 2016. — № 6 (<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158221>).
3. Байрамгулов, Н.Р. Сохранение генофонда редких и исчезающих растений *ex situ*: о принципах создания синтетических популяций / Н.Р. Байрамгулов, Н.Н. Редькина, Р.Ю. Муллагулов, Ю.А. Ямбаев // *Аграрная Россия*. — 2007. — № 6. — С. 21–23.
4. Бушбом, Ю. Динамика генетического разнообразия во времени в изолированной популяции дуба черешчатого *Quercus robur L.* (Fagaceae) / Ю. Бушбом, Ю.А. Ямбаев, Б. Деген, А.А. Габитова // *Генетика*. — 2012. — Т. 48. — № 1. — С. 135–137.
5. Горчаковский, П.Л. Растения европейских широколиственных лесов на восточном пределе их ареала / П.Л. Горчаковский; отв. ред. С.А. Мамаев. — Свердловск, 1968. — 206 с.
6. Казанцева, М.Н. Плодоношение дуба черешчатого под Тюменью в контексте климатических изменений / М.Н. Казанцева, П.А. Казанцев // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. — 2017. — № 3–2. — С. 327–327.
7. Хайретдинов, А.Ф. Рекреационное лесоводство / А.Ф. Хайретдинов, С.И. Коначова. — М.: МГУЛ, 2002. — 308с.
8. Харченко, Н.А. О естественном возобновлении дуба черешчатого под пологом материнского древостоя / Н.А. Харченко, Н.Н. Харченко // *Лесотехнический журнал*. — 2013. — № 4 (12). — С. 42–53.
9. Царалунга, В.В. Внешние признаки патологии дуба черешчатого / В.В. Царалунга, Е.С. Фурменкова, А.А. Крюкова. — Воронеж: ФГБОУ ВО «ВГЛТУ», 2015. — 231 с.
10. Ямбаев, Р.Ю. Лесовосстановительный процесс в изолированной дубраве Зауралья: микросателлитный анализ/ Р.Ю. Ямбаев // *Башкортостан — территория роста: предпринимательство, экология, язык и культура (проблемы, поиски, перспективы: материалы Всероссийской научно-практической конференции (г. Сибай, 16–17 марта 2017 г.))*. — Сибай: СИ БашГУ, 2017. — С. 153–154.
11. Ямбаев, Ю.А. Естественное возобновление дуба черешчатого на северо-восточной границе ареала / Ю.А. Ямбаев, А.А. Габитова, Ю. Бушбом и др. // *Аграрная Россия*. — 2009. — № 12. — С. 16–17.

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА СПОСОБА БИОРЕМЕДИАЦИИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ

THEORETICAL AND METHODOLOGICAL SUBSTANTIATION OF THE CHOICE OF THE METHOD FOR BIOREMEDIATION OF OIL-CONTAMINATED SOILS

A. Denezhkina

Summary. The ecological problem of biodegradation of oil-contaminated soils is substantiated. The prerequisites for the restoration of soils in natural conditions due to the work of microorganisms are shown. The advantages and limitations of bioremediation and methods for its implementation in natural conditions at the site of pollution and in dumps are revealed. The expediency of the bioreactor technology of soil remediation has been established. The compositions of microbiological preparations for bioremediation and their effectiveness are systematized. A technique for conducting experimental studies of the bioremediation of oil-contaminated soils with various paraffin content is proposed.

Keywords: bioremediation, soil pollution, oil spill, biodestructants, bioreactor, microbiological preparation.

Денежкина Анна Андреевна

Бирский филиал Башкирского Государственного
Университета
ann.den0104@yandex.ru

Аннотация. Обоснована экологическая проблема биодegradации нефтезагрязненных почв. Показаны предпосылки к восстановлению почв в естественных условиях за счет работы микроорганизмов. Выявлены преимущества и ограничения биоремедиации и способов ее проведения в естественных условиях на месте загрязнения и в отвалах. Установлена целесообразность биореакторной технологии ремедиации почв. Систематизированы составы микробиологических препаратов для проведения биоремедиации и их эффективность. Предложена методика проведения экспериментальных исследований биоремедиации загрязненных нефтью почв с различным содержанием парафинов.

Ключевые слова: биоремедиация, загрязнение почв, разлив нефти, биодеструктанты, биореактор, микробиологический препарат.

Введение

Загрязнение почв нефтью в настоящее время считается одной из самых серьезных экологических проблем [1]. Этот тип загрязнения снижает или полностью уничтожает плодородие почвы, изменяет элементный состав почвы и круговорот воды, приводит к потере эстетической ценности экосистем, вызывает вторичное загрязнение подземных вод и воздуха, угнетает или уничтожает почвенные организмы [2]. Небольшие количества нефти на суше выветриваются, подвергаются биологическому разложению или испаряются, в то время при существенных разливах нефть остается на местности в неподвижном состоянии в виде битумов, смолы, восков и асфальтенов. Это приводит к проникновению токсинов в почвенный столб, загрязнению поверхностных и подземных экосистем.

Бионакопление нефтепродуктов в почве приводит к повышению ее токсичности для человека, животных, микроорганизмов и растений. Биоремедиация выступа-

ет альтернативой традиционным методам термической и физико-химической ремедиации нефтезагрязненных почв и дает возможность уничтожения токсичных загрязнителей с помощью естественной биологической активности микроорганизмов. Загрязняющие соединения трансформируются живыми организмами в результате реакций, протекающих в рамках их метаболических процессов.

Основные стратегии биоремедиации нефтезагрязненных почв включают биоремедиацию *in situ* (на месте разлива нефти), применяемую при малых объемах загрязнения и биоремедиацию *ex situ* с выемкой загрязненной почвы в результате земляных работ для последующей ремедиации [3]. Выбор стратегии и способа биоремедиации сопряжен с учетом комплекса факторов: площади загрязнения, состава нефти, объемов ее разлива, параметров окружающей среды, стоимости работ и других параметров, что обуславливает актуальность теоретико-методического обоснования выбора способа биоремедиации нефтезагрязненных почв.

Предпосылки восстановления нефтезагрязненных почв в естественных условиях

Возможности использования биоремедиации на нефтезагрязненных почвах обоснованы исследованиями результатов естественного очищения загрязненных нефтепродуктами территорий под действием микроорганизмов. Традиционно считается, что удаление производных сырой нефти задерживается при отсутствии микроорганизмов, способствующих разложению загрязнений, при недостаточном их снабжении питательными веществами для сбалансированного использования углерода, а также в связи с отсутствием доступа микроорганизмов к нефтяным остаткам [4].

При самовосстановлении почв трансформационные процессы связаны с биодеградацией нефтяных углеводородов под влиянием почвенных микроорганизмов, которые используют углеводороды в качестве источника энергии. Так, окисление алифатических углеводородов, обычно являющееся начальной стадией процесса их биодегградации, приводит к образованию жирных спиртов, которые в дальнейшем окисляются до жирных кислот, являющихся природными компонентами липидов, необходимыми для прироста энергии почвенных организмов [5].

Биоремедиация стремится использовать встречающиеся в природе биоматериалы и живые организмы, особенно микроорганизмы. Бактерии являются основными микроорганизмами в процессе биодегградации нефти в загрязненных почвах. Некоторые из бактерий, разлагающих углеводороды, включают *Acinetobacter sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Streptococcus sp.*, *Roseomonas sp.*, *Sphingobacterium sp.*, *Yokenella sp.*, *Bacillus sp.*, *Carpocystis sp.*, *Corynebacterium sp.* [6]. Эти бактерии естественным образом встречаются в местах их обитания и частично ответственны за разложение углеводородов в окружающей среде.

В ходе исследования в работе [7] было изучено бактериальное разнообразие почвы вокруг стареющего нефтяного шлама, а также проанализирована структура сообщества и богатство бактерий. *Proteobacteria*, *Chloroflexi* и *Actinobacteria*, существующие в стареющей почве загрязненных нефтяным шламом угодий, составляли большую часть сообщества, в то время как доля *Firmicute* была относительно меньше. Наоборот, *Firmicute* показали самое высокое содержание 63,8% в контрольных образцах в почве без загрязнений.

Таким образом, ретроспективные исследования бактериального разнообразия на нефтезагрязненных территориях, резистентности и активности бактерий заложили

основу для последующей биоремедиации почвы посредством интродукции бактерий на загрязненные территории при условии, что образующиеся бактериальные консорциумы смогут использовать углеводороды в качестве субстрата и адаптироваться к внешним условиям, окружающим их среду обитания.

Выбор способа биоремедиации нефтезагрязненных почв

Биоремедиация *in situ* не требует земляных работ; следовательно, она сопровождается незначительным нарушением структуры почвы, либо вообще не нарушает ее. С одной стороны, данный способ в отличие от биоремедиации *ex situ* не сопряжен с дополнительными затратами на осуществление земляных работ, с другой стороны способ может потребовать сложного оборудования для улучшения микробной активности посредством сочетания способов биовентиляции, биоразбрызгивания и фиторемедиации и т.д.

В случае биоремедиации *in situ* необходим учет состояния почвенной и окружающей среды и ее стабильности: содержания влаги, доступности питательных веществ, pH, температуры и пористости почвы, состояния акцепторов электронов и других факторов, влияющих на успешность биоремедиации [8].

Биоремедиация *ex situ* предполагает удаление земли с загрязненных нефтью участков с последующей их транспортировкой к месту обработки. Целесообразность данного способа биоремедиации оценивается с учетом комплекса параметров: стоимости обработки, глубины и степени загрязнения, географического положения и удаленности от места ремедиации, геологии загрязненного участка и т.д.

Объем загрязненной земляной массы в данном случае размещается на специально создаваемых биопахлах (отвалах) с последующим внесением питательных веществ. Способ может дополняться технологиями аэрации валками для повышения микробной активности и аэробного разложения загрязняющих веществ, а также различными направлениями экологического земледелия (внесение азота, фосфора и калия, орошение) для обеспечения нужного объема питательных веществ в почве и биостимуляции процесса ремедиации [9].

Однако необходимо отметить, что методы биоремедиации *ex situ*, имеют некоторые ограничения: большое рабочее пространство, снижение микробной активности из-за неблагоприятных условий окружающей среды, дополнительные затраты на транспортирование нефтезагрязненного слоя почвы и др.

Таблица 1. Состав некоторых микробиологических препаратов [12]

Название препарата	Компоненты препарата
Первое поколение — масса сухих клеток, суспензии	
Деворойл	Ассоциация дрожжей и бактерий <i>p.Candida</i> , <i>Rhodococcus</i> , <i>Pseudomonas</i>
Деградойл	Консорциум включающий <i>Az. Vinelandii</i>
Путидойл	<i>Pseudomonasputida</i>
Серия биодеструктор	<i>Acinetobacter valentis</i> , <i>Ac.oleovorum</i>
Второе поколение — использование сорбентов, минеральных компонентов, иммобилизованных клеток	
Бациспецин	Бактерии <i>p.Bacillus</i> , иммобилизованные на носителе с поролоном
Лигносорбент	Комплекс штаммов на носителе — гидролизном лигнине
Родотрин	Комплекс грибов и бактерий на сорбентах (капрон, полистирол)
Сойлекс	Комплекс штаммов адсорбированных на носителях (торф, вермикулит и др.)
Экойл	<i>Pseudomonas</i> sp. на модифицированном торфе
Эконадин	<i>Pseudomonas fluorescens</i> на сфагновом торфе

Для минимизации сложностей обеспечения условий эффективного функционирования микроорганизмов в естественных среде при способе *in situ* и сокращения затрат на транспортировку почв и организацию территорий для биоремедиации методом *ex situ* целесообразным представляется использование способа *on site*. Данный способ предполагает обработку нефтезагрязненных почв на месте разлива нефти с применением биореактора, где вследствие превращений под действием микробиологического препарата происходит биоремедиация почвы до достижения заданного качества. Биореакторная технология биоремедиации представляет собой инженерно-технический комплекс, обычно состоящий из четырех компонентов: установок для обработки и кондиционирования загрязненных почв, самой батареи биореакторов, установок для обработки и утилизации обработанных почв и вспомогательного оборудования для очистки стоков [10].

Способ *on site* с применением биореактора позволяет создать естественную среду для жизнедеятельности микроорганизмов и оптимальные условия для их роста. В ходе периодической или непрерывной работы реактора обеспечивается контроль и регулирование параметров биопроцесса (температуры, pH, скорости перемешивания и аэрации, концентрации субстрата и инокулята) для ускорения биологических реакций и сокращения времени биоремедиации. Одновременно возможна организация биоаугментации микроорганизмов за счет добавления в реактор питательных веществ, что является важным преимуществом данного способа [8]. Возможность отбора проб на месте работы реактора через определенные промежутки времени позволяет отслеживать изменения в динамике микробной популя-

ции и характеризовать основные бактериальные сообщества, участвующие в процессах биоремедиации.

Микроорганизмы-деструкторы нефтяных загрязнений и препараты для биоремедиации

Углеводородные микроорганизмы-деструкторы представлены бактериями, грибами, дрожжами, водорослями, простейшими. Среди наиболее изученных бактерий-деструкторов нефтяных загрязнений можно отметить *Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Sphingomonas*, *Rhodococcus* и *Mycobacterium*, которые разлагают алифатические и ароматические углеводороды, используя их в качестве источника углерода и энергии. Сначала микроорганизмы окисляют молекулу углерода посредством сложного мультиферментативного механизма (ферменты оксигеназного типа), который включает молекулу кислорода. Другие ферменты окисляют спиртовую группу до альдегидной группы и, наконец, до угольной кислоты.

Интерес представляют агломерации микроорганизмов или микробные консорциумы, совместная работа которых обеспечивает синергетический эффект и приводит к более эффективному удалению загрязняющих веществ из почв. Например, консорциум из *Acinetobacter* sp., *Pseudomonas* sp., *Ralstonia* sp. и *Microbacterium* sp, способствует разложению ароматических углеводородов. Процесс деструкции углеводородов под действием микроорганизмов различного типа подробно охарактеризован [11]. Известны разнообразные коммерческие биопрепараты, разработанные для очистки почв от нефтяных загрязнений (Таблица).

Наиболее известным и давно применяющимся на практике является биопрепарат Путидойл, представляющий собой смесь культуральной жидкости (КЖ), содержащую штаммы *Pseudomonas putida* 36 в высушенном состоянии. Данный препарат снижает содержание нефтепродуктов при сочетании биоремедиации с механической обработкой грунта, однако его эффективность применения составляет всего лишь 29,3%. [13].

Дальнейшие исследования по созданию микробиологических препаратов направлены на реализацию следующих их преимуществ:

- ◆ штаммы являются аэробными микроорганизмами;
- ◆ легко адаптируются к новым условиям окружающей среды/культуры (это аборигенная флора);
- ◆ происходит использование натуральных, нетоксичных микроорганизмов;
- ◆ отказ от использования генной инженерии для увеличения разложения нефти, благодаря высокой гибкости метаболизма.

Например, разработанный в Башкирском государственном университете биодеструктор «Ремедойл» (ТУ 9291–001–86142353–2012) не содержит в своем составе патогенных и условно патогенных микроорганизмов и эффективен в биоремедиации нефтезагрязненных почв. Так, в подвергнутых ремедиации образцах за 30 суток наблюдается снижение до 63,8% нефтепродуктов от исходного уровня, спустя 8 месяцев содержание загрязнителя падает до 96% [14].

При этом следует отметить, что в ретроспективных исследованиях недостаточное внимание уделяется сравнительному анализу результатов ремедиации загрязненных почв с различным содержанием парафинов в нефти, что делает необходимым проведение экспериментальных исследований в этой области и разработке методики исследования, предваряющей эксперимент.

Методика проведения экспериментальных исследований ремедиации загрязненных нефтью почв с различным содержанием парафинов.

1. Подготовить образцы нефти с различным содержанием парафинов. Произвести отбор образцов нефти производился по ГОСТ 2517–2012 «Нефть и нефтепродукты. Методы отбора проб».
2. Определить содержание парафина по ГОСТ 11851–85 «Нефть. Метод определения парафина» по методу А, заключающемуся в предварительном удалении асфальто-смолистых веществ из нефти, их экстракции и адсорбции и последующем выделении парафина смесью ацетона и толуола при температуре минус 20 °С.
3. Выбрать 3 образца нефти с различным содержанием парафинов, произвести экспериментальное загрязнение почв.

4. Отобрать почвы для определения массовой доли нефтепродукта. Пробы отобрать в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02–2017, ГОСТ 17.1.5.01–80.
5. Произвести экстракцию нефтепродуктов из проб почвы и очистку экстракта.
6. Произвести хроматографическое выделение элюата и ИК-спектроскопический анализ состава нефти с различным содержанием парафинов.
7. Произвести биоремедиацию почвы микробиологическим препаратом, повторить п. 4–6 через равные интервалы времени для определения доли оставшихся после ремедиации нефтепродуктов с различным содержанием парафинов.
8. Сделать вывод об эффективности биоремедиации нефтезагрязненных почв и влиянии на скорость ремедиации содержания парафинов в нефти.

Разработанная методика служит основой для дальнейших экспериментальных исследований.

Заключение

В связи с возрастающим загрязнением почв нефтяными углеводородами необходимой остается разработка экологически чистых и высокоэффективных методов их ремедиации. В данном исследовании охарактеризовано негативное воздействие нефтесодержащих отходов на почву; приведены возможности естественного восстановления почв при разливах нефти и вблизи нефтешламов за счет микробиоты почвы; систематизированы преимущества и ограничения применения способов биоремедиации *in situ* и *ex situ*.

Показаны достоинства способа биоремедиации *on site*, реализуемого с применением биореактора на территории нефтезагрязненных земель, позволяющего контролировать, регулировать, интенсифицировать и измерять параметры процесса биодеструкции нефти, оценивать эффективность различных микроорганизмов и препаратов, участвующих в биоремедиации.

Систематизированы представления о микроорганизмах-деструктантах нефти и обобщены данные по видам и составу препаратов, используемых для ремедиации почв. Отмечена результативность препарата Ремедойл. Выявлена недостаточная исследованность вопросов биоремедиации почв с учетом различного содержания парафинов в нефти. Предложена методика экспериментального исследования, необходимая для последующей оценки влияния содержания парафинов в нефти на скорость биоремедиации. Проведенное теоретико-методологическое обоснование служит основой для последующей выработки технологии ремедиации по способу *on site*.

ЛИТЕРАТУРА

1. Захматов В.Д., Онов В.А., Щербак Н.В. Анализ экологического ущерба от нефтяных разливов // Проблемы управления рисками в техносфере. — 2019. — № 1. — С. 73–80.
2. Коваль А.В. Анализ особенностей разлива нефти на стационарных объектах хранения нефти и нефтепродуктов // Наука и молодёжь: новые идеи и решения: материалы XV межд. науч.-практ. конф. — Волгоград: ВГАУ, 2021. — С. 77–78.
3. Шигапов А.М. Биоремедиация нефтезагрязнённых почв органическими компонентами отходов лесозаготовительной промышленности: дисс. канд. биол. наук, Екатеринбург, 2016. — 253 с.
4. Сафиулова В.Р. Угледородокисляющие микроорганизмы при нефтепереработке // Безопасность городской среды: материалы VIII межд. науч.-практ. конф. — Омск, 2021. — С. 421–427.
5. Ławniczak Ł., Woźniak-Karczewska M., Loibner A. Microbial degradation of hydrocarbons — basic principles for bioremediation: a review // Molecules. — 2020. — Т. 25. — № 4. — С. 856.
6. Пархоменко А.Н. Скрининг микроорганизмов-деструкторов нефтяных углеводородов // Экобиотех. — 2019. — Т. 2. — № 3. — С. 330–338.
7. Kuang S., H. Su, Y. Wang et al. Soil microbial community structure and diversity around the aging oil sludge in yellow river delta as determined by high-throughput sequencing // Archaea. — 2018. — Т. 2018. — С. 7861805.
8. Azubuike C., Chikere C., Okpokwasili G. Bioremediation techniques—classification based on site of application: principles, advantages, limitations and prospects // World Journal of Microbiology and Biotechnology. — 2016. — Т. 32. — № 1. — С. 1–18.
9. Whelan M.J., Coulon F., Hince G. et al. Fate and transport of petroleum hydrocarbons in engineered biopiles in polar regions // Chemosphere. — 2015. — Т. 131. — С. 232–240.
10. Robles-González I., Fava F., Poggi-Valardo H. A review on slurry bioreactors for bioremediation of soils and sediments // Microbial Cell Factories. — 2008. — Т. 7. — № 1. — С. 1–16.
11. Xenia M.E., Refugio R.V. Microorganisms' metabolism during bioremediation of oil contaminated soils // J. Bioremed. Biodeg. — 2016. — Т. 7. — № 2. DOI:10.4172/2155-6199.1000340
12. Нуртдинова Л.А. Исследование процессов ремедиации нефтезагрязнённых природных объектов с использованием биопрепарата «Ленойл»: дисс. канд. биол. наук. — Уфа, 2005. — 103 с.
13. Волков М.Ю. (RU), Ильин А.А. (RU), Калилец А.А. (RU) Заявка: 2013128882/10, 25.06.2013. Препарат для биодеградациии нефтепродуктов «биоионит» и способ его получения: пат. RU (11) 2 571 219(13). — 2013.
14. Minina N.N. The results of research of the biological product “remedoil” for the purification of oil-contaminated soils // Journal of Agriculture and Environment. — 2021. — Vol. 4 (20). — No. 6. DOI: <https://doi.org/10.23649/jae.2021.4.20.6>.

© Денежкина Анна Андреевна (ann.den0104@yandex.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

БЕССЫВОРОТОЧНЫЕ ПИТАТЕЛЬНЫЕ СРЕДЫ ДЛЯ КУЛЬТУРАЛЬНОЙ ГРИППОЗНОЙ ЖИВОЙ ВАКЦИНЫ

SERUM-FREE CULTURE MEDIA FOR CULTURED INFLUENZA LIVE VACCINE

**N. Dumchenko
E. Nechaeva**

Summary. Serum-free culture media VectorVak-PS2 and GPS-1 were constructed for the cultivation of the MDCK cell culture and the creation of a live cultural influenza vaccine. It has been proven that the culture media VectorVak-PS2 and GPS-1 have a high proliferative activity, and the production of viral strains of the influenza virus is comparable to the production of these strains in a commercial serum-free medium. Culture media VectorVak-PS2 and GPS-1 can be used in the production of live influenza vaccine.

Keywords: nutrient media, cell cultures, vaccines, influenza.

Думченко Наталья Борисовна

Н.с., ФБУН «Государственный научный
центр вирусологии и биотехнологии «Вектор»
Роспотребнадзора, Кольцово, Новосибирская область
dumchenco@vector.nsc.ru

Нечаева Елена Августовна

К.б.н., ФБУН «Государственный научный
центр вирусологии и биотехнологии «Вектор»
Роспотребнадзора, Кольцово, Новосибирская область
nechaeva@vector.nsc.ru

Аннотация. Сконструированы бессывороточные питательные среды ВекторВак-ПС2 и ГПС-1 для культивирования культуры клеток MDCK и создания живой культуральной гриппозной вакцины. Доказано, что питательные среды ВекторВак-ПС2 и ГПС-1 обладают высокой пролиферативной активностью, а также продукция вирусных штаммов вируса гриппа сравнима с продукцией этих штаммов в коммерческой бессывороточной среде. Питательные среды ВекторВак-ПС2 и ГПС-1 могут быть использованы в производстве живой гриппозной вакцины.

Ключевые слова: питательные среды, культуры клеток, вакцины, грипп.

Введение

Питательные среды являются наиболее важным фактором в технологии получения культуральных живых вакцин. Среда поддерживает выживание и пролиферацию клеток, а также клеточные функции, это означает, что качество среды напрямую влияет на результаты исследований, скорость производства биофармацевтических препаратов. Поэтому важно выбрать подходящую среду, которая необходима для этих целей. В настоящее время синтетические среды можно разделить на несколько групп в зависимости от типа добавок: среды, содержащие сыворотку крови животных, среды без сыворотки и среды определенного химического состава. Среда, содержащая сыворотку, естественным образом содержит различные вещества, полученные из сыворотки, которые делают состав среды не ясным, а их концентрации могут колебаться от партии к партии. Эта ситуация снижает воспроизводимость результатов и создает риск микробного заражения. Среда, не содержащая сыворотки, напротив, имеют определенный состав, что обеспечивает высокую воспроизводимость результатов, а процесс выращивания может быть подтвержден. Бессывороточные среды химически определенных составов (не содержат неопределенных ингредиентов) обеспечивают дополнительную стабиль-

ность и воспроизводимость систем культивирования и снижение риска микробного заражения. В настоящее время составы базовых (основных) вирусологических питательных сред (MEM, DMEM, 199, F-12, RPMI, 199 и др.) известны и приводятся в каталогах большинства коммерческих компаний, а прописи специализированных бессывороточных сред являются предметом собственности компаний (Gibco, JRH biosciences, HyClone, др.) и недоступны для широкого использования. Существует несколько подходов к созданию бессывороточных питательных сред. Первый — к известной базовой питательной среде добавляют различные компоненты, в том числе смесь аминокислот, неорганических соединений, микро- и макроэлементов, сахаров, жирных кислот, инсулина, трансферрина для получения полностью химически определенной питательной среды [1–5]. Прописи питательных сред отличаются процентным соотношением компонентов среды и их составом, могут добавляться или исключаться различные компоненты, но это влияет, в конечном счете, на стоимость среды. Второй — при использовании сыворотки велика вероятность попадания пирогенов и остаточных элементов сыворотки в конечный продукт [6]. В настоящее время проведен ряд исследований для выявления альтернативы заменителя сыворотки, вместо сыворотки используют различные компоненты, такие как гидролизаты, смесь факторов

роста, гормонов и витаминов, их добавляют в определенной концентрации к известной питательной среде. Поэтому подбор гидролизатов для конкретной культуры клеток является на сегодняшний день одной из актуальных проблем клеточной биотехнологии [7].

Авторами разработана бессывороточная питательная среда определенного химического состава для культивирования клеток MDCK и вакцинных штаммов вирусов гриппа ВекторВак-ПС2 [8]. Также была разработана бессывороточная питательная среда с добавлением гидролизатов ГПС-1, отвечающая всем нормативным требованиям по культивированию клеток MDCK и вакцинных штаммов вирусов гриппа.

Целью работы являлось конструирование питательных сред для оптимизации технологии производства живой культуральной гриппозной вакцины

Материалы и методики исследования

Питательные среды. В работе проводили исследование питательных сред SFM4MegaVir (HyClone, США), ВекторВак-ПС2, ГПС-1 и Игла MEM (производство ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора).

Культивирование клеток. В качестве клеточного субстрата применяли перевиваемую линию клеток почки самки коккер-спаниеля MDCK из коллекции культур клеток ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора. Клетки культивировали в культуральных флаконах объемом 25 мл (TPP, Швейцария), в качестве ростовой питательной среды использовали среду Игла MEM (производство ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора) с 1–5% сыворотки крови плодов коровы (Gibco, США). После прикрепления клеток проводили смену среды на питательные среды SFM4MegaVir (HyClone, США), ВекторВак-ПС2, ГПС-1 и Игла MEM (производство ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора) и продолжали культивировать клетки в течение 72 часов.

Определение жизнеспособности клеток. Жизнеспособность клеток оценивали с помощью ХТТ-теста [9]. Культуру клеток MDCK в концентрации 5×10^4 в 1 мл помещали в 96-луночный планшет (Costar, США) в среды Игла MEM, содержащей 5% сыворотки крови плодов коровы, SFM4MegaVir (HyClone, США), ВекторВак-ПС2, ГПС-1 и инкубировали 72 ч при 37 °C с 5% CO₂ в CO₂-инкубаторе. Затем в каждую лунку с исследуемыми питательными средами вносили по 50 мкл рабочего раствора соли тетразолия ХТТ (2,3-бис-(2-метокси-4-нитро-5-сульфопенил)-2Н-тетразолий-5- карбоксанилид) (Sigma, США). Использование ХТТ приводило к образованию растворимого красителя оранжевого цвета. В живых клетках митохондрии способны уменьшать количество растворенно-

го ХТТ с формированием водорастворимого оранжевого красителя, а концентрация красителя прямо пропорциональна количеству метаболически активных клеток. Инкубировали еще (2–4) часа в условиях CO₂-инкубатора. Определяли жизнеспособность клеток по интенсивности окраски раствора, измеряли его оптической плотностью в лунках на микропланшетном ридере Tecan Sunrise (Tecan, Австрия) при длине волны 492 нм.

Пролиферативная активность клеток. Изучение пролиферативной активности клеток проводили при культивировании в различных питательных средах с добавлением и без добавления сыворотки крови плодов коровы. Клетки культивировали во флаконах вместимостью 25 мл (TPP, Швейцария). Посевная концентрация составляла $1,0 \times 10^5$ клеток в 1 мл, кратность рассева 1:3–1:4. Для пересева культур клеток в качестве диспергента применяли 0,25%-ный раствор трипсина и 0,02%-ный раствор Версена (производство ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора) в соотношении 1:2. Культуры клеток инкубировали при температуре 37°C в течение (72–96) ч. Оценивали морфологию клеток, индекс пролиферации, сроки формирования и состояние клеточного слоя [10].

Культивирование вакцинных штаммов вируса гриппа в клетках MDCK. Культуру клеток MDCK культивировали в культуральных флаконах объемом 25 мл (TPP, Швейцария), в качестве ростовой питательной среды использовали среду Игла MEM (производство ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор») с 5% сыворотки крови плодов коровы (Gibco, США). После прикрепления ростовую среду сливали, клетки заражали вакцинными штаммами вируса гриппа A/17/Калифорния/2009/38 (H1N1), A/17/Швейцария/2010/1 (H3N2) и B/60/Пхукет/2013/26 с множественностью заражения (0,01–0,001) ЭИД50/0,5 мл и далее продолжали культивирование клеток в питательной среде SFM4MegaVir (HyClone, США), питательной среде ВекторВак-ПС2 и питательной среде ГПС-1. Ежедневно оценивали морфологию клеток, выход клеток [10] и отбирали пробы вирусосодержащего материала для определения специфической активности вируса гриппа методом титрования на куриных эмбрионах [11], которую выражали в Ig ЭИД50/0,2 мл. Через 1–5 сутки проводили учет специфической активности вируса гриппа по цитопатическому действию (ФС.3.3.1.0027.15 «Вакцина гриппозная живая») [12], полученную вирусосодержащую жидкость освобождали от клеточного детрита фильтрованием через нитроцеллюлозные мембраны с размером пор 0,2 мкм, 0,45 и 0,65 мкм (Миллипор, США), добавляли стабилизаторы, разливали в ампулы по 0,2 мл и подвергали лиофилизации (установка лиофильного высушивания TG 16–50 (Германия)). После высушивания материала ампулы заполняли аргоном и запаивали. Вакцину контролировали на специфическую и гемагглютинирующую активность [11], стерильность, физико-химические свойства, pH [12].

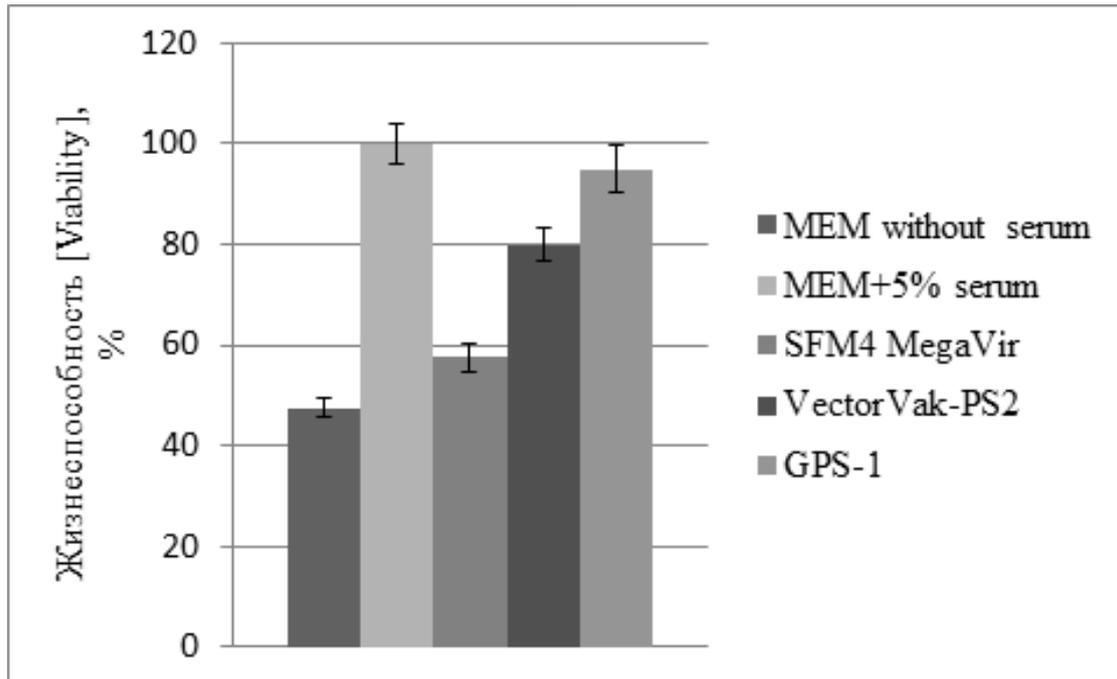


Рис. 1. Влияние различных питательных сред на жизнеспособность культуры клеток MDCK

Статистическая обработка результатов проведена по стандартным методикам [13]. Данные в таблицах приведены в виде средней арифметической со стандартной ошибкой ($M \pm m$). Оценка различий выборочных средних проведена при значении доверительной вероятности 0,95.

Результаты исследования и обсуждение

Во ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора были разработаны бессывороточные среды ВекторВак-ПС2 и ГПС-1. Питательная среда ВекторВак-ПС2, состав которой отражен в Технических условиях № 20.59.52-084-05664012-2019 «Питательная среда для культур клеток бессывороточная жидкая ВекторВак-ПС2» представляет собой полностью определенную бессывороточную питательную среду, состоящую из неорганических солей, аминокислот, витаминов, глюкозы, микроэлементов и других компонентов, растворенных в воде очищенной, простерилизованной фильтрованием через систему мембранных фильтров с конечным размером пор не более 0,22 мкм. Среда ВекторВак-ПС2 — прозрачная жидкость красновато-оранжевого цвета, без опалесценции и осадка, pH среды варьирует от 7,1 до 7,5, буферная емкость не менее 3,0 мл, содержание хлор-ионов колеблется в пределах 4,60–5,62 г/л, глюкозы — в пределах от 3,0 до 5,1 г/л, количество аминного азота не менее 0,08 г/л. Питательная среда стерильна, антибиотиков и консервантов не содержит.

В состав питательной среды ГПС-1 входят неорганические соли, аминокислоты и витамины что и в состав базовой питательной среды Игла MEM, но с добавлением соевого гидролизата НуПер 2209, содержащего дополнительные факторы роста. Бессывороточная питательная среда ГПС-1 — прозрачная жидкость красновато-бордового цвета, без опалесценции и осадка, pH среды варьирует от 7,2 до 7,4, буферная емкость не менее 3,0 мл, содержание хлор-ионов колеблется в пределах 4,60–5,62 г/л, глюкозы — в пределах от 1,0 до 3,0 г/л, количество аминного азота не менее 2,2 г/л. Питательная среда стерильна, антибиотиков и консервантов не содержит.

Сравнительное изучение жизнеспособности клеток MDCK в питательных средах ВекторВак-ПС2, ГПС-1 и Игла MEM оценивали с помощью ХТТ-теста. В качестве контроля использовали питательную среду Игла MEM, содержащую 5% сыворотки крови плодов коровы, и бессывороточную питательную среду SFM4 MegaVir. Проводили измерение оптической плотности интенсивности окраски субстрата в лунках. Рассчитали процент жизнеспособных клеток в каждом опытном образце относительно лунок контроля. Было показано, что бессывороточные среды ВекторВак-ПС2 и ГПС-1 превосходят по жизнеспособности питательные среды Игла MEM и SFM4 MegaVir. (Рис. 1.)

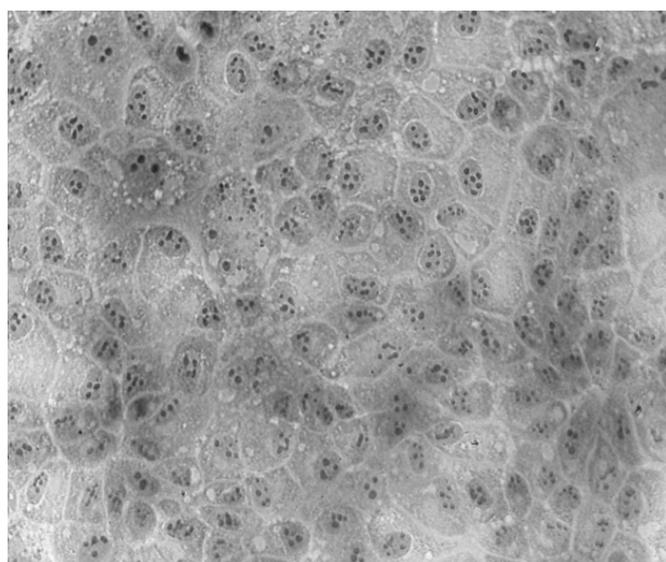
Была проведена оценка пролиферативной активности клеток MDCK в питательных средах Игла MEM, SFM4

Таблица 1. Влияние состава ростовой питательной среды на пролиферативную активность MDCK

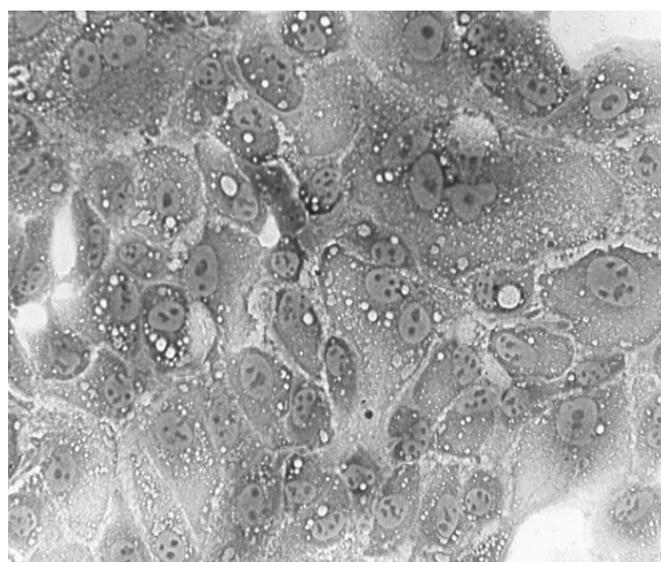
Nutrient medium	MEM without serum	MEM+5% serum	SFM4 MegaVir	VectorVak-PS2	GPS-1
Proliferation index, ($\chi \pm \sigma$)	0	4,3±0,4	2,3±0,2	3,2±0,3	3,8±0,4

Таблица 2. Продукция вакцинных штаммов вируса гриппа в культуре клеток MDCK

Nutrient medium	The specific activity of the influenza virus, Ig EID50/0,5 ml, ($\chi \pm \sigma$)		
	A/17/California/2009/38 (H1N1)	A/17/Switzerland/2010/1(H3N2)	B/60/Phuket /2013/26
MEM+5% serum	7,0±0,5	6,3±0,5	6,0±0,5
SFM4Mega Vir	9,0±0,5	8,5±0,5	8,5±0,5
VectorVak-PS2	8,5±0,5	8,5±0,5	8,5±0,5
GPS-1	8,5±0,5	9,0±0,5	8,5±0,5



а



б

Рис. 2. Световая микроскопия. Окраска азур-эозином. Увел. 40: а — клетки культивируемые на средах Игла MEM, ВекторВак-ПС2, ГПС-1; б — клетки культивируемые на среде SFM4 MegaVir

MegaVir, ВекторВак-ПС2 и ГПС-1. В качестве контроля применяли питательную среду Игла MEM с добавлением 5% сыворотки без сыворотки и бессывороточную среду SFM4 MegaVir, используемую в производстве гриппозной вакцины. Разработанные бессывороточные среда ВекторВак-ПС2 и ГПС-1 при культивировании клеток MDCK обеспечивают рост клеток, клетки имеют типичную для данной культуры морфологию, формируют монослой на 2–3 сутки роста, сохраняют высокую пролиферативную активность (индекс пролиферации культуры клеток составляет 3,2 и 3,8 соответственно)

(табл. 1) (Рис. 2.а). В культуре клеток MDCK, культивируемой в среде SFM4 MegaVir, наблюдается изменение морфологии клеток, клетки увеличиваются в размерах, образуют тяжи, пролиферативная активность культуры снижена (Рис. 2.б).

При культивировании вакцинных штаммов вируса гриппа в клетках MDCK показано, что продукция вируса гриппа в бессывороточных средах ВекторВак-ПС2 и ГПС-1 сравнима с продукцией вируса гриппа в среде SFM4MegaVir и составляет (8,5–9) Ig ЭИД50 (табл. 2)

Заключение

Разработаны бессывороточные питательные среды ВекторВак-ПС2 и ГПС-1 для культивирования клеток MDCK и вакцинных штаммов вируса гриппа для создания гриппозных вакцин. Среда сконструированы на основе

базового состава Игла MEM с дополнительными компонентами, такими как, аминокислоты и микроэлементы для ВекторВак-ПС2 и соевый гидролизат, содержащий дополнительные факторы роста — для ГПС-1. Питательные среды ВекторВак-ПС2 и ГПС-1 могут быть использованы в производстве живой гриппозной вакцины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Merten O.-W., Kallel H., Manuguerra J.-C., Tardy-Panit M., Crainic R., Delpeyroux F., Van der Werf S., Perrin P. The new medium MDSS2N, free of any animal protein supports cell growth and production of various viruses // *Cytotechnology*. — 1999.-V. 30. — P. 191–201.
2. Merten O.-W., Wu R., Couve R. Evaluation of the serum-free medium MDSS2 for the production of poliovirus on Vero cells in bioreactor // *Cytotechnology*. — 1997.-V. 25.-P. 35–41.
3. Райтер М., Мундт В., Дорнер Ф., Грильбергер Л. Среда, не содержащая белков и сыворотки, и способ культивирования клеток млекопитающих в такой среде: Патент Ru 238412. — 2010.
4. Hossler P., Racicot C., McDermott S., Fann J. Efficient and effective supplement screening for the development of chemically defined media in cell culture: Patent USA US2010/0129727. — 2012.
5. Kallel H., Perrin P., Merten O.-W. Evaluations of the new medium (MDSS2N) free of serum and animal proteins, for the production of biologicals // *In: New Development and New Applications in Animal Cell Technology*. Kluwer Academic Publishers. -1998.-P. 561–568.
6. Нечаева Е.А., Радаева И.Ф., Думченко Н.Б., Сумкина Т.П., Богрянцева М.П., Сенькина Т.Ю. Бессывороточная питательная среда для культивирования клеток и вирусов // *Вестник пермского национального исследовательского политехнического университета Химическая технология и биотехнология* — 2018. — № 4. — С. 85–97.
7. Думченко Н.Б., Радаева И.Ф., Нечаева Е.А., Руденко Л.Г. Использование различных гидролизатов при получении гриппозной вакцины // *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики Естественные и технические науки* — 2019 — № 11–2. — С. 6–9
8. Технические условия № 20.59.52–084–05664012–2019 «Питательная среда для культур клеток бессывороточная жидкая ВекторВак-ПС2».
9. Scudiere D.A., Shoemaker R.H., Paul K.D., Monks A., Tierney S., Nofziger T.H., Currens M.J., Seniff D., Boyd M.R. Evaluation of a soluble tetrazolium/formazan assay for cell growth and drug sensitivity in culture using human and other tumor cell lines // *Cancer research* — 1988. — V.48 — P. 4827–4833.
10. Фармакопейная статья ОФС.1.7.2.0011.15 «Требования к клеточным культурам-субстратам производства иммунобиологических лекарственных препаратов». Государственная Фармакопея 14. — 2018.-Т.2. — С. 2835–2851.
11. Методы определения показателей качества иммунобиологических препаратов для профилактики и диагностики гриппа. МУК 3.3.2.1758–03.
12. Фармакопейная статья ФС.3.3.1.0027.15 «Вакцина гриппозная живая». Государственная Фармакопея 13. — 2015. — Т. 3. — С. 993–1008.
13. Гланц С. Медико-биологическая статистика / С. Гланц. — Пер. с англ. — 1999. — М. — 459 с.

© Думченко Наталья Борисовна (dumchenco@vector.nsc.ru), Нечаева Елена Августовна (nechaeva@vector.nsc.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

РЕКОНСТРУКЦИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ПАЛЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ОБСТАНОВОК ПОЗДНЕГО ГОЛОЦЕНА ПО ДОННЫМ ОТЛОЖЕНИЯМ ЛАХТИНСКОГО РАЗЛИВА С ПРИМЕНЕНИЕМ МИКРОПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКОГО МЕТОДА

RECONSTRUCTION OF LATE HOLOCENE LOCAL PALEOECOLOGICAL CONDITIONS FROM BOTTOM SEDIMENTS OF THE LAKHTA LOWLAND USING THE MICROPALAEONTOLOGICAL METHOD

**M. Lavrentiev
P. Turkovsky
D. Makarov**

Summary. Statistical and morphological analysis of tanatocenosis microbiota of the Lakhta lowland is carried out in this article. During the study of bottom lake sediments for this object the dominant zooinicator represented by numerous remains of Cladocera branchiopod crustaceans was identified in sediments. For the first time, a statistical calculation of microfauna distribution in the samples was made for the water body in question, as well as the morphology of the studied fossils was described and preliminary paleoecological conclusions were made.

Keywords: paleoecology, zooinicators, statistics, Cladocera, microfauna.

Лаврентьев Михаил Алексеевич

Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена
goauld1982@mail.ru

Турковский Павел Сергеевич

Аспирант, Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена; председатель методического объединения естественно-научного цикла; ГБОУ СОШ № 8 Фрунзенского района СПб
turkovsky@mail.ru

Макаров Дмитрий Константинович

Ведущий специалист, ОАО Ленгипротранс г. Санкт-Петербург
dmitrey301@mail.ru

Аннотация. В статье проводится статистический и морфологический анализ микробиоты танатоценоза Лахтинского разлива. В ходе проведенного исследования донных озерных отложений для данного объекта был выделен доминирующий в осадках зооиндикатор, представленный многочисленными остатками ветвистоусых ракообразных Cladocera. Впервые для изучаемого водного объекта проведен статистический подсчет распределения микрофауны в пробах, описана морфология изученных фоссилий и сделаны предварительные палеоэкологические выводы.

Ключевые слова: палеоэкология, зооиндикаторы, статистика, кладоцера, микрофауна.

Введение

Ввиду существенных климатических изменений, которые происходят в настоящее время, возникает необходимость для исследований изменений палеоклиматических условий в голоценовую эпоху. Это поможет определить механизмы и общую последовательность событий в естественной и антропогенной истории исследуемого региона [10].

Озера — это неотъемлемая часть природного ландшафта. Они могут различаться по размеру, происхождению и различным другим параметрам. Происхождение и эволюция озер тесно связаны с формированием рельефа и находятся в зависимости от природно-климатического фактора. Вследствие развития озерных ком-

плексов, происходит накопление различного донного материала. Осадочный слой формируется в результате аккумуляции на донной части водоема автохтонного материала, образовавшегося в результате жизнедеятельности обитавших в водоеме организмов [7,8].

Объект настоящего исследования Лахтинский разлив. Лахтинский разлив расположен вблизи Финского залива и имеет с ним общую границу. Лахтинский разлив отделяется песчаной пересыпью от Невской губы. По наиболее укрепленной части пересыпи пролегают автомобильные и железнодорожные пути.

Озеро представляет собой лагунообразный водоем в форме неправильной трапеции, оно глубоко вдается в сушу. Котловина озера представляет собой вытянутую

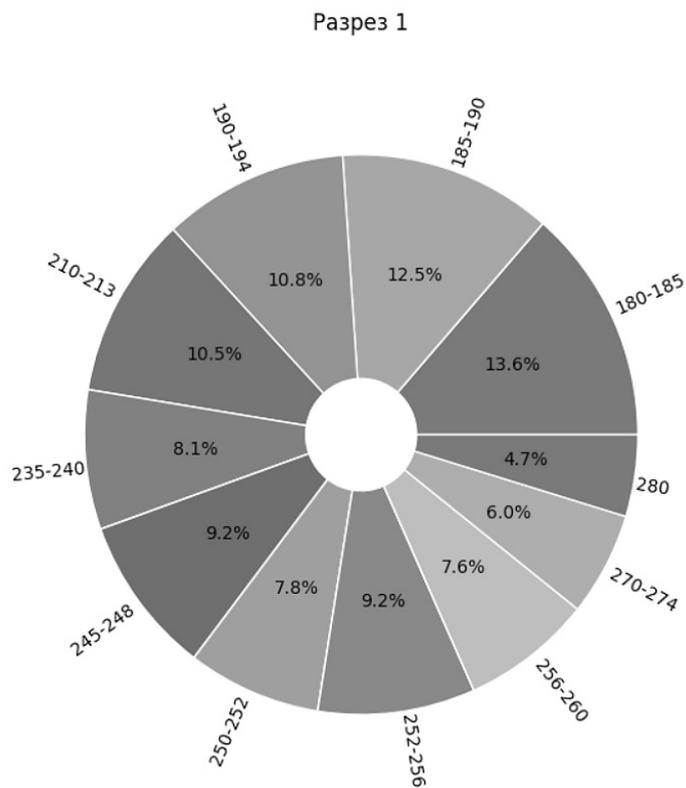


Рис. 1. Количество остатков животных в Разрезе № 1

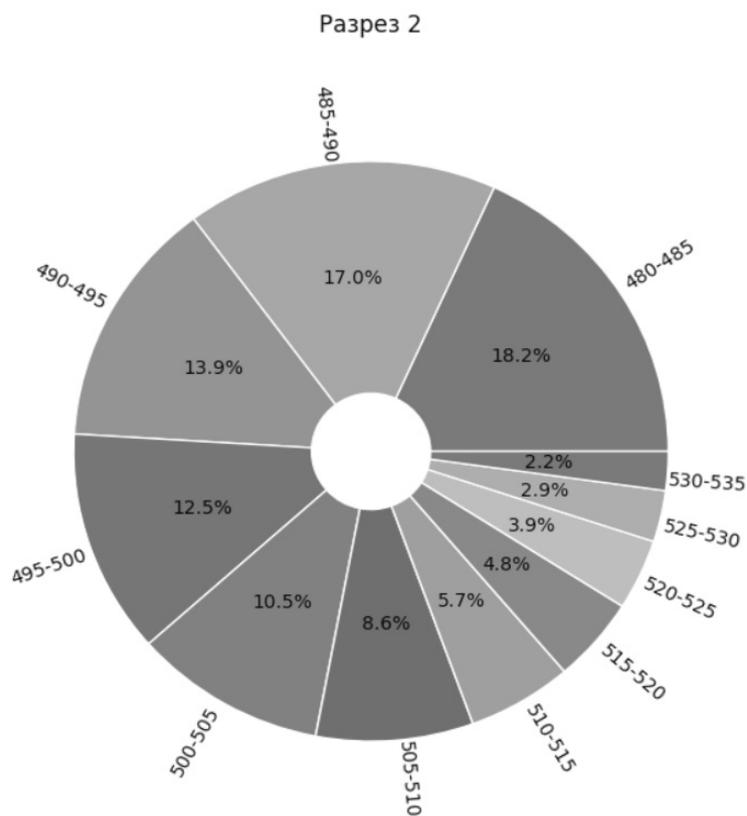


Рис. 2. Количество остатков животных в Разрезе № 2

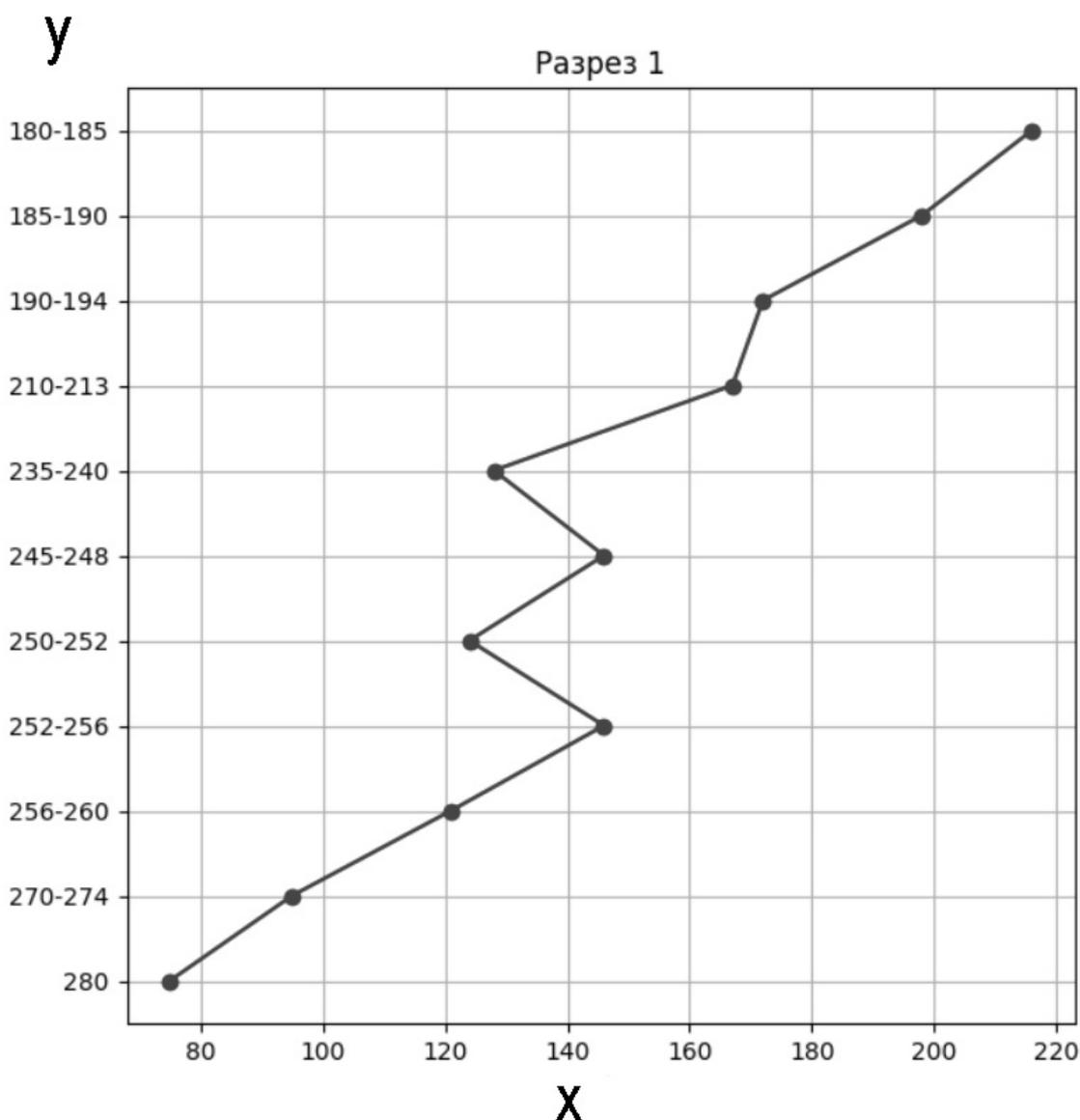


Рис. 3. Наличие остатков кладоцер (где X — количество остатков кладоцер, а Y — глубина)

форму и простирается с северо-запада на юго-восток местности. Площадь водного зеркала озера составляет 1,8 км², а длина— 2,5км, максимальная ширина— 1,5км. Средняя глубина озера равна 4,3 м, а максимальная глубина — 8,3 м. Северную часть Лахтинского Разлива занимают мелководья с глубинами до 4 метров. Величина глубины плавно увеличивается к центральной части озера [1].

Актуальность темы данной статьи состоит в конкретизации уже известных и определении новых закономерностей, которые связаны с эволюцией озер на протяжении эпохи голоцена а также определении актуальности при изучении микрофоссилий донных отложений озер для воссоздания условий окружающей

среды в голоцене и для решения последующих задач геоэкологии и эволюционной географии. Кроме того, данная работа призвана произвести уточнение в изменениях природных условий в прошлом и установление их современного состояния вследствие недостаточной изученности данных проблем на территории Северо-Западного региона России.

Основной фактический материал донных отложения Лахтинского разлива получен в результате полевых и лабораторных исследований, выполненных рабочей группой кафедры геологии и геоэкологии РГПУ им. А.И. Герцена. Изучено 2 разреза (Лахтинский разлив 180–280; Лахтинский разлив 480–535); приготовлено более 50 препаратов.

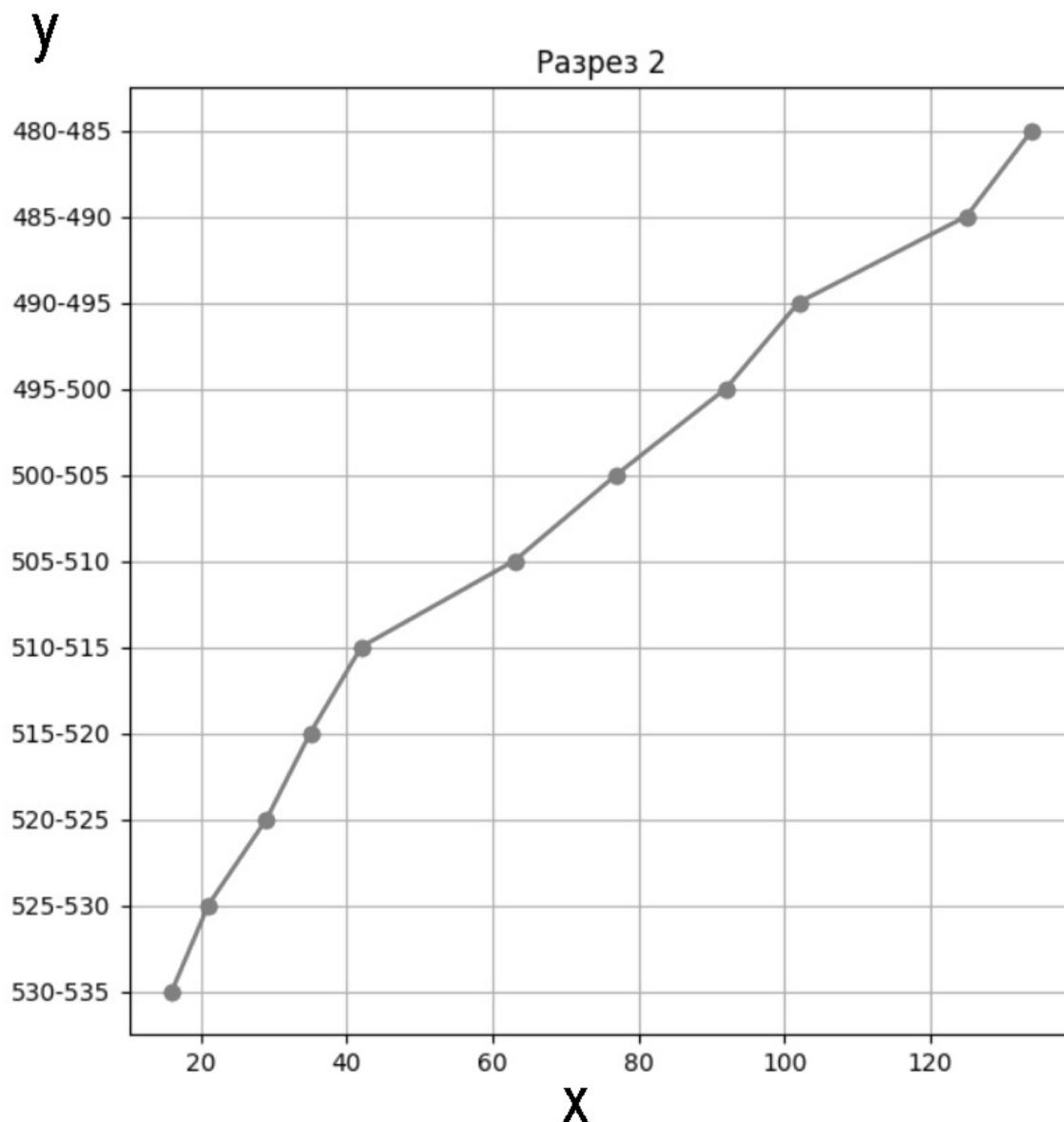


Рис. 4. Наличие остатков кладоцер с увеличением глубины (где X — количество остатков кладоцер, а Y — глубина)

Лабораторный этап пробоподготовки включал в себя следующие стадии:

1. Препарирование остатков микрофауны из донных отложений механическим и химическим способом.
2. Центрифугирование полученных проб.
3. Создание коллекции микропрепаратов для изучения под микроскопом.

Отдельной фазой исследования является детальное изучение полученных микропрепаратов с помощью биологического микроскопа, подсчет и определение доминирующей в танатоценозе микрофауны [9].

Тип и состояние зооценоза определяются гидрологическим типом озера, характером и историей подстилающей местности, общеклиматическими условиями, фазой развития сообщества, хозяйственными изменениями в акватории.

Исследования объекта Лахтинский разлив выявили типичный зооценоз. Численность остатков животных значительно меньше численности остатков водорослей. Выделение ценоза произведено по численно преобладающим формам. В зоотанатоценозах обычно нет оснований выделять ведущую функциональную группу, поэтому зоотанатоценозы выделены на основании численно доминирующих форм (рис 1) [4].

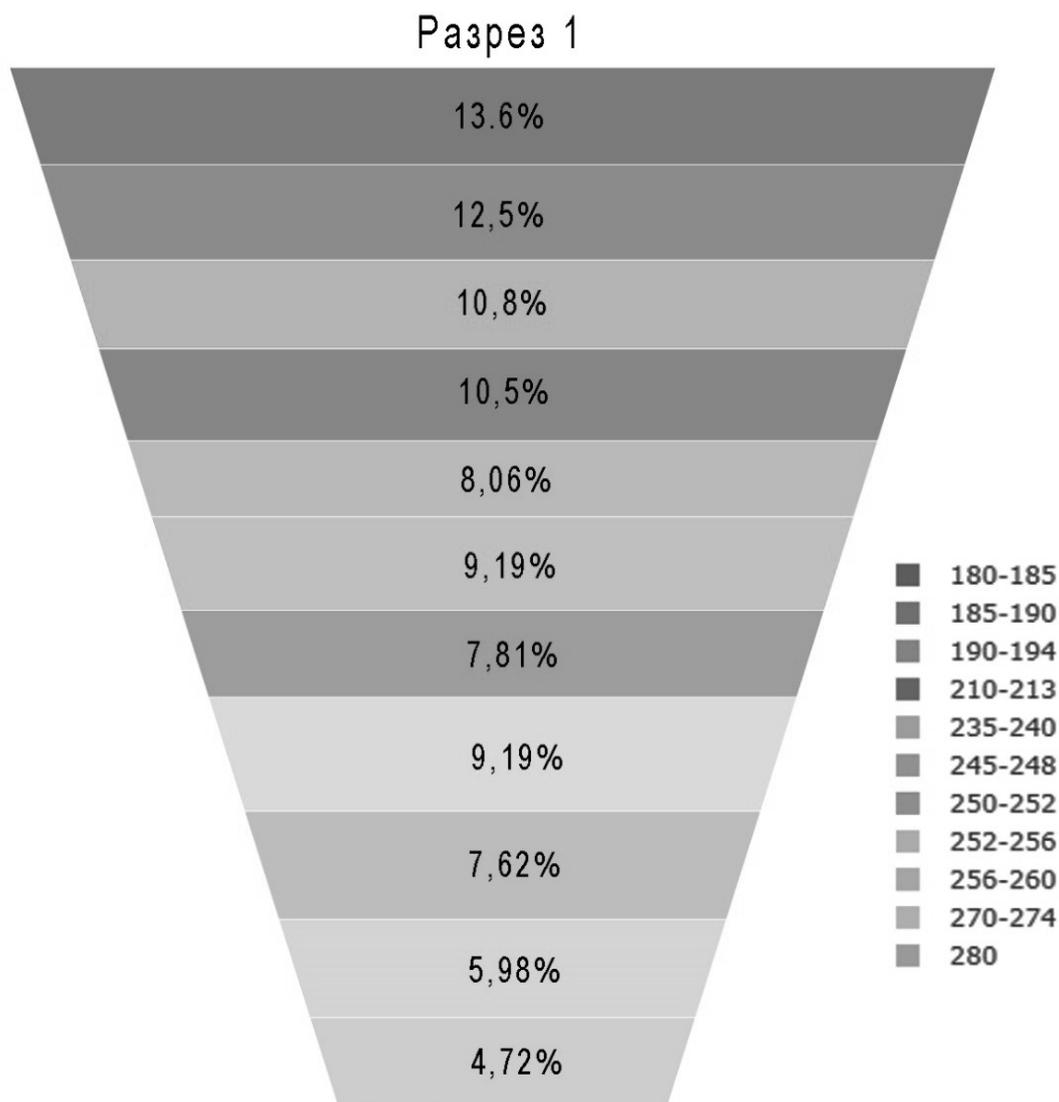


Рис. 5. Распределение микрофоссилий в донных отложениях в разрезе № 1

В разрезе № 1 (185–280 м) обнаружено доминирование кладоцер на всей его протяженности и понижение их численности с увеличением глубины (Рис 3).

На глубине Разреза № 2 (480–535 м) обнаружен слой минеральных частиц с малым содержанием остатков животных и растений с увеличением глубины, отличающийся этим от нижележащего и вышележащего слоев с обильными планктонными кладоцерами. (Рис 2). Этот слой, очевидно, приходится на период сильного понижения уровня воды в ранний этап развития Лахтинского разлива.

Распределение групп организмов в донных отложениях Лахтинского разлива оказалось следующим: микрофоссилии присутствовали на всей протяженности колонки, достигая относительного обилия около 70% на глубинах грунта 1,8 м и 4,8 м, а также у поверхности.

Спады относительного количества *микрофоссилий* сопровождались возрастанием глубины до 5 метров. Совокупность количества *микрофоссилий* составляла от 2–4% в нижних слоях отложений и повысилась до 13–18% к верхним слоям (Рис 3,4).

При реконструкции динамики изменения танатоценозов в разрезе донных отложений Лахтинского разлива наиболее информативными и изученными являются микрофоссилии кладоцер. В донных отложениях остатки этих организмов довольно многочисленны.

Количественные показатели танатоценоза характеризуются абсолютным числом донных остатков каждого вида, приходящееся на единицу объема почвогрунта, а также процентным соотношением донных остатков различных видов. Наибольшие абсолютные количе-

Разрез 2

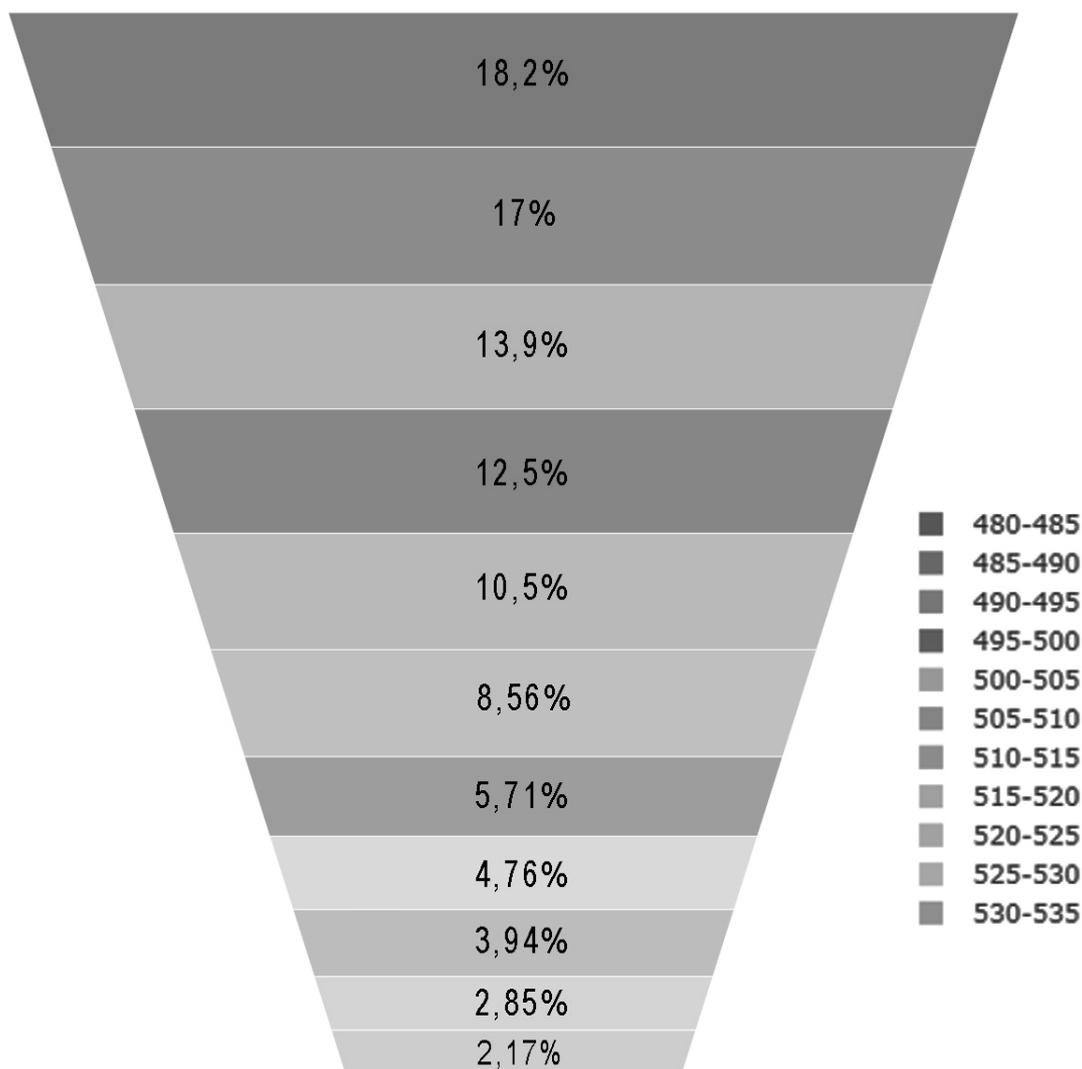


Рис. 6. Распределение микрофоссилий в донных отложениях в Разрезе 2

ственные показатели кладоцер связывают с нарушением природной среды, окружающей озеро. Это может быть сведение леса или распашка земли [6].

Необходимо отметить, что количественные показатели донных остатков в танатоценозах отличаются от количественных показателей в биоценозе, представляющие соотношение численности биомассы, в то время как первые представляют собой соотношение продукций.

Донные отложения озера Лахтинский разлив дают уникальную возможность изучить развитие биоценоза с самого начала его возникновения в озере. С помощью анализа донных отложений, можно определить среднемноголетний состав ценоза и существующие в нем доминанты.

Заключение

В результате изучения изготовленных препаратов микрофауны установлено, что ветвистоусые ракообразные (кладоцеры) доминировали в танатоценозах позднего голоцена Лахтинского разлива. В обоих проанализированных разрезах количество остатков кладоцер уменьшается с глубиной, что хорошо соотносится с температурной шкалой голоцена. Можно предположить, что фрагменты хитинового скелета кладоцер с глубиной хуже сохраняются. Степень сохранности возможно зависит от химизма грунта [3, 5]. Также изменение в динамике количества остатков кладоцер, что мы наблюдаем в изученных разрезах от более древних к более молодым отложениям, могут быть связаны с нарушениями естественной среды и окружающей среды озера (возможно антропогенного характера) [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Кондратьев С.А., Гронская Т.П., Сорокин И.Н., Алябина Г.А., Ефремова Л.В. Водная система Суздальских озер и Лахтинского разлива. // Водные объекты СПб. — СПб, 2002. — с. 233–246.
2. Морозов Д.А. Геохимическая индикация донных отложений в теории и практике палеоэкологических исследований / Нестеров Е.М., Морозов Д.А., Веселова М.А., Харитончук А.Ю. // Проблемы региональной экологии. — М.: Камертон. — 2013. — № 5. — С. 71–75 (0,3/0,2 п.л.).
3. Нестеров Е.М., Кулькова М.А., Егоров П.И., Морозов Д.А., Маркова М.А., Субетто Д.А., Шмитт Е.В. Геохимические критерии в оценке геоэкологической обстановки береговой зоны Финского залива // Вестник МАНЭБ. Серия Геоэкология. — Т. 15, № 5 2011 — с. 13–24.
4. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России» В.Р. Алексеева, С.Я. Цалолихина, 2010.
5. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. — Москва, 1999. — 768 с.
6. Смирнов Н.Н. Историческая биоценология пресноводных биоценозов. — Товарищество научных изданий КМК, Москва, 2010. С. 5–6, 29, 71–77.
7. Субетто Д.А., Севастьянов Д.В., Савельева Л.А., Арсланов Х.А. Донные отложения озер Ленинградской области как летопись Балтийских трансгрессий и регрессий // Вестник СПбГУ. Сер. 7, 2002, Вып. 4 (Ж 31)
8. Субетто Д.А. Донные отложения озер: Палеолимнологические реконструкции. — СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2009.
9. Турковский П.С., Фомичева М.Н., Харитончук А.Ю., Попков Н.Б. Некоторые сведения о методе микрофаунистического анализа на примере разреза донных озерных отложений озера Вожанское. — «Меридиан»: Методы и средства исследования природы и общества». Сборник материалов 9-й международной молодежной школы-конференции. 2016. С. 152–153.
10. Кириллова В.А., Распов И.М. Озера Ленинградской области. Л.: Лениздат, 1971.
11. Хотинский Н.А. Голоцен Северной Евразии. — М.: «Наука», 1977. — 200 с.

© Лаврентьев Михаил Алексеевич (goald1982@mail.ru),

Турковский Павел Сергеевич (turkowsky@mail.ru), Макаров Дмитрий Константинович (dmitrey301@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Российский государственный педагогический университет имени А.И. Герцена

КУЛЬТУРЫ КЛЕТОК КОЛЛЕКЦИИ ФБУН ГНЦ ВБ «ВЕКТОР» РОСПОТРЕБНАДЗОРА¹

CELL CULTURES OF THE COLLECTION OF THE STATE SCIENTIFIC CENTER OF VIROLOGY AND BIOTECHNOLOGY “VECTOR” OF OF ROSPOTREBNADZOR

**I. Radaeva
N. Dumchenko
E. Nechaeva**

Summary. Cell cultures are used in various directions of modern science. Specialized Collections of cell cultures ensure the preservation of the original cell lines under strictly maintained conditions.

The Collection contain more than 200 different cell lines of humans, animals and insects. Information about the composition of the Collection is given, a brief characteristic of cell sensitivity to viruses is given. Cell cultures are characterized in accordance with international and national requirements. The Collection is capable of providing cultures of cells various institutions and organizations.

Keywords: cell culture, transferable and diploid cell cultures of human, animals and insects.

Радаева Ирина Федоровна

ФБУН «Государственный научный центр вирусологии
и биотехнологии «Вектор» Роспотребнадзора,
Кольцово, Новосибирская область
radaeva@vector.nsc.ru

Думченко Наталья Борисовна

Н.с., ФБУН «Государственный научный
центр вирусологии и биотехнологии «Вектор»
Роспотребнадзора, Кольцово, Новосибирская область
dumchenko@vector.nsc.ru

Нечаева Елена Августовна

К.б.н., ФБУН «Государственный научный
центр вирусологии и биотехнологии «Вектор»
Роспотребнадзора, Кольцово, Новосибирская область
nechaeva@vector.nsc.ru

Аннотация. Культуры клеток применяют в различных направлениях современной науки. Специализированные Коллекции культур клеток обеспечивают сохранение исходных клеточных линий при соблюдении строго поддерживаемых условий.

В фондах Коллекции содержится более 200 различных линий клеток человека, животных и насекомых. Приведена информация о составе Коллекции, дана краткая характеристика чувствительности клеток к вирусам. Культуры клеток охарактеризованы в соответствии с международными и национальными требованиями. Коллекция способна обеспечить культурами клеток различные учреждения и организации.

Ключевые слова: культура клеток, перевиваемые и диплоидные клетки человека, животных и насекомых.

Культуры клеток применяют в различных направлениях современной науки. Основным условием успешного использования культур клеток в фундаментальных и прикладных исследованиях является стабильность их биологических свойств. Специализированные Коллекции культур клеток обеспечивают сохранение исходных клеточных линий при соблюдении строго поддерживаемых условий.

ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора имеет уникальную Коллекцию культур клеток. Потребность в создании Коллекции возникла с первых дней организации

института, главными направлениями деятельности которого является проведение фундаментальных исследований в широкой области естественных наук, а также разработке и производстве лечебно-профилактических и диагностических препаратов.

В фондах Коллекции содержится более 200 различных линий клеток человека, животных и насекомых. В Коллекции представлены перевиваемые линии человеческого происхождения. Это традиционно используемые клетки HeLa (карцинома шейки матки) и ее производные (HeLa 229, HeLa (Ohio), HeLa S3, HeLa TK-), а также

¹ Исследование проводилось в рамках выполнения государственного задания ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора.

дериваты линии HeLa (Hep-2, AMH, Detroit 6, RH, KB, Fl, Clone 1-5c-4, Chang liver, L-132, L-41, ЛЭЧ) [1, 2]. Клетки HeLa характеризуются различными свойствами. Так, HeLa 229 менее восприимчивы к полиовирусу 1-3-го типов, чем клетки линии HeLa. Для выращивания риновирусов рекомендуют сублинию клеток HeLa (Ohio). HeLa S3 адаптирована к росту в суспензии, чувствительна к полиовирусу 1-го типа, аденовирусу 5-го типа и вирусу везикулярного стоматита. Перечисленные линии клеток чрезвычайно устойчивы, изменение режима питания, температуры или других условий культивирования не снижает их жизнеспособность, поэтому они широко применяются в научных исследованиях.

Коллекция включает линии клеток человека неопластического происхождения (SiHa, CaSki, Hep G2, RD, IMR-32, K-562, EJ, Caco-2, HOS, H 143 TK, Alexander, A431, SW-13, RPMI 2650, MCF7). Три линии клеток (HeLa, SiHa и CaSki) получены из карциномы шейки матки человека негроидной, монголоидной и европеоидной расы [3, 4]. Клетки карциномы печени Hep G2 чувствительны к вирусу гепатита, применяются в биотехнологии, биохимии, вирусологии, энзимологии, клеточной биологии, при изучении рецепторов и дифференцировки. Культура клеток RD (рабдомиосаркома человека) чувствительна к энтеровирусам, вирусу везикулярного стоматита, герпеса, пикорнавирусам, ротавирусам, представляет интерес при научных исследованиях в области дифференцировки, канцерогенеза, в клеточной биологии, биохимии, генетике и вирусологии. Клетки нейробластомы человека IMR-32 восприимчивы к вирусу везикулярного стоматита, простого герпеса, Коксаки, кроме того, характеризуются синтезом нейромедиаторов. Культуру клеток IMR-32 применяют при изучении процессов канцерогенеза и дифференцировки, а также в иммунологии, клеточной биологии и вирусологии. Суспензионная линия эритролейкемических лимфобластоидных клеток человека K-562 не содержит В- и Т-клеточных маркеров и не имеет генетической информации вируса Эпштейна-Барр, пригодна в качестве тест-системы для изучения иммунного статуса организма. Клетки карциномы мочевого пузыря EJ используются в вирусологии, биохимии, клеточной биологии и онкологии. Культура клеток Caco-2 (аденокарцинома ободочной кишки) является биологической моделью для оценки кишечной проницаемости *in vitro* различных лекарственных препаратов. Клетки HOS (остеосаркома человека) чувствительны к вирусной и химической трансформации, а клетки карциномы печени человека Alexander восприимчивы к вирусу везикулярного стоматита. Линия клеток A431 (эпидермоидная карцинома человека) имеет большое число рецепторов к эпидермальному фактору роста, используется в клеточной биологии и при изучении факторов роста. Клетки аденокарциномы надпочечника человека SW-13 применяют для титрования инфекци-

онной активности вируса гепатита С. Линия RPMI 2650 (карцинома носовой перегородки) имеет стабильный кариотип с псевдодиплоидным числом хромосом, продуцирует мукоидные вещества. Клетки MCF7 (аденокарцинома молочной железы) синтезируют эстрадиол, имеют рецепторы к эстрогенам, используются при изучении рецепторов, в химиотерапии, канцерогенезе и клеточной биологии. К преимуществам линий клеток человека неопластического происхождения относятся их высокая скорость роста, возможность достижения большой плотности, и, как следствие этого, большего выхода биомассы [5,6].

В Коллекции имеются линии лимфобластоидных клеток человека (Namalwa, MT-4, U-937, CCRF-CEM, HuT 102, Raji, Jurkat, H-9, NC-37, IM-9, RPMI 8226). Лимфобластоидные клетки размножаются с высокой скоростью, в течение длительного времени сохраняют диплоидный или псевдодиплоидный кариотип, особенности генотипа и генетические нарушения исходного организма. В течение всего срока культивирования они синтезируют многочисленные клеточные продукты, специфические для исходных гемопоэтических клеток, в число которых входят иммуноглобулины, трансплантационные HLA-антигены, лимфокины. Большинство лимфобластоидных перевиваемых линий человека имеют характеристики клеток В-типа, в них присутствует геном вируса Эпштейна-Барр. Клеточные линии Namalwa и Raji получены из лимфомы Беркитта. Клетки Namalwa при индукции могут продуцировать интерферон, а клетки Raji содержат ядерный антиген вируса Эпштейна-Барр, но сам вирус не продуцируют. Клетки линии MT-4, U-937, CCRF-CEM, HuT 102 чувствительны к вирусу иммунодефицита человека. Т-клеточные лимфоциты H-9 продуцируют вирус иммунодефицита человека (HTLV-III и HIV-1). В клетках линии HuT 102 (лимфобластома человека) присутствует эндогенный вирус Т-клеточной лейкемии человека. Клетки IM-9 (миелома костного мозга человека) синтезируют иммуноглобулины, обладают рецепторами к гормону роста человека, инсулину, кальцитонину. Клеточная линия NC-37 — единственная в Коллекции лимфобластоидная линия человека, полученная из периферической крови внешне здорового донора, ее клетки содержат копии генома вируса Эпштейна-Барр. Линии лимфобластоидных клеток человека широко используются в биотехнологии, вирусологии и клеточной биологии для производства антилимфоцитарной сыворотки, компонентов вируса Эпштейна-Барр, онковирусов и трансплантационных антигенов [1, 7, 8].

За период существования Коллекции были получены штаммы диплоидных клеток легкого человека (ДК-10, ДК-21, ДК-29, ДК-58, ДК-66, ДКЛ-29, ФЭЧ-12-1, ФЭЧ-13-1, ФЭЧ-15-1, ФЭЧ-16-1, ФЭЧ-36), кожно-мышечной ткани (ДК-4, ДК-5, ДК-7, ДК-13, ДК-14, ДК-16, ДК-25, ФЭЧ-10,

ФЭЧ-12–2, ФЭЧ-14, ФЭЧ-15, ФЭЧ-16–2), тимуса (ДКВ-6), мозга (ДКМ-5), плаценты (ДКП-7, ДКП-8) [9]. Диплоидные клетки имеют ограниченный срок существования, стабильный кариотип, сохраняют активный ростовой потенциал и специфические свойства в течение десятков пассажей, легко поддаются пассированию. Штаммы клеток легкого ДК-33 и ДК-39 характеризуются высоким уровнем полиплоидных клеток, а ДКЛ-29 и ДКМ-5 — измененным кариотипом. Диплоидные клетки ФЧ-5 и ФЧ-6 выделены из кожно-мышечной ткани ожоговых больных. Коммерческий штамм МРС-5 широко используется в клеточной биологии и вирусологии. Штамм диплоидных клеток Л-68 получен в НИИ вирусных препаратов им. О.Г. Анджапаридзе и в ГИСК им. Л.А. Тарасевича, однако сохранен только в коллекции ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора [10]. Применяют данные клетки в диагностической вирусологии и биотехнологии.

В Коллекции представлены линии клеток различных видов животных: африканской зеленой мартышки (CV-1, BS-C-1, DBS-FCL-1, Vero, BGM, GMK АН 1, AGMK, 6619, 4647, COS-1, COS-7), макаки-резус (LLC–МК₂, LLC–МК₂ Original, FRhK-4), шимпанзе (Chimp liver), сирийского хомячка (ВНК-21 (С-13), ВНК ТК⁻, HaK, CER), китайского хомячка (CHO-K1, CHO-23, CHO рЕ, CHO ТК⁻, А-23/1 ТК⁻, V-79), мыши (L929, 3Т3-SV40, 3Т3-Swiss albino, P388D₁, M2, LS, Neuro-2a, 3Т3-L1, P3/NS1/1-Ag4.1, P3X63Ag8.653, Sp2/0-Ag14,

LMID ТК⁻, L–M ТК⁻, 3Т3 NIH ТК⁻, L ТК⁻), крысы (Rat2 ТК⁻), свиньи (СПЭВ, LLC-РК₁, РК15), мини-свиньи (ПСМ), собаки (МДСК), крупного рогатого скота (МДВК, ЛЭК, ТЭБ), кролика (РК₁₃), кенгуровой крысы (Pt K1), курицы (ЛЯК), норки (Mv1 Lu), летучей мыши (Tb 1 Lu), водяной полевки (КМЭВП, МЭВП) [1, 8, 11].

Линии клеток африканской зеленой мартышки выделены из почки, исключение составляет DBS-FCL-1 (диплоидный штамм легкого эмбриона). Хотя для получения этих линий использован один источник ткани (почка), специфические свойства и чувствительность клеток к вирусам различны. Клетки BGM легко формируют персистирующую инфекцию с вирусом кори, на них хорошо растут хламидии. Клетки GMK АН 1 наиболее восприимчивы к вирусу SV40 и вирусу кори, а линия клеток BS-C-1 чувствительна к интерферону обезьян, AGMK — к вирусу гепатита. Линия клеток Vero чувствительна к широкому спектру вирусов: полиовирусу 3-го типа, подострого склерозирующего панэнцефалита, кори, краснухи, оспы, осповакцины, простого герпеса 1- и 2-го типа, аденовируса, альфавируса и флавивируса, ареновируса и некоторым неклассифицированным вирусам. Клетки 4647 неприхотливы, способны к крупномасштабному культивированию, их применяют для приготовления диагностических препаратов и инактивированных вирусных

вакцин [12]. Клетки CV-1 были трансформированы вирусом SV40 с дефектной областью начала репликации, в результате получены линии клеток COS-1, COS-2, COS-7, конструктивно экспрессирующие большой Т-антиген вируса. Линии клеток почки африканской зеленой мартышки обладают широким спектром чувствительности к различным вирусам, их используют в области вирусологии, паразитологии, клеточной биологии, трансформации, биотехнологии.

Линии клеток LLC–МК₂, LLC–МК₂ Original, FRhK-4 получены из почек макаки-резус. Так, клетки LLC–МК₂ и LLC–МК₂ Original чувствительны к вирусу везикулярного стоматита, риновирусу, энтеровирусу, миксовирусу и полиовирусу, а клетки FRhK-4 — к вирусу гепатита А.

Клетки сирийского хомячка ВНК-21 (С-13), HaK, CER часто используют в вирусологических исследованиях, они восприимчивы к широкому спектру вирусов: поксвируса, герпесвируса, аденовируса, парамиксовируса и ортомиксовируса, альфавируса, пикорнавируса, рабдовируса и другим. Линия клеток CER (гибрид клеток ВНК-21 (С-13) и куриных фибробластов) по своим свойствам близка к линии ВНК-21 (С-13), ее клетки наиболее чувствительны к вирусу бешенства [13].

Клеточные линии яичника китайского хомячка CHO-K1, CHO-23, CHO рЕ, CHO ТК⁻ являются производными от клеток линии CHO. Линия А-23/1 ТК⁻ (сублиния клеток Don), выделенная из ткани легкого самца китайского хомячка. Клетки А-23/1 ТК⁻, резистентные к 5-бромдезоксигидроуридину, дефектны по ферменту тимидинкиназе, чувствительны к вирусу везикулярного стоматита. Клетки V-79 (легкое китайского хомячка) имеют очень короткую G₁ фазу митотического цикла, используются, в основном, в научных исследованиях при изучении механизмов пролиферации, трансформации, а также в клеточной биологии и генетике соматических клеток.

Наибольшей популярностью в научных исследованиях пользуются клеточные линии мыши, которые широко представлены в Коллекции. Линия клеток L929 — первая клонированная линия перевиваемых клеток животных, полученная из фибробластов подкожной соединительной ткани мыши, клон линии L. К дериватам клона L929 относятся линии клеток LS, LMID ТК⁻, L–M ТК⁻, L ТК⁻. Линии клеток 3Т3-SV40, 3Т3-Swiss albino, 3Т3-L1, 3Т3 NIHТК⁻ выделены из кожно-мышечной ткани эмбриона мыши. Клетки 3Т3-L1 получены клонированием линии 3Т3, а клетки 3Т3-SV40 — трансформацией вирусом SV40. Клеточная линия P388D₁ получена из индуцированной метилхолантроном лимфоидной неоплазмы мыши, а линия M2 — из эритролейкемии мыши. Линия клеток Neuro-2a является клоном клеток Neuro С-1300, выделенных из спонтанной нейробластомы белой мыши. Интерес исследования клеток

миеломы мыши (P3/NS1/1-Ag4.1(NS-1), P3X63Ag8.653, Sp2/0-Ag14) связан с их использованием в гибридной технологии. Линия клеток Sp2/0-Ag14 была изолирована в качестве реклона линии Sp2/HL-Ag, которая, в свою очередь, выделена из линии Sp2/HLGK — гибрида между клетками селезенки мышей BALB/c и клетками миеломной мышью линии X63-Ag 8. Культуры клеток мыши используют в различных областях цитогенетики, генетической трансформации, генетики соматических клеток, канцерогенеза, дифференцировки, нейрофизиологии, клеточной биологии, биохимии, вирусологии, биотехнологии [1, 8, 11].

Линии клеток СПЭВ, LLC-PK₁, PK15, выделенные из почки свиньи, имеют различные специфические свойства. Клетки СПЭВ характеризуются чувствительностью к энтеровирусам свиней, альфа- и флавивирусам, PK15 — чувствительны к вирусу везикулярного стоматита, вакцины, реовирусам, аденовирусам, а также к возбудителям холеры свиней и везикулярной экзантемы [1, 7, 8, 11].

Линия клеток MDCK востребована в вирусологии, клеточной биологии и биотехнологии, ее широко используют во всем мире для выделения и характеристики штаммов вируса гриппа А, В и С, вирус везикулярного стоматита, вакцины, Коксаки, реовирусы, аденовирусы, тогавирусы, ареновирусы.

Клеточные линии крупного рогатого скота представлены в Коллекции линиями MDBK, ЛЭК, ТЭБ. Линия MDBK получена из почки взрослого быка, ЛЭК — из ткани легкого эмбриона крупного рогатого скота, а ТЭБ — из тестикул быка. Клетки MDBK чувствительны к лейкоцитарному и лимфобластидному интерферону человека, их применяют в исследованиях репликации и образования бляшек вирусом крупного рогатого скота. Клетки ЛЭК наиболее чувствительны к ротавирусу телят, парагриппу и ринотрахеиту крупного рогатого скота. Линии клеток крупного рогатого скота используются в научных исследованиях в области вирусологии, биотехнологии и клеточной биологии [5].

Клетки RK₁₃ (почка одномесячного кролика) чувствительны к вирусам герпеса, краснухи, осповакцины. Линию клеток Pt K-1 (NBL-3), полученную из почки взрослой самки кенгуровой крысы, применяют в цитогенетических и вирусологических исследованиях. Клетки Mv1 Lu выделены из ткани легкого норки, Tb 1 Lu — из ткани легкого плода летучей мыши, их также используют в научных исследованиях [1, 8, 11].

Коллекция включает восемь линий клеток различных животных, дефектных по гену тимидинкиназы (LMID TK⁻, L-M TK⁻, L TK⁻, 3T3 NIH TK⁻, A-23/1 TK⁻, Rat2 TK⁻, BHK TK⁻, CHO TK⁻), эти клетки используют в генно-инженерных, молекулярно-биологических и вирусологических исследованиях [1].

Выбор линий клеток насекомых для Коллекции был обусловлен проводимыми исследованиями по диагностике вирусных инфекций и получению энтомопатогенных бакуловирусных препаратов для борьбы с вредителями сельского и лесного хозяйства. Коллекция содержит линии и сублинии клеток насекомых: комара (*Aedes pseudoscutellaris*, *Aedes aegypti*, Mos-20 A, *Aedes albopictus*), совки *Heliothis armigera* (MB XC-685), совки *Heliothis zea* (IPLB-HZ-1075), совки *Spodoptera frugiperda* (Sf9, Sf-21), совки *Euxoa scandens* (EuS), совки *Agrothia segetum* (МБ ОзC₄-788, МБ ОзC₅-688), совки *Mamestra brassicae* (MB-0503, MB-0504, НРВ-MB, МБ KC₂₃-987), непарного шелкопряда (SCLd-135, IPLB-Ld-65z, IZD-Ld-1307, IZD-Ld-1407), дубового шелкопряда (MC Ap-1), тутового шелкопряда (Bm), колорадского жука (Ж, КЖ).

Культуры клеток Коллекции ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора охарактеризованы в соответствии с международными и национальными требованиями, их используют как для решения фундаментальных и прикладных задач в области вирусологии и биотехнологии, так и для производства и контроля иммунобиологических препаратов [14, 15]. Коллекция способна обеспечить культурами клеток с гарантированными стабильными свойствами, различные учреждения и организации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Российская коллекция клеточных культур позвоночных [Электронный ресурс]. — Режим доступа <https://www.sevin.ru/collections/cellcolls/rcccm.html> (дата обращения: 05.08.2021).
2. Examination of ATCC stocks for HeLa marker chromosomes in human cell lines / K. Lavappa [et al.] // *Nature*. 1976. Vol. 259. P. 211–213.
3. Meissner J.D. Nucleotide sequences and further characterization of human papilloma virus DNA present in the CaSki, SiHa and HeLa cervical carcinoma cell lines // *Journal of General Virology*. 1999. Vol.80. P. 1725–1733.
4. Кузнецов В.В., Евдокимов А.А., Нетесова Н.А. Олигонуклеотидные ингибиторы Dnm1: Проникновение и ингибирование роста клеток HeLa и CaSki // *Вестн. Том. гос. ун-та. Биология*. 2015. № 1 (29). С. 155–163. DOI: 10.17223/19988591/29/10
5. Филд Б., Найп Д. Вирусология. В 3 т. М.: Мир, 1989. Т. 2. 496 с.
6. The role of informatics in the coordinated management of biological resources collections / P. Romano [et al.] // *Applied Bioinformatics*. 2005. 4(3). P. 175–186. PMID: 16231959; DOI: 10.2165/00822942-200594030-00002.

7. ATCC: THE Global Bioresource Center [Электронный ресурс]. — Режим доступа <https://www.lgcstandards-atcc.org> (дата обращения: 08.09.2021).
8. Animal Cell Culture: Types, Applications [Электронный ресурс]. — Режим доступа <https://www.microbeonline.com> > animal-cell-culture...types (дата обращения: 08.09.2021).
9. Получение аттестованных фибробластов человека, пригодных для научных и медицинских исследований /Т.Д. Колокольцова [и др.] //Биотехнология. 2007. № 1. С. 58–64.
10. Получение и характеристика нового штамма диплоидных клеток из эмбриональной ткани легкого человека / Л.Г. Степанова [и др.] //Цитология. 1986. № 12. Т.XXVIII. С. 1373–1376.
11. Catalogue of human and animal cell lines позвоночных [Электронный ресурс]. — Режим доступа <https://www.dsmz.de>...catalogue/human-and-animal-cell...catalogue (дата обращения: 16.09.2021).
12. Линия 4647 перевиваемых клеток почки взрослой зеленой мартышки и ее применение в вирусологической практике /Л.Л. Миронова [и др.] //Вопр. вирусологии. 1984. № 4. С. 503–506.
13. Вирусология. Методы / Т. Баррет [и др.]. М.: Мир, 1988. 344 с.
14. Мировая практика хранения клеточных линий человека, предназначенных для применения в клинических целях / О.А. Рачинская [и др.] //БИОпрепараты. Профилактика, диагностика, лечение. 2018. 18(4). С. 216–224. <https://doi.org/10.30895/222-996X-2018-18-4-216-224>
15. Руководство по проведению доклинических исследований лекарственных средств (иммунологические лекарственные препараты). Часть вторая. М.: Гриф и К, 2012.

© Радаева Ирина Федоровна (radaeva@vector.nsc.ru),

Думченко Наталья Борисовна (dumchenko@vector.nsc.ru), Нечаева Елена Августовна (nechaeva@vector.nsc.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



г. Кольцово, Новосибирская область

К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ НЕКОТОРЫХ АНТРОПОГЕННЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАНСПОРТНОГО ПЕРЕХОДА ЧЕРЕЗ КЕРЧЕНСКИЙ ПРОЛИВ

ON THE ISSUE OF THE INFLUENCE OF SOME ANTHROPOGENIC ENVIRONMENTAL FACTORS DURING THE OPERATION OF THE TRANSPORT CROSSING THROUGH THE KERCH STRAIT

**A. Semenova
S. Malko
R. Charnetskiy**

Summary. Based on the obtained results of chemical analysis, the article calculates the air pollution index. The quality of atmospheric air and the level of physical impact near the transport crossing through the Kerch Strait were determined. The results of measurements of physical factors did not reveal the excess of permissible levels of noise exposure. The object of study, with its proper operation, has an impact on the air environment within the established standards.

Keywords: Crimean bridge, atmospheric air, chemical analysis, assessment, impact, sampling.

Семенова Анна Юрьевна

К.э.н., доцент, ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», г. Керчь
selivan_anna@mail.ru

Малько Сергей Владимирович

К.б.н., доцент, ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», г. Керчь
sergmalko@mail.ru

Чарнецкий Роман Андреевич

ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», г. Керчь

Аннотация. В статье на основе полученных результатов химического анализа произведен расчет индекса загрязненности атмосферного воздуха. Определено качество атмосферного воздуха и уровень физического воздействия вблизи транспортного перехода через Керченский пролив. Результаты измерений физических факторов не выявили превышения допустимых уровней шумового воздействия. Объект исследования при правильной его эксплуатации оказывает воздействие на воздушную среду в пределах установленных нормативов.

Ключевые слова: Крымский мост, атмосферный воздух, химический анализ, оценка, воздействие, отбор проб.

Актуальность
темы исследований

Постановка проблемы

Прогрессирующее антропогенное влияние неизбежно в современных условиях. Поэтому стратегической целью государственной экологической политики при реализации масштабных строительных объектов и их дальнейшей эксплуатации является сохранение естественных природных систем, поддержание их целостности и жизнеобеспечивающих функций для устойчивого развития общества, повышения качества жизни, улучшения здоровья населения и демографической ситуации, а также обеспечения экологической безопасности. Крымский мост — транспортный переход через Керченский пролив, соединяющий Керченский и Таманский полуострова через остров Тузла и Тузлинскую косу. Состоит из двух параллельных мостов — автодорожного, являющегося частью дороги А-290 (Кер-

чь-Новороссийск), и железнодорожного, являющегося частью линии Багерово-Вышестеблиевская. Крымский мост является самым длинным из когда-либо построенных Россией мостов, общей протяжённостью 19 км. Реализация этого объекта была предусмотрена Федеральной целевой программой «Социально-экономическое развитие Республики Крым и г. Севастополя до 2020 года», утвержденной Постановлением Правительства РФ от 11 августа 2014 года № 790 [1, 2, 4]. Открытие автомобильного движения в рабочем режиме на транспортном переходе состоялось в мае 2018 года, эксплуатация построенной железнодорожной линии на объекте — в декабре 2019 года.

Цель работы

Рассчитать индекс загрязненности атмосферного воздуха на основании полученных данных количественного химического анализа и определить качество атмосферного воздуха, а также обозначить уровень фи-

Таблица 1. Координаты точек отбора проб атмосферного воздуха

№ п/п	Координаты точек отбора проб	
	широта	долгота
T.1	N45°19'27"	E 36°28'11"
T.2	N45°19'07"	E 36°29'19"
T.3	N45°11'55"	E 36°36'33"
T.4	N45°12'47"	E 36°38'01"

Таблица 2. Нормативные документы на методы измерения определяемых показателей качества атмосферного воздуха [3]

№ п/п	Определяемый показатель	Методика измерения
1	Углерода оксид (мг/м ³)	Методика измерения из руководства по эксплуатации г/а ЭЛАН СО (ЭКИТ 5.940.000–02 ПС)
2	Азота оксид (мг/м ³)	Методика измерения из руководства по эксплуатации г/а ЭЛАН-NO/NO ₂ (ЭКИТ 5.940.000–02 ПС)
3	Азота диоксид (мг/м ³)	
4	Сажа (мг/м ³)	ФР.1.31.2010.06966
5	Бенз(а) пирен (мкг/м ³)	ФР.1.31.2008.04627
6	Взвешенные вещества (мг/м ³)	РД 52.04.186–89 «Руководство по контролю загрязнений атмосферы»

зического воздействия вблизи транспортного перехода через Керченский пролив.

Материал и методика исследований

В ходе проведения исследования качества атмосферного воздуха и оценки физического воздействия вблизи транспортного перехода через Керченский пролив предусмотрено 4 точки отбора проб:

T1 — справа от трассы А-290 Новороссийск-Керчь со стороны Керченского полуострова, вблизи военной базы Росгвардии.

T2 — слева от трассы А-290 Новороссийск-Керчь со стороны Керченского полуострова, вблизи памятника «Комплекс сооружений «Керченской крепости».

T3 — слева от трассы А-290 Новороссийск-Керчь со стороны Таманского полуострова, вблизи базы Росавтотора.

T4 — справа от трассы А-290 Новороссийск-Керчь со стороны Таманского полуострова, на границе Государственного природного зоологического заказника регионального значения «Запорожско-Таманский».

Координаты точек отбора проб атмосферного воздуха и замеров шума вблизи транспортного перехода через Керченский пролив представлены в таблице 1.

Метод отбора проб соответствует РД 52.04.186–89 «Руководство по контролю загрязнений атмосферы», ГОСТ 17.2.3.01–86 «Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов». Нормативные документы на методы измерения определяемых показателей представлены в таблице 2 [3].

Методика измерения шумового воздействия соответствует СН 2.2.4/2.1.8.562–96 «Физические факторы производственной среды. Физические факторы окружающей природной среды. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы»; ГОСТ 23337–78 «Шум. Методы измерения шума на селитебной территории и помещениях жилых и общественных зданий»; МУК 4.3.2194–07 «Контроль уровня шума на территории жилой застройки, жилых и общественных зданиях и помещениях».

Средством измерения шумового воздействия является шумомер интегрирующий — вибромер «ШИ-01В». На каждой площадке производился замер с подветренной стороны в зависимости от направления ветра.

Для определения качества атмосферного воздуха были использованы следующие приборы, представленные в таблице 3.

Таблица 3. Приборы по определению качества атмосферного воздуха

Марка прибора	Определяемые показатели	Диапазон измерений	Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности, Δ
ЭЛАН-CO	Углерод оксид (II)	3,5–25	± 0,2
ЭЛАН-NO	Азота оксид (II)	0,37–2 2–50	± (0,1+0,15Cx) ± (0,2 + 0,1Cx)
ЭЛАН-NO ₂	Азот диоксида (IV)	0,15–1 1–10	± (0,005 + 0,2Cx) ± (0,055 + 0,15Cx)
ГАНК-4	Сажа	0,08–20	±20

Таблица 4. Значения загрязняющих веществ в атмосферном воздухе в точках отбора проб

Номер точки	Результаты КХА атмосферного воздуха					
	СО, мг/м ³	NO, мг/м ³	NO ₂ , мг/м ³	Сажа, мг/м ³	Бенз(а)пирен, мкг/м ³	Взвешенные вещества, мг/м ³
T.1	<3,5	<0,37	<0,15	<0,08	<0,0008	<0,3
T.2	<3,5	<0,37	<0,15	<0,08	<0,0008	<0,3
T.3	<3,5	<0,37	<0,15	<0,08	<0,0008	<0,3
T.4	<3,5	<0,37	<0,15	<0,08	<0,0008	<0,3
ПДК	5	0,4	0,2	0,15	0,001	0,5

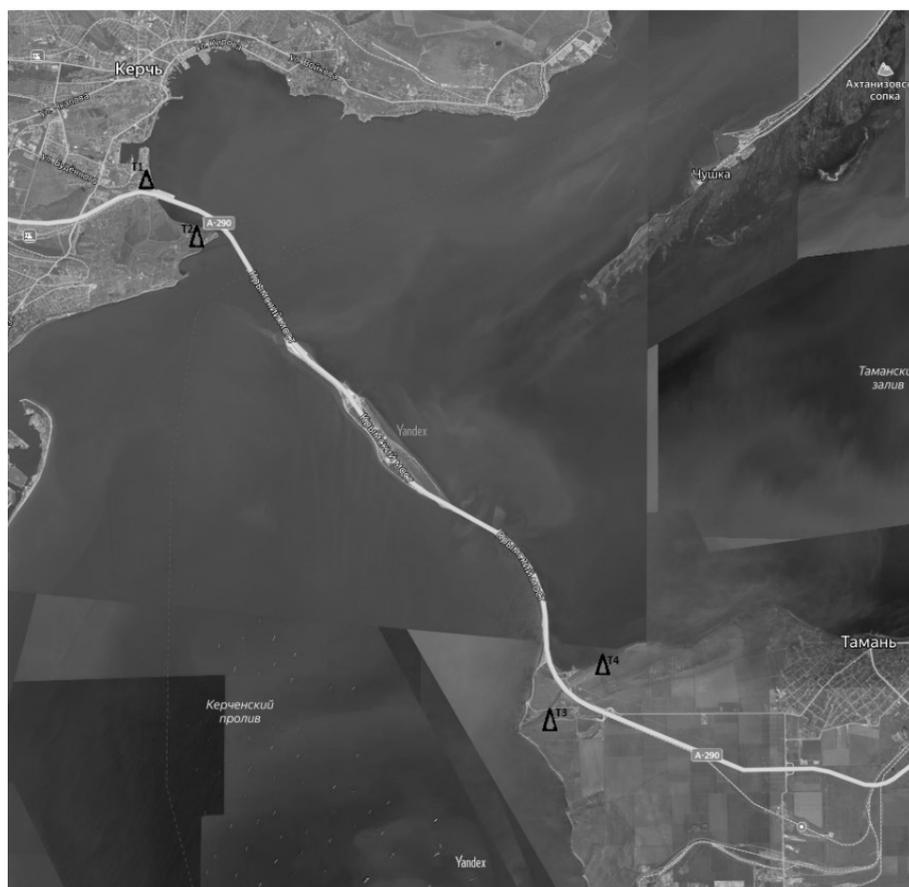


Рис. 1. Карта-схема точек отбора проб атмосферного воздуха и замера шумового воздействия

Таблица 5. Измерения уровня шума исследуемой территории

Точка замеров	Эквивалентный уровень звука, дБА	Максимальный уровень звука, дБА
ВШ.1	47,2	55,9
ВШ.2	36,6	49,8
ВШ.3	37,5	49,6
ВШ.4	35,7	48,7

Основным источником воздействия на атмосферный воздух при эксплуатации транспортного перехода является передвижение транспорта. При передвижении автотранспорта осуществляется выброс следующих веществ: азота диоксид (азот (IV) оксид), азот (II) оксид (азота оксид), углерод (сажа), сера диоксид, углерод оксид. Отбор проб и замеры шумового воздействия проводились на основании карты-схемы точек отбора проб (рис. 1).

По источнику возникновения вибрацию подразделяют на транспортную (при движении машин), транспортно-технологическую (например, при совмещении движения с технологическим процессом) и технологическую (при работе стационарных машин).

Результаты и обсуждение

Основным источником воздействия на атмосферный воздух на этапе эксплуатации является передвижение транспорта. При передвижении автотранспорта осуществляется выброс следующих веществ: азота диоксид (азот (IV) оксид), азот (II) оксид (азота оксид), углерод (сажа), сера диоксид, углерод оксид. Результаты количественного химического анализа (КХА) атмосферного воздуха представлены в таблице 4.

Согласно представленным данным и результатам комплексного химического анализа атмосферного воздуха по исследуемым веществам превышение нормативов предельно допустимой концентрации не наблюдается. Для определения критерия качества атмосферного воздуха использовался разовый индекс загрязненности атмосферного воздуха (ИЗА) одной примесью. Степень загрязнения оценивается при сравнении фактических концентраций с ПДК. При проведении исследований проб атмосферного воздуха целесообразно рассчитывать единый ИЗА для взвешенных веществ [5, 7, 8].

Таким образом, на всей исследуемой территории: «Керчь», границы Государственного природного зоологического заказника регионального значения «Запорож-

ско-Таманский», памятник «Комплекс сооружений «Керченской крепости» ИЗА составляет 0,52, следовательно, уровень загрязнения атмосферного воздуха в точках отбора проб считается «низким».

Известно, что повышение уровня шума и вибрации на рабочих местах оказывает вредное воздействие на организм человека и животных. При эксплуатации транспортного перехода через Керченский пролив используются шумозащитные экраны, размещенные вблизи транспортных потоков. Следует отметить, что при работе в условиях вибраций производительность труда снижается, растет число травм. Обычно в спектре вибрации преобладают низкочастотные вибрации, отрицательно действующие на организм. Некоторые виды вибрации неблагоприятно воздействуют на нервную и сердечно-сосудистую системы, вестибулярный аппарат. Наиболее вредное влияние на организм человека оказывает вибрация, частота которой совпадает с частотой собственных колебаний отдельных органов. Производственная вибрация, характеризующаяся значительной амплитудой и продолжительностью действия, вызывает у работающих раздражительность, бессонницу, головную боль. Результаты измерений шума в полосе отвода представлены в таблице 5.

Согласно измерениям уровня шума в 2020 г. не наблюдается превышения допустимых значений эквивалентного и максимального уровня звука, установленных СН 2.2.4/2.1.8.562–96 в отношении территории жилой застройки. При этом следует отметить, что в отношении территории исследования предельно-допустимые уровни шума не установлены нормативными документами. Предельно-допустимые уровни вибрации также не установлены нормативными документами в отношении исследуемой территории [6, 9].

Таким образом, результаты измерений физических факторов не выявили превышения допустимых уровней шумового воздействия. Объект исследования при правильной его эксплуатации оказывает воздействие на воздушную среду в пределах установленных нормативов.

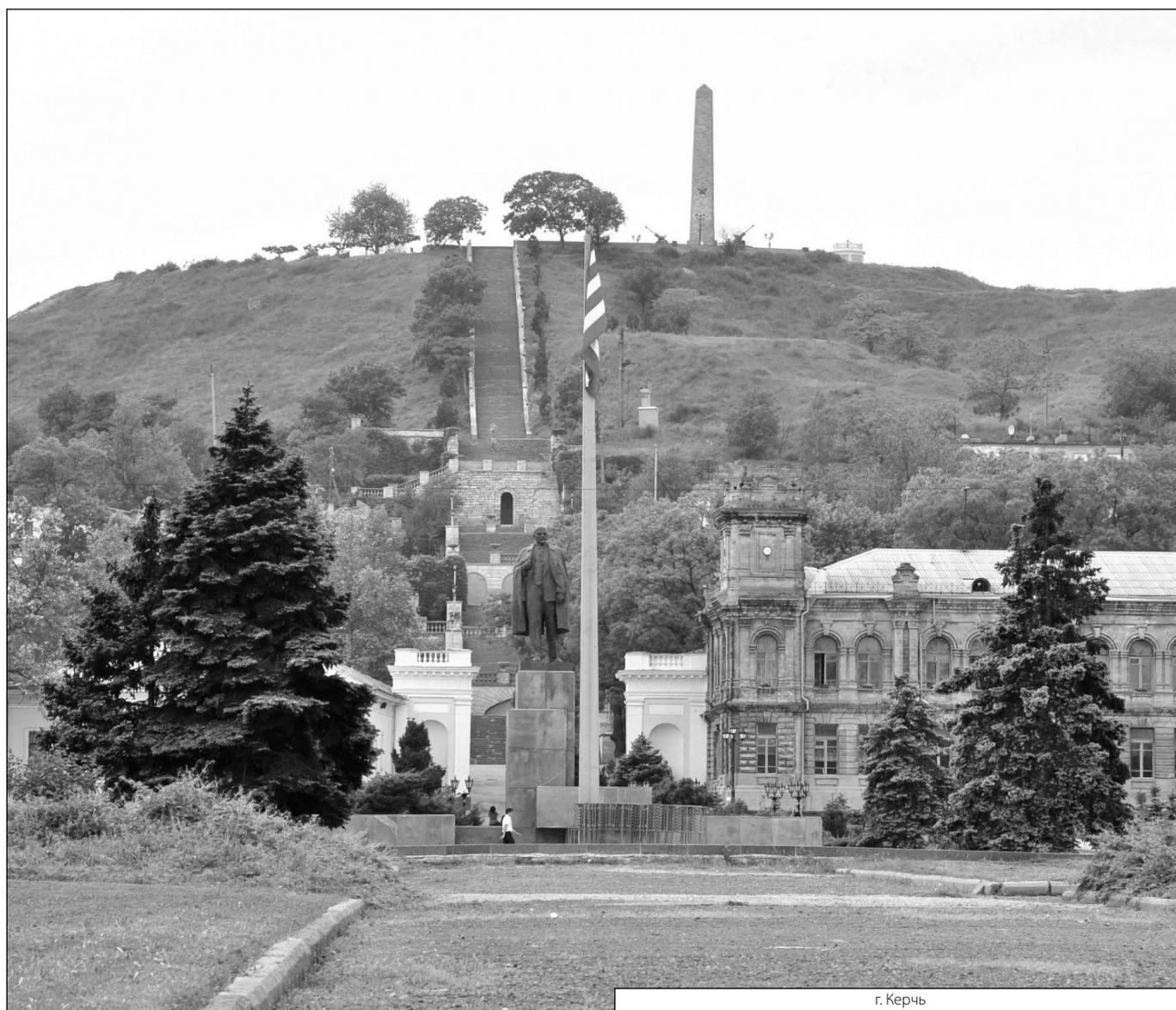
ЛИТЕРАТУРА

1. Бажанов А.А. Социально-экономические аспекты влияния автотранспортного комплекса на окружающую среду и здоровье населения / А.А. Бажанов. — М.: АСВ, 2008. — 161 с.
2. Дьяков А.Б. Экологическая безопасность транспортных потоков / А.Б. Дьяков — М.: Транспорт. 1989. — 127 с.
3. Консультант Плюс [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.consultant.ru>
4. Луканин В.Н., Промышленно-транспортная экология / В.Н. Луканин, Ю.В. Трофименко. — М.: Высшая школа, 2001. — 273 с.
5. Миронов А.А. Автомобильные дороги и охрана окружающей среды / А.А. Миронов — Томск: Специальная литература, 1986. — 71 с.
6. МУК 4.1.1274–03 «Методы контроля. Химические факторы. Измерение массовой доли бенз(а)пирена в пробах почв, грунтов, донных отложений и твердых отходов методом ВЭЖХ с использованием флуориметрического детектора».
7. Пинигин М.А. Охрана атмосферного воздуха / М.А. Пинигин. — М.: Академия, 2005. — 364 с.
8. Путилов А.В. Охрана окружающей среды / А.В. Путилов, А.А. Копреев, Н.В. Петрухин — Москва: Химия, 1991. — 224 с.
9. Шум. Транспортные потоки. Методы измерения шумовой характеристики. ГОСТ 20444–85. — М.: Изд-во стандартов. — 21 с.

© Семенова Анна Юрьевна (selivan_anna@mail.ru),

Малько Сергей Владимирович (sergmalko@mail.ru), Чарнецкий Роман Андреевич.

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



г. Керчь

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА Г. БИРСК РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL STATE OF ATMOSPHERIC AIR IN BIRSK OF REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN

**N. Shmelev
T. Samoylova**

Summary. In this article, the ecological state of the atmospheric air of the city of Birsik of the Republic of Bashkortostan in 2021 is assessed. The concentrations of pollutants (carbon dioxide, carbon monoxide, sulfur oxide (IV), hydrocarbons) were measured using a gas analyzer. The number of resin passages in the pine needles was studied, based on which the coefficient of endogenous variability characterizing the ecological state of the environment was calculated. The studies were carried out in areas of the city with different anthropogenic loads, as well as in different seasons, to conduct a comparative analysis and identify correlations between not only the morphological characteristics of pine trees, but also their changes in different seasons of the year. The concentration of hydrocarbons in the air significantly exceeded the MPC, the concentrations of other pollutants were significantly lower than the standards. Assessing the studied territory by the degree of air purity, that in all the studied territories (except site No. 4 — the background pollution zone), an average coefficient of endogenous variability is observed. These results also indicate the average air pollution, which is also evidenced by the results of the analysis of the gas composition. In addition, it should be noted that the coefficient of endogenous variability of the forest park zone is on the border with "elevated", which indicates the highest air pollution in this area. Correlation analysis indicates a direct relationship of such morphological features as: the number of resin passages and the length of the needles, between the number of resin passages and the cross-sectional area, and the width of the needles. These indicators directly depend on the pollution of the atmosphere, as pollutants affect the number of resin passages.

Keywords: GANK-4 gas analyzer, pollutants, coefficient of endogenous variability, resin passages; scots pine, bioindication, correlation, Fisher coefficient.

Шмелев Николай Александрович

К.б.н., доцент, Бирский филиал Башкирского
государственного университета
reptil11@yandex.ru

Самойлова Татьяна Алексеевна

Бирский филиал Башкирского государственного
университета
tanya.samoylova09@gmail.com

Аннотация. В данной статье произведена оценка экологического состояния атмосферного воздуха города Бирск Республики Башкортостан в 2021 г. Измерение концентраций загрязнителей (углекислого, угарного газов, оксида серы (IV), углеводородов) проводили с помощью газоанализатора. Исследовали количество смолых ходов в хвое сосны обыкновенной, на основе чего вычисляли коэффициент эндогенной изменчивости, характеризующий экологическое состояние окружающей среды. Исследования проводились в районах города с разной антропогенной нагрузкой, а также в разные сезоны, для проведения сравнительного анализа и выявления корреляции не только между морфологическими признаками сосны, но и их изменениями в разные сезоны года. Концентрация углеводородов в воздухе значительно превышала ПДК, значения концентраций других загрязнителей, были значительно ниже нормативов. Оценивая исследуемую территорию по степени чистоты воздуха, авторам было выяснено, что на всех исследуемых территориях (кроме площадки № 4 — зоны фонового загрязнения) наблюдается средний коэффициент эндогенной изменчивости. Данные результаты указывают и на среднюю загрязненность воздуха, о чем также свидетельствуют результаты анализа газового состава. Кроме того, следует отметить, что коэффициент эндогенной изменчивости лесопарковой зоне находится на границе с «повышенным», что говорит о наиболее высокой загрязненности воздуха на данной территории. Корреляционный анализ указывает на прямую зависимость таких морфологических признаков как: число смолых ходов и длина хвоинки, а также на прямую зависимость между числом смолых ходов и площадью поперечного сечения, и шириной хвоинки. Данные показатели напрямую зависят от загрязненности атмосферы, так как загрязнители влияют на число смолых ходов.

Ключевые слова: газоанализатор ГАНК-4, загрязнители, коэффициент эндогенной изменчивости, смолые ходы, сосна обыкновенная, биоиндикация, корреляция, коэффициент Фишера.

Введение

С увеличением темпов урбанизации проблема загрязнения окружающей среды, в том числе и атмосферного воздуха, становится одной из главных тем на повестке XXI века [1]. На данный момент наблюдается развитие систем экологического мониторинга атмосферного воздуха, что означает возможность контроля уровня загрязнений атмосферы [2; 3]. Для мониторинга атмосферного воздуха широко используется метод биоиндикации. Растения являются наиболее распространённым биологическим объектом, который реагирует на уровень загрязнения окружающей среды и который способен охарактеризовать загрязнённость за длительный период [4; 5].

С использованием газоанализатора ГАНК-4 было исследовано содержание в атмосферном воздухе оксида углерода (II), диоксида углерода (VI), оксида серы (VI) и углеводородов для оценки газового состава атмосферного воздуха. Данные вещества являются главными поллютантами атмосферного воздуха, образующиеся в процессе производственной и иной деятельности человека, на их долю приходится до 98% объема выбросов вредных веществ, и их концентрации наиболее часто превышают допустимые уровни во многих городах РФ [6; 7].

Другой метод, который использовался нами для исследования — вычисление коэффициента эндогенной изменчивости, он основан на исследовании количества смоляных ходов в хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). В мезофилле хвои хвойных растений находятся смоляные ходы, которые выстланы тонкими стенками из клеток эпителия. Количество смоляных ходов зависит от вида растения и от факторов окружающей среды. Кроме того, от экологических факторов среды обитания зависит длина хвоинок. По этой причине необходимо производить сравнительный анализ в точках с разной степенью антропогенной нагрузки [8].

Цель исследования: оценка качества атмосферного воздуха в г. Бирск РБ, с использованием газоанализатора ГАНК-4 и метода эндогенной изменчивости.

Объект исследования: атмосферный воздух г. Бирск Республики Башкортостан.

Материалы и методика исследований

В качестве участков исследования были выбраны территории с разной степенью антропогенной нагрузки в г. Бирск и пригородной зоне.

Исследования проводились дважды: в весенне-летний и осенне-зимний периоды. Были выбраны участки

произрастания сосны обыкновенной с разной степенью антропогенной нагрузки:

1. селитебная зона (КРК Аврора);
2. лесопарковая зона (Парк Победы);
3. зона интенсивного движения автотранспорта (ул. Кольцевая);
4. зона фонового мониторинга (сад Орешник).

В работе газоанализатора ГАНК-4 применялся метод прямых измерений, т.к. результаты измерений, полученные с применением газоанализатора универсального ГАНК-4 отображаются на жидкокристаллическом дисплее это соответствует определению прямых измерений (п. 19 ст. 2 Федерального закона № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» от 26.06.2008 г.: «Прямое измерение — измерение, при котором искомое значение величины получают непосредственно от средства измерений») [9].

Для биоиндикации с 4 участков были взяты пробы с пяти деревьев, по 200 хвоинок. Высота всех деревьев на участках не превышала 5 метров. Исследовались приросты хвои за последние три года. Для исследований хвои сосны в первую очередь измеряют основные параметры: длину (L) и ширину (H), далее в средней части хвоинки производился поперечный срез и с помощью микроскопа определялась площадь поперечного среза (S) и количество смоляных каналов (N). Измерения проводились с использованием микроскопа MicroLife-12-1.3.

Данные полученные при исследовании коэффициента эндогенной изменчивости обрабатываются при помощи формул в Microsoft Excel. Производятся вычисления среднего значения каждого исследуемого параметра, ошибка среднего значения ($M \pm m$), коэффициент изменчивости (CV,%), коэффициент корреляции (r). Полученные данные проверяются на значимость с помощью критерия Фишера [10].

Коэффициент изменчивости (C_v) — это отношение среднего квадратического отклонения к среднему значению признака, выраженное в процентах.

Значение коэффициента изменчивости соотносится со школой вариабельности Мамаева. Данный параметр разделяется на 6 групп: очень низкий (менее 7%), низкий (от 8 до 12%), средний (от 13% до 20%), повышенный (от 21 до 30%), высокий (от 31 до 40%), очень высокий (более 40%) [11].

Результаты исследований и их обсуждение

Измерения газового состава атмосферы с помощью газоанализатора ГАНК-4 проводились в трехкратной повторности, результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1. Концентрации исследуемых веществ в атмосферном воздухе г. Бирск, мг/м³

№	Площадка	CO		CO ₂		SO ₂		C _п H _{2п-2}	
		В-л	О-з	В-л	О-з	В-л	О-з	В-л	О-з
1	КРК Аврора	0,829	0,683	67,6	54,2	0,00577	0,00675	6130	5450
2	ул. Кольцевая	0,726	0,527	133	98,9	0,332	0,238	2750	2370
3	Парк Победы	0,898	0,42	607	245	0,0719	0,0468	3100	2420
4	сад Орешник	0,053	0,037	0,0	0,0	0,0369	0,00597	2470	2050
	ПДК	20,0	20,0	9000	9000	10,0	10,0	300	300

Примечание. В-л — весенне-летний период; О-з — осенне-зимний период.

Анализируя данные таблицы, в первую очередь можно сделать вывод о том, что концентрация веществ в оба сезона в воздухе не превышает ПДК, исключая показатели углеводородов.

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод о том, что наибольшая концентрация оксида углерода (II) в оба сезона наблюдается в селитебной зоне, что подтверждается наличием автомобильной стоянки на данной территории. Также в весенне-летний период в лесопарковой зоне наблюдается повышенная концентрация оксида углерода (II), такой результат также может быть обоснован наличием оживлённой автотранспортной дороги на данном участке.

При анализе концентраций диоксида углерода (VI), можно отметить, что концентрация вещества наиболее высока на площадке № 3 в оба периода, так же, как и на площадке № 4, на этот показатель также в основном влияет автотранспорт, так как ни на первом, ни на втором участке других источников диоксида углерода не обнаружено.

Диоксид серы (IV) имеет наименьшую концентрацию в атмосферном воздухе в оба периода, учитывая величину ПДК, но также можно отметить, что в точке с высокой антропогенной нагрузкой (зона интенсивного движения автотранспорта), наблюдается наибольшее количество этого вещества.

Исходя из данных, полученных, при измерении оксида углерода (II), можно отметить, что наибольшая его концентрация наблюдается на площадке № 1 (0,829 мг/м³) и № 3 (0,898 мг/м³). И в первом и втором случае имеется высокая загруженность автотранспортом, в том числе наличие автостоянок. Следующая по уровню содержания оксида углерода (II) площадка № 2 (0,726). Анализируя данные измерений количества диоксида углерода (IV), следует отметить, что наибольшие концентрации вещества наблюдаются в точках № 3 (607 мг/м³), № 2 (133 мг/м³) и № 1 (67,6 мг/м³). На площадке № 4 концентрация вещества минимальна, учитывая величину ПДК. По данным измерения содержания оксида серы

(IV) можно отметить, что наибольшая концентрация наблюдается на площадке № 2 (0,332) несмотря на то, что среди всех точек, это наибольшая концентрация, данное значение невелико. На площадках № 1, № 3 и № 4 концентрация варьирует от 0,00577 мг/м³ до 0,0719 мг/м³.

Содержание углеводородов превышено во всех исследуемых точках несмотря на то, что можно заметить значительную разницу концентраций на территории фонового участка (2470 мг/м³ и 2050 мг/м³) и на территории зоны интенсивного движения автотранспорта (6130 мг/м³ и 5450 мг/м³). Как правило, углеводороды содержатся в продуктах неполного сгорания бензина, жидкостях, применяемых в химчистке, промышленных растворителях и т.д.

Для биоиндикационной оценки экологического состояния атмосферного воздуха был использован коэффициент эндогенной изменчивости, основанный на шкале Мамаева. Для каждой из анализируемых площадок были составлены диаграммы для визуализации коэффициента эндогенной изменчивости, чтобы наглядно выявить разницу в коэффициентах для одного и того же признака на разных территориях и в разные сезоны года.

По результатам исследования первой площадки (селитебная зона) были составлены диаграммы (рис. 1), поэтому наглядно можно отменить уменьшение коэффициентов эндогенной изменчивости по большому количеству признаков, что говорит о более стабильном развитии и общем благоприятном экологическом состоянии окружающей среды в осенне-зимний период.

Анализ данных, полученных на второй исследуемой площадке (лесопарковая зона), указывает, что в осенне-зимний период коэффициент для большинства признаков также уменьшился в осенне-зимний период (рис. 2).

Третья исследуемая площадка находилась в зоне интенсивного движения автотранспорта. Здесь также можно отметить уменьшение коэффициента эндогенной изменчивости для всех признаков, исключая в дан-

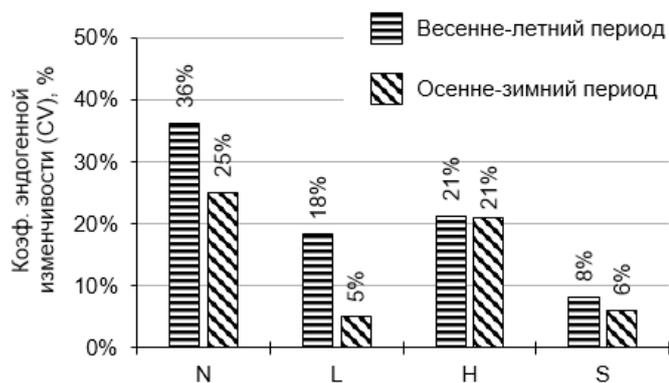


Рис. 1. Значение коэффициента эндогенной изменчивости в селитебной зоне.

Примечание. Здесь и далее: N — общее количество смоляных ходов; L — длина хвои; H — ширина хвои; S — площадь поперечного среза

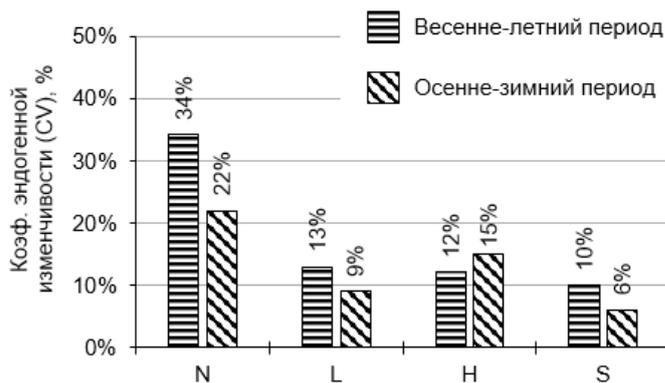


Рис. 2. Значение коэффициента эндогенной изменчивости в зоне интенсивного движения автотранспорта

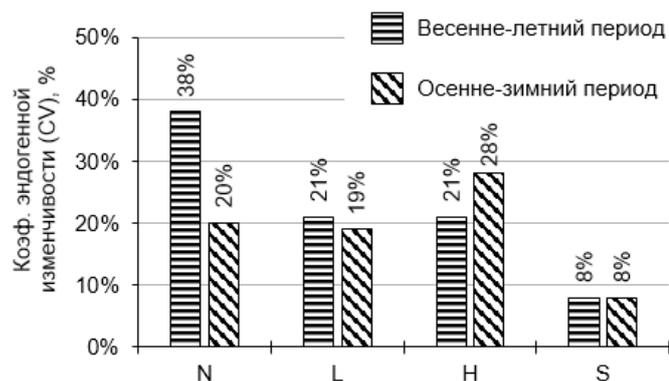


Рис. 3. Значение коэффициента эндогенной изменчивости в лесопарковой зоне

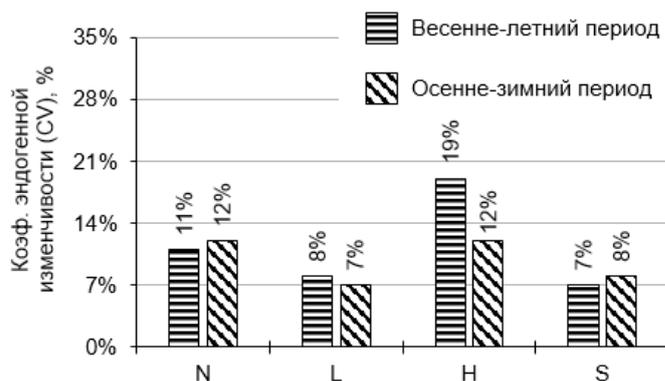


Рис. 4. Значение коэффициента эндогенной изменчивости на фоновом участке

ном случае, ширину хвоинки. Коэффициент для данного признака увеличился с 21% до 28%, это не критичный показатель, т.к. в соответствии со шкалой Мамаева оба показателя относятся к повышенному коэффициенту эндогенной изменчивости (рис. 3).

В качестве фонового участка был выбран сад Орешник. Также можно отметить уменьшение коэффициента эндогенной изменчивости для всех признаков, не считая количество смоляных ходов, но разница составляет 1%, что так же не является критическим значением (рис. 4).

Наблюдается закономерность, при которой коэффициент эндогенной изменчивости уменьшается в холодные сезоны года, это объясняется тем, что в условиях Башкирии развитие флоры замирает, а также этот факт свидетельствует об особенностях развития сосны в целом, а значит и об уменьшении антропогенной нагрузки

и чистоте атмосферного воздуха, как следствие. Исследований, которые подтверждали бы данную закономерность, не обнаружено, однако, некоторые авторы предполагают, что в холодный сезон качество воздуха ухудшается, в связи с увеличением случаев пользования автотранспортом и работой котельных [12].

Корреляционный анализ (табл. 2) исследуемых признаков показал, что между всеми признаками наблюдается слабая корреляционная связь. Наибольший коэффициент корреляции наблюдается между числом смоляных каналов и длиной хвоинки (0,75), так же небольшая корреляционная зависимость прослеживается между шириной хвоинки и количеством смоляных ходов (0,65), площадью поперечного сечения и числом смоляных ходов (0,606). Наименьшая (слабая) корреляция проявляется между шириной и длиной хвоинки, площадью поперечного среза и длиной, а также площадью

Таблица 2. Матрица корреляции между морфопризнаками хвои сосны обыкновенной *Pinus sylvestris*

	N	L	H	S
N	1			
L	0,758608	1		
H	0,655401	0,56671	1	
S	0,606388	0,566654	0,568558	1

Таблица 3. Таблица данных, полученных при вычислении критерия Фишера для выборок в весенне-летний и осенне-зимний периоды

Источник вариации	SS		df		MS		F		P-Значение		F критическое	
	В-л	О-з	В-л	О-з	В-л	О-з	В-л	О-з	В-л	О-з	В-л	О-з
Между группами	38,0	33,0	3	3	12,00	11,00	4,36	9,26	0,00688	0,00003	2,725	2,725
Внутри групп	225,5	90,2	76	76	2,96	1,18						
Итого:	263,5	123,2	79	79								

поперечного среза и шириной хвоинки. Полученные результаты свидетельствуют о средней положительной корреляции между длиной хвои и числом смоляных ходов, а также между числом смоляных ходов и площадью поперечного сечения, и шириной хвоинки, что логично, т.к. чем больше смоляных ходов, тем больше места требуется для их расположения и наоборот [13; 14]. Следует отметить, что данные показатели напрямую зависят от загрязненности атмосферы, т.к. поллютанты перекрывают смоляные ходы [15].

Все полученные данные проверялись на достоверность с помощью F-теста или критерия Фишера. [16]. Все вычисления проводились в программе Microsoft Excel с помощью пакета «Анализ данных» Результатом вычислений представлены в таблице 3.

В полученной таблице указано расчётное значение F-критерия для выборок весенне-летнего периода (4,362), критическое («табличное») значение F-критерия двухстороннего (2,724), уровень значимости P (0,0068). Рассчитанное значение превышает критическое, а уровень значимости P (0,068) менее 5%, поэтому влияние фактора достоверно на 5%-ном уровне значимости (различия между деревьями по количеству смоляных ходов достоверны). Для выборок осенне-зимнего периода расчётное значение F-критерия — 9,268, а критическое («табличное») значение равно — 2,724, уровень

значимости P — 0,0000268, что также менее 5%, что означает влияние фактора достоверно на 5% уровне [17]. Оценивая количественное содержание исследуемых веществ в воздухе можно отметить, что все вещества, кроме углеводов, находятся в пределах ПДК. На основании этого, можно сделать вывод о том, что основным загрязнителем воздуха является транспорт, так это основной источник поступления углеводов в атмосферу в городе.

Коэффициент эндогенной изменчивости указывает на стабильность развития организма (сосны обыкновенной) [18], стабильность развития в нашем случае обозначает чистоту атмосферного воздуха исследуемой территории. Иными словами, если произвести градацию исследуемой территорий по степени чистоты воздуха, основываясь на коэффициенте эндогенной изменчивости, мы выясним, что на всех исследуемых территориях (кроме фонового участка) наблюдается средний коэффициент эндогенной изменчивости [19]. Такие результаты указывают и на среднюю загрязненность воздуха, о чем также свидетельствуют результаты анализа газового состава. Кроме того, также можно отметить, что коэффициент эндогенной изменчивости в лесопарковой зоне находится на границе с «повышенным», что говорит о наиболее высокой загрязненности воздуха на данной территории. Корреляционный анализ указывает на прямую зависимость таких морфологических признаков

как: число смоляных ходов и длина хвоинки, между числом смоляных ходов и площадью поперечного сечения, и шириной хвоинки. Следует также отметить, что данные показатели напрямую зависят от загрязненности атмосферы, так как поллютанты влияют на число смоляных ходов [20].

Если взглянуть на общую картину полученных результатов, то можно заметить, что все полученные показатели указывают на более благоприятное состояние атмосферы в осенне-зимний период, чем в весеннее летний.

Выводы

Результаты оценки качества воздуха выбранных участков показали, наименьшее содержание поллютантов в зоне фонового мониторинга. Более высокая кон-

центрация загрязняющих веществ нагрузки наблюдается в парковой и селитебной зонах. Об это свидетельствует почти одинаковое значение коэффициента эндогенной изменчивости хвои сосны. Кроме того, наблюдается закономерность между сезоном и состоянием атмосферного воздуха: в холодный сезон атмосферный воздух чище, чем в теплый.

Все проведенные нами исследования и полученные результаты в составе экологического мониторинга как части системы экологической безопасности дают возможность для минимизации последствий проявления природных факторов экологической опасности. Кроме того, на основе полученных данных допускается планирование природоохранных мероприятия для снижения антропогенного влияния на лесные экосистемы: реабилитация территорий, подвергшихся чрезмерному антропогенному воздействию. [21].

ЛИТЕРАТУРА

1. Экологические приоритеты для России: доклад о человеческом развитии в Российской Федерации за 2017 год / под ред. С.Н. Бобылева и Л.М. Григорьева. М.: Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации, 2017. 292 с.
2. Волкодаева М.В., Киселев А.В. О развитии системы экологического мониторинга качества атмосферного воздуха // Записки Горного института. 2017. Т. 227. С. 589–596. DOI 10.25515/PMI.2017.5.589.
3. Константинов В.А., Квасов А.Р., Машдиева М.С. Актуальные направления развития социально-гигиенического мониторинга атмосферного воздуха и анализа риска здоровью // Актуальные вопросы гигиены на современном этапе: мат-лы 3-й науч.-практ. конф. Южного федерального округа, Ростов-на-Дону, 18 декабря 2020 года. Ростов-на-Дону: Ростовский государственный медицинский университет, 2020. С. 214–221.
4. Исаева С.Э., Оказова З.П., Гаппоева В.С. Место биоиндикация в системе экологического мониторинга // Успехи современной науки. 2017. Т. 1, № 8. С. 130–133.
5. Клевцова М.А. Биоиндикация экологического состояния урбанизированных территорий // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2016. № 3. С. 79–86.
6. Методика выполнения измерений массовой концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе газоанализатором ГАНК-4, № ФР.1.31.2009.06144, дата разработки: 30.10.2019.
7. Жукова А.А., Мاستицкий С.Э. Биоиндикация качества природной среды. Минск: БГУ, 2016. 112 с.
8. Мамаев С.А., Горчаковский П.Л. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений (на примере семейства Pinaceae на Урале). М.: Наука, 1972. 284 с.
9. Об обеспечении единства измерений: Федеральный закон от 26.06.2008 № 102-ФЗ [Электронный ресурс] // Консультант.Плюс. — https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_77904.
10. Бондаренко А.С., Жигунов А.В. Статистическая обработка материалов лесоводственных исследований: учеб. пособие. СПб: Изд-во Политехнического университета, 2016. 125 с.
11. Мамаев С.А., Шкарлет О.Д. Индивидуальная изменчивость сосны обыкновенной по газоустойчивости в связи с сохранением хвойных насаждений в условиях техногенных ландшафтов // Проблемы создания защитных насаждений в условиях техногенных ландшафтов: тр. Института экологии растений и животных. Вып. 129 / отв. ред. С.А. Мамаев, А.К. Махнев. Свердловск, 1979. С. 58–65.
12. Руководство по контролю качества атмосферного воздуха в городах / под ред. М. Дж. Сьюэсса, С.Р. Крэксфорда. М.: Медицина, 1980. 264 с.
13. Видякин А.И., Лебедев А.Г. Эндогенная и временная изменчивость числа смоляных каналов в хвое деревьев сосны обыкновенной // Известия Самарского научного центра РАН. 2013. Т. 15. № 3–1. С. 371–375.
14. Цандекова О.Л., Легощина О.М. Анатомо-морфологические перестройки ассимиляционного аппарата древесных растений, произрастающих в условиях породного отвала Кедровского угольного разреза // Известия Самарского научного центра РАН. 2017. Т. 19, № 5. С. 106–110.
15. Горшков А.Г., Михайлова Т.А., Бережная Н.С., Верещагин А.Л. Хвоя сосны как тест-объект для оценки распространения органических поллютантов в региональном масштабе // Доклады Академии наук. 2016. Т. 408, № 2. С. 247–249.
16. Рокицкий П.Ф. Биологическая статистика: учеб. пособие. 3-е изд., испр. Минск: Вышэйш. шк., 1973. 320 с.
17. Куликова А.И. Особенности репродуктивной биологии *Lonicera caerulea* s.l. в различных эколого-географических условиях: дис. ... канд. биол. наук: 03.02.01. Новосибирск, 2017. 163 с.

18. Петров П.К. Математико-статистическая обработка и графическое представление результатов педагогических исследований с использованием информационных технологий: учеб. пособие. Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2013. 179 с.
19. Правдин Л.Ф. Сосна обыкновенная: изменчивость, внутривидовая систематика и селекция. М.: Наука, 1964. 190 с.
20. Рынкевич С.В., Ткачев В.В. Биоиндикация загрязнения атмосферного воздуха города по комплексу признаков сосны обыкновенной // Моделирование, компьютерное проектирование и технология производства электронных средств: сб. мат-лов 49-й науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР (Минск, 6–10 мая 2013 года). Минск: БГУИР, 2013. С. 116–117.
21. Голинько И.И. Экологический мониторинг и биоиндикация для определения токсичности атмосферного воздуха // Актуальные проблемы химического и экологического образования: сб. науч. тр. 63 всерос. науч.-практ. конф. химиков с международным участием, Санкт-Петербург, 14–16 апреля 2016 года. СПб.: Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, 2016. С. 356–359.

© Шмелев Николай Александрович (reptil11@yandex.ru), Самойлова Татьяна Алексеевна (tanya.samoylova09@gmail.com).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



г. Бирск

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕУСТОЙЧИВЫХ МОД СВОБОДНОГО ВИХРЯ

Ахметов Вадим Каюмович

Д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Национальный
исследовательский Московский государственный
строительный университет»
vadim.akhmetov@gmail.com

SPECTRAL CHARACTERISTICS OF UNSTABLE MODES OF A FREE VORTEX

V. Akhmetov

Summary. Swirling flow with a velocity profile of the Batchelor vortex type has been studied on the basis of the linear hydrodynamic stability theory. An effective numerical method for solving the spectral problem has been developed. This method includes the asymptotic solutions at artificial and irregular singular points. For fixed values of the Reynolds numbers, the curves of neutral stability are plotted. Branching points of unstable modes are found.

Keywords: swirling flow, hydrodynamic stability, spectral problem, neutral curves, singular points.

Аннотация. На основе линейной теории гидродинамической устойчивости исследовано закрученное течение с профилем скорости типа вихря Бэтчелора. Разработан эффективный численный метод решения спектральной задачи. Этот метод включает асимптотические решения в регулярных и нерегулярных особых точках. Для фиксированных значений чисел Рейнольдса построены кривые нейтральной устойчивости. Найдены точки ветвления неустойчивых мод.

Ключевые слова: закрученный поток, гидродинамическая устойчивость, спектральная задача, нейтральные кривые, особые точки.

Исследования гидродинамической устойчивости закрученных течений имеют чрезвычайно важное значение. Потеря устойчивости потока часто приводит к нарушению расчетного режима работы за счет усиления вибрационных воздействий и, в конечном итоге, к повреждению технических устройств.

Существует несколько общих критериев оценки устойчивости закрученных течений. Для течения типа свободного вихря они были сформулированы в [1, 2]. Эти критерии носят достаточный характер и не позволяют точно определить параметры устойчивости течения. Основным инструментом исследования гидродинамической устойчивости вихревых течений является численное моделирование на основе метода возмущений.

В последние годы большое внимание уделяется изучению вихря Бэтчелора (часто называемого Q-вихрем) [3–8]. Выборочный анализ абсолютной неустойчивости Q-вихря с учетом вязкости методом прямого численного моделирования проведен в [9].

В данной работе разработан эффективный численный метод, учитывающий поведение решений в особых точках, который используется для решения многопараметрической спектральной задачи. Целью работы является исследование взаимодействия неустойчивых мод.

1. Постановка задачи и метод решения

Профили осевой V_z и азимутальной V_φ составляющих скорости свободных закрученных течений и внутренних течений в каналах (за исключением пристеночной области) в цилиндрической системе координат (r, φ, z) достаточно хорошо описываются следующими выражениями [10]:

$$\begin{aligned} V_z &= W_1 + W_2 \exp(-br^2), \\ V_\varphi &= \frac{K}{r} [1 - W_2 \exp(-br^2)], \end{aligned} \quad (1)$$

где W_1, W_2, K, b — эмпирические определяемые константы, r — безразмерное расстояние от оси. Элементар-

Таблица 1. Критические значения неустойчивых мод.

Мода	Re _c ^m	α _c ^m	q _c ^m
1	13.905	0.415	0.337
2	43.934	0.5012	0.6603
3	165.56	0.5962	0.4576
4	428.086	0.5062	0.6095
5	887.79	0.5547	0.6403
7	1579.73	0.6054	0.700
8	3526.77	0.5679	0.6131

ными преобразованиями профили (1) могут быть сведены к виду

$$U = \exp(-r^2), \quad W = \frac{q}{r}(1 - \exp(-r^2)). \quad (2)$$

Профили (2) выводятся из автомодельного решения уравнений Навье–Стокса для вязкого закрученного следа в предположении плоскопараллельности течения [11].

Рассмотрим малые возмущения течения (2) как решения линеаризованных уравнений Навье–Стокса типа периодической бегущей волны (нормальные моды):

$$\{V'_z, V'_r, V'_\phi, p'\} = \{F, iS, H, P\} \exp[i(\alpha z + n\phi - \alpha ct)], \quad (3)$$

где p — давление. Комплексные функции $F(r), S(r), H(r), P(r)$ задают амплитуду волны длиной λ с волновым числом $\alpha = 2\pi/\lambda$, модой возмущения n ($n = 0; \pm 1; \pm 2; \dots$) и скоростью распространения c . Для амплитудных функций после подстановки возмущений (3) в систему уравнений Навье–Стокса и ее линеаризации получается система обыкновенных дифференциальных уравнений шестого порядка:

$$r^2\gamma F + \alpha r^2 P + r^2 S U' = \frac{1}{i \text{Re}} [r(rF)' - (\alpha^2 r^2 + n^2 F)], \quad (4)$$

$$r^2\gamma S + 2rHW - r^2 P' = \frac{1}{i \text{Re}} [r(rG)' - (\alpha^2 r^2 + n^2 + 1)S - 2nH], \quad (5)$$

$$r^2\gamma H + r^2 S \left(W' + \frac{W}{r} \right) + rnP = \frac{1}{i \text{Re}} [r(rH)' - (\alpha^2 r^2 + n^2 + 1)H - 2nS], \quad (6)$$

$$\alpha rF + (rS)' + nH = 0, \quad (7)$$

где $\gamma = \alpha(U - c) + nW/r$. Граничные условия для системы (4)-(7) записываются в виде:

$$S(0) = H(0) = 0, \quad ,$$

$$F(0), P(0) \text{ — ограничены при } n = 0 \quad (8)$$

$$S(0) \pm H(0) = 0,$$

$$F(0) = P(0) = 0 \text{ — при } n = \pm 1, \quad (9)$$

$$S(0) = H(0) = F(0) = P(0) = 0 \text{ — при } |n| > 1, \quad (10)$$

$$S(\infty) = H(\infty) = F(\infty) = P(\infty) = 0. \quad (11)$$

Рассмотрим временную устойчивость течения (2), полагая волновое число α действительным, а скорость распространения возмущений $c = c_r + ic_i$ комплексным. Тогда, при $c_i < 0$ возмущения будут затухать и течение можно считать устойчивым, а при $c_i > 0$ возмущения будут нарастать и течение становится неустойчивым.

Метод расчета собственных значений включает несколько этапов. Вблизи особых точек $r = 0$ и $r = \infty$ строятся асимптотические решения по методу Фробениуса [12], которые позволяют перенести граничные условия в точки $r = r_a$ и $r = r_d$ соответственно. Интегрирование

проводится от r_a и r_d внутрь расчетной области к точке r_c ($r_a < r_c < r_d$), в которой решения склеиваются в соответствии с условием

$$\sum_{j=1}^3 a_j y_{i,j} = \sum_{j=1}^3 a_{j+3} y_{i,j+3} \quad (i = 1, 2, \dots, 6), \quad (12)$$

где $y_{i,j}$ решения, полученные в ходе интегрирования от r_d к r_c , а $y_{i,j+3}$ — при интегрировании от r_a к r_c , a_j — произвольные постоянные. Равенство нулю определителя линейной однородной системы (12) достигается подбором c_r, c_i по методу Ньютона.

Система уравнений (4)-(7) для численного интегрирования записывалась в виде шести дифференциальных уравнений первого порядка. Решение определялось методом Кутты-Мерсона с автоматическим выбором шага интегрирования с применением ортогонализационной процедуры Грамма-Шмидта.

Таблица 2. Сравнение с результатами невязкой теории.

Мода	Re=10 ⁵			Re=∞ [6]		
	q*	α*	ω _i *	q*	α*	ω _i *
1	0.4581	0.8117	0.2424	0.46	0.81	0.2424
3	0.7534	0.5518	0.1112	0.75	0.55	0.1116
4	0.7972	0.5402	0.0797	0.8	0.54	0.08046
5	0.8091	0.5263	0.0609	0.82	0.53	0.06222
6	0.8098	0.5146	0.0483	0.83	0.53	0.05030

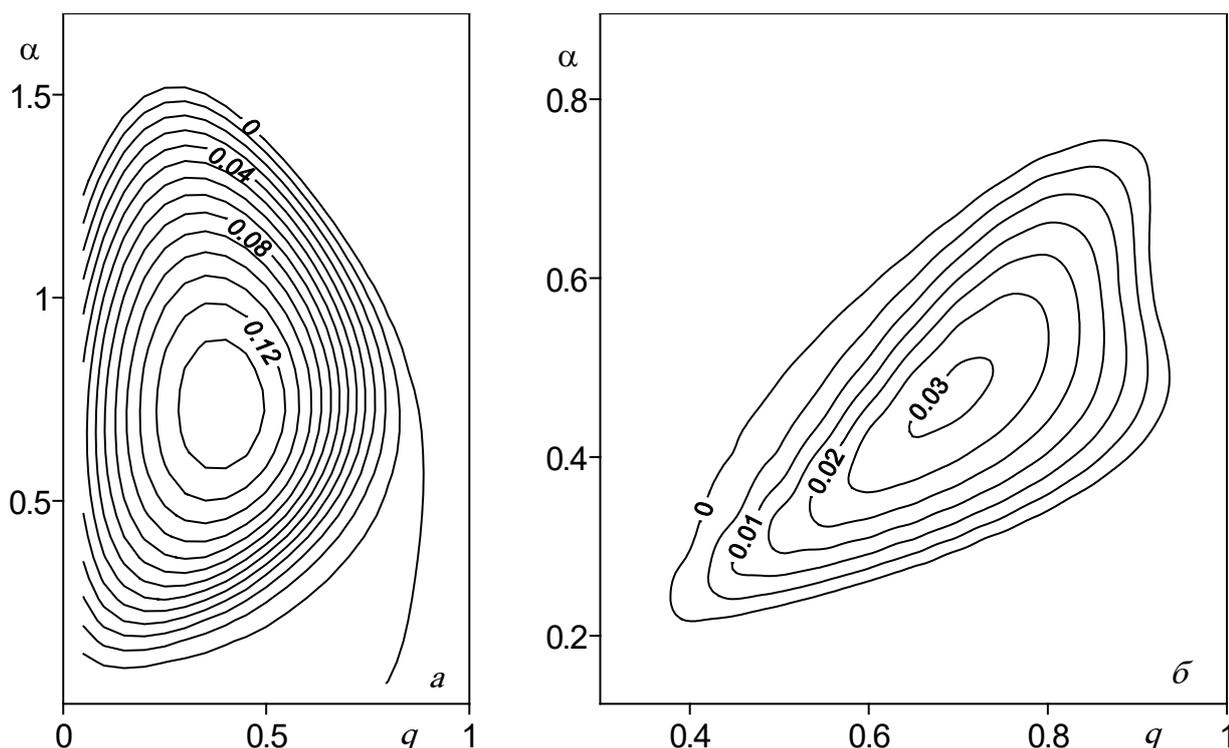


Рис. 1. Топография неустойчивости при Re = 60, а — мода 1, б — мода 2

2. Результаты вычислений

Рассмотрим краевую задачу (4)-(7), (8)-(11), в которой имеется три определяющих параметра Re, q, α. Исследуем устойчивость течения (2) при значении волнового числа $n = -1$, так как согласно [4, 5] данный тип возмущений наиболее опасен.

Собственное число рассматриваемой спектральной задачи $c = c_r + ic_i$ при $c_i > 0$, определяет моду временной неустойчивости. В данном исследовании показывается существование нескольких неустойчивых мод, которые могут одновременно наблюдаться в потоке. Каждая мода с номером m характеризуется совокупностью параметров, определяющих критические значения числа Рейнольдса Re_c^m , закрутки q_c^m и волнового числа α_c^m

, при которых возникает неустойчивость. Этому набору соответствует собственное число $c_{rm}, c_{im} \approx 0$, от которого численно можно построить параметрическое продолжение по Re, q или α. В табл. 1 представлены вычисленные значения величин $Re_c^m, \alpha_c^m, q_c^m$ в критических точках для восьми обнаруженных мод неустойчивости.

Исследуемые моды имеют разный характер. Моды (1, 3-8) являются невязками. Для них при $Re \rightarrow \infty$ максимальный коэффициент усиления стремится к некоторому предельному положительному значению $\omega_i = \alpha c_i \rightarrow \text{const} \neq 0$. Максимальные коэффициенты усиления ω_i^* для невязки мод 1, 3-6 и соответствующие им критические значения волнового числа α_* и закрутки q_* , вычисленные при $Re = 10^5$, представлены в табл. 2.

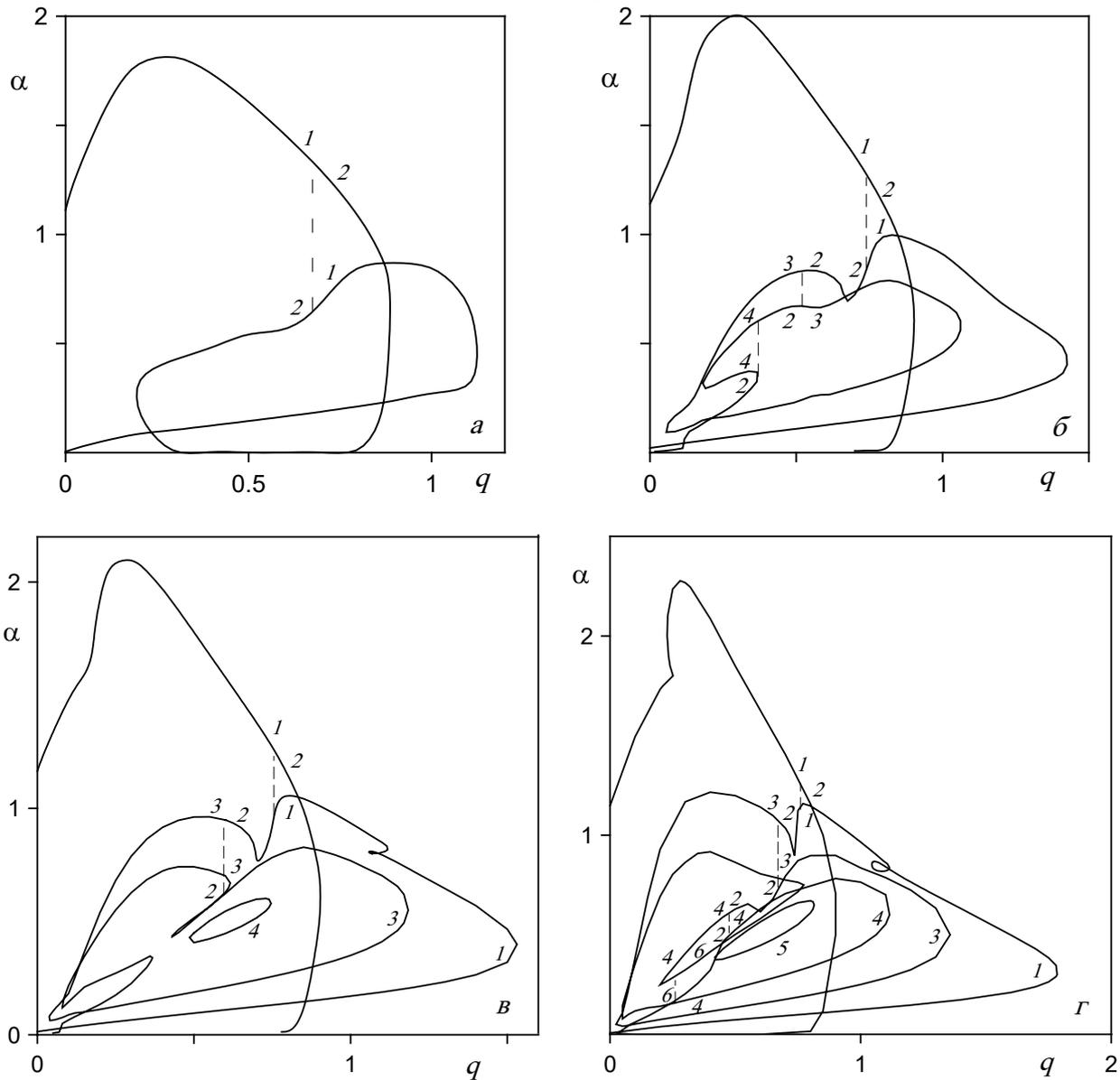


Рис. 2. Нейтральные кривые: $Re = 140; 300; 450; 1000$ (а—г); моды 1—5

Мода (2) является вязкой: для нее $\omega_i \rightarrow 0$ при $Re \rightarrow \infty$. Впервые она была обнаружена в [13] и более подробно исследована в [14]. Две другие вязкие моды неустойчивости для течения (2) были найдены в [5, 6]. Одна из них наблюдалась для осесимметричных возмущений ($n = 0$), другая (более неустойчивая) для неосесимметричных возмущений с положительным азимутальным волновым числом ($n = 1$).

Обратимся к исследованию собственных решений рассматриваемой задачи в плоскости свободных параметров (α, q) при $Re = const$. Отметим в связи с этим одно важное свойство собственных решений: в пространстве Re, q, α существуют точки, в которых

задача на собственные значения имеет кратный корень $c^{(k)} = c^{(m)}$. Это означает, что решения для двух мод в такой точке совпадают, а в малой окрестности происходит ветвление этих мод. При этом ветвиться могут разные пары (k, m) из набора неустойчивых мод, существующих при выбранном значении Re .

Области устойчивости и неустойчивости исходного потока (2) к возмущениям (3) разделяются в плоскости (α, q) нейтральной кривой — линией, на которой выполняется условие $\omega_i = 0$. Для каждой моды неустойчивости можно построить соответствующую нейтральную кривую. Нейтральная кривая моды m описывается отдельным замкнутым контуром только при значениях

$Re > Re_c'''$, близких к критическому для данной моды, например, моды 1, 2 при $Re = 60$. Для этого случая на рис. 1 представлены линии постоянных значений коэффициента усиления $\omega_i = \alpha c_i = \text{const}$ в плоскости (α, q) для мод 1, 2. Внешний контур соответствует нейтральной кривой, на которой $\omega_i = 0$. Внутри него течение неустойчиво, а вне его — устойчиво. По мере продвижения по Re от критической точки возникают ее бифуркации со вновь возникающими модами. При этом форма области неустойчивости качественно меняется: происходит скачкообразное изменение границ отдельных областей неустойчивости, а нейтральные кривые объединяются в единую кривую сложной формы с точками самопересечения.

С увеличением числа Рейнольдса области неустойчивости двух мод пересекаются, а нейтральные кривые объединяются в одну кривую, часть которой соответствует первой моде, а часть — второй. Характерная картина такой области неустойчивости при $Re = 140$ с точкой ветвления $q_b = 0.689$ представлена на рис. 2, а. Внутри этой области в зависимости от значений (α, q) неустойчивость течения (2) может определяться как одной, так и двумя модами одновременно.

При переходе параметра q через q_b две ветвящиеся моды обмениваются частями зависимостей $\omega_r(\alpha)$, $\omega_i(\alpha)$ и как следствие значениями α_{\max} , α_{\min} , характеризующими границы областей неустойчивости. Аналогичным образом происходит ветвление мод во всех других случаях, причем новые точки ветвления возникают с ростом Re по мере появления новых неустойчивых собственных решений рассматриваемой спектральной задачи (рис. 2, б, в).

Нейтральные кривые для шести неустойчивых мод при $Re = 1000$ показаны на рис. 2, г. Область неустойчивости моды 5 имеет отдельный контур. Нейтральные

кривые для остальных мод изображаются одной кривой с точками ветвления $q_b = 0.225; 0.495; 0.675; 0.76$ между модами 4,6; 2,4; 2,3; 1,2 соответственно. При обходе ее в положительном направлении, начиная с точки $q = 0$, $\alpha = 1.15$, участки кривой соответствуют модам 1, 2, 4, 6, 4, 2, 3, 2, 1. Отметим, что мода 6 формируется из части моды 2 при $900 < Re < 1000$ и ее нейтральная кривая не имеет отдельного замкнутого контура в отличие от всех остальных исследованных мод.

3. Заключение

Рассмотрена задача об устойчивости закрученного течения типа вихря Бэтчелора по отношению к несимметричным возмущениям. Представлен эффективный численный метод исследования спектра собственных значений. Результаты расчетов показывают существование до восьми одновременно наблюдаемых неустойчивых мод.

Исследовано поведение каждой моды в отдельности и свойства полного спектра мод. Обнаружено и исследовано свойство ветвления собственных решений. Рассчитаны координаты точек ветвления. Это позволило построить кривые нейтральной устойчивости при фиксированных значениях чисел Рейнольдса. Показано, что ветвление мод и скачкообразное изменение границ областей неустойчивости связаны с наличием кратных корней в задаче на собственные значения источника.

Явление распада вихря связано с неустойчивостью течения. Основной вклад в дестабилизацию течения вносит первая основная мода неустойчивости. Более слабые моды могут привести к вторичной неустойчивости. Исследования показали, что в сильно закрученном вихревом течении Бэтчелора именно эти моды остаются неустойчивыми для длинноволновых возмущений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Leibovich S., Stewartson K.A. Sufficient condition for the instability of columnar vortices // *J. Fluid Mech.* 1983. V. 126. P. 335–356.
2. Stewartson K., Brown S.N. Near-neutral center-modes as inviscid perturbations to a trailing line vortex // *J. Fluid Mech.* 1985. V. 156. P. 387–399.
3. Lessen M., Singh P.J., Paillet F. The stability of a trailing line vortex. Part 1. Inviscid theory // *J. Fluid Mech.* 1974. V.63. P. 753–763.
4. Lessen M., Paillet F. The stability of a trailing line vortex. Part 2. Viscous theory // *J. Fluid Mech.* 1974. V. 65. P. 769–779.
5. Khorrami M.R. On the viscous modes of instability of a trailing line vortex // *J. Fluid Mech.* 1991. V. 225. P. 197–212.
6. Mayer E.W., Powell K.G. Viscous and inviscid instabilities of a trailing vortex // *J. Fluid Mech.* 1992. V. 245. P. 91–114.
7. Ахметов В.К. Гидродинамическая устойчивость контрвихревых течений // *Гидротехническое строительство.* 2018. № 2. С. 13–18.
8. Ахметов В.К., Шкадов В.Я. Устойчивость свободных и ограниченных закрученных течений с зонами рециркуляции // *Инженерная физика.* 2008. № 6. С. 6–13.
9. Delbende I., Chomas J.-M., Huerre P. Absolute/convective instabilities in the Batchelor vortex: A numerical study of the linear impulse response // *J. Fluid Mech.* 1998. V. 355. P. 229–254.
10. Garg A.K., Leibovich S. Spectral characteristics of vortex breakdown flowfields // *Phys. Fluids.* 1979. V. 22. № 11. P. 2053–2064.
11. Batchelor G.K. Axial flow in the trailing line vortices // *J. Fluid Mech.* 1964. V. 20. P. 645–658.

12. Ахметов В.К. Влияние закрутки на устойчивость течений в каналах // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия Естественные и Технические Науки. 2021. № 3. С. 69–72.
13. Ахметов В.К., Шкадов В.Я. К вопросу об устойчивости свободного вихря // Вестник МГУ. Сер. 1. Математика, механика. 1987. № 2. С. 35–40.
14. Ахметов В.К., Шкадов В.Я. Неустойчивость свободного вихря при большой закрутке потока // Вестник МГУ. Сер. 1. Математика, механика. 2003. № 1. С. 54–58.

© Ахметов Вадим Каюмович (vadim.akhmetov@gmail.com).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ИХ ЭКГ

METHOD OF INCREASING THE QUALITY OF IDENTIFICATION OF USERS OF ELECTRONIC SYSTEMS BASED ON IH ECG

**S. Blyagoz
D. Shtennikov**

Summary. The article is devoted to improving the accuracy of identification of users of electronic systems based on their electrocardiogram. In this work, an improved algorithm for the functioning of the developed prototype system for user identification based on ECG is used, which differs from the existing ones in the use of three signs of ECG signals. These include: cepstral coefficients, ZCR and entropy. Then they are combined into one input descriptor, which increases the speed of recognition. SVM and implementations of a neural network (multilayer perceptron) using the SciKit Learn and TensorFlow modules were considered as possible options for a decision model for classification. In this case, to improve the quality of the identifier, the result of the classification of all segments of the ECG recording is used.

Keywords: identification, ECG, cepstral coefficients, ZCR, entropy, SVM, neural network.

Блягоз Софиет Хазретовна

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет ИТМО»
sofa.2101@mail.ru

Штенников Дмитрий Геннадьевич

К.т.н., доцент, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет ИТМО»

Аннотация. Статья посвящена повышению точности идентификации пользователей электронных систем на основе их электрокардиограммы. В данной работе используется усовершенствованный алгоритм функционирования разработанного прототипа системы для идентификации пользователей на основе ЭКГ, отличающийся от существующих использованием трех признаков сигналов ЭКГ. К ним относятся: кепстральные коэффициенты, ZCR и энтропия. Далее происходит объединение их в один входной дескриптор, что повышает скорость распознавания. В качестве возможных вариантов решающей модели для классификации были рассмотрены SVM и реализации нейронной сети (многослойного перцептрона) средствами модулей SciKit Learn и TensorFlow. При этом для улучшения качества идентификатора используется результат классификации всех сегментов записи ЭКГ.

Ключевые слова: идентификация, ЭКГ, кепстральные коэффициенты, ZCR, энтропия, SVM, нейронная сеть.

Введение

В настоящее время отечественные и зарубежные исследователи сосредоточены на разработке новых видов систем биометрического распознавания, а именно, основанных физиологических характеристиках человека, таких как электрическая активность сердца (электрокардиограмма), мозга (электроэнцефалограмма) и скелетных мышц (электромиограмма) [1]. В частности, электрокардиограмма видится подходящим методом для приложений, требующих защиты средней степени, в связи с простотой получения сигнала и его дешевизной, а также сложностью подделки и недобровольного извлечения [2].

Целью данной работы является создание программного продукта для идентификации человека по записи сигнала его электрокардиограммы (далее — ЭКГ).

В связи с поставленной целью требуется выполнить следующие задачи:

1. Разработать структурную схему и алгоритм функционирования прототипа системы идентификации пользователей на основе ЭКГ.
2. Выбрать средства реализации прототипа системы.
3. Описать процедуры сборки и подготовки датасета.
4. Исследовать варианты и выбрать решающую модель.



Рис. 1. Архитектура системы для идентификации пользователей

5. Провести комплексное тестирование и оценку точности решающей модели.

Реализация метода идентификации пользователей на основе ЭКГ

Архитектура прототипа системы для идентификации пользователей на основе ЭКГ представлена на рисунке 1.

На рисунке 2 представлена блок-схема алгоритма функционирования системы для идентификации пользователей на основе ЭКГ.

Разрабатываемая система функционирует по трем основным этапам:

1. Этап разбиения указанной записи ЭКГ на сегменты.

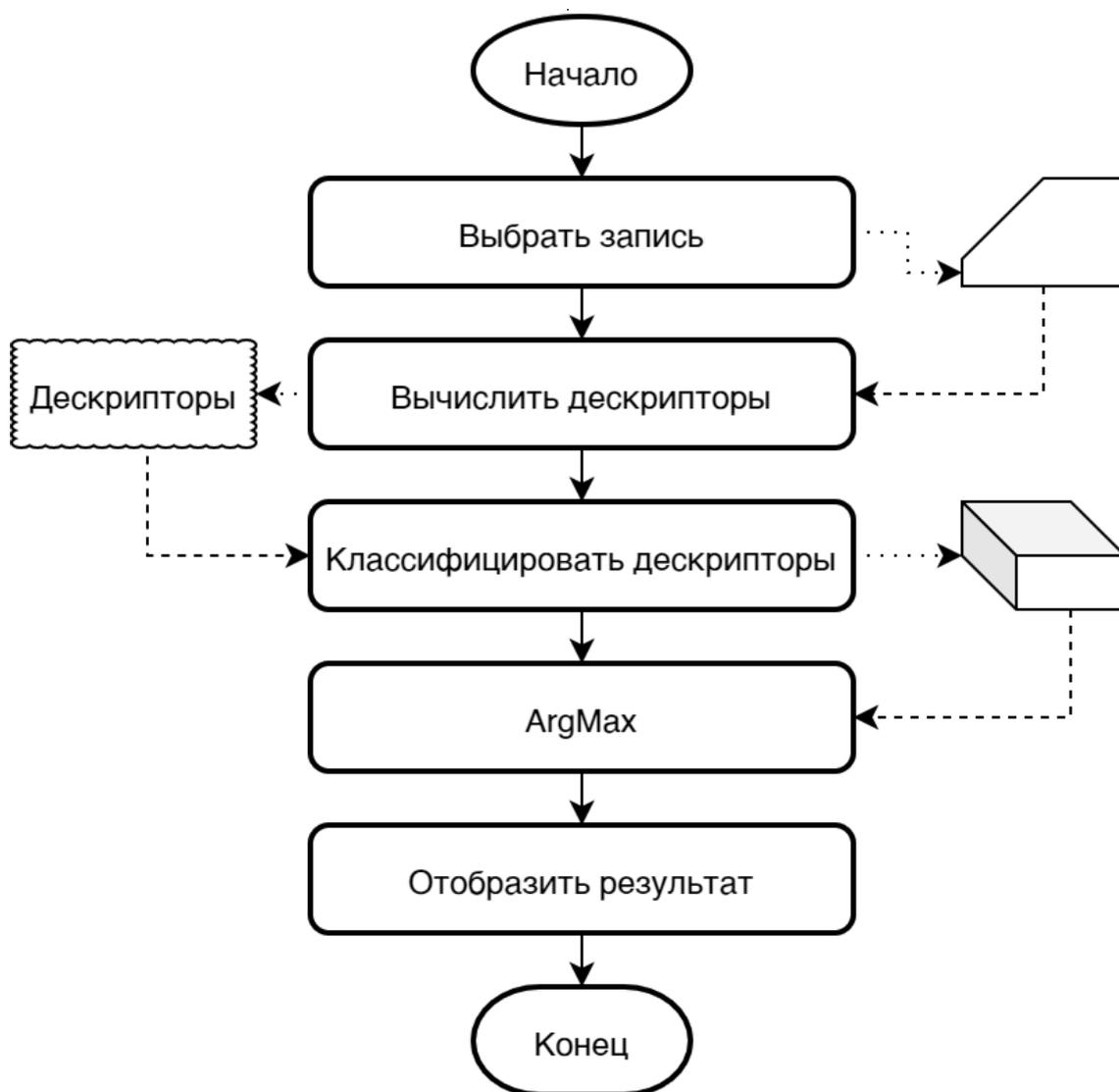


Рис. 2. Блок-схема алгоритма функционирования системы для идентификации пользователей на основе ЭКГ

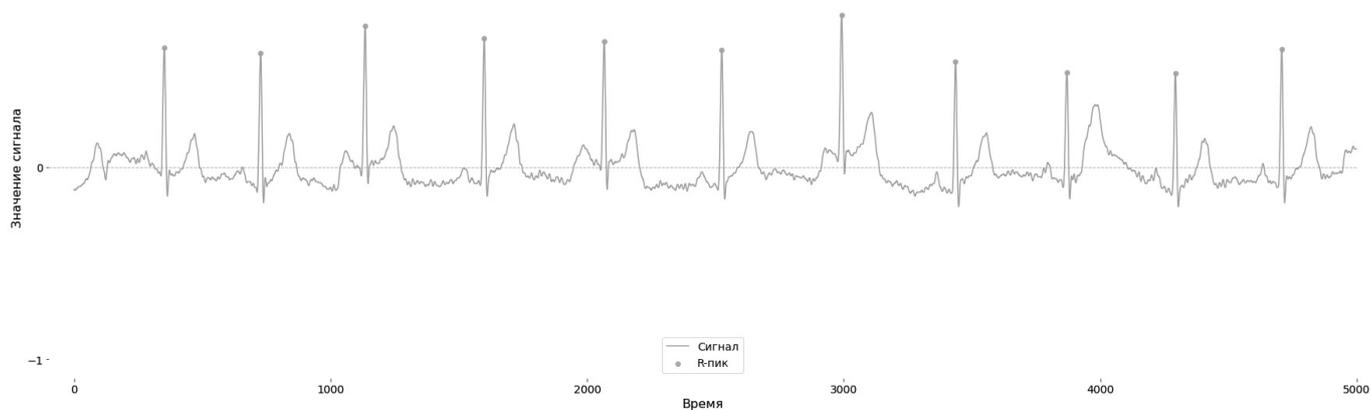


Рис. 3. Временной ряд сигнала ЭКГ с отмеченными R-пиками

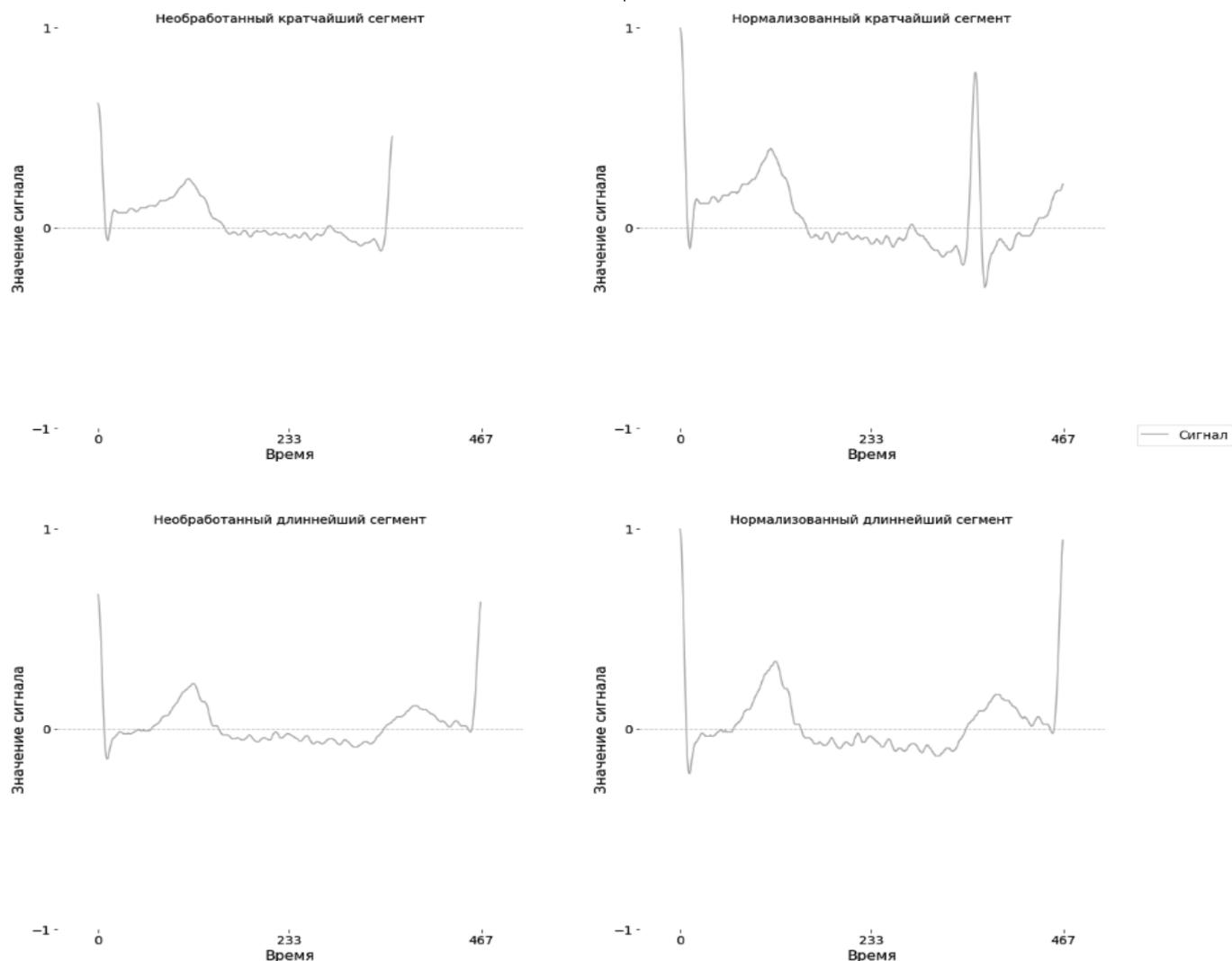


Рис. 4. Нормализация сегментов

2. Этап выявления признаков из полученных сегментов.
3. Этап классификации набора признаков.

В качестве датасета взята база данных ECG-ID, содержащая записи ЭКГ 90 пациентов, полученные в разные моменты времени [3].

Использование записи целиком нерационально, поэтому требуется разбить запись на сегменты. Каждый сегмент представляет собой срез сигнала между двумя соседними R-пиками. R-пик же представляет собой высшую точку импульса сердечного сокращения. Используя модуль BioSPPy [4] находим индексы массива сигналов, в которых находятся R-пики (рисунок 3).

Для того, чтобы получить сегменты, возьмем срез записи между каждыми двумя соседними R-пиками.

Так как сегменты имеют разную длину, предлагается уравнивать длины сегментов по максимальной длине среди всех сегментов, а также нормализовать значения сигнала внутри каждого сегмента следующим образом (рисунок 4).

Для сокращения количества данных, выделим следующие признаки для каждого сегмента:

1. Кепстральные коэффициенты.
2. ZCR.
3. Энтропия.

Для получения кепстральных коэффициентов используем алгоритм поиска MFCC — Мел-частотных кепстральных коэффициентов. Сигнал преобразуется с помощью быстрого преобразования Фурье (FFT), от него вычисляется логарифм, который преобразуется с помощью обратного преобразования Фурье (IFFT). После это-

Таблица 1. Пример дескриптора

Кепстральные коэффициенты	ZCR	Энтропия
-16.20 3.69 0.57-0.85 0.02 0.87 0.67 0.05-0.13 0.19 0.28 0.06	11	1.551

Таблица 2. Правильность обученных моделей SVM

Ядро	Правильность, %
Линейное	45.29
Полиномиальное	41.42
RBF	38.94
Сигмоидальное	7.31

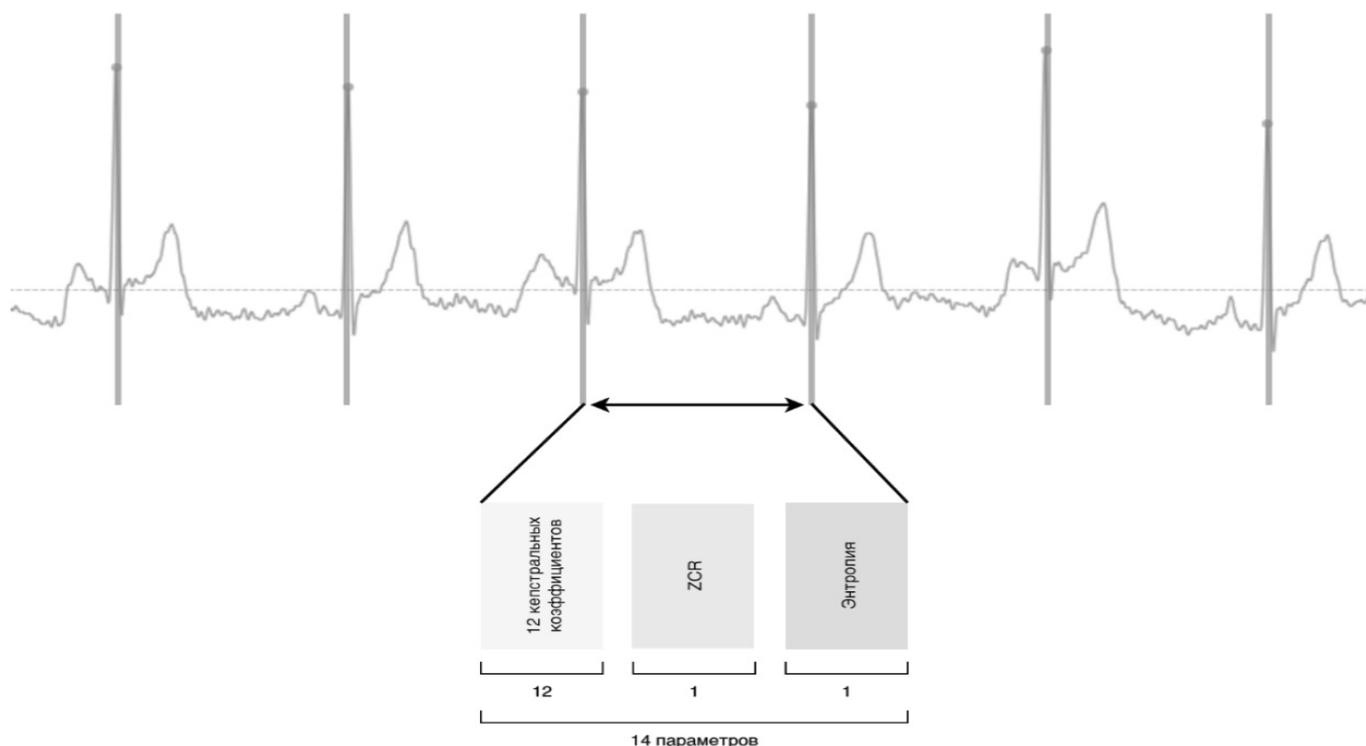


Рис. 5. Структура дескриптора

го полученное значение преобразовывается с помощью прямого косинусового преобразования (DCT).

Для задач классификации обычно достаточно 12–20 кепстральных коэффициентов. В данной работе ограничимся 12-ю.

ZCR (англ. Zero-Crossing Rate — частота пересечения нуля) — признак, обозначающий количество раз, в кото-

рых сигнал переходит базовую линию (в нашем случае = 0) [5].

Объединение признаков. Все полученные признаки объединяем в один общий дескриптор сегмента (рисунок 5). Он содержит 14 значений:

- ◆ 12 кепстральных коэффициентов
- ◆ 1 значение ZCR
- ◆ 1 значение энтропии.

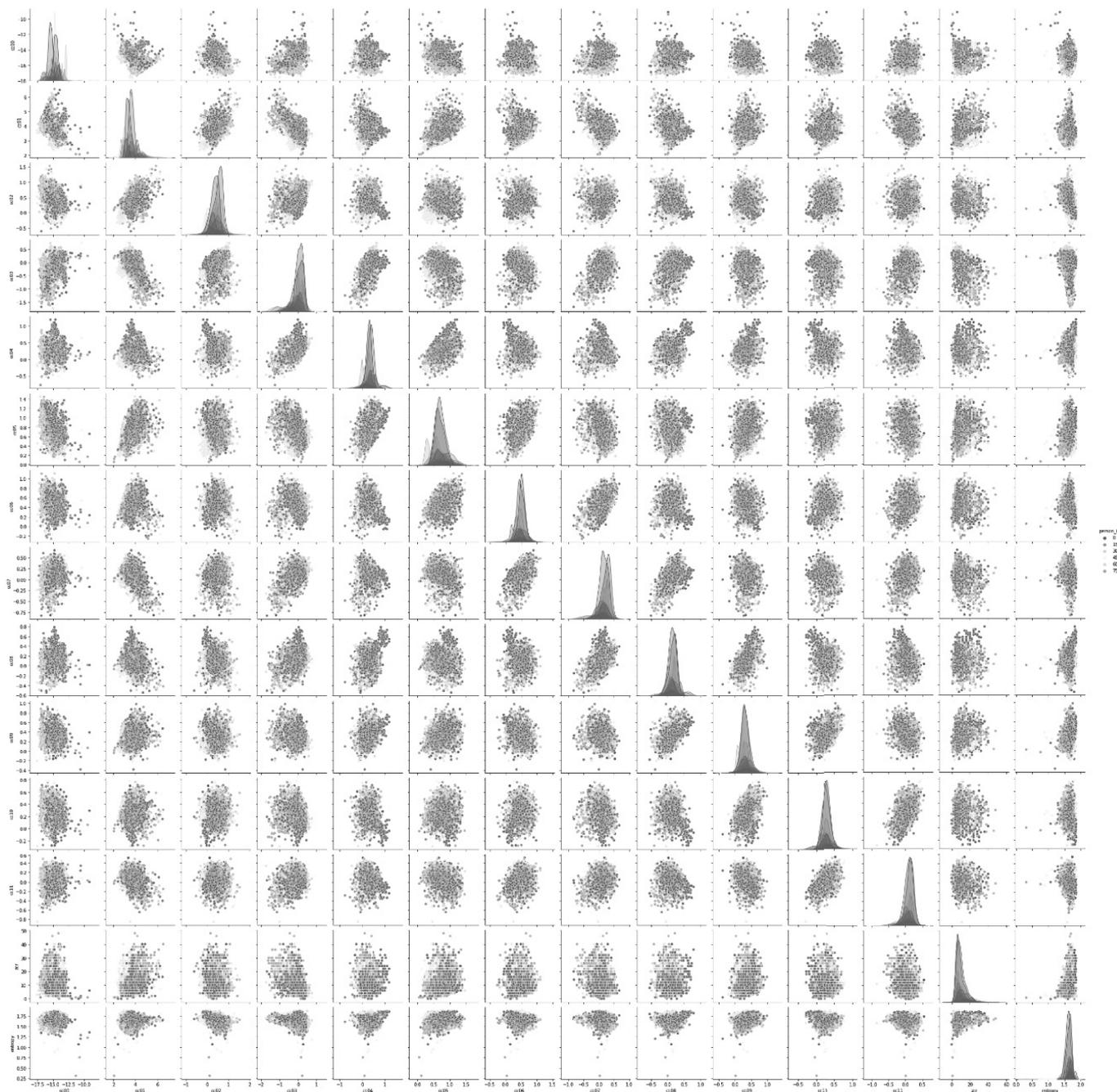


Рис. 6. Матрица корреляции пар компонентов дескрипторов

Для решения задачи классификации человека необходима решающая модель. В качестве возможных методов были рассмотрены SVM и реализации нейронной сети (многослойного перцептрона) средствами модулей SciKit Learn и TensorFlow.

SVM

Метод опорных векторов довольно часто используется для в качестве решающей модели [6]. Используя

класс SVC модуля SciKit Learn, составим решающие модели для этих четырех функций ядра. Проведем обучение моделей на 10 000 итерациях и оценим их правильность методом кросс-валидации.

В результате оценки были получены следующие результаты (таблица 2).

Как видно из данных таблицы 2, правильность моделей SVM слишком низкая, при этом основной причи-

Таблица 3. Архитектура нейронной сети

Слой	Выходная размерность	Количество параметров
Распрямление	(_,14)	0
Полносвязный 1	(_,64)	960
Полносвязный 2	(_,256)	16640
Полносвязный 3	(_,64)	16448
Классификатор	(_,90)	5850

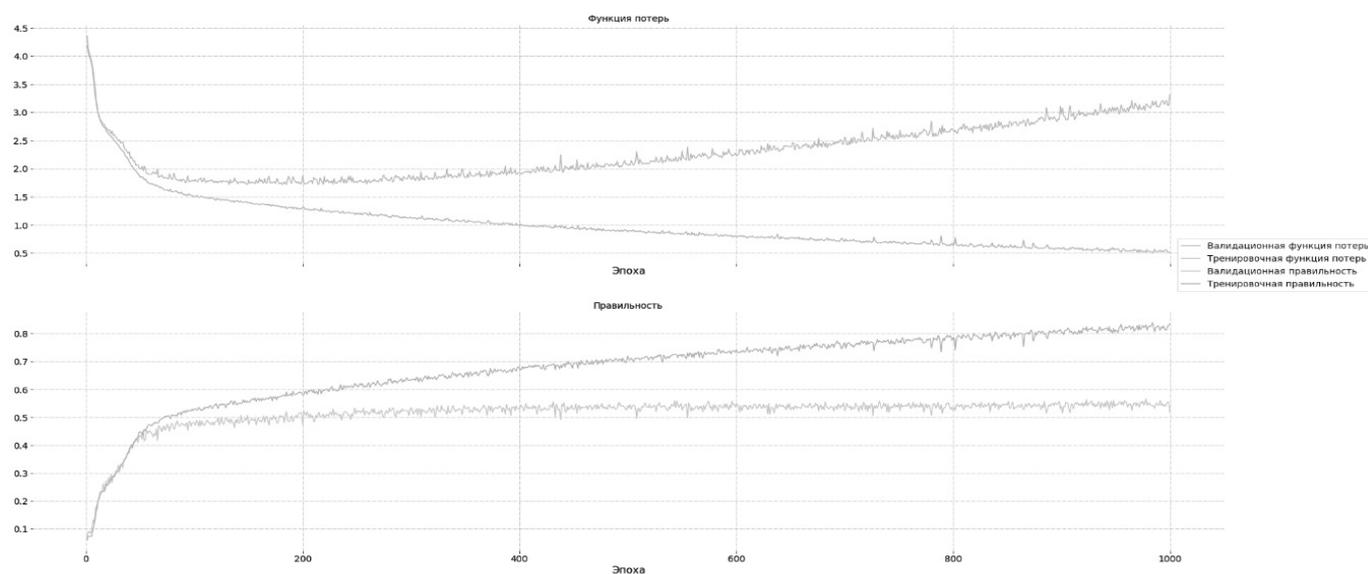


Рис. 7. Лог обучения

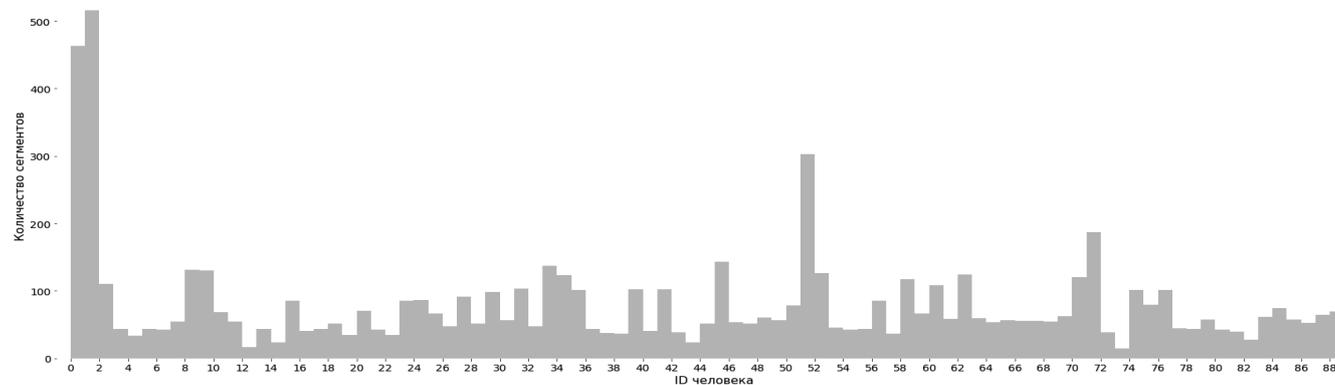


Рис. 8. Распределение количества сегментов по людям

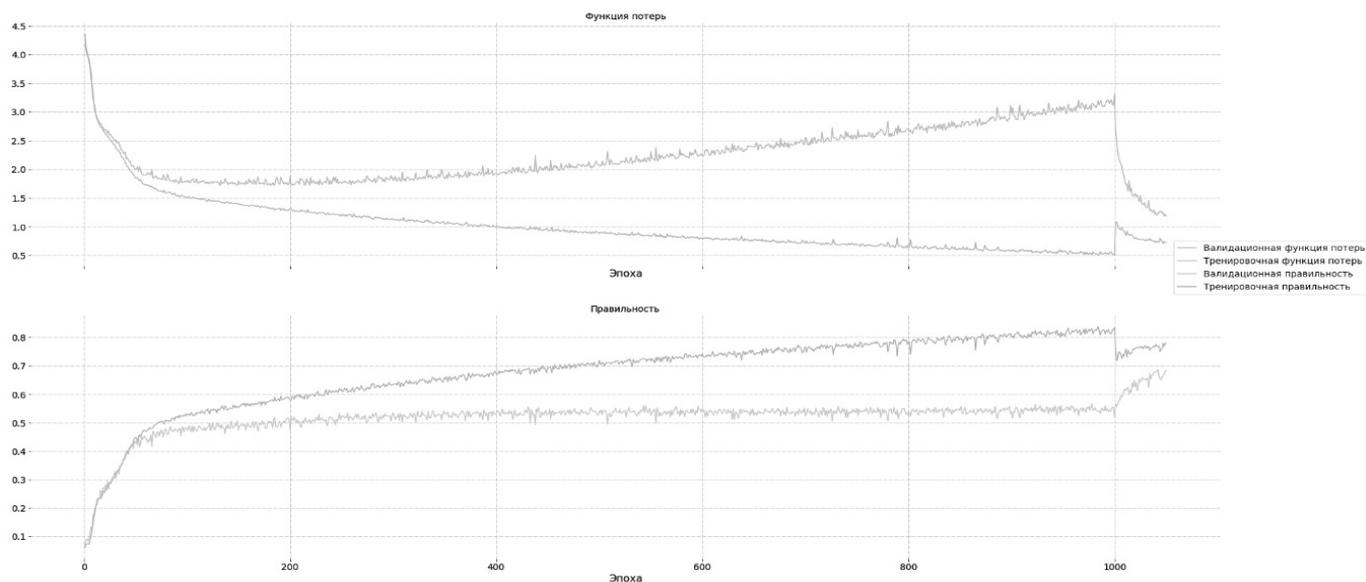


Рис. 9. Лог обучения после второй фазы обучения

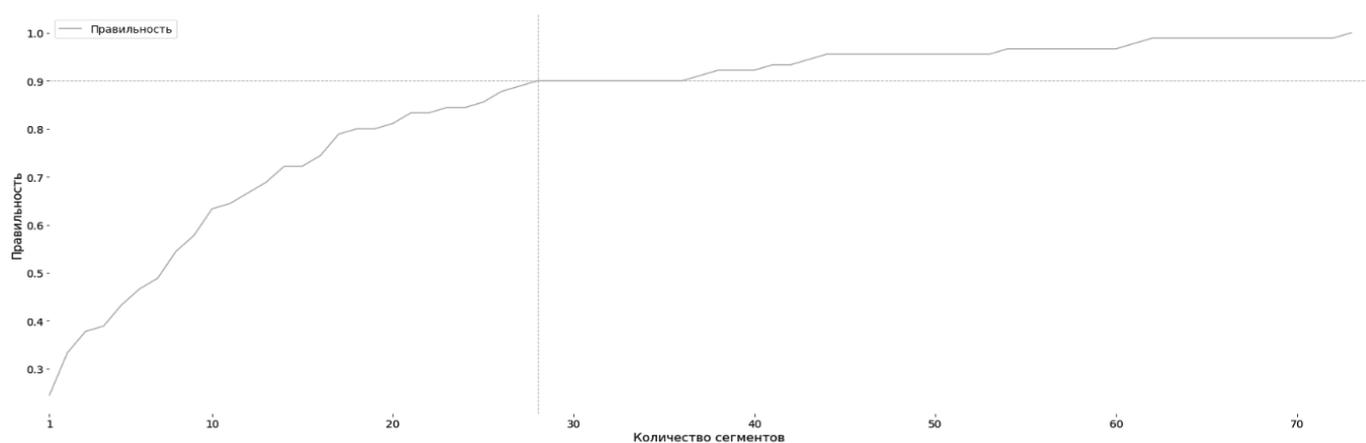


Рис. 10. Зависимость правильности идентификатора от количества сегментов

ной является высокая кучность данных. Кепстральные коэффициенты сегментов разных людей схожи и не позволяют моделям SVM подобрать подходящие параметры гиперплоскостей, успешно разбивающих данные на классы (рисунок б).

Нейросеть SciKit Learn

Попытаемся улучшить правильность модели, используя нейронную сеть вместо SVM. Для этого воспользуемся классом MLPClassifier модуля SciKit Learn. Модель будет состоять из трех полносвязных слоев с 64, 256 и 64 нейронами. Последним слоем нейросети будет еще один полносвязный слой с количеством нейронов,

равным количеству классов. Обучим модель на 1000 итерациях и оценим с помощью метода кросс-валидации.

В результате правильность модели составила 43.89%. Такой результат не превосходит максимальной правильности, полученной с помощью модели SVM.

Нейросеть TensorFlow

Создадим собственную нейронную сеть с помощью модуля Keras пакета TensorFlow. Архитектура модели будет такой же, как и в предыдущей нейронной сети (таблица 3).

Общее количество обучаемых параметров = 39.898.

В качестве функции активации после каждого полносвязного слоя используем ReLU. Для последнего полносвязного слоя функцией активации используем SoftMax. Обучим модель на 1000 итерациях, улучшая валидационную правильность оптимизатором Adam. В качестве функции потерь используем категориальную кросс-энтропию [7].

На графике обучения, представленном на рисунке 7 можно заметить, что тренировочные показатели со временем становятся гораздо лучше валидационных — имеет место переобучение. Однако, веса модели сохраняются лишь для эпохи с максимальной валидационной правильностью.

Правильность модели составила 56.67%, что уже лучше любой из предыдущих моделей, но все еще не является приемлемым результатом.

Разбиение данных на тренировочную и валидационную выборку ухудшает качество модели. Изначально данные в датасете распределены неравномерно. Так, для некоторых людей количество сегментов ЭКГ не доходит до 50, в то время как для некоторых людей их количество превышает 300. Данная особенность используемого датасета представлена на рисунке 8.

Хорошей практикой является обучение модели на тренировочной выборке (возможность добраться до необходимых экстремумов) с ее последующим дообучением на всех данных (добавление данных для финальной подстройки весов) [8]. Дообучим модель на 50 итерациях с использованием всех данных (рисунок 9). После второй фазы обучения правильность модели составила 68.58%.

Повышение качества

На предыдущем шаге получена модель нейросети, способная классифицировать отдельные сегменты. Чтобы улучшить качество идентификатора, используем результат классификации всех сегментов записи.

Результатом работы идентификатора будет класс, имеющий наибольшую частоту присутствия в массиве ответов модели. Для определения уверенности (confidence) модели в результате, посчитаем процент присутствия результирующего класса в массиве ответов (рисунок 10).

Исходя из графика выше, для достижения правильности результата в 90% достаточно ~30 сегментов, что при средней частоте сердечных сокращений (80 уд/мин) соответствует ~22.5 секундам записи ЭКГ.

Заключение

По итогам выполнения исследований в работе можно сделать следующие выводы:

1. Система для идентификации пользователей на основе ЭКГ функционирует по трем основным этапам, включающим в себя этап разбиения указанной записи ЭКГ на сегменты (проводятся процедуры фильтрации, сегментации и определения R пиков), этап выявления признаков из полученных сегментов (процедуры определения кепстральных коэффициентов, ZCR и энтропии, а также их объединение) и этап классификации набора признаков [9].
2. В качестве датасета взята база данных ECG-ID, содержащая записи ЭКГ 90 пациентов, полученные в разные моменты времени. Данная база данных содержит несколько записей ЭКГ для каждого пациента, полученные в разные моменты времени. Проведены процедуры очистки и фильтрации записей, разбиения записи на сегменты, а также выделение признаков из сегмента. Все полученные признаки объединяются в один общий дескриптор сегмента, содержащий 14 значений: 12 кепстральных коэффициентов, одно значение ZCR и одно значение энтропии.
3. Для модели SVM [10] использовались четыре различные функции ядра (линейная, полиномиальная, RBF и сигмоидальная), правильность составила от 7.31% (для сигмоидальной) до 45.29% (для линейной). Можно отметить, что правильность моделей SVM слишком низкая, при этом основной причиной является высокая кучность данных. Кепстральные коэффициенты сегментов разных людей схожи и не позволяют моделям SVM подобрать подходящие параметры гиперплоскостей, успешно разбивающих данные на классы.
4. Решающая модель на базе многослойного перцептрона модуля SciKit Learn состоит из трех полносвязных слоев с 64, 256 и 64 нейронами. Последним слоем нейросети является еще один полносвязный слой с количеством нейронов, равным количеству классов. Модель была обучена на 1000 итерациях, правильность составила 43.89%.
5. Для решающей модели на базе многослойного перцептрона модуля TensorFlow используются те же параметры, что и для модели на базе SciKit Learn. В качестве функции активации после каждого полносвязного слоя используется ReLU. Для последнего полносвязного слоя функцией активации используется SoftMax. Модель была обучена на 1000 итерациях, правильность — 56.67%.
6. Модель нейросети TensorFlow способна классифицировать отдельные сегменты. Чтобы улуч-

шить качество идентификатора, используется результат классификации всех сегментов записи. Результатом работы идентификатора будет класс, имеющий наибольшую частоту присутствия в массиве ответов модели. Для определения уверенности модели в результате, посчитан

процент присутствия результирующего класса в массиве ответов. Для достижения правильности результата в 90% достаточно ~30 сегментов, что при средней частоте сердечных сокращений (80 уд/мин) соответствует ~22.5 секундам записи ЭКГ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Астапов А.А., Д.В. Давыдов, А.И. Егоров, Д.В. Дроздов, Е.М. Глуховский Биометрическая идентификация, основанная на ЭКГ: некоторые современные подходы // Вестник РГМУ. 2016. № 1.
2. Богданов М.Р. и др. Идентификация личности, основанная на распознавании электрокардиограмм // Information Technologies for Intelligent Decision Making Support (ITIDS'2016). — 2016. — С. 41–45.
3. Немирко А.П., Луговая Т.С. Биометрическая идентификация личности по электрокардиограмме // Математические методы распознавания образов. — 2005. — Т. 12. — № 1. — С. 387–390.
4. Бенгфорт Б. Прикладной анализ текстовых данных на Python. Машинное обучение и создание приложений обработки естественного языка / Б. Бенгфорт // СПб.: Питер, 2019. — 368 с.
5. Mahapatra S. et al. A Neuro-fuzzy based model for analysis of an ECG signal using Wavelet Packet Tree // Procedia Computer Science. — 2016. — Т. 92. — С. 175–180.
6. Rezgui D., Lachiri Z. ECG biometric recognition using SVM-based approach // IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering. — 2016. — Т. 11. — С. 94–100.
7. Patro K.K., Kumar P.R. Machine learning classification approaches for biometric recognition system using ECG signals // Journal of Engineering Science & Technology Review. — 2017. — Т. 10. — № 6.
8. Wang D. et al. A novel heart rate robust method for short-term electrocardiogram biometric identification // Applied Sciences. — 2019. — Т. 9. — № 1. — С. 201.
9. Şahin I., Özkan K., Ergin S. Biometric person authentication framework using polynomial curve fitting-based ECG feature extraction // Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Science. — 2019. — Т. 27. — № 5. — С. 3682–3698.
10. Wang D. et al. A novel electrocardiogram biometric identification method based on temporal-frequency autoencoding // Electronics. — 2019. — Т. 8. — № 6. — С. 667.

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУРЫ И ГОДОВОГО ОБОРОТА СТАДА

APPLICATION OF DIGITAL TECHNOLOGIES FOR OPTIMIZATION OF THE STRUCTURE AND ANNUAL TURNOVER OF THE HERD

**R. Botashev
S. Tokova**

Summary. The paper presents the results of a study of the economic activity of a peasant (farmer) economy in order to optimize indicators through the use of the method of economic and mathematical modeling. The solution of the model of optimal annual turnover of cattle herd was obtained in the MICROSOFT EXCEL environment.

Keywords: digital technologies, optimization of indicators, economic and mathematical model, agriculture, animal husbandry, peasant (farmer) economy, cattle, herd turnover, offspring, weight gain, sex and age.

Боташев Руслан Азаматович

Доцент, Карачаево-Черкесский государственный университет имени У.Д. Алиева, г. Карачаевск
botashevruslan@mail.ru

Токова Снежанна Исмаиловна

Старший преподаватель, Карачаево-Черкесский государственный университет имени У.Д. Алиева, г. Карачаевск
shezhanna_tokova@mail.ru

Аннотация. В работе приводятся результаты исследования хозяйственной деятельности крестьянского (фермерского) хозяйства с целью оптимизации показателей посредством применения метода экономико-математического моделирования. Решение модели оптимального годового оборота стада крупного рогатого скота получено в среде MICROSOFT EXCEL.

Ключевые слова: цифровые технологии, оптимизация показателей, экономико-математическая модель, сельское хозяйство, животноводство, крестьянское (фермерское) хозяйство, поголовье крупного рогатого скота, оборот стада, приплод, привес, половозрастные группы.

В настоящее время изменения внешних и внутренних условий финансово-хозяйственной деятельности крестьянских (фермерских) хозяйств привели к необходимости всестороннего исследования эффективности их функционирования в условиях формирования многоукладного сельского хозяйства и усиления конкуренции между различными организационно-правовыми формами предприятий.

Как и любое аграрное формирование, крестьянские (фермерские) хозяйства требуют изучения и обоснования перспектив эффективного и устойчивого их развития, поиска внутренних резервов роста прибыльности производства. Эта цель, как известно, достигается на основе оптимизации структуры производства и рационального использования ресурсного потенциала.

Научная значимость данной работы заключается в разработке комплексных приоритетных направлений развития предприятий мясо-молочной отрасли на основе оптимизации показателей производственной деятельности крестьянских (фермерских) хозяйств.

Практическая значимость проведенного исследования состоит в конкретных рекомендациях предпринимателю, которые предлагаются по результатам решений 2-х моделей — модели оптимального оборота стада крупного рогатого скота и модели оптимального рациона [6, с. 17].

В нашей работе рассматривается крестьянское (фермерское хозяйство), где главной отраслью является животноводство. Как известно, производство животноводческой продукции, а также рост поголовья скота планируются с помощью специальных расчетов, специфика которых обусловлена биологическими особенностями сельскохозяйственных животных. Исходя из физиологии развития скота, а также принятых организационных форм его выращивания и содержания, все виды сельскохозяйственных животных делят на ряд половозрастных групп. Например, поголовье крупного рогатого скота делится на такие половозрастные группы: коровы; нетели; телки старше года; телки до года; приплод телок; быки-производители; волы рабочие; бычки старше года; бычки до года; приплод бычков.

Такая схема половозрастного деления скота основана на годичном сроке развития животного, после которого его, как правило, переводят в старшую возрастную группу или используют для получения мяса.

Альтернативные условия оборота стада возникают при решении таких вопросов: сколько голов из каждой половозрастной группы надо выбраковать и поставить на откорм и сколько перевести в старшую половозрастную группу. Перевод и выбраковка скота зависят от наличия поголовья на начало года, количества приплода, а также необходимости иметь на конец года определенную структуру поголовья скота, обеспечивающую дальнейшее воспроизводство стада и рост производства животноводческой продукции. При планировании выбраковки и откорма скота необходимо исходить из установленных в хозяйстве показателей по реализации продукции [1, с. 111].

Следует отметить, при оптимизации оборота стада задача состоит в том, чтобы определить поголовье скота по каждой половозрастной группе на конец года, зная поголовье на начало года, планируя получение приплода и установив определенный процент падежа по каждой половозрастной группе, а также сдаточный вес животных в зависимости от возраста.

При этом необходимо учесть следующие условия:

1. процент выбраковки скота на мясо по каждой половозрастной группе должен быть таким, чтобы можно было получить максимальное количество животноводческой продукции и обеспечить такое структурное соотношение между половозрастными группами, которое позволило бы обеспечить нормальное воспроизводство стада в последующем цикле его развития;
2. перевод животных из младших групп в старшие группы должен происходить так, чтобы выдерживались оптимальные сроки выращивания поголовья в соответствующих половозрастных группах.

Все элементы оборота стада крупного рогатого скота формализуем с помощью символов. Отметим, что количество получаемого на протяжении года приплода — величины m_1 и m_2 — устанавливаем до решения задачи.

Как известно, по разным причинам в хозяйстве происходит падеж скота, что необходимо предусмотреть в модели задачи, особенно при составлении планов по хозяйствам района или республики.

В процессе решения задачи нам необходимо также установить процент выбраковки крупного рогатого скота по каждой половозрастной группе, а также поголовье

скота на конец года. Первую категорию переменных величин выразим через x , а вторую через y .

Напомним, что животных, находящихся на откорме в течение года, снимают с этой группы. Обозначим эту величину через y_0 . В том случае, когда планируется общее поголовье крупного рогатого скота на конец года, в условии задачи как константу вводят величину b [2, с. 143].

Количество животных, переводимых из младших групп в старшие по i -й половозрастной группе, обозначим через z_i , а количество животных, поступающих в i -ю старшую половозрастную группу, — через h_i . Эти величины, как правило, находятся в таких соотношениях:

$$\eta_i = z_{i+1};$$

$$\sum_{i=1}^m \eta_i = \sum_{i=1}^m z_i.$$

Таким образом, решение задачи в общем виде сводится к тому, чтобы, исходя из общего поголовья скота на начало года a , поголовья в каждой половозрастной группе a_i , установив величину ожидаемого приплода m_i , процент падежа по каждой половозрастной группе s_i и средний живой вес одной головы p_i , а также общее количество скота на конец года b , определить поголовье скота по каждой половозрастной группе на конец года y_i и объем производства животноводческой продукции.

В основу формирования условий задачи положим связи, которые существуют между отдельными элементами каждой половозрастной группы, а затем определим связи между элементами различных половозрастных групп. Чтобы рассчитать, например, выходное поголовье y_3 телок старше года, необходимо от имеющегося на начало года a_3 отнять поголовье, которое будет выбраковано на протяжении года, выбудет по причинам падежа, а также будет переведено в старшие группы h_3 , и к этому количеству прибавить животных, переводимых из младших групп z_3 . Эту связь между элементами можно представить в форме такого равенства:

$$a_3 - \frac{a_3 x_3}{100} - \frac{a_3 s_3}{100} - h_3 + z_3 = y_3.$$

Аналогичные связи между элементами оборота стада существуют и по другим половозрастным группам крупного рогатого скота, за исключением некоторых из них (по группам коров, быков-производителей, волов рабочих, скота, находящегося на откорме, отсутствует перевод животных в старшие группы, то есть элементы h_1, h_6, h_7, h_{11} равны нулю). По группе молодняка рождения текущего года (приплода) не осуществляется перевод животных из младших возрастных групп, то есть

элементы z_5 и z_{10} равны нулю. Все животные из группы приплода к концу года переходят в группу молодняка до года, поэтому элементы a_5 и a_{10} , а также z_5 и z_{10} тоже равны нулю. Существующие связи между отдельными элементами модели по i -й половозрастной группе в общем виде можно записать в форме такого равенства:

$$a_i - \frac{a_i x_i}{100} - \frac{a_i s_i}{100} - \eta_i + z_i = y_i.$$

Перенеся известные величины в правую часть, а неизвестные в левую, получим:

$$\frac{a_i x_i}{100} - z_i + \eta_i + y_i = a_i - \frac{a_i s_i}{100}.$$

Данное условие с отмеченными особенностями соблюдается для таких групп: коров, нетелей, телок старше года, телок до года, быков-производителей, волов рабочих, бычков старше года, бычков до года и не распространяется на группы приплода и откормочного поголовья.

Весь приплод, за исключением выбракованных и павших животных, в текущем году должен быть переведен в группу молодняка до года. Это условие выражается такой записью:

$$m_i = \frac{m_i x_i}{100} + \frac{m_i s_i}{100} + \eta_i.$$

Преобразовав его, получим:

$$\frac{m_i x_i}{100} + \eta_i = m_i - \frac{m_i s_i}{100} \quad (i = 5, 10).$$

В результате оборота стада должен быть обеспечен перевод в старшие возрастные группы всего поголовья, за исключением выбракованных и павших животных: нетелей, телок до года, бычков старше года и бычков до года. Это требование выражается таким условием:

$$\frac{a_i x_i}{100} + \eta_i = a_i - \frac{a_i s_i}{100} \quad (i = 2, 4, 8, 9).$$

Телки старше года при хорошо организованном кормлении и содержании животных, надлежащей постановке племенной работы должны быть переведены в группу нетелей или на реализацию. Однако во многих хозяйствах допускается их передержка, что должно найти отражение в модели. С этой целью по группе телок старше года введём условие, которое допускает формирование выходного поголовья не только за счет поголовья, переходящего из младших групп z_3 , но также части поголовья, уже находившегося в этой группе $z_3 + d_3 a_3/100 \geq y_3$, где d_3 — максимально допустимый процент передержки имеющихся на начало года телок старше года. Преобразовав это выражение, получим:

$$y_3 - z_3 \leq \frac{d_3 a_3}{100}.$$

Для обеспечения в выходном поголовье животных i -й половозрастной группы, если это вызывается условиями, введём такое неравенство:

$$g_i^* > y_i > g_i,$$

где g^* , g_i — соответственно максимальное и минимальное количество голов i -й группы.

В практике решения задач это требование вводилось только по группе коров и животных на откорме. Для получения на конец планируемого периода общего поголовья скота, количество которого должно быть не меньше установленного в плановом задании, вводится такое условие:

$$\sum_{i=1}^m y_i = b \quad (i = \overline{1, 11}; \quad i \neq 5, 10).$$

Отметим, что элементы оборота стада, отражающие количество животных, переведенных в старшие группы, а также количество животных, перешедших из младших групп по крупному рогатому скоту, находятся в такой взаимосвязи:

$$z_3 = \eta_4; \quad z_4 = \eta_5; \quad z_8 = \eta_9; \quad z_9 = \eta_{10}; \quad \text{то есть} \\ z_i = \eta_{i+1} \quad (i = 3, 4, 8, 9).$$

Бычков старше года переводят в группу быков-производителей и взрослых волов:

$$\eta_8 = z_6 + z_7.$$

Количество нетелей и телок старше года, переведенных в старшие группы, равно количеству животных, переведенных в группы коров и нетелей:

$$\eta_2 + \eta_3 = z_1 + z_2.$$

Группу коров можно пополнять за счет нетелей и определенного процента телок старше года. Процент таких животных среди телок старше года устанавливается исходя из особенностей поголовья. Если обозначим эту величину через d_3 , условие перевода животных в группу коров выразится таким неравенством:

$$\eta_2 \leq z_1 \leq \eta_2 + \frac{d_3 \eta_3}{100}.$$

Количество телок старше года, которые перейдут в нетели, выразится таким соотношением:

$$\left(1 - \frac{d_3}{100}\right) \eta_3 \leq z_2.$$

Другой тип линейных соотношений модели содержит регулирующие условия по выбраковке скота. Нами применяются нормы, по которым выбраковка скота должна составлять: по группе коров — от 8 до 15%, что выражается неравенствами по группе телок старше года этот показатель не нормируется; по группе телок до года выбраковка должна составлять больше 10%: по приплоду молодняка больше 13%:

$$x_3 > 13; \quad x_{10} > 13,8 \leq x_1 \leq 15;$$

Срок службы быков-производителей должен составлять, как правило, не меньше 6 и не больше 10 лет, что в процентном выражении можно выразить:

$$10 \leq x_6 \leq 17.$$

$$10 \leq x_7 \leq 17.$$

Бычков старше года необходимо выбраковывать не меньше 90%:

$$x_8 > 90;$$

бычков до года — не меньше 10%;

$$x_9 > 10.$$

Ограничения этого типа позволяют регулировать в модели Выбытие поголовья скота и объем возможного производства говядины.

Третий тип ограничений выражает структурные соотношения между отдельными половозрастными группами крупного рогатого скота. Исходя из того, что ежегодно необходимо выбраковывать не меньше 10% коров, группа нетелей формируется так, чтобы обеспечить пополнение маточного стада. Предусматривается, что число нетелей по отношению к коровам должно составлять 10–16% [4, с. 45].

Для выращивания нетелей необходимо иметь достаточное количество телок. По зоотехническим нормам на каждую нетель необходимо иметь не меньше 1,8 головы телок старше года и 1,9 головы телок до года. Эти требования выражаются такими ограничениями:

$$y_3 > 1,8y_2; \quad y_4 > 1,9y_2.$$

Примем, что в условиях хозяйства при использовании искусственного осеменения достаточно содержать одного быка-производителя на 200–300 коров и нетелей, то есть быков-производителей должно быть больше 3 и меньше 5 на каждую тысячу коров и нетелей:

$$0,003(y_1 + y_2) \leq y_6 \leq 0,005(y_1 + y_2).$$

В модель вводим ограничения по возможному изменению поголовья волов. Если эта группа животных не должна уменьшаться, то задают такое неравенство:

$$y_7 \geq a_7.$$

$$0,1y_1 \leq y_2 \leq 0,16y_1.$$

Для определения поголовья скота на нагуле и откорме вводим такое условие:

$$z_{11} = \sum_{i=1}^{10} \frac{a_i x_i}{100}.$$

Животные группы нагула и откорма на протяжении года могут быть частично или полностью реализованы, количество животных, реализованных и оставшихся в этой группе на конец года можно определить такой зависимостью:

$$z_{11} = y_{11} + y_0.$$

В связи с тем, что в группе нагула и откорма могут находиться животные разных половозрастных групп и средний живой вес одной реализованной головы невозможно установить до решения задачи, коэффициенты линейной формы устанавливают, исходя из среднего живого веса реализуемого поголовья скота по каждой половозрастной группе. Значение целевой функции определит общее количество мяса в живом весе, которое может быть получено от поголовья, предназначенного для реализации. Величина y_0 определит, сколько голов скота должно быть реализовано в текущем году. Из сформированной группы нагула и откорма для реализации отбирают тех животных, которые наиболее отвечают соответствующим требованиям. Поэтому при обороте стада крупного рогатого скота максимизируется количество говядины, которое может быть реализовано, что выражается такой зависимостью:

$$L = \sum_{i=1}^{11} \frac{a_i x_i}{100} + \sum_k \frac{m_k x_k}{100} \rightarrow \max;$$

$$i = \overline{1, 11}; \quad i \neq 5, 10; \quad k = 5, 10.$$

Для определения валового производства молока при построении модели задачи исходят из установленного плана производства молока и средней товарной продуктивности коров. На основе этих данных рассчитывают необходимое среднегодовое количество коров по упрощенной формуле:

$$\frac{a_1 + y_1}{2}$$

Это позволяет определить величину y_1 и затем использовать ее в соответствующем ограничении. Задав в модели задачи условие получения на конец года определенного количества коров, в оптимальном варианте оборота стада обеспечивают получение заданного количества молока и максимума говядины.

Построение матрицы для решения задачи по обороту стада рассмотрим на примере крестьянского (фермерского) хозяйства «ЗАРЯ» Усть-Джегутинского района КЧР. На начало года в хозяйстве было 420 коров, 69 нетелей, 305 телок старше года, 111 телок до года, 114 бычков старше года, 100 бычков до года. Предусматривалось получить 415 голов приплода, из них 212 телок и 213 бычков; выходное поголовье на конец года должно было возрасти с 905 до 1200 голов. Запланировано достичь среднего живого веса коров 459 кг, нетелей 326, телок старше года 271, телок до года 126, молодняка рождения текущего года 30, молодняка животных на откорме 164 кг. Для полноты модели в исходных условиях допускалась возможность падежа животных: по группе коров и нетелей 0,5%, по телкам и бычкам старше года 1%, телкам и бычкам до года 2%, по приплоду 3%.

Для оптимизации оборота стада крупного рогатого скота была составлена матрица [3, с. 114].

Условия первого вида модели формировали первые строки матрицы. По группе коров отсутствует перевод животных в старшие группы ($n_j = 0$), поэтому равенство состоит из таких элементов:

$$\frac{420x_1}{100} + y_1 - z_1 = 420 - \frac{420 \cdot 0,5}{100}$$

В матрице задачи это выражалось так: $4,2x_1 + y_1 - z_1 = 417,9$.

Во второй строке содержится условие по группе нетелей. В нашем примере на протяжении года не предусматривался перевод в группу коров животных из группы телок старше года, то есть в выражении

$$\frac{d_2 n_3}{100} = 0$$

Это условие позволяет равенство модели выразить так: $z_2 = n_3$, чем утверждается, что телки старше года могут быть переведены только в группу нетелей. Исходные условия по этой группе формализуются так:

$$\frac{69x_2}{100} + z_1 - n_3 + y_2 = 69 - \frac{69 \cdot 0,5}{100}$$

При формировании ограничения по группам телок старше года, бычков до года учитывалось условие модели.

При формировании условия по группе нетелей используем условие,

$$n_2 = z_1 + z_2 - n_3$$

которое в матрице ограничений представлено таким выражением:

$$0,69x_2 + y_2 - n_3 + z_1 = 68,7$$

Поэтому строка матрицы, регулирующая перевод нетелей в старшую группу, состоит из таких элементов:

$$0,69x_2 - n_3 + z_1 + z_2 = 68,7$$

При формировании условия модели задачи исходили из того, что можно оставить в группе телок старше года до 20% животных, имевшихся в хозяйстве на начало года:

$$y_3 - z_3 \leq 61$$

При формировании матрицы неравенство по группе коров выражалось так:

$$y_1 = y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 + y_7 + y_{11} = 1200$$

$$y_1 \geq 420$$

При формировании требования, обеспечивающего при решении задачи получение на конец года планового поголовья скота, было учтено, что в хозяйстве не предусматривалось иметь на конец года быков-производителей и волов. Поэтому в нашем примере y_6 и y_7 принимались равными нулю.

Заметим, что последующий ряд ограничений регулирует количество выбраковываемого скота. Параметры изменения переменных, выражающих процент выбраковки скота, кроме зоотехнических требований, в значительной мере зависят от исходной структуры стада. Если на начало года структура поголовья сложилась неудовлетворительной, то не всегда можно на протяжении года улучшить ее в соответствии с зоотехническими нормами, поэтому ограничения модели при плохих исходных условиях приходится регулировать в процессе решения системы, а задача при этом решается повторно. Это произошло и в нашем примере.

В связи с тем, что на начало года было 305 телок старше года и 111 телок до года, что не отвечало рекомендуемому соотношению этих половозрастных групп, по группам телок до года, приплоду телок и бычков потребовалось снизить нижний предел выбраковки скота до 1–2%, что в условиях хозяйства оказалось возможным.

Ряд строк матрицы отражает требования по регулированию количественных соотношений между отдельными половозрастными группами. Так, условие, выражающее требования по удельному весу нетелей в структуре стада, формируется так:

$$\begin{aligned} 0,16y_1 - y_2 &> 0; \\ 0,1y_1 - y_2 &\leq 0. \end{aligned}$$

При формировании модели исходили из того, что в группу коров может быть переведено до 30% телок старше года:

$$\begin{aligned} 0,7\eta_3 - z_2 &\leq 0; \\ \eta_3 - z_2 &> 0. \end{aligned}$$

Линейная форма, выражающая решение задачи максимального получения говядины в живом весе, включает такие элементы:

$$L = 1680x_1 + 224,9x_2 + 826,6x_3 + 139,9x_4 + 63,6x_5 + 399x_6 + 145x_7 + 63,9x_{10} \longrightarrow \max,$$

Исходные условия задачи и требования по формированию выходного поголовья крупного рогатого скота на конец года, выраженные в рассмотренной модели, оказались противоречивыми. В результате пришлось произвести корректирование некоторых параметров модели: верхний предел выбраковки коров увеличить до 20%, а нижние пределы выбраковки бычков до года и бычков рождения текущего года не устанавливать.

В результате решения задачи было получено такое выходное поголовье крупного рогатого скота: коров 447 голов, нетелей 72, телок старше года 167, телок до года 208, бычков старше года 100, бычков до года 206, а всего 1200 голов. По расчетам оборота стада, выполненным

специалистами хозяйства, не учитывавшими возможность перевода телок старше года, которых в хозяйстве было 305 голов, в группу коров, получено такое выходное-поголовье скота: коров 426, нетелей 70, телок старше года 190, телок до года 208, бычков старше года 100, бычков до года 206, бычков-производителей 1, а всего 1200 голов.

В оптимальном варианте оборота стада по сравнению с планом специалистов на 21 голову увеличилось число коров, а их удельный вес в структуре стада возрос с 35,4 до 37,2%. Это произошло в основном за счет уменьшения выходного поголовья телок старше года до 167 голов против 190 голов в исходном варианте, что больше отвечает рациональной организации стада крупного рогатого скота. По расчетам специалистов предполагалось иметь 80 телок старше двух лет, а в оптимальном решении — 57. Для получения оптимальной выходной структуры необходимо произвести такую выбраковку скота: коров 67 голов, телок старше года 151, телок до года 1, телок рождения текущего года 4, бычков старше года 114, бычков рождения текущего года 7 голов. По исходному варианту необходимо было выбраковать коров 63 головы, телок старше года 155, телок до года 1, телок рождения текущего года 4, бычков старше года 114, бычков рождения текущего года 7 голов.

Такая выбраковка скота и организация его откорма позволяют в исходном варианте получить 1107,9 ц говядины, а в оптимальном — 1114,3 ц. Мясной контингент выходного поголовья скота по исходному варианту составляет 3536,6 ц, а по оптимальному 3570,8 ц, или на 34,2 ц больше. Увеличение поголовья коров по оптимальному варианту позволяет увеличить производство молока с 888,3 до 909,3 ц. Существенным преимуществом оптимального варианта является значительное улучшение структуры выходного поголовья скота, что позволяет уже в следующем году значительно увеличить производство животноводческой продукции.

Таким образом, данная модель оборота стада позволяет оптимизировать структуру поголовья крупного рогатого скота с помощью экономико-математического моделирования и получить оптимальные решения при соблюдении условий воспроизводства поголовья.

ЛИТЕРАТУРА

1. Боташев Р.А. Математические методы в задачах экономики: КЧГУ, 2018. — 224 с.
2. Боташев Р.А. Вестник КЧГУ: «Экономико-математические модели для расчета оптимальных планов развития животноводства». /Карачаевск: Изд-во КЧГУ, № 47. 2022 г.
3. Браславец М.Е. Экономико-математические методы в организации и планировании сельскохозяйственного производства: учебное пособие. — Москва: «Экономика», 1991. — 359 с.
4. Кравченко Р.Г. Математическое моделирование экономических процессов в сельском хозяйстве: учебное пособие. — Москва: Колос, 1991 г. — 542 с.

5. Kh.M. Tambieva, V.V. Kuzmenko, A.M. Troshkov, I.P. Kuzmenko, E.U. Karakaeva. Communicative competence as a resource of teenagers` personal development (научная статья) EFSC282 (2021) sychology of Personality.
6. Токова С.И. Основные тенденции развития экономики и управления в современной России. Сборник материалов X Всероссийской научной конференции студентов и молодых ученых в рамках Форума молодых экономистов и управленцев «НАУКА НА ВЫСОТЕ»: «Будущее сельского хозяйства — умное фермерство». / Карачаевск: Изд-во КЧГУ, 2021.

© Боташев Руслан Азаматович (botashevruslan@mail.ru), Токова Снежанна Исмаиловна (shezhanna_tokova@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Карачаево-Черкесский государственный университет имени У.Д. Алиева

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ

FEATURES OF SIMULATION OF CONTROL SYSTEMS OF POLYMERIZATION PROCESSES

**Yu. Golodkov
M. Rudenko
A. Kolesnikov**

Summary. The article discusses the issues of modeling control systems for polymerization processes, taking into account technological features, analyzes existing approaches, substantiates the advantages of control schemes based on nonlinear controllers.

Keywords: polymerization, control systems, fuzzy models, nonlinear controllers.

Голодков Юрий Эдуардович

*К.т.н., доцент, Иркутский национальный
исследовательский технический университет
yrg27@mail.ru*

Руденко Максим Борисович

*К.т.н., профессор, Восточно-Сибирский институт
МВД России (г. Иркутск)
rudenko@inbox.ru*

Колесников Алексей Андреевич

*Иркутский национальный исследовательский
технический университет
alexei1171@yandex.ru*

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы моделирования систем управления процессами полимеризации с учетом технологических особенностей, выполнен анализ существующих подходов, обоснованы преимущества схем управления на основе нелинейных регуляторов.

Ключевые слова: полимеризация, системы управления, нечёткие модели, нелинейные регуляторы.

Процесс получения полимерной продукции путем переработки углеводородного сырья является важнейшим направлением деятельности химической промышленности. Достижение заданных свойств конечной продукции закладывается на этапе проектирования технологического процесса и систем управления и определяется подходами в анализе производства.

С целью оптимального управления технологическим процессом необходимо выполнить анализ установившихся режимов сложных химико-технологических систем и оценку их устойчивости. Для решения подобных задач используют общие методы анализа, которые следует адаптировать применительно к конкретному случаю, учитывая особенности моделей в установившихся режимах процессов полимеризации [1, С. 20] и их связь с динамическими процессами в реакторах различного типа.

Выбор оптимальных моделей и систем управления является сложной задачей. Поэтому в данном исследовании рассмотрены особенности моделирования процесса полимеризации с использованием соответствующих программных средств, а также возможные приемы построения систем управления данными процессами.

Известно, что полимеризация — это процесс образования высокомолекулярного вещества, полимера, путём соединения множества низкомолекулярных веществ, мономеров. Молекулы полимеров могут иметь различное конфигурационное и конформационное строение, разную кратность полимеризации (длину цепи), что придаёт конечному веществу различные свойства. Все эти свойства реализуются в зависимости от условий протекания процесса полимеризации.

На процесс синтеза полимера влияют такие технологические параметры как температура, давление, количество и свойства используемых катализаторов. Кроме того, существенное влияние оказывают свойства исходного сырья, физико-химические свойства, однородность его состава, наличие примесей и др.

Процессы полимеризации зачастую не являются линейными, так как подвержены большому числу внутренних возмущений, обусловленных особенностями кинетики их протекания. Некоторые системы склонны к проявлению эффекта автоускорения процесса полимеризации, так называемому гель-эффекту. Это, как правило, происходит в системах, где полимер может полностью раствориться в собственном мономере, что при

определённой степени конверсии мономера приводит к выделению большого количества тепла [2, С. 9]

Для моделирования процессов радикальной полимеризации широкое распространение получили аналитические модели, которые представляют собой совокупность уравнений кинетики химической реакции и теплового баланса реактора. Наиболее интересной для анализа данных является кривая изменения температуры реакционной смеси, которую можно получить путем интегрирования уравнений математической модели в одной из структурных моделей. Практическое применение аналитических моделей в исходном виде затруднено, так как для получения достоверных результатов при моделировании необходимо учитывать огромный массив данных – значения различных физических констант, констант скоростей химических превращений и много другое [3].

В настоящее время большое распространение получают модели на основе методов нечёткой логики. Модели данного типа могут быть получены путём анализа работы реального промышленного или лабораторного реактора, или на основе результатов численного интегрирования дифференциальных уравнений математической модели [3, С. 237;4], где не требуется точных знаний о технологическом процессе. Важным преимуществом нечётких моделей является простота их внутренней структуры, что даёт возможность лёгкой реализации такой модели на компьютере или программируемом логическом контроллере.

Что же касается производства полиэтилена (и некоторых других полимеров), в связи с особенностями технологической схемы производства, наличием рециклов, возникает запаздывание между контролируемыми параметрами процесса и свойствами готовой продукции. Кроме того, наблюдается нелинейность зависимости качества продукции от технологических параметров [5, С. 69]. Стоит отметить, что не всегда имеется возможность непрерывного измерения технологических параметров, напрямую влияющих на качество продукции, например индекс расплава полимера, а теоретические (прямые) модели обладают недостаточной точностью.

В качестве программного обеспечения для моделирования различных процессов используется программный пакет MATLAB Simulink [6, С. 10]. Основными его достоинствами являются универсальность и большой выбор методов моделирования, что делает его практически безальтернативным в случае решения узкоспециализированных задач.

Модели в Simulink можно создавать математическими методами в виде систем дифференциальных уравнений, а также с применением нейронных сетей.

Кроме этого, существует специализированное программное обеспечение для моделирования химико-технологических процессов [7;8]. Примерами таких систем моделирования могут служить Aspen Hysys, gProms ModelBuilder, CHEMCAD и др. Системы такого рода включают в себя ряд основных подсистем, облегчающих задачи моделирования:

- ♦ база данных, содержащая термодинамические параметры основных компонентов, применяемых в химической технологии;
- ♦ системы представления физико-химических свойств углеводородов, для описания качественного состава рабочих смесей;
- ♦ система, содержащая различные методы расчёта протекания процессов;
- ♦ набор моделей для расчёта технологических процессов в отдельных единицах оборудования.

Применение подобных программных средств позволяет существенно сократить время на проектирование и оптимизацию функционирования целых промышленных комплексов. Составление полной технологической цепи позволяет повышать точность моделирования, а также выявлять факторы, которые в большей степени влияют на ход технологического процесса и, как следствие, на качество готовой продукции.

В работе [1, С. 20] отмечается, что при решении задач управления химическим производством большинство возникающих при этом проблем связано с необходимостью анализа неустановившихся режимов. С учетом большой инерционности технологических процессов можно ожидать значительного экономического эффекта при оптимизации их управления. При оценке влияния неустановившегося режима на производство необходимо учитывать следующие факторы:

- ♦ при переходе с одного режима на другой (нехватка сырья, пуск, остановка производства, аварии и т.д.), связанного, прежде всего, с изменениями нагрузок отдельных стадий, должно быть обеспечено оптимальное изменение неустановившихся режимов отдельных участков и всего производства в целом;
- ♦ при пуске и остановке всего производства необходимо оценивать влияние неустановившихся режимов на качество продукта и возможное появление технологических отклонений;
- ♦ одновременная работа реакторов периодического и непрерывного действия в технологической схеме производства, как правило, создает неблагоприятные динамические условия, оптимизацию которых необходимо поддерживать управляющими воздействиями;
- ♦ во избежание потери продукта или снижения его качества при авариях отдельных агрегатов в тех-

нологической схеме должны быть предусмотрены запасные режимы всего производства.

Современные системы управления подобными процессами строятся на основе нелинейных регуляторов с нечётким вводом [9, С. 98;10, С. 523]. Ключевой особенностью таких систем является их возможность менять свою структуру в режиме реального времени, с целью более эффективного управления процессом даже в экстремальных условиях, практически на границе устойчивости. В зависимости от структуры системы возможен отказ от нормировки сигналов к определенному диапазону в зависимости от конкретного объекта управления, что повышает его универсальность.

Использование регуляторов такого типа избавляет от необходимости в базе данных, содержащей большое количество термов и правил управления, что позволяет их реализовывать на программируемых логических контроллерах.

Таким образом, при изучении особенностей управления процессом полимеризации, учитывая многообразие факторов, влияющих на технологический процесс, выявлено, что для разработки систем управления таких процессов наиболее подходящими на данный момент являются модели на основе нечёткой логики. Рассмотрено использование нелинейных регуляторов с нечётким вводом в качестве основы современных систем управления процессами полимеризации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Подвальный Е.С., Черных И.К., Пасмурнов С.М. Системный анализ проблем автоматизации проектирования и оптимизации процессов полимеризации в производстве каучука / Вестник ВГТУ. 2013. № 6–1. С. 20–22.
2. Брыков Б.А., Лопатин А.Г., Вент Д.П. Моделирование процессов тепловыделения при синтезе полимеров методом радикальной полимеризации / Успехи в химии и химической технологии. 2018. № 11 (207). С. 9–12.
3. Лопатин А.Г., Брыков Б.А., Вент Д.П., Мурашев П.М., Богатиков В.Н. Разработка нейро-нечеткой модели реактора-полимеризатора / Вестник экономической безопасности. 2020. № 5. С. 236–246. DOI 10.24411/2414–3995–2020–10329
4. Лопатин А.Г., Вент Д.П., Брыков Б.А. Синтез нейро-нечеткой модели кинетики процессов радикальной полимеризации / Известия ВУЗов. Химия и химическая технология. 2020. № 7. С. 67–73.
5. Веревкин А.П., Калашник Д.В., Хуснияров М.Х. Моделирование оперативного определения индекса расплава для управления процессом производства полиэтилена / Башкирский химический журнал. 2013. № 1. — С. 69–74.
6. Брыков Б.А., Лопатин А.Г., Вент Д.П. Исследование нестационарности параметров промышленного реактора-полимеризатора на основе кинетической модели процесса радикальной полимеризации метилметакрилата / Успехи в химии и химической технологии. 2017. № 8 (189). — С. 10–12.
7. Гартман Т.Н., Советин Ф.С. Аналитический обзор современных пакетов моделирующих программ для компьютерного моделирования химико-технологических систем / Успехи в химии и химической технологии. 2012. № 11 (140). — С. 117–120.
8. Толстошеин С.С. Системы имитационного моделирования химико-технологических процессов. Исследование и анализ принципов построения / Клуб правильных инженеров. 2017. № 3. — С. 6–8.
9. Камынин В.А., Лопатин А.Г., Брыков Б.А. Робастно-адаптивная система автоматического регулирования температурного режима химического реактора / Успехи в химии и химической технологии. 2020. № 6 (229). С. 97–99.
10. Вент Д.П., Лопатин А.Г., Брыков Б.А., Камынин В.А. Синтез интеллектуального робастного регулятора системы автоматического управления температурой химического реактора / Известия ТулГУ. Технические науки. 2019. № 12. — С. 523–529.

© Голодков Юрий Эдуардович (yrg27@mail.ru),

Руденко Максим Борисович (rudenko@inbox.ru), Колесников Алексей Андреевич (alexei1171@yandex.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ СВЕРХВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

MODERN ULTRAHIGH RESOLUTION IMAGE PROCESSING METHODS AND PRACTICAL APPLICATIONS

A. Denisyuk

Summary. This article presents a review of image and video processing methods for ultra high resolution (High Resolution, HR, Super Resolution, SR or Super Ultra High Definition, Super UHD) and considers their most significant practical applications in various video production, video surveillance systems, medical diagnostics, remote sensing, astronomical observations, biometric information.

Keywords: image reconstruction, ultra high resolution, Super UHD, resolution enhancement, regularized structure, regularized interpolation, applications.

Денисюк Андрей Юрьевич

Инженер, физик, независимый фото-
и видеохудожник, совладелец компании THN Studio Corp
thisnight@thisnight.ru

Аннотация. В статье представлен обзор методов обработки изображений и видео для сверхвысокого разрешения (High Resolution, HR, Super Resolution, SR или Super Ultra High Definition, Super UHD) и рассмотрены их наиболее значимые практические применения при создании различной видеопродукции, в системах видеонаблюдения, медицинской диагностике, дистанционном зондировании Земли, астрономических наблюдениях, биометрической информации.

Ключевые слова: реконструкция изображений, сверхвысокое разрешение, Super UHD, повышение разрешения, регуляризованная структура, регуляризованная интерполяция, приложения.

Пространственное разрешение — это термин, который относится к количеству пикселей, используемых для построения цифрового изображения. Когда мы говорим, что цифровое изображение имеет более высокое пространственное разрешение, чем другое изображение, это означает, что изображение с более высоким пространственным разрешением состоит из большего количества пикселей, чем изображение с более низким пространственным разрешением для тех же размеров элемента изображения. Пространственное разрешение может определять качество изображения и описывать, насколько подробно объект может быть представлен изображением. Это мера, определяющая, насколько маленьким может быть объект, чтобы система визуализации обнаружила его. Ошибки формирования изображения могут включать как проблемы пространственного разрешения (разрешения пикселей) системы визуализации, так и другие систематические ошибки. Пространственное разрешение измеряется в парах линий на сантиметр (line pairs per centimeter, lp/cm) и является мерой неопределенности, возникающей при ошибках формирования изображений.

С развитием приложений для обработки изображений растет спрос на изображения с высоким разрешением (High Resolution, HR), далее HR, поскольку HR-изображения не только дают зрителю приятную картину, но и предлагают дополнительные детали, которые важ-

ны для распознавания и анализа во многих практических приложениях.

В современной цифровой фотовидеокамере для восприятия и фиксации изображения используются полупроводниковые кремниевые микросхемы (чипы) — матрицы, чувствительные сенсоры, предназначенные для поглощения фотонов света и трансформации светового потока в электрический сигнал, и это — важнейшая часть цифровой камеры. Сенсор в цифровых камерах совершил революцию в фотографии и видеографии. Технология улучшается практически каждый день, и в следующие несколько лет могут быть произведены поразительные улучшения в фотографических характеристиках ISO и повышении качества видео изображений.

Современные технологии получения изображений высокого разрешения HR в основном зависят от технологий производства цифровых сенсоров, в которых пытаются увеличить количество пикселей на единицу площади за счет уменьшения размера пикселя. Другой подход к повышению пространственного разрешения заключается в увеличении размера чипа, что приводит к увеличению емкости. Большая емкость затрудняет ускорение скорости передачи заряда, поэтому данный подход не считается эффективным. Кроме того, существует ограничение на уменьшение размера пикселя из-за дробового шума, возникающего в самом сенсоре. По мере уменьшения размера пикселя уменьшается

и количество доступного света. Это приводит к появлению дробового шума, который сильно ухудшает качество изображения. Поэтому существуют ограничения на уменьшение размера пикселя и существует технологически оптимальный размер пикселя, который соотносится с уровнем уменьшения полупроводникового техпроцесса. Например, он составляет около 40 мкм² для 0,35 мкм КМОП-процесса, то есть комплементарного процесса металл-оксид-полупроводник. Это набор полупроводниковых технологий построения интегральных микросхем и соответствующая ей схемотехника микросхем.

С технологическим улучшением растут затраты и стоимость высокоточной оптики и сенсоров может оказаться неприемлемой для коммерческих приложений общего назначения. Поэтому подход к повышению разрешения с использованием методов обработки сигналов является перспективным и многообещающим во многих областях и приложениях.

В литературе этот подход называют реконструкцией изображений с суперразрешением (Super Resolution, SR или Super Ultra High Definition, Super UHD), далее SR, иногда его называют HR или просто повышением разрешения. Использование методов обработки сигналов для получения изображения HR из наблюдаемого изображения Low Resolution (LR) или нескольких изображений LR называется повышением разрешения. В последнее время такой подход к повышению разрешения является одним из наиболее активных направлений исследований в области обработки изображений и называется реконструкцией изображений с суперразрешением (SR) (или HR).

В данной работе мы используем термин реконструкция изображений со сверхразрешением для обозначения подхода к обработке сигналов с целью повышения разрешения, поскольку термин «сверх» очень точно отражает характеристику метода, позволяющего преодолеть ограничения разрешения, присущие системам формирования изображений с низким разрешением (LR).

Большинство подходов к сверхразрешению можно разделить на две основные части: регистрация изображения и реконструкция изображения. Однако, эти два основных этапа затем дополняются третьим этапом восстановления изображения для удаления размытия и шума.

В последние десятилетия технологии получения изображений быстро развивались, и разрешение достигло нового высокого уровня. В связи с этим возникает вопрос: требуются ли еще методы повышения разрешения изображений? Дело в том, что хотя дисплеи

высокой четкости в последние годы достигли нового уровня (например, 1920×1080 для HDTV, 3840×2160 для некоторых Super UHD (8K) TV и 2048×1536 для некоторых мобильных устройств), необходимость повышения разрешения нельзя игнорировать во многих приложениях [1]. Например, чтобы гарантировать длительную стабильную работу записывающих устройств, а также соответствующую частоту кадров для динамичных сцен, видеоприемника цифрового видеонаблюдения склонны в некоторой степени жертвовать разрешением. Аналогичная ситуация существует в области дистанционного зондирования: всегда есть компромисс между пространственным, спектральным и временным разрешением. Что касается медицинской визуализации, то в рамках каждой визуализации действуют определенные физические законы, определяющие значение шума и чувствительность процесса визуализации. Как извлечь 3D-модели человеческой структуры с помощью изображений высокого разрешения при снижении уровня излучения до сих пор остается проблемой [2,3]. Исходя из этих фактов, существующие методы пока не могут удовлетворить существующие требования. Поэтому повышение разрешения (SR) по-прежнему необходимо, особенно в таких областях, как видеонаблюдение, медицинская диагностика и дистанционное зондирование. Учитывая высокую стоимость и ограничения повышения разрешения с помощью «аппаратных» методов, особенно для крупномасштабных устройств формирования изображений, методы обработки сигналов, известные как сверхразрешение (SR), стали потенциальным способом получения изображений высокого разрешения (HR). С помощью методов SR мы можем выйти за пределы наблюдений с низким разрешением (LR), а не совершенствовать аппаратные устройства. SR — это метод, который восстанавливает изображение или последовательность изображений с более высоким разрешением из наблюдаемых изображений LR. Технически SR можно разделить на многокадровый и однокадровый на основе входной информации LR [4–8]. Если можно получить несколько изображений одной и той же сцены с субпиксельным смещением, то дополнительная информация между ними может быть использована для реконструкции изображения более высокого разрешения или последовательности изображений. Однако иногда для реконструкции может быть недоступно несколько изображений LR и поэтому нам необходимо восстановить изображение HR, используя ограниченную информацию LR, что определяется как однокадровое SR [9–12].

Методы SR были всесторонне обобщены в нескольких исследованиях [4,6,8,13–15], мы рассмотрим эти технологии с точки зрения методов за последние десятилетия и сделаем обзор современных приложений, использующих методы SR, таких как спутниковое приложение Google Skybox [16] и последовательности изо-

бражений наблюдения с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) [17]. Остановимся также на существующих препятствиях для будущих исследований.

Исходя из концепции SR, первая проблема, которую мы должны обсудить — это условия получения изображения HR из нескольких наблюдаемых изображений LR. В общем случае, если среди изображений есть дополнительная информация, то SR выполнимо [18]. То есть, LR-изображения не могут быть получены друг из друга путем преобразования или передискретизации, поэтому они содержат различную информацию, которая может быть использована для SR.

Для реализации SR в реальном конкретном применении исследователи склоняются к тому, чтобы получать изображения для SR с помощью аппаратного управления. Посредством формирования изображений с помощью аппаратных технологий сенсоры могут получать изображения с известными субпиксельными смещениями или несколькими «взглядами» на одну и ту же сцену, что делает SR вполне возможным. Успешные примеры можно найти в различных областях [2,19]. Один из самых известных успешных примеров относится к области дистанционного зондирования. В спутниковой системе SPOT-5 французского космического агентства был использован специально разработанный по технологии «прибор с зарядовой связью» (ПЗС) детектор, в котором объединены две ПЗС-матрицы с разрешением 12 000 пикселей. Они сдвинуты друг относительно друга на половину ширины пикселя [19]. Поскольку два ПЗС-детектора могут получать изображения одновременно, набор данных может быть получен при сдвиге позиции съемки на полпикселя. Используя это устройство и технику SR, мы можем получить изображение HR из двух изображений, сдвинутых на полпикселя. Более того, некоторые пиксели ПЗС состоят из субпикселей различной формы и пространственного расположения и объединив несколько изображений, записанных с различными субпиксельными компонентами, мы можем получить изображение с более высоким разрешением с помощью SR.

В настоящее время SR разрабатывается уже более трех десятилетий, приблизительно с 1985 года, и прогресс SR можно кратко описать следующим образом. В самом начале большинство методов было сосредоточено на частотной области, где алгоритмы могут использовать взаимосвязь между изображением HR и наблюдениями LR на основе простой теоретической базы и обладают высокой вычислительной эффективностью. Однако эти методы имеют очевидные недостатки, такие как чувствительность к ошибкам модели и сложность в обработке более сложных моделей движения, что препятствует их дальнейшему развитию. В связи с недостат-

ками алгоритмов частотной области, методы пространственной области стали основным направлением [4]. Термин пространственная область относится к плоскости изображения как таковой и данная категория соединяет подходы, основанные на прямом манипулировании пикселями изображения. Методы обработки в частотной области основываются на трансформации сигнала, формируемого применением к изображению преобразования Фурье. Соответственно, полезны и технологии, основанные на различных комбинациях методов из данных двух категорий.

Популярные методы пространственной области включают в себя неравномерную интерполяцию, итеративную обратную проекцию (IBP), проекцию на выпуклые множества (POCS), регуляризованные методы и ряд гибридных алгоритмов. Регуляризованные методы являются наиболее популярными благодаря своей эффективности и простоте [1].

Модель визуализации, которая относится к модели наблюдения, имеет важное значение для SR при использовании регуляризованной структуры. Процесс получения изображения неизбежно сталкивается с набором ухудшающих факторов, таких как оптическая дифракция, недостаточная выборка, относительное движение и шум системы. Поэтому обычно предполагают, что процедура деградации во время получения изображения включает искажение, размытие, понижение дискретизации и шум, исходя из чего строят математическую модель наблюдения. И эта модель все еще не является достаточной для хорошего описания всех возможных ситуаций.

Целью регуляризованных методов реконструкции и регуляризованной схемы является реконструкция изображения HR из набора деформированных, размытых, зашумленных и недостаточно дискретизированных изображений на основе модели наблюдения, описанной выше. Поскольку модель обоснована и определена недостаточно хорошо, SR оказывается плохо решаемой обратной задачей. Но ее можно преобразовать в задачу минимизации на основе теории максимального апостериорного приближения (MAP) [20, 21]. Это общая вариационная регуляризованная схема SR. Методы MAP учитывают предварительные ограничения изображения и получают результаты максимизацией функции издержек от постериорной вероятности. Они популярны благодаря своей гибкости при использовании сохраняющих границы приоритетов и совместной оценки параметров.

Далее обратимся к конкретным применениям SR в повседневной жизни, в практических применениях, что является самой главной задачей. За последние три десятилетия были рассмотрены различные области применения SR в значимых областях. Например, улучшение

обычной видеoinформации. Обычные видеоизображения могут быть преобразованы в изображения высокой четкости с помощью методов SR. Компания Hitachi Ltd. добилась преобразования стандартного телевидения (SDTV) в телевидение высокой четкости (HDTV) с использованием технологии SR для видео, где все детали в кадре стали четкие и значительно улучшены, что делает SR особенно интересной и актуальной темой исследования [22]. Другой пример, формат видео Quarter Common Intermediate Format (QCIF) используется только при сетевом мониторинге по низкоскоростным каналам связи с потоком до 56–128 Кбит/с. О качестве изображения можно сказать только то, что «видно какое то движение» и более ничего. Videопоследовательность разрешения QCIF 180×144 была обработана методом 3-D Iterative Steering Kernel Regression (3-D ISKR) [1] и значительно улучшена. Эти типичные примеры демонстрируют эффективность методов SR при работе с искажениями движения, вызванными множеством движущихся объектов, что часто встречается в реальных сценах. Более того, компания Apple Inc. объявила о подаче заявки на патент оптической стабилизации изображения на основе SR. Рано или поздно технологии SR будут использоваться в телефонах, компьютерах и планшетах.

Следующий пример — видеонаблюдение. В настоящее время устройства цифровых видеорегистраторов (DVR) встречаются повсеместно, и они играют важную роль в таких приложениях, как наблюдение за дорожной обстановкой и мониторинг безопасности. Однако на данный момент оснащение крупномасштабных устройств HR не представляется возможным. Поэтому необходимо изучить методы SR видеоизображений. Такие нечеткие изображения, как видеопоследовательности наблюдения с беспилотника (БПЛА) [23] оставляют желать много лучшего. Поэтому, несмотря на прогресс в развитии техники, практическое использование видео SR все еще остается сложной задачей. Наружные видеоустройства уязвимы к воздействию погодных условий. Кроме того, видеопоток обычно содержит огромное количество данных и сложное движение. Некоторые алгоритмы могут справиться с искажениями движения, но вычислительная эффективность ограничивает их применение. Следует отметить, что сжатое видео и его SR обработка также находится в центре внимания [24, 25].

Следующим важным приложением является медицинская диагностика. Различные методы медицинской визуализации могут предоставить как анатомическую информацию о структуре человеческого тела, так и функциональную. Однако ограничения по разрешению всегда снижают ценность медицинских изображений для диагностики. Технологии SR используются в основных направлениях медицинской визуализации, включая магнитно-резонансную томографию (МРТ),

функциональную МРТ и позитронно-эмиссионную томографию (ПЭТ) [27]. Цель — увеличение разрешения медицинских изображений при сохранении истинной изотропной трехмерной визуализации. Системы медицинской визуализации могут работать в условиях строго контролируемой среды, и поэтому можно легко получать непрерывные и многоракурсные изображения. Результаты SR на данных МРТ головного мозга человека [2] и синхронизированного с дыханием изображения ПЭТ производят сильное впечатление [28]. SR на основе отдельных кадров изображений также применяется в области медицинской визуализации как сбор похожих изображений для создания базы данных [29, 30]. Следующий пример — это реконструированное изображение МРТ изображения колена, представленное в работе [29]. Для этого учебная база данных была создана с помощью набора пяти стандартных изображений, включая компьютерную томографию (КТ) и МРТ изображения различных частей человеческого тела.

Следующее значимое применение — дистанционное зондирование Земли. Первая идея SR в [31] была мотивирована требованием улучшить разрешение изображений дистанционного зондирования Landsat — наиболее продолжительного проекта по получению спутниковых снимков Земли с 1972 года по настоящее время. Идея применения методов SR для визуализации дистанционного зондирования разрабатывалась в течение десятилетий. Хотя данные, удовлетворяющие требованиям SR, получить нелегко, существует несколько успешных примеров их применения для реальных данных [32–37]. Среди них полученное разрешение панхроматического изображения, выданное спутником SPOT-5, может достигать 2,5 м за счет SR двух 5-метровых изображений, полученных путем сдвига двойной ПЗС-матрицы на половину интервала дискретизации, что было наиболее успешным примером [33,38]. Отличительной особенностью спутника SPOT-5 является режим согласованной съемки одной и той же территории двумя матрицами с разрешением 5 м. Кроме того, Шен и другие [34] предложили алгоритм MAP и протестировали его на изображениях дистанционного зондирования с помощью спектрорадиометра с умеренным разрешением (MODIS). Более того, самые разные спутники могут получать многовременные или многоракурсные изображения на одну и ту же территорию, например, Landsat, CBERS и WorldView-2 и таким образом предоставляют возможность для SR [32, 37].

SR для спектрального смешивания фракционных изображений широко изучается для получения карты с более высоким разрешением меток классов и известно как субпиксельное картографирование [39–41]. Исследователи также пытались применить основанные на примерах методы к SR изображений, полученных с помощью дистанционного зондирования [42, 43]. Компания Skybox

Imaging запланировала запуск группы из 24 небольших спутников, которые смогут в режиме реального времени предоставлять «видео» с субметровым разрешением, используя методы SR [16, 44]. В настоящее время запущены и введены в эксплуатацию спутники SkySat-1 и SkySat-2. Благодаря включению примерно 20 кадров, наземный дисбаланс (GSD) выходного изображения может быть уменьшен до 4/5 от исходных данных [16]. Это прекрасная возможность внедрить технологии SR в нашу повседневную жизнь. Основными проблемами для SR изображений, полученных с помощью дистанционного зондирования, являются преодоление изменений сцены из-за временных различий и адаптация существующих методов к огромным объемам ежедневных наблюдений.

Астрономические наблюдения также являются значимой сферой применения методов SR. Физическое разрешение астрономических устройств формирования изображений, ограниченное параметрами системы, также дает шанс методам SR сыграть свою важную роль. Астрономические системы обычно могут собирать серию изображений для SR. Улучшая разрешение астрономических изображений, SR может помочь астрономам в исследовании космического пространства. Конкретный пример решения астрономической задачи приведен в работе [45], где показано SR множественных изображений звезд. В настоящее время в космос также отправляются спутники, например, программа исследования Луны и миссия полета к Марсу (Mars Odyssey). Например, SR лунных изображений китайского аппарата ChangE-1 [46], где результат был реконструирован на основе трех видов изображений. SR может повысить разрешение изображения и тем самым улучшить различимость мелких объектов на поверхности Луны. Кроме того, Хьюз и Рэмси [47] использовали наборы данных теплового инфракрасного и видимого диапазонов системы тепловой эмиссионной визуализации из различных спектральных областей для создания улучшенного теплового инфракрасного изображения поверхности Марса.

SR идентификация биометрической информации также важна для биометрического распознавания, включая повторное улучшение решения для лица [48–50], отпечатков пальцев [51] и изображений радужной оболочки глаза [52, 53]. Разрешение биометрических изображений играет ключевую роль в процессе распознавания и обнаружения. Для работы с LR-наблюдениями распространенным подходом является создание высококачественных изображений из нескольких LR-изображений. Основываясь на избыточности и сходстве структурированных характеристик биометрических изображений, SR на основе одного кадра с внешней базой данных является эффективным способом повышения разрешения [11], что великолепно подтверждается результатами трех случаев реконструкции биометрических изображе-

ний — лица, отпечатка пальца и радужной оболочки глаза [51,54,55]. С помощью SR детали фигур и структурная текстура четко улучшаются, в то время как эффективно сохраняется глобальная структура, что может улучшить способность распознавания в соответствующих приложениях.

В заключение хочется отметить, что проведенный обзор концепции, развития и основных областей применения сверхразрешения (SR) изображений за последние три десятилетия показал, что основной прогресс в технике SR можно разделить на три этапа. В первом десятилетии, приблизительно до 1995 года, исследователи переключили свое внимание с изучения методов частотной области на алгоритмы пространственной области. На втором этапе основное внимание было уделено регуляризированным многокадровым системам SR. Байесовская MAP-методика стала наиболее популярной благодаря своей хорошей производительности и гибким характеристикам. В последние годы, однако, развитие многокадрового SR замедлилось, и исследователи в основном сосредоточились на реконструкции SR в различных практических областях применения.

К сожалению, широкое практическое использование SR все еще остается заметной проблемой. В развитии многокадрового SR существуют отмеченные выше трудности, в то же время SR для отдельных изображений стало актуальной задачей. Однако производительность этих алгоритмов зависит от надежности используемой базы данных. Каковы могут быть направления дальнейших исследований? Желательны более продвинутые, адаптивные и быстрые методы с широкими возможностями применения. Кроме того, методы должны тесно сочетаться с реальными практическими требованиями. Быстрое развитие аппаратных устройств также принесет новые проблемы для применения SR структур. Например, проект Google Skybox позволяет получать в реальном времени HR «видеонаблюдения Земли» с использованием дистанционного зондирования изображений SR. Концепция SR также была распространена на смежные области, такие как флуоресцентная микроскопия [17,56–58] и многобазовая томографическая съемка радаром с синтезированной апертурой (SAR), который позволяет получать радиолокационные изображения объектов [59, 60]. Кроме того, исследователи пытались применить методы однокадровой SR для обработки медицинских изображений и изображений дистанционного зондирования. Однако практическая применимость этих методов все еще ограничена относительно низкой производительностью и значительными временными затратами и для крупномасштабных приложений необходимы методы ускорения. В заключение следует отметить, что развитие и будущее SR вполне осуществимо, доступно для дальнейших исследований и совершенствований.

ЛИТЕРАТУРА

1. H. Takeda, P. Milanfar, M. Protter, et al., Super-resolution without explicit subpixel motion estimation, *IEEE Trans. Image Process.*, 18 (2009), p.p. 1958–1975.
2. H. Greenspan, Super-resolution in medical imaging, *Comput. Journal*, 52 (2009), p.p.43–63.
3. J.A. Kennedy, O. Israel, A. Frenkel, et al., Super-resolution in PET imaging, *IEEE Trans. Med. Imaging*, 25 (2006), p.p.137–147.
4. S.C. Park, M.K. Park, M.G. Kang, Super-resolution image reconstruction: a technical overview, *IEEE Signal Process. Mag.* 20 (2003) p.p.21–36.
5. S. Borman, R. Stevenson, Spatial Resolution Enhancement of Low-Resolution Image Sequences: A Comprehensive Review with Directions for Future Research, Laboratory for Image and Signal Analysis (LISA), University of Notre Dame, 1998 (Report, July).
6. S. Farsiu, D. Robinson, M. Elad, et al., Advances and challenges in super-resolution, *Int. J. Imaging Syst. Technol.* 14 (2004) p.p.47–57.
7. M. Elad, A. Feuer, Super-resolution reconstruction of image sequences, *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* 21 (1999) p.p.817–834.
8. K. Nasrollahi, T.B. Moeslund, Super-resolution: a comprehensive survey, *Mach. Vis. Appl.* 25 (2014) p.p.1423–1468.
9. D. Glasner, S. Bagon, M. Irani, Super-resolution from a single image, in 2009, in: *Proceedings of the IEEE12th International Conference on Computer Vision*, 2009, p.p. 349–356.
10. K.I. Kim, Y. Kwon, Single-image super-resolution using sparse regression and natural image prior, *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* 32 (2010) p.p. 1127–1133.
11. J. Yang, J. Wright, T.S. Huang, et al., Image super-resolution via sparse representation, *IEEE Trans. Image Process.* 19 (2010) p.p. 2861–2873.
12. W.T. Freeman, T.R. Jones, E.C. Pasztor, Example-based super-resolution, *IEEE Comput. Graph. Appl.* 22 (2002) p.p. 56–65.
13. D. Capel, A. Zisserman, Computer vision applied to super resolution, *IEEE Signal Process. Mag.* 20 (2003) p.p. 75–86.
14. J. Tian, K.K. Ma, A survey on super-resolution imaging, *Signal, Image Video Process.* 2011 (2011) p.p. 329–342.
15. J. Van Ouwerkerk, Image super-resolution survey, *Image Vis. Comput.* 24 (2006) p.p. 1039–1052.
16. K. Murthy, M. Shearn, B.D. Smiley, et al., SkySat-1: very high-resolution imagery from a small satellite, *Sens., Syst., -Gener. Satell.* XVIII (2014) (92411E-1–92411E-12).
17. M.J. Rust, M. Bates, X. Zhuang, Sub-diffraction-limit imaging by stochastic optical reconstruction microscopy (STORM), *Nat. Methods* 3 (2006) p.p. 793–796.
18. M. Elad, Y. Hel-Or, A fast super-resolution reconstruction algorithm for pure translational motion and common space-invariant blur, *IEEE Trans. Image Process.* 10 (2001) p.p. 1187–1193.
19. C. Latry, B. Rouge, Super resolution: quincunx sampling and fusion processing, in: *Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, Toulouse, France, 2003, p.p. 315–317.
20. H. Shen, L. Zhang, B. Huang, et al., A MAP approach for joint motion estimation, segmentation, and super resolution, *IEEE Trans. Image Process.* 16, (2007), p.p.479–490.
21. C. Bouman, K. Sauer, A generalized Gaussian image model for edge-preserving MAP estimation, *IEEE Trans. Image Process.* 2, (1993), p.p. 296–310.
22. L. Hitachi, Super-resolution technology to convert video of various resolutions to high-definition [Электронный ресурс] URL: <http://www.hitachi.com/New/spnews/080924a.html> (дата обращения 22.05.2022).
23. Y. Wang, R. Fevig, R.R. Schultz, Super-resolution mosaicking of UAV surveillance video, in: *Proceedings of the 15th IEEE International Conference on Image Processing*, 2008, p.p. 345–348.
24. X. Zhang, M. Tang, R. Tong, Robust super resolution of compressed video, *Vis. Comput.*, 28, (2012), p.p. 1167–1180.
25. C.A. Segall, R. Molina, A.K. Katsaggelos, High-resolution images from low resolution compressed video, *IEEE Signal Process. Mag.* 20, (2003), p.p. 37–48.
26. M.D. Robinson, S.J. Chiu, J. Lo, et al., *New Applications of Super-resolution in Medical Imaging*, CRC Press, 2010.
27. D. Wallach, F. Lamare, G. Kontaxakis, et al., Super-resolution in respiratory synchronized positron emission tomography, *IEEE Trans. Med. Imaging* 31, (2012), p.p. 438–448.
28. D.-H. Trinh, M. Luong, F. Dibos, et al., Novel example-based method for super resolution and denoising of medical images, *IEEE Trans. Image Process.* 23, (2014), p.p. 1882–1895.
29. Y.-H. Wang, J. Qiao, J.-B. Li, et al., Sparse representation-based MRI super resolution reconstruction, *Measurement* 47, (2014), p.p. 946–953.
30. R.Y. Tsai, T.S. Huang, Multi-frame image restoration and registration, *Adv. Comput. Vis. Image Process.* 1, (1984), 317–339.
31. H. Zhang, Z. Yang, L. Zhang, et al., Super-resolution reconstruction for multiangle remote sensing images considering resolution differences, *Remote Sens.* 6 (2014) 637–657.
32. H. Wang, D. Wen, The progress of sub-pixel imaging methods, in: *Proceedings of the SPIE Conference Series*, 2014, pp. 91420K-1.
33. H. Shen, M.K. Ng, P. Li, et al., Super-resolution reconstruction algorithm to MODIS remote sensing images, *Comput. J.* 52 (2009), p.p. 90–100.
34. M.T. Merino, J. Nunez, Super-resolution of remotely sensed images with variable-pixel linear reconstruction, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 45, (2007), p.p. 1446–1457.
35. M. Elbakary, M. Alam, Superresolution construction of multispectral imagery based on local enhancement, *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.* 5, (2008), p.p. 276–279.
36. J.C.-W. Chan, J. Ma, F. Canters, A comparison of superresolution reconstruction methods for multi-angle CHRIS/Proba images, *SPIE Remote Sens.* (2008), 710904–1–710904–11.
37. K.H. Lim, L.K. Kwok, Super-resolution for SPOT5-Beyond supermode, presented at the 30th Asian Conference on Remote Sensing, Beijing, China, 2009.
38. Y. Zhong, L. Zhang, Remote sensing image subpixel mapping based on adaptive differential evolution, *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., Part B: Cybern.* 42, (2012), p.p. 1306–1329.
39. D. Vikhamar, R. Solberg, Subpixel mapping of snow cover in forests by optica remote sensing, *Remote Sens. Environ.* 84, (2003), p.p. 69–82.

40. Y. Ge, S. Li, V.C. Lakhan, Development and testing of a subpixel mapping algorithm, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 47, (2009), p.p. 2155–2164.
41. R.C. Patel, M. Joshi, Super-resolution of hyperspectral images using compressive sensing based approach, *ISPRS Ann. Photogramm. Remote. Sens. Spat. Inf. Sci.* 7, (2012), p.p. 83–88.
42. F.A. Mianji, Y. Zhang, Y. Gu Resolution enhancement of hyperspectral images using a learning-based super-resolution mapping technique, in: *Proceedings of the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2009*, pp. III-813–III-816.
43. P. D'Angelo, G. Kuschik, P. Reinartz, Evaluation of skybox video and still image products, *ISPRS Int. Arch. Photogramm., Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* XL-1 (2014), p.p. 95–99.
44. R.M. Willett, I. Jermyn, R.D. Nowak et al., Wavelet-based superresolution in astronomy, *Astronomical Data Analysis Software & Systems XIII*, vol. 314, 2004, p.p. 107.
45. L. Li, Q. Yu, Y. Yuan, et al., Super-resolution reconstruction and higher-degree function deformation model based matching for Chang'E-1 lunar images, *Sci. China Ser. E: Technol. Sci.* 52, (2009), p.p. 3468–3476.
46. C.G. Hughes, M.S. Ramsey, Super-resolution of THEMIS thermal infrared data: compositional relationships of surface units below the 100 m scale on Mars, *Icarus*, 208, (2010), p.p. 704–720.
47. Y. Zhuang, J. Zhang, F. Wu, Hallucinating faces: LPH super-resolution and neighbor reconstruction for residue compensation, *Pattern Recognit.* 40, (2007), p.p. 3178–3194.
48. X. Wang, X. Tang, Hallucinating face by eigentransformation, *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., Part C: Appl. Rev.* 35, (2005), p.p. 425–434.
49. W. Liu, D. Lin, X. Tang, Hallucinating faces: tensorpatch super-resolution and coupled residue compensation, in: *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2005*, p.p. 478–484.
50. Z. Yuan, J. Wu, S.-i. Kamata, et al., Fingerprint image enhancement by super resolution with early stopping, in: *Proceedings of the IEEE International Conference on Intelligent Computing and Intelligent Systems, 2009*, pp. 527–531.
51. Y.-H. Li, *Robust Long Range Iris Recognition from Video Using Super Resolution*, Citeseer, 2010.
52. G. Fahmy, Super-resolution construction of iris images from a visual low resolution face video, in: *Proceedings of the IEEE 9th International Symposium on Signal Processing and Its Applications, ISSPA 2007*, pp. 1–4.
53. W. Liu, D. Lin, X. Tang, Hallucinating faces: tensorpatch super-resolution and coupled residue compensation, in: *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR, 2005*, p.p. 478–484.
54. R. Barnard, V. Pauca, T. Torgersen, et al., High-resolution iris image reconstruction from low-resolution imagery, *SPIE Opt. Photonics (2006)* (63130D-1–63130D-13).
55. B. Huang, M. Bates, X. Zhuang, Super resolution fluorescence microscopy, *Annu. Rev. Biochem.* 78, (2009), p.993.
56. M. Bates, B. Huang, G.T. Dempsey, et al., Multicolor super-resolution imaging with photo-switchable fluorescent probes, *Science* 317, (2007), p.p. 1749–1753.
57. G. Shtengel, J.A. Galbraith, C.G. Galbraith, et al., Interferometric fluorescent super-resolution microscopy resolves 3D cellular ultrastructure, *Proc. Natl. Acad. Sci.* 106, (2009), p.p. 3125–3130.
58. X.X. Zhu, R. Bamler, Demonstration of super-resolution for tomographic SAR imaging in urban environment, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 50 (2012), p.p. 3150–3157.
59. F. Lombardini, M. Pardini, Superresolution differential tomography: experiments on identification of multiple scatterers in spaceborne sar data, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 50, (2012), p.p. 1117–1129.

© Денисюк Андрей Юрьевич (thisnight@thisnight.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

МОДЕЛИ ХРАНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ФИНАНСОВЫХ АКТИВОВ: АНАЛИЗ УГРОЗ И КОНТРМЕРЫ

Диамонд Карильо Джосет Моисес

Аспирант, Финансовый университет при
Правительстве РФ
diamondjmd@yandex.ru

MODELS FOR DIGITAL FINANCIAL ASSETS: THREATS ANALYSIS AND COUNTERMEASURES

Diamond Carrillo Joseth Moises

Summary. The security of digital financial assets depends on the technology of cryptocurrency wallets. Currently, there are many models of storing digital financial assets on the market, many of which harm their owners due to weak security. This article analyzes vulnerabilities and threats available on the cryptocurrency wallet market. In addition, we have developed recommendations on countering information theft and countermeasures aimed at protecting crypto wallets from threats.

Keywords: electronic wallet, blockchain, cryptocurrency, cryptosafe, cold and hot wallet, fat client, thin client.

Аннотация. Безопасность цифровых финансовых активов зависит от технологии криптовалютных кошельков. В настоящее время на рынке существует множество моделей хранения цифровых финансовых активов, многие из которых наносят ущерб их владельцам из-за слабой безопасности. В данной статье анализируются уязвимости и угрозы, доступные на рынке криптовалютных кошельков. Кроме того, мы разработали рекомендации по противодействию хищению информации и контрмеры направленные на защиту криптокошельков от угроз.

Ключевые слова: электронный кошелек, блокчейн, криптовалюта, криптосейф, холодный и горячий кошелек, толстый клиент, тонкий клиент.

Введение

В связи с популяризацией и развитием блокчейн — технологий и криптовалют приобретает актуальность вопрос, связанный с обеспечением безопасности их хранения и совершением финансовых операций. Всю совокупность угроз, сопряженных с информационной безопасностью, можно подразделить на три вида:

- ◆ антропогенные источники, связанные с действиями, проводимыми субъектом;
- ◆ техногенные источники, связанные с применяемыми техническими средствами;
- ◆ стихийные источники, сопряженные с действием природных явлений.

Принципиальным отличием криптовалюты от фиатных денежных средств является существование в формате цифрового актива — в этой связи возникает необходимость применения специализированных универсальных кошельков, иными словами, электронного кошелька. Однако даже с его применением обналечение криптовалюты остается невозможным — проведение всех операций осуществляется посредством сети интернет, что побуждает к необходимости выбора

кошелька, обеспечивающего, с одной стороны, возможность хранения актива, а с другой стороны, доступ к широкому набору сервисов и возможностей.

На сегодняшний день вопросам блокчейн — технологий, криптовалют и электронных кошельков посвящено множество литературных и интернет-источников, например, это работы Брайана Патрика Эха, Натаниэля Поппера, Андреаса М. Антонопулоса, Алекса Преукшата, Жозупа Бускета, Ареса Хосе Анхеля, Александра Шульгина, Андрея Урлина, Михаила Смирнова, Руслана Акста, Михаила Лебеда, Сары К. Тейлор, Хайрула Акрама Зайнола Ариффина, Конга Ли и многих других. Вместе с тем развитие цифровой экономики не останавливается, в связи с чем на смену существующих угроз информационной безопасности приходят обновленные, что требует постоянного развития данного вопроса и совершенствования применяемых контрмероприятий.

Целью данной статьи является анализ существующих в настоящее время моделей хранения цифровых финансовых активов с точки зрения присущих им угроз информационной безопасности, а также поиск адекватных контрмер, направленных на нивелирование указанных угроз.

Для достижения цели исследования последовательно будут решены следующие задачи:

1. рассмотреть многообразие существующих на рынке моделей хранения цифровых финансовых активов (криптовалюты);
2. провести анализ техногенных и антропогенных уязвимостей и угроз в интересах формирования средств противодействия хищения информации;
3. разработать рекомендации по противодействию хищению информации и контрмеры направленные на защиту криптокошельков от угроз;
4. проанализировать кошелек, используемый в Венесуэле для хранения национальной криптовалюты Petro, выявить присущие ему потенциальные угрозы и возможные контрмеры, направленные на их минимизацию.

В самом общем смысле, криптовалютный кошелек представляет собой приложение или устройство, способное обеспечить сохранение конфиденциальной информации, доступность системы блокчейн для пользователя и возможность участия в сделках посредством сети [6].

В число наиболее популярных сервисов, имеющих формат электронного кошелька, относятся следующие программные средства, способствующие безопасному хранению данных [4]:

1. Desktopные решения, работающие в формате «толстого клиента», предполагающего присутствие программы на жестком диске компьютера, либо «тонкого клиента», ориентированного на использование удаленных серверов;
2. Аппаратные криптосейфы;
3. Специализированные приложения, устанавливаемые на мобильные устройства;
4. Интернет — хранилища, осуществляющие работу в формате онлайн;
5. Депозитные счета, открытые на криптовалютных биржевых площадках.

Первоначально возникшие хранилища криптовалюты были моновалютными, на текущий момент развитие электронных кошельков фокусируется на принципах мультивалютного хранения, использующем различные программные алгоритмы.

Электронный кошелек, отличающийся качеством и надежностью, должен обеспечивать высокие стандарты безопасности данных для предотвращения к ним несанкционированного доступа третьих лиц, а также обладать следующими отличительными характеристиками:

- ◆ наличие двух ключей — как приватного, так и публичного;
- ◆ многоступенчатой системой защиты.

Существует достаточно широкая классификация типов электронных кошельков.

Так, по способу хранения данных различаются холодные и горячие кошельки. Упоминание температуры в данном случае указывает на взаимосвязь с технологией блокчейн — в случае холодного кошелька работа осуществляется без непрерывного доступа к сети интернет, при использовании горячего доступа к сети должен быть обеспечен непрерывно.

Горячие кошельки подразделяются на локальные (существует в формате устанавливаемой на компьютер программы), мобильные (представляют собой мобильные приложения) и работающие в формате онлайн (сервисы, в том числе биржевые аккаунты, и криптовалютные счета, внедренные в структуру международных платежных систем). Принцип действия горячего кошелька заключается в загрузке на компьютер специализированной программной среды, позволяющей осуществлять работу с сервисами блокчейн.

К числу преимуществ горячего типа кошельков, по мнению экспертов редакции Profinvestment.com, могут быть отнесены следующие факторы [8]:

- ◆ для использования системы не требуется оплата;
- ◆ доступ к данным осуществляется на мгновенной основе в момент запуска программы;
- ◆ работа с программой осуществляется на принципах максимальной простоты и удобства;
- ◆ программа предлагает пользователю расширенный набор дополнительных функций и средств;
- ◆ программа поддерживает разнообразные виды монет и токенов.

Самым серьезным недостатком горячего типа кошелька, по нашему мнению, является низкая степень безопасности в связи с повсеместным использованием сети интернет. Также главный редактор платформы Crypto.ru Ищенко В [6]. к числу существенных недостатков горячего кошелька относит риски, существующие в связи с возможностью утери данных по причине сбоя в работе сервиса.

Самыми известными примерами горячих кошельков являются Blockchain.com и Jaxx.

При помощи кошелька Blockchain осуществляется работа с такими криптовалютами, как Bitcoin (BTC), Ethereum (ETH), Bitcoin Cash (BCH), Stellar (XLM), USD Digital (USD-D) и рядом других. Данный горячий кошелек может быть как мобильного типа, так и онлайн типа. К существенным преимуществам данного вида кошелька относится возможность резервирования ключа, предоставление широкого ассортимента дополнительных

услуг (например, биржевой обмен криптовалют, перевод денег между кошельками с минимальной комиссией, доступность ресурса на большинстве мировых языках).

Горячий кошелек Jaxx также относится к кошелькам как мобильного типа, так и типа онлайн. К числу преимуществ относится поддержка разнообразных и редких криптовалют, отсутствие требования по прохождению регистрации, наличие новостного приложения, биржевых сервисов и инструментов, позволяющих управлять портфелем.

Холодные кошельки в свою очередь подразделяются на бумажные (предполагает ручную запись пароля на бумажном носителе и ввод в систему при каждом последующем входе в нее), аппаратные (наличие внешнего устройства, схожего по внешнему виду с флешкой, на которой осуществляется хранение личных ключей) и локальные (кошельки на персональных компьютерах и мобильных устройствах, не имеющих доступа к сети интернет).

Холодный кошелек представляется самым надежным способом хранения информации, что является его несомненным преимуществом. Однако данный вид кошелька не лишен недостатков, к числу которых можно отнести высокую стоимость аппаратных устройств и неудобство для проведения частых сделок. Примерами холодных кошельков являются такие системы, как Ledger, Trezor и сайт bitaddress.org, способствующий созданию пароля для бумажной разновидности кошелька.

Холодный кошелек Ledger относится либо к аппаратному, либо к локальному типу. Основными его преимуществами является возможность работы с разнообразием криптоактивов, обеспечение высокого уровня безопасности данных, наличие сертификации и проверки подлинности от подделки либо несанкционированного доступа третьей стороны. Различаются кошельки Ledger Nano S и Ledger Nano X — данные системы отличаются размером памяти, стоимостными параметрами и наличием возможности подключения к Bluetooth, кроме того, у кошелька размера S могут возникать сложности с проведением транзакций небольшого объема.

Холодный кошелек Trezor относится к аппаратному типу. Существенным преимуществом данного кошелька является работа с большим количеством криптовалют, наличие высоких стандартов безопасности, простота использования. Среди кошельков Trezor также различаются типы Trezor One и Trezor Model T — существенными недостатками указанных систем является наличие большого количества подделок.

Обобщающими преимуществами аппаратных электронных кошельков, по мнению экспертов платформы Profinvestment.com, является [2]:

- ◆ наличие высоких стандартов, обеспечивающих безопасность хранения данных, и защитных механизмов (PIN-код, биометрия);
- ◆ мобильность, возможность перемещения устройства;
- ◆ наличие защиты от неблагоприятных факторов внешней среды.

К числу основных сложностей могут быть отнесены, как уже было отмечено ранее, высокие затраты на приобретение оборудования, а также периодически возникающие неудобства в связи с отправкой транзакций.

В качестве основного критерия при выборе онлайн — кошелька выступает обеспечение безопасного хранения электронного ключа. На проверенных сайтах доступна технология хеширования данных клиента и сервера, позволяющая нивелировать риски, связанные с утечкой личной информации.

К числу основных преимуществ онлайн — кошельков относится [6]:

- ◆ возможность быстрого доступа посредством браузера;
- ◆ автономность от работы операционной системы и жесткого диска компьютера;
- ◆ снижение риска взаимодействия с вредоносным программным обеспечением;
- ◆ возможность совершения транзакции с любого устройства без ограничения.

Однако указанный тип кошелька не лишен недостатков, к числу которых относятся:

- ◆ риск похищения ключей в связи с их хранением на сервере;
- ◆ возможность спутать доступ к сайту с фишинговой ссылкой, в результате чего повышается риск, связанный с мошенничеством;
- ◆ возможности сбоя на сервере, в связи с чем нарушение в проведении транзакции.

Следующим вариантом классификации электронных кошельков является осуществление работы по принципу толстого и тонкого клиента [3]:

- ◆ «толстый» кошелек загружает в компьютерную систему весь существующий блокчейн с целью обеспечения полной синхронизации. Сделка проводится в условиях безопасности в связи с отсутствием обращения к посредническим сервисам. К основным слабостям толстого криптокошелька относятся осуществление работы на низких скоростях и наличие повышенных тре-

Таблица 1. Результаты анализа техногенных и антропогенных уязвимостей и угроз криптокошельков

Тип угрозы	Гор. Локальные кошшки	Гор. мобильные кошшки	Гор. онлайн кошшки	Хол. бумажные кошшки	Хол. аппаратные кошшки	Хол. локальные кошшки	Дескт. решения (тонкий кл.)	Дескт. решения (толстый кл.)
АНТРОПОГЕННЫЕ УГРОЗЫ								
Умышл. Действия внешн. Субъектов	+	+	+	-	-	-	+	-
Умышл. Действия внутр. субъектов	+	+	+	-	-	-	+	-
Случ. Действия внешн. субъектов	-	-	-	-	-	-	-	-
Случ. действия внутр. Субъектов	-	-	-	-	-	-	-	-
ТЕХНОГЕННЫЕ УГРОЗЫ								
Внешн. технич. угрозы	+	+	+	-	-	-	+	-
Внутр. Технич. угрозы	-	-	-	-	-	-	-	+

(Составлено автором)

бований к устройству, обладающему памятью (например, жесткому диску). Сильными сторонами данного вида кошелька является прохождение сверки информации, отраженной в нем, с иными сетевыми узлами. К числу самых популярных программ, работающих по принципу «толстого клиента», относятся Bitcoin Core, Specter, Armory [6].

- ◆ «тонкий» кошелек представляет собой облегченный вариант программы, поскольку скачивание блокчейна не производится, в случае необходимости осуществляется соединение с сетевыми сервисами. Тонкие кошельки обладают меньшей безопасностью в связи с обращением к посредническим сервисам.

Среди мобильных электронных кошельков классификация производится по типу поддерживаемой операционной системы. По состоянию на июнь 2021 года, распространение операционной системы Android достигло лидерства по числу пользователей, а величина рыночной доли превысила 75%. Одним из лучших электронных криптокошельков, совместимых с операционной системой Android, является Crypto.com, поддерживающий разнообразное количество криптовалют и позволяющий инвесторам получать заработок на процессах лендинга и стекинга. Программа предназначена для осуществления децентрализованного обмена криптовалютой. Совместимость программ достигается на базе операционной системы Android Crypto.com DeFi Wallet [6,7].

К числу лучших электронных кошельков, совместимых с операционной системой iOS, относится Trustee Wallet, являющийся мультивалютным решением для биткойнов и альткойнов. Сильными сторонами программы является возможность получения и хранения NFT, а также проведение обменных операций на рубли и иные фиатные валюты.

Обобщим результаты проведенного анализа техногенных и антропогенных уязвимостей и угроз в интересах формирования средств противодействия хищения информации в таблице 1.

Наибольший интерес с точки зрения информационной безопасности представляют антропогенные угрозы, так как действия субъекта (нарушителя) могут быть спрогнозированы и предотвращены. Техногенные угрозы предвидеть достаточно сложно в связи с их масштабностью и непредсказуемостью, их предотвращение напрямую связано с мероприятиями информационной безопасности.

Также для криптовалютных кошельков продолжают оставаться актуальными вредоносные вирусные атаки, например, похищение денежных средств из кошелька пользователя криптовалют посредством вируса-трояна, осуществление несанкционированного проникновения в горячий кошелек пользователя посредством вируса-вымогателя, использование вредоносного вирусного

программного обеспечения для осуществления майнинговых операций [5].

Рекомендуются следующие мероприятия, входящие в число контрмер угроз информационной безопасности криптокошельков:

1. использовать отдельный электронный адрес и сим-карту мобильного устройства, применяемые для осуществления операций с криптовалютами сервисами;
2. применять последовательность действий, связанную с распределением активов:
 - а) не осуществлять хранение крупных сумм цифровой валюты на криптовалютных биржах в связи с риском проведения хакерской атаки;
 - б) осуществлять хранение приобретенных на длительный срок биткоинов и альткоинов на кошельках, относящихся к холодному типу либо к аппаратному;
 - в) на криптобиржах поддерживать объем монет, достаточный для проведения торговой операции;
 - г) с целью защиты всего объема денежных средств производить диверсификацию криптовалютных активовкратно разным кошелькам;
3. своевременно обновлять программное обеспечение до новейших версий;
4. применять качественное и эффективное антивирусное программное обеспечение, осуществлять его своевременное обновление;
5. использовать дополнительные средства, направленные на обеспечение безопасности, к примеру, технологии аутентификации посредством двух факторов;
6. использовать кошельки с возможностью мультиподписи, осуществляющей процесс идентификации субъекта транзакции с двух или более не связанных между собой устройств;
7. производить резервное копирование кошелька, производить хранение закрытых ключей и кодовых фраз в максимально надежном месте, существующем оффлайн;
8. принимать во внимание репутационную характеристику компании, создавшей электронный кошелек.

Одной из популярных в настоящее время является криптовалюта Petro, действующая в Венесуэле. Для осуществления операций с данной криптовалютой создан специализированный электронный кошелек Petro [1; 9], существующий в онлайн — формате и в формате мобильного приложения (платформа PetroApp, для регистрации достаточно ввести адрес электронной почты и пароль), позволяющий пользователям приобретать валюту и осуществлять торговлю ею на авторизованных биржах, к числу которых относятся Amberes, Bancar

и Criptolag, обменивать криптовалюты на фиатные денежные средства либо на другие криптовалюты. Электронный кошелек Petro взаимосвязан с цифровой биржей и национальной банковской сетью, что упрощает процесс операций по купле-продаже валют и их обмену. Еще одной полезной функцией, доступной в цифровом кошельке, является обновленный калькулятор Petro.

Безопасность операций электронного кошелька Petro обеспечивается посредством проверки личности (при проведении операций система запрашивает соответствующие документы), а также наличием буквенно-цифрового кода аутентификации, состоящего из шести символов, чувствительного к регистру. Действие кода продолжается пятнадцать минут, каждая последующая попытка входа требует его обновления. Посредством данного цифрового пароля при вводе обеспечивается проверка каждой инициализированной сессии. Данное средство безопасности направлено на защиту интересов пользователей службы от возможных мошеннических операций с использованием личных данных. Также безопасность операций с криптовалютами обеспечивается за счет того, что национальное агентство Sunacrip отслеживает деятельность поставщиков услуг виртуальных активов и может отзываться лицензии у тех из них, кто не соблюдает правовые нормы комплексной криптоактивной системы (таким примером могут быть организации Criptomundo и Cave Blockchain). Пользователям не рекомендуется осуществлять операции с организациями, не прошедшими авторизацию в национальном агентстве Sunacrip. Однако в связи с тем, что электронный кошелек Petro относится к онлайн — типу, ему по-прежнему присущи угрозы, связанные с действием антропогенных сил (внешние и внутренние, обусловленные умышленными действиями субъектов), в этой связи для минимизации угроз к нему применимы мероприятия информационной безопасности, рассмотренные в статье выше.

ВЫВОДЫ

В данной статье были рассмотрены основные классификации и виды существующих электронных кошельков (холодные и горячие, работающие по принципу толстого и тонкого клиента, электронные кошельки, опирающиеся на операционную систему iOS и Android) с точки зрения имеющихся у них преимуществ и недостатков, а также присущих им техногенных и антропогенных уязвимостей и угроз. В результате проведенного анализа было выявлено, что наиболее безопасными для хранения криптовалюты являются холодные кошельки бумажного, аппаратного и электронного типа — они не подвержены внутренним и внешним антропогенным и техногенным угрозам ввиду действующих для них стандартов безопасности, однако обладают также се-

рзными недостатками, такими как дороговизна аппаратных устройств и неудобство в случае необходимости проведения сделок часто.

Несмотря на достаточное развитие технологий блокчейн и появление широкого ассортимента криптокошельков, обладающих различными характеристиками, в большинстве случаев достаточно существенно влияющими на них угрозами остаются угрозы антропогенного и техногенного характера. На текущий момент данная группа угроз не представляет значения только для холодных кошельков, для остальных необходима проработка действующих, способных приносить устой-

чивый эффект мероприятий информационной безопасности.

Также в данной статье с точки зрения классификации и возможного действия внутренних и внешних угроз рассмотрен электронный кошелек для национальной валюты Венесуэлы Petro. Было выявлено, что для данного типа кошелька приняты достаточно серьезные меры защиты, однако его приверженность к онлайн — типу делает его уязвимым для угроз, связанных с действием антропогенных сил, что побуждает к принятию комплексных мер, направленных на их предотвращение, описанных в данной статье.

ЛИТЕРАТУРА

1. Jose Antonio Lanz Venezuela's largest bank opens up petro cryptocurrency wallet registrations // Electronic source: <https://finance.yahoo.com/news/venezuelas-largest-bank-opens-petro-202518019.html>
2. Аппаратные кошельки для криптовалют: обзор криптокошельков Ledger, Trezor, Safepal, Keepkey, CoolWallet и других // Электронный источник: <https://profinvestment.com>
3. Биткоин-кошелек: выбор хранилища и инструкция по использованию // Электронный источник: <https://kurs-bitcoina.ru/bitcoin-koshelek/#i-10>
4. Выбор лучшего мультивалютного кошелька для криптовалюты на 2021 год // Электронный источник: <https://mycryptocurrency24.com/sposoby-vyvoda-deneg/vybor-luchshego-multivalyutnogo-koshelka-dlya-kriptovalyuty-na-2020-god>
5. Готов В.И., Михайлов Д.М. Минимизация рисков в кредитно-финансовой сфере (блокчейн). — Экономика. Налоги. Право. — 2017. — № 6. — с. 16–23.
6. Ищенко В. Рейтинг лучших кошельков для криптовалюты // Электронный источник: <https://crypto.ru/koshelki-kriptovalyut>
7. Конг Ли, Daojing He, Сенкун Чжу, Сэмми Чан Яо Ченг Криптовалютные кошельки на базе Android: атаки и Контрмеры. — Международная конференция IEEE по блокчейну (Блокчейн). — 2020.
8. Холодные и горячие криптовалютные кошельки: обзор, примеры, преимущества и недостатки // Электронный источник: <https://profinvestment.com>
9. Официальный сайт Petro // Электронный источник: <http://www.petro.gob.ve/>

© Диамонд Карильо Джосет Моисес (diamondjmd@yandex.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СБОРА ДАННЫХ С ДАТЧИКОВ ЛОКОМОТИВА В УСЛОВИЯХ НЕСТАБИЛЬНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

DEVELOPMENT OF A STORAGE SYSTEM USING QUICK DATA ACCESS METHODS

**R. Dolmatov
S. Molodyakov**

Summary. This paper discusses the issue of creating a simulator for unmanned railway transport, comparing a comparative simulator, the proposed method for compiling a simulator that is different from a significant one, considering the issue of unstable data transfer.

Keywords: unmanned vehicles, simulator, unstable data transfer, devops.

Долматов Роман Александрович

Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого
d_roman.kst@mail.ru

Молодяков Сергей Александрович

Д.т.н., профессор, Санкт-Петербургский
политехнический университет Петра Великого
samolodyakov@mail.ru

Аннотация. В данной работе рассматривается вопрос создания симулятора для беспилотного железнодорожного транспорта, сравнение существующих симуляторов, предложен метод написания симулятора, отличный от существующих, рассмотрен вопрос нестабильной передачи данных.

Ключевые слова: беспилотные транспортные средства, симулятор, нестабильная передача данных, devops.

Введение

Автопилотируемые, автомашинист, беспилотное управление — это все разная терминология в определении современных систем автоматизированного управления движением поездов, предназначенного для качественного обеспечения перевозок из одного пункта в другой. Большинство компаний сейчас разрабатывают различные системы автопилотирования и беспилотные транспортные средства: поезда, автомобили, корабли, техники для разной промышленности. Накопленный опыт автоматизации базируется на использовании различных компонентов, начиная от архитектуры процессоров и написания программного кода до современных каналов передачи информации и создания надежной аппаратуры. Эти знания и правильный подход помогает решить проблемы интеграции функций управления движением, безопасностью, совместимостью искусственного интеллекта и аппаратной части.

Система автопилотирования позволяет транспортному средству безопасно преодолеть различные расстояния без помощи человека. Беспилотный транспорт — транспортное средство, управление которого осуществляется через специальную систему автономного управления. Данный вид транспорта может передвигаться по заранее запрограммированным маршрутам, либо в общем движении с помощью различных датчиков, включая камеры, радары, лидары, с помощью бор-

тового компьютера. Эффективность системы автоматического управления определяется:

- ◆ повышением использования пропускной способности и увеличением провозной способности за счет точного выполнения графика движения
- ◆ повышением безопасности движения за счет уменьшения вероятности опасного сближения поездов
- ◆ уменьшением затрат энергии поезда за счет выбора оптимальных режимов управления поездом и оптимального по критерию минимума энергозатрат распределения времени хода по линии на время хода по перегонам.

Если мы говорим о понятии беспилотного транспорта, то необходимо упомянуть об уровнях автоматизации транспортных средств. Эти уровни взяты и структуры, установленной профессиональной ассоциацией автомобильных инженеров (SAE). Структура описывает шесть уровней автоматизации транспортных средств, начиная от полного отсутствия автоматизации и заканчивая полностью автоматизированной системой, которая может управлять автомобилем не хуже опытного человека в любой ситуации. В нулевом уровне — водитель-человек несет ответственность за 100% того, что SAE называет «динамической задачей вождения», что означает работу по фактическому вождению транспортного средства на постоянной основе. Уровня 1 — систему, которая обеспечивает либо рулевое управление, либо

Таблица 1. Сравнение трех симуляторов.

Параметр сравнения	Симуляторы		
	CARLA	CA	GAzebo
1	2	3	4
Системные требования	Intel i7 gen 9th — 11th / Intel i9 gen 9th — 11th / AMD ryzen 7 / AMD ryzen 9 +16 GB RAM memory NVIDIA RTX 2070 / NVIDIA RTX 2080 / NVIDIA RTX 3070, NVIDIA RTX 3080 Ubuntu 18.04	Четырёхъядерный процессор с тактовой частотой 4ГГц, Nvidia GTX 1080 8GB	Двухъядерный процессор с тактовой частотой 4 ГГц Nvidia GTX 2080
Операционная система для исполнения	Linux, Windows (64-битная ОС)	Linux, Windows 10 (64-битная ОС) (на Windows работает стабильнее, чем на Linux)	Linux, Windows (64-битная)
Графический движок	Unreal Engine	Unity	Unity 3D
Возможность параллелизации тестов	Присутствует	Отсутствует	Отсутствует
Симуляция физических свойств камеры (добавление шума, автоэкспозиция, блики от объекта, глубина резкости)	Присутствует	Отсутствует	Присутствует
Возможность получения низкоуровневых данных о транспортном средстве (давление и угловая скорость в колесах)	Присутствует	Отсутствует	Отсутствует
Возможность интеграции с фреймворками для автономного вождения	Присутствует	Присутствует	Присутствует
API для различных языков программирования	Python API	Python API	Python API
Наличие камер (RGB, семантика, глубина)	Присутствует	Присутствует	Присутствует
Наличие сенсоров IMU, GPS, лидар, радар	Присутствует	Присутствует	Присутствует
Наличие сенсора	Присутствует	Отсутствует	Присутствует
Наличие датчика столкновения	Присутствует	Отсутствует	Присутствует
Наличие датчика нахождения в полосе	Присутствует	Присутствует	Присутствует
Наличие DVS камеры	Присутствует	Отсутствует	Отсутствует
Количество различных видов транспортных средств	14	4	6
Возможность моделирования собственных сценариев	Присутствует	Присутствует частично	Присутствует

управление ускорением и торможением на постоянной основе, но только при ограниченных, конкретных обстоятельствах. Это не считается «автоматизацией» в рамках SAE, потому что динамическая часть задачи вождения не автоматизирована: человек по-прежнему должен быть готов нажать на тормоз (и деактивировать систему), если впереди более медленное движение. Уровень 2 — «частичная автоматизация». Это для систем помощи водителю, которые обеспечивают как рулевое управление, так и управление ускорением и торможением,

но опять же, только при ограниченных обстоятельствах. Если водитель-человек должен регулярно вмешиваться, например, когда автомобиль съезжает с шоссе, то это, вероятно, система уровня 2. Важно отметить, что это не «беспилотное вождение», даже если вроде как кажется, что автомобиль ведет себя сам. SAE определяет уровень 3 как «условную автоматизацию». Разница между уровнем 2 и уровнем 3 заключается в степени. На практике это зависит от ответа на вопрос: насколько внимательным должен быть человек, сидящий за рулем

автомобиля? С системой уровня 2 водитель должен быть очень бдительным, готовым немедленно взять на себя задачу вождения, если система обнаружит что-то, с чем она не может справиться. Ожидается, что на уровне 3 система сможет управлять вождением, пока оно находится в пределах своей «области операционного проектирования», а это означает, что роль человека состоит в том, чтобы быть «запасным вариантом». Уровень 4 — это «высокая автоматизация вождения»: система вообще не нуждается в поддержке человека, пока она работает в своей «области эксплуатационного проектирования». Иными словами, система уровня 4 по-прежнему имеет ограничения, но пока она находится в этих пределах, вмешательство человека не требуется — это настоящее автономное вождение. На практике большинство разрабатываемых сегодня систем «самоуправления» зависят от очень подробных трехмерных карт, которые помогают «мозгу» автомобиля точно знать, где он находится, с точностью до нескольких сантиметров (или меньше). Эти системы обычно используют несколько лидаров для моментального «картографирования» окружения автомобиля. Затем лидарные изображения сравниваются с сохраненной 3D-картой.

Уровень 5 — безусловное (то есть безлимитное) автоматизированное вождение без ожидания вмешательства человека-водителя. Иными словами, система уровня 5 должна быть способна проехать везде, куда может доехать опытный водитель-человек, в любых условиях, с которыми может справиться опытный водитель-человек, полностью самостоятельно. Излишне говорить, что сейчас нет доступных систем уровня 5. Несколько автопроизводителей, в том числе Tesla и BMW, заявили, что в течение нескольких лет у них будут системы 5-го уровня, но многие эксперты считают, что для разработки настоящей автономии 5-го уровня потребуются годы, если это вообще произойдет. В связи с быстрым развитием отрасли беспилотных транспортных средств появляется много инновационных задач. Одна из них — тестирование программного обеспечения. При тестировании необходимо проверить, как будут работать алгоритмы, если на пути беспилотного транспортного средства окажется не только статическое препятствие, но и подвижное, а именно: человек или животное. Также необходимо протестировать алгоритмы в ситуациях, опасных для жизни человека, например, при нарушении пешеходом правил дорожного движения. Большинство компаний использует натурные испытания, во многих случаях возникают проблемы, связанные с безопасностью жизни человека. У компаний, использующих компьютерные технологии, решаются проблемы с помощью симуляторов. Симулятор — приложение, которое воспроизводит реальность и различные сценарии движения транспортного средства, позволяет протестировать различные

алгоритмы. Большинство симуляторов созданы для автотранспорта, они помогают развитию сферы автотестирования. Под нестабильной передачей данных подразумевается задержка пакетов — время, которое необходимо данным, чтобы добраться от источника до «получателя». Совокупная задержка складывается из компонентов:

1. задержка сериализации — время, за которое узел разложит пакет в биты и поместит в линк к следующему узлу. Она определяется скоростью интерфейса.
2. задержка передачи сигнала в среде — результат ограничения скорости распространения электромагнитных волн.
3. задержка обработки пакетов — время на принятие решения и доставку пакета от входного интерфейса до выходного

Исходя из вышеперечисленного можно сделать вывод, что задача разработки симулятора является актуальной задачей, решение которой упростит процесс разработки ПО. Чтобы структурировать всю информацию о трех обозреваемых симуляторах, была составлена сравнительная таблица (табл. 1).

Разработанный симулятор

Движок для симулятора был выбран, исходя из начальных условий. Использовался движок Unity 3D, было решено использовать этот же движок. Для написания клиента был выбран язык программирования Python, так как он очень удобен и легок в применении для данной задачи. Для передачи данных от сервера клиенту был выбран протокол передачи данных protobuf. В процессе создания симулятора осталось объединить наработки двух компаний, добавить необходимых актеров, управляющие воздействие, создать клиент-серверную архитектуру для приема данных и управления симуляцией.

Сервер симулирует мир с актерами, в нем также можно менять погодные условия и время суток. Он также симулирует посылку данных от сенсоров: камер, лидаров, радаров и тепловизора. Также реализована передача истинных значений семантической сегментации и карты глубины. Симулятор включает в себя 3D-модели (пешеходы, животные, велосипедисты, деревья и др.) и сценарий поведения этих объектов. Есть возможность моделировать поведение людей и животных и тестировать реакцию алгоритмов на появление препятствий в разных зонах. Клиент же посылает серверу сигналы управляющего воздействия: включение/выключение фар, подача гудка, экстренное торможение. Физика разгона и торможения состава тоже вынесена в клиентскую часть, данные берутся из протоколов испытаний,

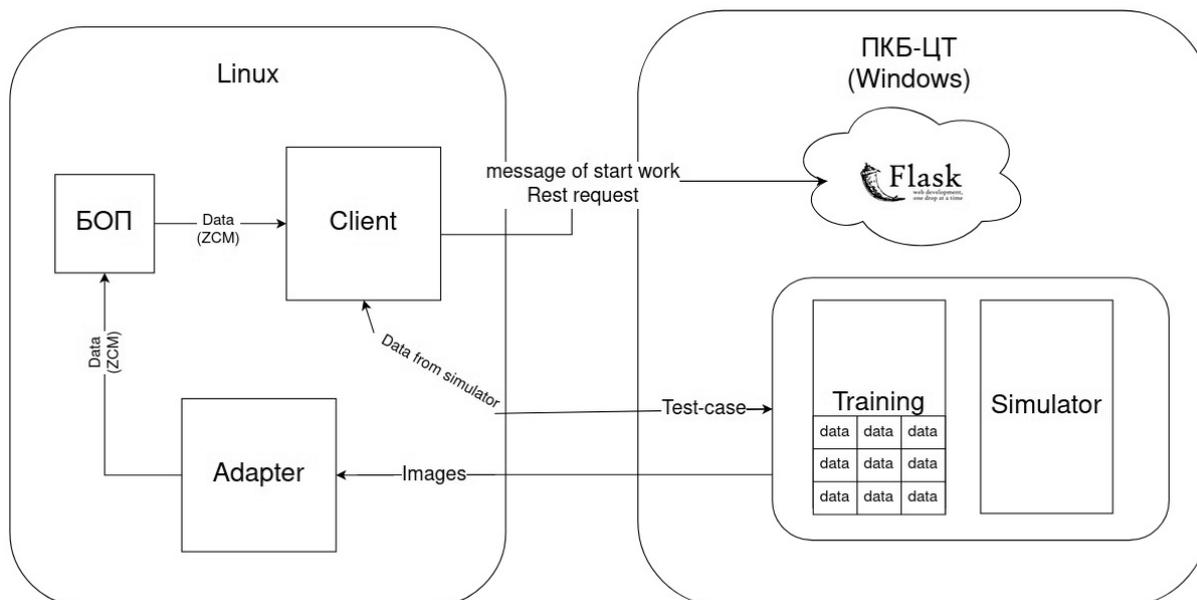


Рис. 1. Схема работы симулятора

а на сервере скорость задается константой. Вся схема представлена на Рис. 1

Основные компоненты симулятора:

- ◆ Симулятор, расположенный на операционной системе Windows.
- ◆ Программное обеспечение, развернутое на OS Linux, обеспечивающее работу тренажера и подключение к симулятору

На операционной системе Windows запускается сервер Flask, после чего запускается программное обеспечение на Linux. Так как с сервером связан клиентский компонент, то запускается именно он. Клиент отправляет сообщение в сервер о начале работы. Сервер после получения сигнала запускает одновременно симулятор и тренажер. Следующий компонент, с которым связан симулятор — адаптер. Работающий симулятор с включенной камерой отправляет кадры адаптеру, после чего идет преобразование в zcm-формат. Клиент отправляет в симулятор данные из тест-кейсов и принимает данные из симулятора и следит, прошел тест-кейс или нет. Когда все тест-кейсы пройдены, то клиент посылает сообщение на сервер, чтобы тот закончил работу симулятора. Все будет выполняться до тех пор, пока все вариации тест-кейсов не закончатся.

Внедрение симулятора

Итак, этапы внедрения симулятора:

1. Проверка работоспособности симулятора в целом

2. Тестирование без препятствий
3. Тестирование с настоящими препятствиями
4. Тестирование редких сценариев
5. Ввод в эксплуатацию

Каждый этап будет рассмотрен подробнее.

На первом этапе внедрения симулятора происходит тестирование данной технологии. Проверяют отправку и получение данных, управляющие воздействие, работу сенсоров, изменение погодных условий и времени суток, включение прожектора, т.е. тестируют симулятор в целом, отдельно от ПО. На данном этапе внедрения симулятора не заменяется ни одно натурное испытание.

На втором этапе симулятор проходит проверку на ложные срабатывания, а именно: проверяется его работоспособность без препятствий. Данный этап поможет исключить срабатывание алгоритма остановки в ситуациях, когда препятствий нет. На данном этапе мы можем заменить 10% натуральных испытаний, ПО уже можно тестировать в различных условиях, но без препятствий.

Далее, идет проверка симулятора на работу с настоящими препятствиями, здесь проверяется отработка разного вида торможений. На данном этапе можно заменить 58% натуральных испытаний. И при необходимости с помощью симулятора уже можно собирать различные датасеты.

Последний этап до ввода симулятора в постоянную эксплуатацию — тестирование редких сценариев. Про-

исходит проверка возможности создания необходимых сценариев и их работоспособности. Здесь процент натуральных испытаний остается таким же, как на предыдущем этапе.

После проведения всех проверок симулятор вводят в эксплуатацию, на данном этапе можно заменить 70% натуральных испытаний тестированием ПО с помощью симулятора.

Понятие нестабильной передачи данных

Для управления информационными пакетами, передаваемыми по сети, разработана технология Quality of Service — это набор технологий, которые запускают высокоприоритетные приложения и трафик при лимитированной пропускной способности. Это означает, что более важный трафик будет обработан быстрее, а задержки по сети будут минимальны. Необходимо разделить трафик с помощью инструментов классификации. Так организации смогут контролировать доступность ресурсов для приоритетных приложений. Потери говорят о том, сколько из отправленных источником пакетов дошло до адресата. Причиной потерь может быть проблема в интерфейсе/кабеле, перегрузка сети, битовые ошибки, блокирующие правила ACL. Что делать в случае потерь решает приложение. Оно может проигнорировать их, как в случае с телефонным разговором, где запоздавший пакет уже не нужен, или перезапросить его отправку — так делает TCP, чтобы гарантировать точную доставку исходных данных.

Задержки — это время, которое необходимо данным, чтобы добраться от источника до получателя. Совокупная задержка складывается из следующих компонентов.

- ◆ Задержка сериализации (Serialization Delay) — время, за которое узел разложит пакет в биты и поместит в линк к следующему узлу. Она определяется скоростью интерфейса. Так, например, передача пакета размером 1500 байтов через интерфейс 100Мб/с займёт 0,0001 с, а на 56 кб/с — 0,2 с.
- ◆ Задержка передачи сигнала в среде (Propagation Delay) — результат ограничения скорости распространения электромагнитных волн. Физика не позволяет добраться из Нью-Йорка до Томска по поверхности планеты быстрее чем за 30 мс (фактически порядка 70 мс).
- ◆ Задержки, вносимые QoS — это томление пакетов в очередях (Queuing Delay) и последствия шейпинга (Shaping Delay).
- ◆ Задержка обработки пакетов (Processing Delay) — время на принятие решения, что делать с пакетом: lookup, ACL, NAT, DPI — и доставку его от входного интерфейса до выходного.

Заключение

В рамках данной работы был рассмотрен проект создания симулятора для беспилотного железнодорожного транспорта. В ходе работы были изучены и проанализированы симуляторы для автомобильного беспилотного транспорта, была подробно рассмотрена их архитектура, наполнение и способы применения, понятие нестабильной передачи данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Статья «История беспилотных автомобилей» [Электронный ресурс] URL: <https://bespilot.com/info/istoriya>;
2. John Rosevear, «Self-Driving Cars: Understanding the 6 Autonomous Levels», 2018
3. J. Banks; J. Carson; B. Nelson; D. Nicol (2001). Discrete-Event System Simulation. Prentice Hall. p. 3. ISBN978-0-13-088702-3;
4. A. Dosovitskiy, G. Ros, F. Codevilla, A. López and V. Koltun, «CARLA: An open urban driving simulator», Conference on Robot Learning (CoRL), 2017
5. A. Dosovitskiy «CARLA Documentation». [Электронный ресурс]: CARLA Simulator. URL: https://carla.readthedocs.io/en/latest/start_introduction/;
6. Rong, Guodong and Shin, Byung Hyun and Tabatabaee, Hadi and Lu, Qiang and Lemke, «LGSVL Simulator: A High Fidelity Simulator for Autonomous Driving», arXiv preprint, 2020;
7. Ermakov N.V., Molodyakov S.A. A caching model for a quick file access system // Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2021. T. 1864. № 1.

© Долматов Роман Александрович (d_roman.kst@mail.ru), Молодяков Сергей Александрович (samolodyakov@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ИОНОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЫ В СПОКОЙНЫХ И ВОЗМУЩЕННЫХ УСЛОВИЯХ¹

NUMERICAL STUDY OF THE DYNAMICS OF IONOSPHERIC PLASMA IN QUIET AND DISTURBED CONDITIONS

S. Ishanov
N. Kashchenko
E. Zubkov
D. Savkin
V. Khudenko

Summary. A method for numerical simulation of non-stationary equations of the dynamics of the ionosphere-plasmasphere system in geomagnetic plasma tubes of arbitrary size is presented.

The mathematical model is based on the quasi-hydrodynamic description of plasma and considers the dynamics of the ionospheric-plasmospheric exchange, the processes of chemical kinetics, considering impact ionization by energetic magnetospheric ions, heat transfer in the ionospheric plasma, the diffusion of electron-ionic gas, considering the neutral wind, the transfer and thermalization of superthermal electrons.

Based on the results of numerical modeling of processes in the near-Earth space plasma under various heliogeophysical conditions, the spatiotemporal distributions of the key macroscopic parameters (density, velocities, and temperatures) of the ionospheric-magnetospheric plasma have been obtained and analyzed.

Keywords: hydrodynamics, numerical simulation, computational experiment, ionosphere, plasmasphere, numerical methods, evolution of disturbances.

Ишанов Сергей Александрович

*Д.ф.-м.н., профессор, ФГАОУ ВО «БФУ им. И. Канта»
 (Калининград)*

sishanov@kantiana.ru

Кащенко Николай Михайлович

*Д.ф.-м.н., профессор, ФГАОУ ВО «БФУ им. И. Канта»
 (Калининград)*

nkashchenko@kantiana.ru

Зубков Евгений Вячеславович

Старший преподаватель, ФГАОУ ВО «БФУ им. И. Канта» (Калининград)

evgenyuzubkov@mail.ru

Савкин Дмитрий Александрович

Доцент, ФГАОУ ВО «БФУ им. И. Канта» (Калининград)

DSavkin@kantiana.ru

Худенко Владимир Николаевич

*К.ф.-м.н., профессор, ФГАОУ ВО «БФУ им. И. Канта»
 (Калининград)*

VKHudenko@kantiana.ru

Аннотация. Представлен метод численного моделирования нестационарных уравнений динамики системы ионосфера-плазмосфера в геомагнитных плазменных трубках произвольного размера.

Математическая модель основана на квазигидродинамическом описании плазмы и учитывает динамику ионосферно-плазмосферного обмена, процессы химической кинетики с учетом ударной ионизации энергичными магнитосферными ионами, теплоперенос в ионосферной плазме, диффузию электронно-ионного газа с учетом нейтрального ветра, перенос и термализацию сверхтепловых электронов.

По результатам численного моделирования процессов в околоземной космической плазме в различных гелиогеофизических условиях получены и проанализированы пространственно-временные распределения ключевых макроскопических параметров (концентрации, скоростей и температур) ионосферно-магнитосферной плазмы.

Ключевые слова: гидродинамика, численное моделирование, вычислительный эксперимент, ионосфера, плазмосфера, численные методы, эволюция возмущений.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 20–01–00361).

Введение

Математическое моделирование ионосферно-плазмосферных взаимодействий важно как для изучения структуры ионосферы и физики протекающих в ней процессов, интерпретации и анализа наблюдаемых особенностей среды, так и для прогноза возможного поведения околоземной космической плазмы.

Основные подходы к теоретическим исследованиям динамики ионосферно-плазмосферного переноса околоземной плазмы в принципиально неоднородной (экспоненциальной по плотности и давлению) среде связываются с применением методов математического моделирования, реализующих в различных приближениях решения уравнений гидродинамики и физической кинетики.

Целью работы является исследование динамики плазмы среднеширотной ионосферы и плазмосферы в возмущенных и спокойных условиях с учетом широкого спектра геофизических факторов, ответственных за образование этих структур: сложного состава ионосферной плазмы, диффузии электронно-ионного газа, фотохимии, дипольной геометрии геомагнитного поля, электрического дрейфа, ионосферно-плазмосферного обмена, кинетики сверхтепловых электронов [1–4].

Используемая в данной работе численная модель системы ионосфера-плазмосфера, основанная на системе уравнений магнитной гидродинамики, позволяет рассчитывать концентрации, температуры и скорости ионов $H^+, He^+, O^+, N^+, N_2^+, O_2^+, NO^+$ и электронов вдоль геомагнитной силовой трубки от высоты 125 км до нескольких радиусов Земли.

В модели также решаются уравнения диффузии для малых нейтральных и возбужденных компонент, в том числе и таких как $O(^1D), N(^2D), O_2(A^1\Delta g), H_2O, N_2^{(v)}$.

В статье представлены полученные для средних широт результаты вычислительных экспериментов в различных гелиогеофизических условиях.

1. Математическая модель и вычислительные методы

Специфику рассматриваемого класса задач определяет возможность одновременного присутствия разномасштабных процессов: возникновения и эволюции сильных разрывов, различающихся долей внутренней и кинетической энергии плазмы в возмущенной области, большой неоднородности невозмущенных параметров на рассматриваемых масштабах ионосферы и плазмос-

феры, длительных времен подлежащих моделированию процессов, образующихся и эволюционирующих под совместным действием магнитного поля Земли и силы тяжести.

В используемой численной модели ионосфера и плазмосфера рассматриваются как единая система, состоящая из множества заполненных тепловой плазмой геомагнитных силовых трубок [3, 4].

Полагаем, что макроскопическое движение плазмы происходит вдоль геомагнитного поля. Выбором дипольной системы координат сведем физическую задачу трехмерного движения плазмы к двумерной математической задаче в переменных s (координата вдоль силовой линии) и t (время).

Математическая модель основана на численном решении системы уравнений гидродинамики частично ионизированной плазмы для ионов и электронов. Система уравнений непрерывности, движения и теплового баланса для заряженных компонентов может быть записана [2–4] в следующем виде:

$$\frac{\partial n_\alpha}{\partial t} + \frac{1}{A} \frac{\partial A n_\alpha u_\alpha}{\partial s} + L_\alpha n_\alpha = Q_\alpha \tag{1}$$

$$\frac{\partial n_\alpha}{\partial t} + u_\alpha \frac{\partial u_\alpha}{\partial s} + \frac{1}{m_\alpha n_\alpha} \frac{\partial P_\alpha}{\partial s} = F_\alpha \tag{2}$$

$$\frac{3}{2} k n_\alpha \left(\frac{\partial T_\alpha}{\partial t} + u_\alpha \frac{\partial T_\alpha}{\partial s} \right) + \frac{P_\alpha}{A} \frac{\partial A u_\alpha}{\partial s} - \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial s} \left(A \lambda_\alpha \frac{\partial T_\alpha}{\partial s} \right) = \Theta_\alpha \tag{3}$$

Здесь $n_\alpha, u_\alpha, T_\alpha, m_\alpha, P_\alpha$ — соответственно концентрация, продольная скорость, температура, масса, давление частиц сорта α , A — расходимость силовых линий магнитного поля, L_α — коэффициент рекомбинации, Q_α — функция ионизации, F_α — проекция внешних сил (гравитация, силы трения, электрические силы) на силовую линию магнитного поля, λ_α — коэффициент теплопроводности, Θ_α — разность скоростей нагрева и охлаждения, k — постоянная Больцмана.

Положим справедливым условие квазинейтральности плазмы

$$u_e = \frac{1}{N_e} \sum_{i=1}^9 n_i u_i.$$

Химические реакции, определяющие кинетику ионов, а также образующихся в результате их взаимодействия с нейтральными компонентами молекулярных ионов, представлены в [5–9].

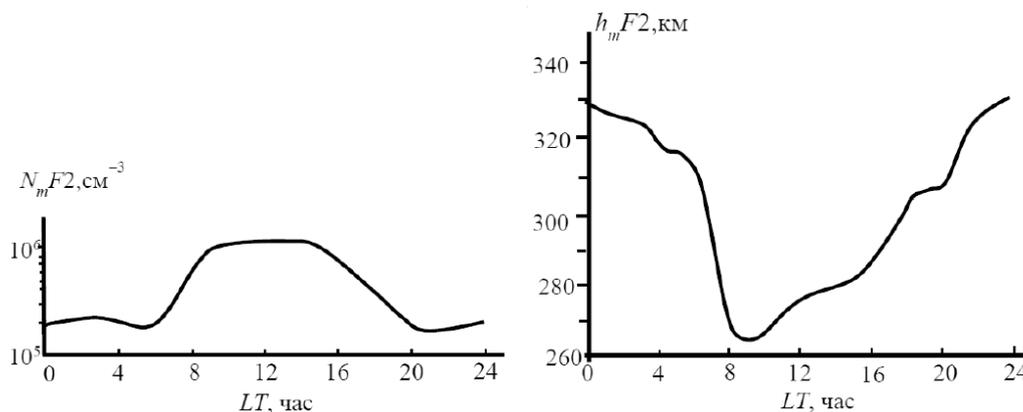


Рис. 1. Суточный ход изменения концентрации электронов в максимуме и высоты максимума

Учет взаимодействия плазмы с горизонтальным термосферным ветром на ионосферных высотах проводится так же, как в [2]. Члены Θ_{av} входящие в уравнения теплового баланса (3), которые учитывают упругие и неупругие процессы обмена энергией между заряженными частицами и нейтральными составляющими, взяты из [9]. Для расчета нагрева тепловой плазмы сверхтепловыми электронами решалось кинетическое уравнение для сверхтепловых электронов [2]. Нестационарные уравнения фотохимического равновесия для молекулярных ионов O_2^+ , NO^+ , N_2^+ записываются в виде

$$\frac{\partial n_i}{\partial t} = Q_i - \alpha_i n_i, \quad i = 3, 4, 5. \quad (4)$$

Высотно-временное распределение метастабильных и малых нейтральных компонент описывается дифференциальным уравнением в частных производных параболического типа

$$\frac{\partial N_k}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial s} \left(D_k \frac{\partial N_k}{\partial s} + \beta_k N_k \right) - \alpha_k N_k + Q_k,$$

где N_k — концентрация k -й нейтральной составляющей, Q_k и α_k — члены, учитывающие образование и потери частиц в фотохимических реакциях, D_k — коэффициент молекулярной диффузии.

Численное решение системы уравнений модели осуществлялось вдоль геомагнитной силовой линии с применением метода конечных разностей. Линеаризация разностных уравнений проводилась с использованием значений неизвестных функций, взятых с предыдущего временного слоя, с последующими итерациями по нелинейности и связанности уравнений.

Усовершенствованы численные методы решения уравнений для многокомпонентной ионосферно-магнитосферной плазмы [10–12]. Основное внимание уделено методам решения системы уравнений непрерывности

и движения ионов. Разработаны вычислительные алгоритмы, решающие уравнения переноса в гидродинамическом приближении. Вычислительные эксперименты показали успешность применения этих алгоритмов при моделировании стационарных и периодических процессов в системе ионосфера-плазмосфера.

Разработан вычислительный алгоритм расчета скорости нагрева тепловой плазмы фотоэлектронами в плазмосфере и ионосфере Земли. С использованием кинетического уравнения вычислялись энергетические спектры сверхтепловых электронов в магнитосжатых областях с учетом эффектов захвата и потерь энергии при их прохождении через плазмосферу. Для решения уравнений переноса сверхтепловых электронов разработаны абсолютно устойчивые разностные схемы и алгоритмы их решения.

2. Результаты численного моделирования

В рамках представленной модели проведен ряд вычислительных экспериментов в различных гелиогеофизических условиях и показаны основные закономерности в динамике переноса и химической кинетике компонент ионосферной плазмы.

Для расчета пространственно-временных вариаций концентраций и температуры нейтральных компонентов He , O , H , N , N_2 , O_2 используется модель термосферы MSIS [13].

Для решения нестационарных задач эволюции системы ионосферы-плазмосфера в спокойных и возмущенных условиях были проведены усовершенствования вычислительных методов и алгоритмов.

В качестве первой модельной задачи был выбран расчет макроскопических параметров для среднеши-

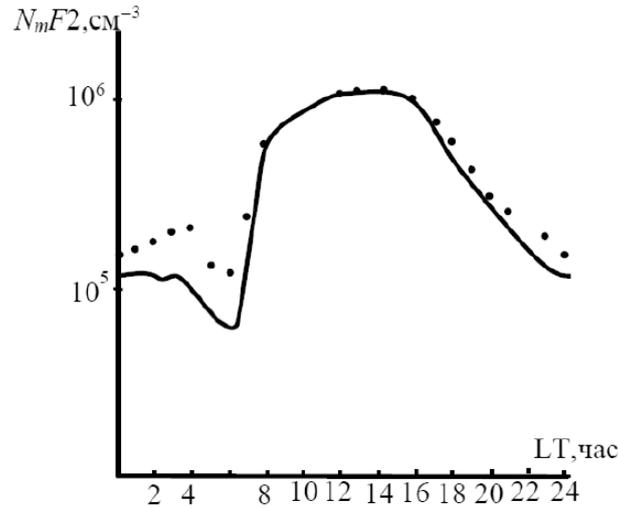


Рис. 2. Суточная вариация значений $N_m F2$, вычисленная с помощью ионосферно-плазмосферной модели (сплошная кривая), экспериментальные измерения значений $N_m F2$ обозначены кружками

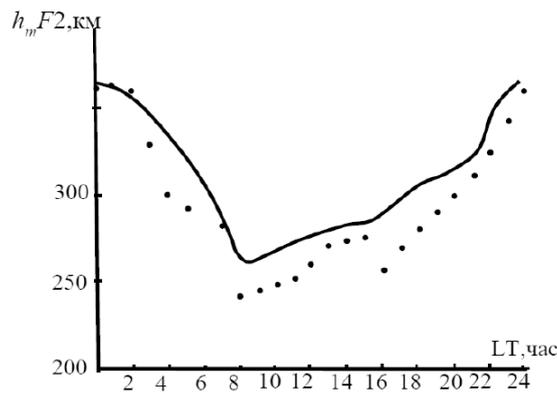


Рис. 3. Суточная вариация значений $h_m F2$ — модельные расчеты (сплошная кривая) и полученная на основе измерений (обозначена кружками)

ротной силовой трубки геомагнитного поля (параметр Мак-Илвайна $L = 3$) и низкой солнечной активности (индекс $F_{10.7} = 70$) и начало года (зима в северном полушарии, лето — в южном).

На рис. 1 представлен суточный ход изменения концентрации электронов в главном ионосферном максимуме и высоты максимума. Расчеты выполнены для среднеширотной силовой трубки геомагнитного поля ($L = 3$) и низкой солнечной активности $F_{10.7} = 70$.

На рис. 2 и 3 приведены суточные вариации параметров $N_m F2$ и $h_m F2$ — важных для целей прогнозирования [14]. Проведенное сравнение модельных расчетов с экспериментальными данными в случае высокой солнечной активности (зима) и $L = 3,2$ показывает удовлетворительное согласие между ними.

В следующей модельной задаче, на основе численного исследования распределения плазмы вдоль силовой трубки геомагнитного поля рассмотрим динамику области пониженной электронной концентрации, образуемой при химическом техногенном возмущении [5, 15].

Рассмотрим результаты антропогенного поступления воды в области дневного максимума F2 в полдень.

На рис. 3 показан суточный ход $N_m F2$ и $h_m F2$, рассчитанный для этого техногенного воздействия.

Резкое уменьшение электронной концентрации в начальный период практически совпадает с данными работ, ограничивавшихся рассмотрением только области F2.

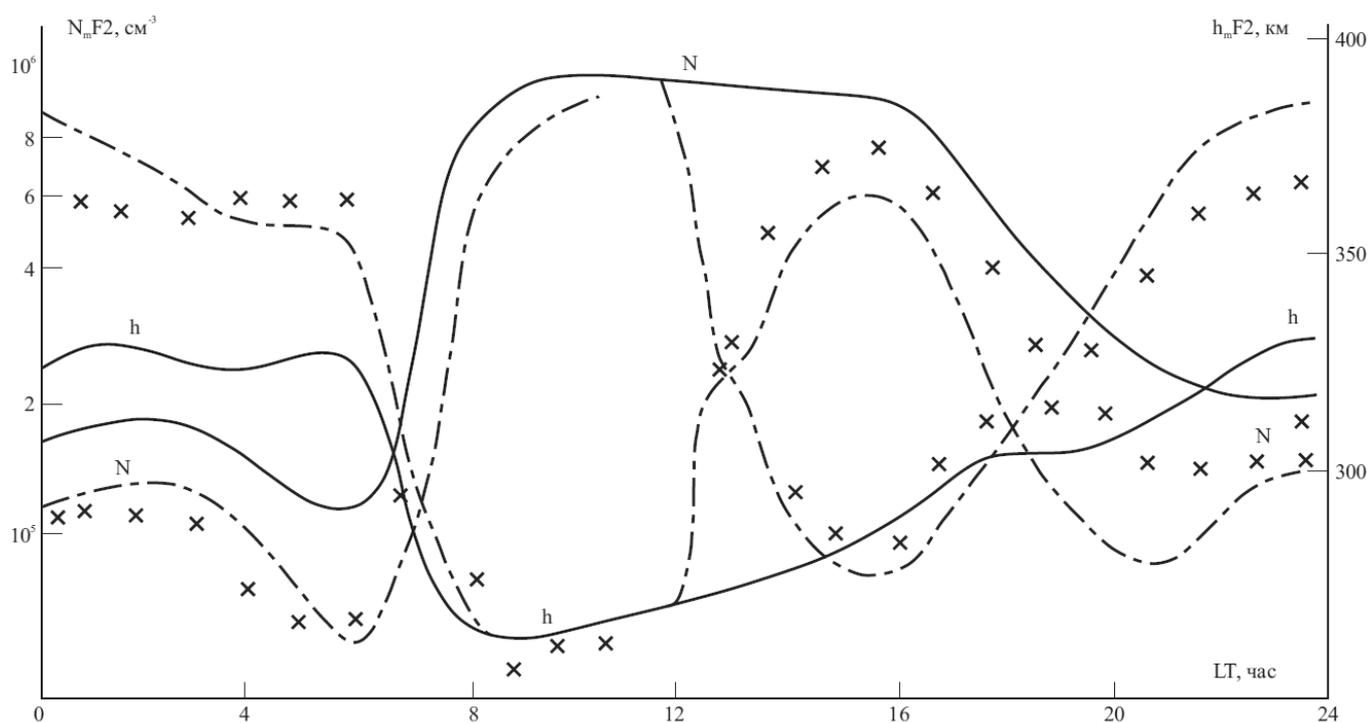


Рис. 4. Временные вариации максимума концентрации и высоты F слоя. Сплошные линии — профили, соответствующие невозмущенным условиям; штрихпунктирные — антропогенному возмущению в 12.00 LT с учетом образующегося атомарного водорода; крестики — такому же возмущению без водорода

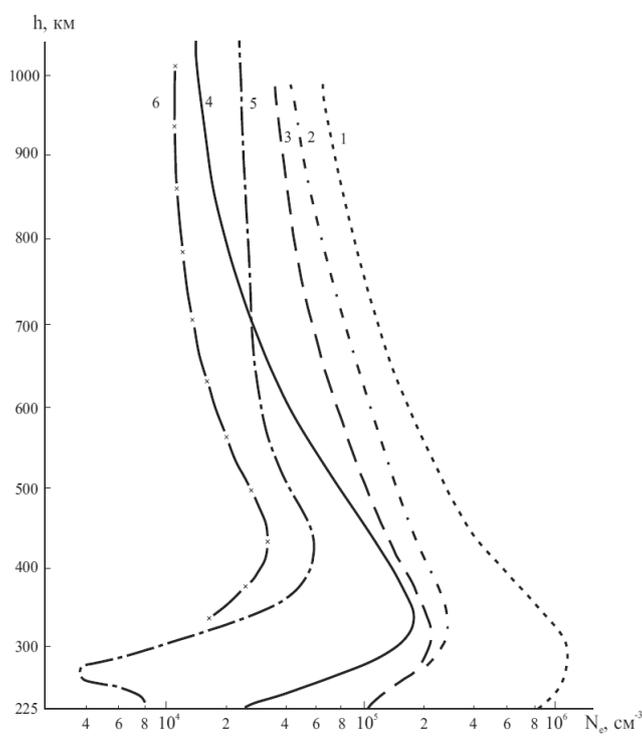


Рис. 5. Высотные профили электронной концентрации.

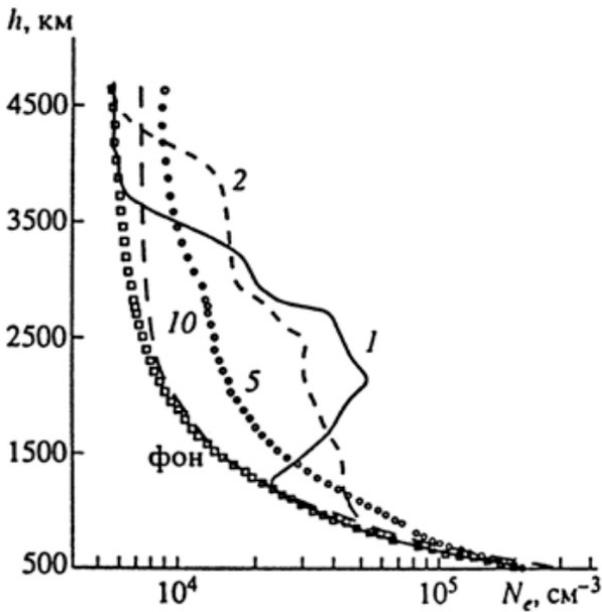


Рис. 6. Высотные профили электронной концентрации для различных моментов времени в Северном полушарии. Цифры у кривых соответствуют времени (в мин), прошедшему после возмущения плазмосферы

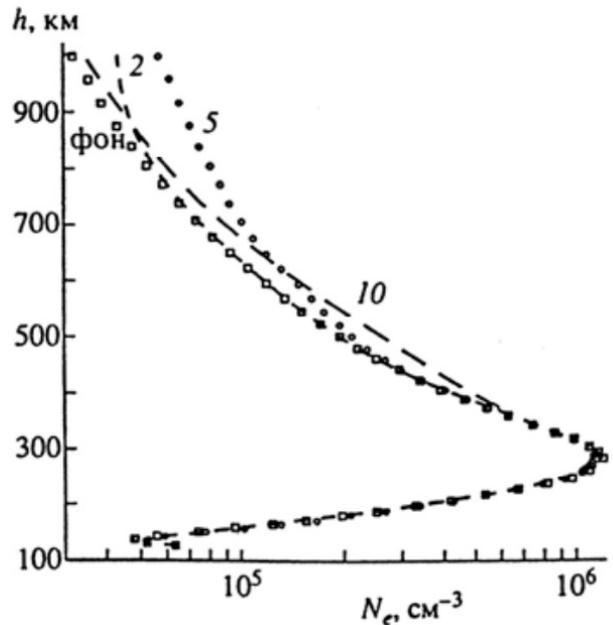


Рис. 7. Высотные профили электронной концентрации в области ионосферы для различных моментов времени в Северном полушарии. Обозначения как на рис. 6

Учет физико-химических процессов вдоль всей силовой трубки позволяет установить существование области пониженной электронной концентрации на больших интервалах времени. На рис. 4 видно, что вплоть до начала восхода в следующие сутки в области максимума F2 наблюдается понижение электронной концентрации приблизительно в 2 раза по сравнению со спокойными условиями, соответствующими суточному ходу N_mF2 при отсутствии химического возмущения.

Высота максимума при этом сдвигается вверх и это отличие h_mF2 от фона также сохраняется вплоть до восхода.

Изменениям N_mF2 и h_mF2 соответствует изменение всего высотного профиля электронной концентрации N_e , как это видно из рис. 4, на котором приведено изменение высотного распределения N_e через 1 час после техногенного воздействия.

Профили 1–3 (антропогенное воздействие в 12.00 LT) соответствуют 13.00 LT, кривые 4–6 (антропогенное возмущение в 00.00 LT) — 03.00 LT. Профили 1, 4 соответствуют невозмущенным условиям. Кривые 3, 5 соответствуют антропогенным воздействиям с учетом атомарного водорода, а профили 2 и 6 — таким же воздействиям без учета водорода

Особо следует отметить необходимость учета влияния атомарного водорода, который образуется из молекул воды в результате перезарядки с ионами O^+ и последующей рекомбинации ионов H_2O^+ . Увеличение содержания водорода прежде всего приводит к дополнительному уменьшению N_mF2 (см. рис. 4), т.е. к увеличению области с дефицитом электронной концентрации, как это видно из сравнения соответствующих кривых на рис. 5.

В качестве следующей модельной задачи был выбран расчет ионосферно-плазмосферных параметров в условиях возмущения плотности и температуры плазмы в силовой трубке с параметром $L = 3$ для средней геомагнитной и солнечной активности (индексы $K_p = 3$, $F_{10.7} = 150$) и начала года (зима в Северном полушарии, лето в Южном).

В геомагнитной силовой трубке с установившимся режимом техногенное воздействие задавалось в полдень в Северном полушарии гауссоподобным распределением концентрации и температуры электронов с максимальным значением на высоте 2350 км ($N_e[2350] = 1,6 \cdot 10^5 \text{ см}^{-3}$, $T_e[2350] = 1 \text{ эВ}$). Размер области возмущения на высоте — 900 км.

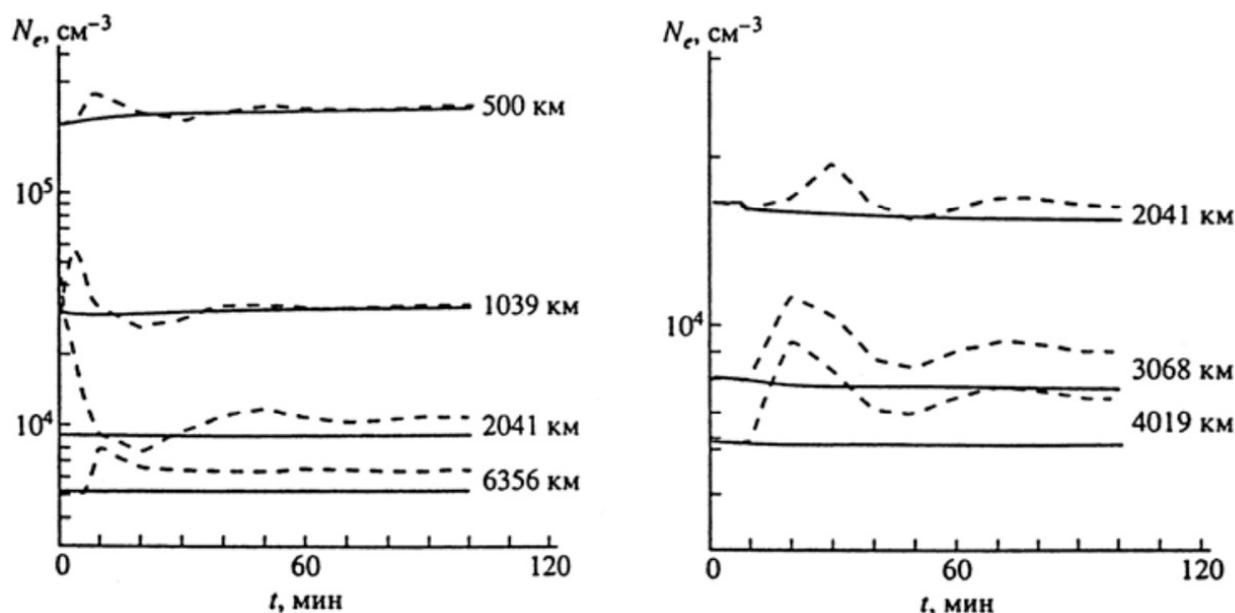


Рис. 8. Временные вариации электронной концентрации на фиксированных высотах в Северном полушарии. Сплошные кривые соответствуют невозмущенным условиям

На рис. 6, 7 представлены высотно-временные распределения электронной концентрации до и после динамического воздействия. Результаты, показанные на рис. 6, позволяют проследить распространение возмущения вверх и вниз по геомагнитной трубке. Время релаксации электронной концентрации к фоновым значениям составляет примерно 10 мин в интервале высот 300–2500 км. Динамическое воздействие не вызвало заметного отклика на высотах F-области (рис. 7), однако через 5 мин после начала возмущения на высоте 900 км концентрация электронов возросла в 1.7 раза, а на высоте 500 км спустя 10 мин — в 1.3 раза.

На рис. 8 представлены временные изменения концентрации электронов на избранных высотах. Очевидно, по мере удаления от места локализации динамического воздействия амплитуда возмущения уменьшается, причем наблюдается фазовый сдвиг максимального значения концентрации, изменяющийся с высотой. Для Северного полушария (рис. 8) заметно некоторое понижение электронной концентрации через 20–30 мин после возмущения на высотах 500–2100 км, обусловленное, по-видимому, динамическими факторами. Возмущение плазмосферы в Северном полушарии вызывает перенос тепловой плазмы через экватор в Южное полушарие. Характерные времена прохождения возмущения в Южное полушарие составляют 20–40 мин.

Таким образом, техногенное возмущение температуры и плотности плазмы на высотах плазмосферы пере-

носится вдоль геомагнитного поля от места локализации в ионосферу и магнитосопреженную область.

Заключение

Представлен метод численного исследования динамики околоземной космической плазмы в дипольном магнитном поле на высотах более 125 км.

Предложенный подход реализован в виде физико-математической модели ионосферно-плазмосферного взаимодействия, позволяющей воспроизводить пространственно-временное распределение параметров тепловой плазмы и сверхтепловых электронов в спокойных и возмущенных условиях.

В результате вычислительных экспериментов показаны основные закономерности в динамике переноса и химической кинетике заряженных частиц в различных гелиогеофизических условиях, включая техногенные воздействия.

Вычислительные эксперименты показали, что корректная постановка задачи численного моделирования процессов в системе ионосфера-плазмосфера формулируется для полной системы уравнений движения и непрерывности гиперболического типа.

Работоспособность и численная устойчивость построенной модели по входным данным подтверждены результатами решений нестационарных задач динамики и энергетики околоземной космической плазмы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Современные достижения в плазменной гелиогеофизике // Под редакцией Зеленого Л.М., Петруковича А.А., Веселовского И.С. М.: Физматлит, 2019. — 688 с.
2. Латышев К.С., Зинин Л.В., Ишанов С.А. Математическое моделирование околоземной космической плазмы // Энциклопедия низкотемпературной плазмы, 2008, т. 7–1, ч. 3, с. 337–349.
3. Тащилин А.В., Романова Е.Б. Численное моделирование диффузии ионосферной плазмы в дипольном геомагнитном поле при наличии поперечного дрейфа // Математическое моделирование. 2013. Т. 25, № 1. С. 3–17.
4. Ишанов С.А., Мацула П.В. Вычислительный эксперимент при моделировании динамики антропогенных возмущений ионосферно-магнитосферной плазмы // Математическое моделирование. 2012. Т. 24, № 6. С. 128–136.
5. Ишанов С.А., Леванов Е.И., Медведев В.В., Залеская В.А. Магнитосферно-ионосферные изменения, вызванные полетами космических аппаратов // Инженерно-физический журнал. Национальная Академия наук Беларуси. — 2006. — Т. 79, № 6. — С. 11–15.
6. Брюнелли Б.Е., Намгаладзе А.А. Физика ионосферы. — М.: Наука, 1988, 528 с.
7. Barakat A.R., Schunk R.W., Moore T.E., Waite J.H. Ion escape fluxes from the terrestrial highlatitude ionosphere // J. Geophys. Res., 1987, v. 92, № 11, p. 12255–12266.
8. Richards P.G. Reexamination of ionospheric photochemistry. J. Geophys. Res. 2011, vol. 116, iss A8, A08307.
9. Кринберг Н.А., Тащилин А.В. Ионосфера и плазмосфера. — М.: Наука, 1984, 189 с.
10. Елизарова Т.Г., Четверушкин Б.Н. Об одном вычислительном алгоритме для расчета газодинамических течений // ДАН СССР, 1984, т. 279, № 1, с. 80–83.
11. Самарский А.А. Теория разностных схем. — М.: Наука, 1983.
12. Chetverushkin B., D'Ascenzo N., Ishanov S., Saveliev V. Hyperbolic type explicit kinetic scheme of magneto gas dynamics for high performance computing systems // Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modeling. 2015. 30(1). P. 27–36.
13. Hedin A.E. Thermospheric model // J. Geophys. Res., 1987, v. 92, № A5, p. 4649 4662.
14. Evans J.V. A study of F2-region daytime vertical ionization fluxes at Millstone Hill during 1969 // Planet. and Space Sci. — 1975. — Vol. 23, № 11. — P. 1461–1482.
15. Ступицкий Е.Л., Холодов А.С. Физические исследования и математическое моделирование крупномасштабных геофизических экспериментов: Монография // Издательский Дом Интеллект. 2018.

© Ишанов Сергей Александрович (sishanov@kantiana.ru), Кашченко Николай Михайлович (nkashchenko@kantiana.ru),
Зубков Евгений Вячеславович (evgenyzubkov@mail.ru), Савкин Дмитрий Александрович (DSavkin@kantiana.ru),
Худенко Владимир Николаевич (VKHudenko@kantiana.ru).
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОСТИ СВЕТОФОРНОГО ОБЪЕКТА

EXPANDING THE FUNCTIONALITY OF A TRAFFIC LIGHT OBJECT

U. Kazakova
L. Makukha
B. Romanova
A. Sidorov

Summary. A pedestrian crossing is a place of increased danger. The article substantiates the need to optimize the means of traffic light regulation. The ways of improving the traffic light facility are proposed, which will increase the capacity and safety of the road section of the city network through adaptive regulation, classification of pedestrians and informing traffic participants about the amount of time before switching traffic signals.

Keywords: pedestrian crossing, smart traffic light, microcontroller, traffic management, traffic safety, traffic flow, traffic congestion.

Казакова Ульяна Викторовна

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»
 utnilka33@gmail.com

Макуха Любовь Витальевна

Старший преподаватель, ФГАОУ ВО «Сибирский
 федеральный университет»
 makuha_lv@mail.ru

Романова Богдана Борисовна

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»
 rb20122000@mail.ru

Сидоров Анатолий Юрьевич

Старший преподаватель, ФГАОУ ВО «Сибирский
 федеральный университет»
 asidorov@sfu-kras.ru

Аннотация. Пешеходный переход является местом повышенной опасности. В статье обосновывается необходимость оптимизации средств светофорного регулирования. Предложены способы усовершенствования светофорного объекта, которые позволят повысить пропускную способность и безопасность дорожного участка сети города за счет адаптивного регулирования, классифицирования пешеходов и информирования участников движения о количестве времени до переключения сигналов светофора.

Ключевые слова: пешеходный переход, умный светофор, микроконтроллер, управление транспортными потоками, безопасность дорожного движения, транспортный поток, дорожный затор.

Резкий рост автотранспортного парка и объема перевозок в городах привел к интенсивному увеличению загруженности транспортных сетей и как следствие, к увеличению количества дорожно-транспортных происшествий (ДТП), числа задержек транспорта и ухудшению состояния окружающей среды [1].

Заторы, вызванные перегруженностью транспортных сетей, становятся ежедневной проблемой для разных слоев населения. Данная проблема приводит к экономическим и временным потерям, а также негативно сказывается на окружающей среде из-за большего объема выхлопных газов, выделяемых в атмосферу.

Одним из способов снижения нагрузки на транспортную сеть является внесение изменений в инфраструктуру города. Однако такой способ требует значительных временных и финансовых затрат.

Повторное использование существующей инфраструктуры, с использованием автоматизированных систем управления дорожным движением и современных методов управления трафиком, будет способствовать

минимизированию нагрузки на транспортную сеть, а также создаст более благоприятные и безопасные условия для передвижения пешеходов. Это обуславливает разработку новых методов повышения эффективности контроля трафиком. В данном направлении наиболее перспективными следует считать автоматизированные подходы к управлению движением.

Технологический прогресс неизбежен, ведь человек с каждым днем стремится к «городу будущего». На данный момент проводятся многочисленные работы по разработке и улучшению беспилотных автомобилей большим количеством компаний — от небольших IT-стартапов до гигантов автопрома [2], с целью сделать передвижение безопасным. Для того чтобы получить максимум от беспилотных транспортных средств, однозначно необходимо иметь оборудованную инфраструктуру. Автомобили уже научились общаться со светофорами и остальными участниками движения. Такая технология связи между транспортом и инфраструктурой называется vehicle to infrastructure (V2I) — двунаправленный беспроводной обмен данными между дорожной инфраструктурой и транспортными средствами.

Передача информации происходит от разметки полос движения, дорожных знаков, светофоров к транспортному средству и наоборот [3].

Для усовершенствования инфраструктуры уже были придуманы новые идеи технологий, которые можно было бы ввести в эксплуатацию:

- ◆ дорожная разметка, которая работает с автоматизированными датчиками транспортных средств для обнаружения линий разметки. За счет этого автомобиль всегда будет знать свое положение относительно линий разметки при любых погодных условиях. На данный момент, в Нидерландах на дорожном шассе применяют альтернативное решение — использование светящейся в темноте дорожной разметки. Маркировка выполнена краской, содержащей светящийся порошок, который «заряжается» в течение дня [4];
- ◆ светоотражающие дорожные знаки, которые видны при любой погоде водителям и автоматизированным системам транспортных средств;
- ◆ точки беспроводной связи, которые будут уведомлять транспортное средство, например, о зонах ДТП или строительных зонах, тем самым корректируя транспортный поток, его мобильность и безопасность;
- ◆ усовершенствованное дорожное покрытие с датчиками, которые будут определять скорость, направление и плотность автомобильного потока. Так же данное покрытие будет реагировать на различного рода опасные ситуации: ДТП или превышение скорости;

В настоящее время уже используются V2I-технологии в разных зарубежных странах:

- ◆ приложение, информирующее водителя о текущем состоянии фаз светофора, о количестве времени, оставшемся до переключения сигнала;
- ◆ приложение, которое показывает заполненность, стоимость и местонахождение стоянки;
- ◆ система, контролирующая ситуацию выезда автомобиля на перекресток при запрещенном сигнале светофора или нарушении знака «стоп»;
- ◆ предупреждения об отсутствии возможности проезда автомобиля по участку дороги, основываясь на его габаритах;

В России также есть некоторые технологии V2I. Самая известная это государственная система ЭРА-ГЛОНАСС. Она была разработана для того, чтобы экстренные службы получили возможность максимально быстро реагировать на автомобильные аварии и другие происшествия. Благодаря внедрению этой системы, врачи, пожарные или спасатели стали значительно быстрее получать информацию об инциденте и прибывать на место

ДТП, что позволило снизить уровень смертности и травматизма. При аварии срабатывают датчики, установленные в автомобиле. Современные системы фиксируют боковые столкновения, задние и передние удары, а также перевороты транспортного средства. После срабатывания датчиков терминал ЭРА-ГЛОНАСС осуществляет вызов по мобильной сети. Для таких экстренных вызовов был выделен отдельный диапазон кодов (от 941 до 949) [5].

В нескольких городах России установлены умные светофоры японской компании Kyosan Electric. В результате установки данной системы пробки сократились на 20–30%, а аварии на перекрестках с участием детей сократились на 100% [6].

Разработку новых идей и технологий необходимо производить и для светофорных объектов. При анализе систем светофорного регулирования были выделены следующие направления в усовершенствовании светофорных объектов.

1. Адаптивное регулирование

Такой метод регулирования транспортного потока имеет значение только на участках дорог с периодической нагрузкой, например, в часы пик. При постоянной загруженности дороги светофорному объекту не к чему будет адаптироваться. Основой такой оптимизации дорожного движения являются регулярно обновляемые данные о транспортной обстановке, получаемые с датчиков, камер, установленных в пределах дорожной сети. На основе получаемой информации могут применяться следующие меры:

- ◆ организация реверсивного движения;
- ◆ адаптивное регулирование перекрестков;
- ◆ координированное управление сети перекрестков;
- ◆ назначение рекомендуемой скорости движения [7].

2. Классифицирование участников движения

Инфраструктура некоторых городов уже приспособлена к определению таких параметров как, плотность потока, габариты и скорость отдельных автомобилей. Также можно приспособить инфраструктуру к определению наличия пешеходов у светофорного объекта, их количества, возраста и физических особенностей. Например, для того чтобы перейти дорогу пожилому человеку потребуется чуть больше времени, чем молодому, поэтому и зеленый сигнал светофора нужно включать на большее количество секунд.

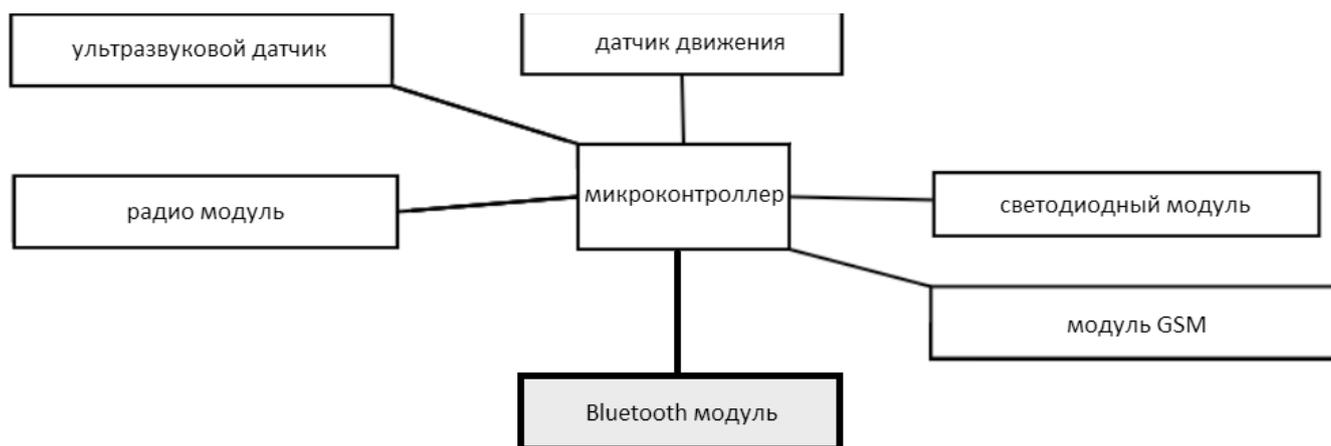


Рис. 1. Структурная схема «умный светофор» с Bluetooth модулем

3. Взаимодействие светофорного объекта с участниками движения

Большинство GPS-навигаторов транслируют загруженность дороги в реальном времени. Основываясь на этой информации, участники дорожного движения принимают решение о том, по какому маршруту следовать, что отчасти сглаживает поток. Если у участников движения будет информация о том, через какое количество времени произойдет переключение сигналов светофора, то регулируя свою скорость, они могут с большей вероятностью преодолевать светофор на разрешающий сигнал.

Виды взаимодействий:

- ◆ Светофор-Пешеход. При данном виде взаимодействия светофор передает информацию о своем местоположении и о времени, через которое произойдет смена сигналов, на личное устройство пешехода.
- ◆ Светофор-Транспортное средство. При данном виде взаимодействия каждый светофор передает информацию GPS-навигатору о своем местоположении и о времени, через которое произойдет смена сигналов светофора.
- ◆ Светофор-Другая «умная электроника». При данном виде взаимодействия каждый светофор передает информацию о своем местоположении и о времени, через которое произойдет смена сигналов светофора умному устройству, например, роботу-курьеру для построения маршрута с минимальным количеством остановок.

Таким образом, целью данной работы является модернизация уже существующей автоматизированной системы контроля и управления пешеходным переходом.

В 2020 году был разработан макет светофора и программа управления макетом. Данный макет имеет несколько особенностей:

- ◆ макет ориентирован не на автомобильный поток, а на пешеходов, находящихся около пешеходного перехода;
- ◆ решения о переключении сигналов светофор принимает самостоятельно, основываясь на показаниях датчиков, установленных на корпусе каждого светофора;
- ◆ между парой светофоров нет физической связи. Передача данных происходит посредством радио-модуля, но для реальной модели светофора необходимо использовать модуль беспроводной связи высокой надежности и допустимого диапазона радиосвязи;

Такой взгляд на проблему помогает избежать ситуаций, когда зеленый сигнал светофора включен для пешеходов, а пешеходов нет. Вследствие чего пешеходный переход пустует, а в это время на дороге образуется затор. А также поможет уменьшить количество проводов.

Для реализации информирования пешехода о том, через какой период времени произойдет переключение сигнала светофора, необходимо настроить связь между светофорным объектом и личным устройством пешехода. Личным устройством пешехода будем считать смартфон.

Существует несколько способов подключения смартфона к микроконтроллеру Arduino:

- ◆ через USB-кабель;
- ◆ с помощью Bluetooth-модуля;
- ◆ с помощью домашней сети и Ethernet shield/Wi-fi shield;
- ◆ через инфракрасные сигналы;

Для настройки связи между смартфоном и светофорным объектом следует использовать самый простой вариант — подключение с помощью Bluetooth-модуля.

Модуль HC-06 — беспроводной модуль для приема/передачи данных в Arduino проектах по протоколу Bluetooth имеет следующие характеристики:

- ◆ Поддерживает работу с любым USB Bluetooth адаптером;
- ◆ Скорость передачи данных: 9600 бит/сек;
- ◆ Встроенная антенна;
- ◆ Радиус действия до 10 метров.

Для разработки макета эти характеристики являются достаточными.

Необходимо внести корректировки в схему светофорного объекта. Структурная схема «умный светофор» с Bluetooth модулем представлена на рисунке 1.

Принцип работы блока программы управления светофорным объектом с Bluetooth: происходит постоянный поиск устройств для подключения Bluetooth-модулем, встроенным в корпус светофорного объекта. После

нахождения устройства, Bluetooth-модуль делает запрос к основной управляющей программе и получает данные о текущем состоянии сигналов светофора и дальнейшем режиме работы. Как только данные получены, он управляет их на личное устройство пешехода.

Каждый «умный светофор» будет отмечен на интерактивной карте в приложении «easy-go» [8] на личном устройстве пешехода специальной иконкой. При подключении к такому светофору, приложение начнет транслировать пешеходу информацию о том, какой сигнал светофора активен на данный момент и время, оставшееся до переключения сигналов светофора. Таким образом, пешеход сможет скорректировать скорость своего движения и поймать «зеленую волну» на светофоре.

Недостатком данной разработки является принцип работы Bluetooth-модуля: при первом сопряжении по протоколу Bluetooth необходимо подтверждение от пешехода путем нажатия на кнопку, что является неудобным. Но, как только пешеход впервые преодолеет однотипный маршрут, например, «работа-дом-работа», недостаток будет неочевиден.

ЛИТЕРАТУРА

1. Судаков В.С., Старков С.С., Колупаева И.А. Международный семинар «Устойчивое развитие городских транспортных систем: вызовы и возможности»: Изд. Энергия, 2013. 232с.
2. Как устроены беспилотные автомобили и кто их делает [Электронный ресурс]. URL: <https://mag.auto.ru/article/selfdrivingsetup/> (дата обращения 15.02.2022)
3. Что такое связь между транспортным средством и инфраструктурой (V2I) и зачем она нам нужна? [Электронный ресурс]. URL: <https://urlog.ru/o0m95f>
4. 5 интеллектуальных дорожных технологий будущего [Электронный ресурс]. URL: <https://www.hongkiat.com/blog/smart-road-technologies/> (дата обращения 15.02.2022)
5. Как устроена и работает система ЭРА-ГЛОНАСС [Электронный ресурс]. URL: <https://eraglonass.ru/kak-ustroena-i-kak-rabotaet-sistema-era-glonass/>
6. В России появятся «умные» японские светофоры [Электронный ресурс]. URL: <https://news.drom.ru/66973.html>
7. Инновационное решение для адаптивного регулирования светофорных объектов [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/c88Mw>
8. Сервис для поиска маршрутов для людей с ограниченными возможностями [Электронный ресурс]. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46695991&pff=1>

© Казакова Ульяна Викторовна (umnilka33@gmail.com), Макуха Любовь Витальевна (makuha_lv@mail.ru),
 Романова Богдана Борисовна (rb20122000@mail.ru), Сидоров Анатолий Юрьевич (asidorov@sfu-kras.ru).
 Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА АУДИО ОТПЕЧАТКА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ МУЗЫКАЛЬНЫХ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

USING THE AUDIO FINGERPRINT METHOD TO CREATE MUSIC RECOMMENDATION SYSTEMS

**L. Karavashkin
A. Shkrigunov
S. Molodyakov
B. Medvedev**

Summary. To create music recommendation systems, two approaches are mainly used: based on metadata and based on audio analysis. We present a joint application of these approaches. A distinctive feature of our recommendation system is the use of audio fingerprints. An audio fingerprint is built on the basis of a spectral analysis of the signal with a preliminary separation of the musical fragment from the voice using a neural network and subsequent determination of the maximum spectral components. The article describes the algorithm for calculating the coefficient of similarity of audio recordings. We have presented a recommendation system that uses a graph database and third-party metadata sources. To build recommendations, similarity relationships obtained after analyzing audio prints and similarity relationships obtained from metadata are used. In conclusion, we present the results of experiments.

Keywords: recommendation system, audio analysis, audio fingerprint, graph database.

Каравашкин Лев Александрович

Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого
karavashkin.la@edu.spbstu.ru

Шкригунов Алексей Евгеньевич

Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого
shkrigunov.ae@edu.spbstu.ru

Молодяков Сергей Александрович

Д.т.н., профессор, Санкт-Петербургский
политехнический университет Петра Великого
molodyakov_sa@spbstu.ru

Медведев Борис Мусеевич

К.т.н., доцент, Санкт-Петербургский
политехнический университет Петра Великого
medvedev_bm@spbstu.ru

Аннотация. Для построения музыкальных рекомендательных систем используются два подхода: на основе метаданных и на основе аудио анализа. Представлено их совместное применение. Отличительной особенностью рекомендательной системы является применение метода аудио отпечатков. Аудио отпечаток строится на основе спектрального анализа сигнала с предварительным отделением музыкального фрагмента от голоса с применением нейронной сети и последующим определением максимальных спектральных компонент. Описан алгоритм расчета коэффициента сходства аудиозаписей. Представлена рекомендательная система, в которой используется графовая база данных и сторонние источники метаданных. Для построения рекомендаций используются отношения сходства, полученные после анализа аудио отпечатков, и отношения подобия, полученные из метаданных. В завершении мы приводим результаты экспериментов.

Ключевые слова: рекомендательная система, анализ звука, аудио отпечаток, графовая база данных.

Введение

В современных аудио сервисах функции автоматического составления плейлистов, поиск похожей музыки и подбор музыки на основе вкуса пользователя становятся всё популярнее. По данным сайта Scopus около 200 статей в год в области компьютерных наук выпускаются по теме “музыкальные рекомендации”.

Существующие подходы включают в себя две категории: подходы на основе метаданных и подходы на основе анализа музыки. Цель данной статьи состоит в том, чтобы рассмотреть применение метода аудио отпечат-

ков в системах на основе метаданных, тем самым объединяя эти два подхода.

Существующие решения

В статье “On social networks and collaborative recommendation” [1] представлена рекомендательная система, основанная на метаданных. Этими метаданными являются музыкальные тэги и отзывы пользователей. Также они учитывают дружескую связь между пользователями для рекомендации музыки, которую слушают их друзья. Для формирования рекомендаций зачастую используют совместную фильтрацию [2], но в своей системе они используют графовую модель [3].



Рис. 1. Алгоритм получения списка похожей музыки

Существуют системы, использующие текст песен для рекомендаций. Такая система представлена в работе "Lyrics or Audio for Music Recommendation?" [4]. В статье рассматриваются проблемы использования только методов совместной фильтрации в условиях холодного старта, когда у пользователей еще отсутствуют плейлисты, или в ситуациях, когда вкус пользователя отклоняется от вкуса большинства остальных пользователей. Основное внимание уделяется возможности составления рекомендаций на основе текста песен с применением таких методов, как tf-idf [5] и word2vec [6].

Решение на основе анализа музыки представлено в статье "Cover song recognition based on MPEG-7 audio features" [7]. В ней авторы рассматривают проблемы при распознавании музыки в таких систем как Shazam [8] и Sound hound [9]. Эти системы могут идентифицировать

оригинальное произведение, но не их кавер-версии, которые исполнены на других инструментах или спеты другим человеком, т.е. имеют искажение звука.

Предлагаемый подход

Предлагаемый подход заключается в использовании как минимум двух модулей для построения музыкальной рекомендательной системы.

Первый модуль основан на методе получения аудио отпечатков. На входе модуля — аудио файл всего произведения или его фрагмента. Если для этого файла не найдено точного совпадения аудио отпечатка, то его аудио отпечаток добавляется в базу данных. На выходе модуля — список аудио записей, схожих по звуковому содержанию. Для каждой аудио записи из списка указан коэффициент сходства.



Рис. 2. Предлагаемый алгоритм составления рекомендаций

Второй модуль отвечает за хранение метаданных музыкальных произведений, а также за составление и анализ связей между ними. Данный модуль используется для составления рекомендаций. Передавая ему на вход массив идентификаторов музыки, для которой нужно подобрать рекомендации, мы получаем на выходе список музыки, полученный на основе метаданных и информации о сходстве, предоставленной первым модулем.

Ключевой особенностью данной системы является применение метода аудио отпечатка для формирования связи между различными источниками метаданных.

Анализ сходства музыки

Алгоритм анализа сходства основан на алгоритме, описанном в статье "An Industrial Strength Audio Search Algorithm" [10]. Автор статьи применяет этот алгоритм для определения заранее проанализированной музыки через микрофон. Мы изменили алгоритм, чтобы можно

было распознавать не только заранее добавленную музыку, но и их обработанные версии. Для этого мы дополнительно пропустили входной файл через нейронную сеть Spleeter [11], основанную на базе данных musdb18 [12]. Эта нейронная сеть способна отделять мелодию от голоса.

На рис. 1 представлен алгоритм получения списка похожей музыки. На входе алгоритма — аудиофайл. На выходе — список похожей музыки с коэффициентами сходства. Во время выполнения алгоритма для входного аудио формируется набор хэшей. Для этого формируется спектрограмма аудиофайла, представляющая из себя зависимость амплитуды аудиосигнала от времени фрагмента аудио и частоты сигнала. Затем в полученной спектрограмме ищутся локальные максимумы амплитуды (пики) сигнала. Информация о пике сигнала включает в себя данные о частоте и времени аудио фрагмента. Каждые два близких во времени пика могут быть объединены в пару. Близость во времени выраже-

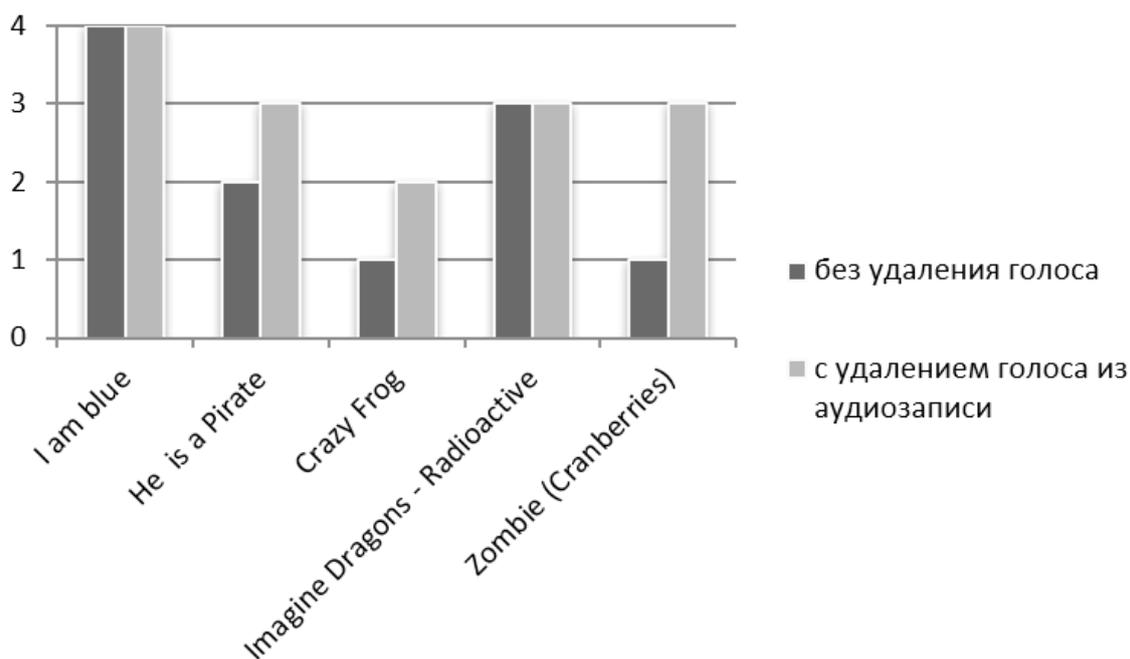


Рис. 3. Количество распознанных аудиозаписей без отделения мелодии от голоса и с отделением мелодии от голоса

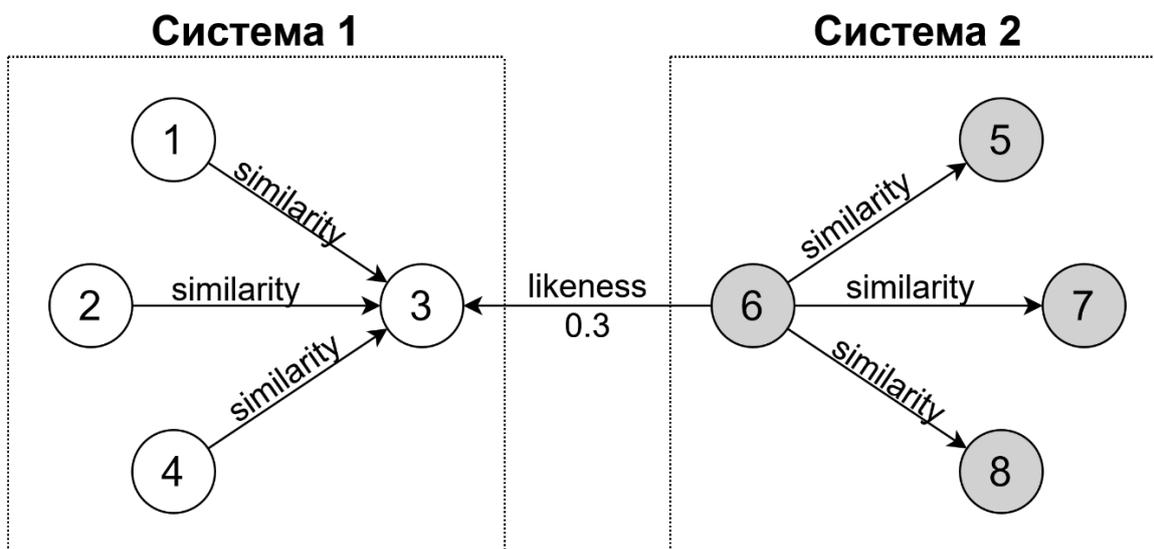


Рис. 4. Демонстрационный граф аудиозаписей

на параметром delta. Данный набор хэшей представляет собой итоговый аудио отпечаток. После формирования аудио отпечаток сохраняется в базе данных. По совпадению полученных хэшей аудио с сохраненными хэшами в базе данных можно получить коэффициент сходства одного аудио с другим. Коэффициент сходства одного аудио с другим — отношение количества совпавших хэ-

шей распознанного аудио к количеству хэшей входного аудио.

Составление рекомендаций

Для хранения информации была выбрана графовая СУБД Neo4j [13]. Графовая база данных оперирует двумя

видами сущностей — вершины (ноды) и связи (отношения). Вершины и связи могут иметь определённый набор свойств, которым можно присвоить значение. В качестве вершин выступают отдельно взятые музыкальные произведения, каждый со своим уникальным идентификатором. Связи используются для хранения информации о взаимоотношениях между музыкой. Для построения рекомендаций используется два вида связей — отношения сходства, полученные из первого модуля, и отношения подобия, полученные из метаданных с помощью существующих алгоритмов и систем.

На рис. 2 представлен алгоритм, по которому происходит генерация рекомендаций, в нём участвует 2 параметра, отвечающих за пороговые значения коэффициента сходства, получаемого из первого модуля. K_1 обозначает значение, начиная с которого две аудиозаписи считаются одинаковыми, а K_2 — схожими. K_2 должен быть меньше K_1 , при этом оба параметра должны быть в диапазоне от 0 до 1. Эти параметры применяются для того, чтобы использовать схожие аудиозаписи в подборе рекомендаций, но при этом будем удалять из результатов ту музыку, которая имеет высокий коэффициент сходства с входной. В ходе тестирования первого модуля были подобраны следующие значения: 0.2 для K_1 и 0.05 для K_2 .

Результаты

Для того чтобы проверить влияние предварительного отделения голоса от мелодии на качество распознавания музыки в разной обработке, был проведен эксперимент. Было выбрано 5 случайных музыкальных произведений. Для каждого музыкального произведения мы подобрали по 5 вариантов этого произведения в разной обработке. Одно из музыкальных произведений было отмечено как оригинальное, которое мы предварительно проанализировали и добавили в базу данных.

На рис. 3 изображено для какого количества аудиозаписей из четырех в группе удалось определить соответствие с оригинальным с предварительным отделением мелодии от голоса и без. При отделении мелодии уда-

лось распознать больше музыкальных файлов, чем без отделения.

На рис. 4 представлен граф, на котором присутствует две различных системы со связями, построенными на основе метаданных (similarity). Вершины 3 и 6 представляют собой разные версии одной и той же музыки. Первый модуль рассчитал коэффициент сходства, после чего он был внесён в граф и отображен в виде связи likeness. Теперь, при подаче на вход вышеприведенного алгоритма третьей вершины — на выходе будут все вершины, кроме 3 и 6. Шестая вершина не попадёт в выходной список потому, что у неё высокий коэффициент сходства с входной вершиной. Таким образом, имея на входе музыку из системы 1 — получаем на выходе музыку из обеих систем, что и было целью данного алгоритма.

Здесь продемонстрирован самый простой пример работы, где на входе всего одна вершина, а значения связей similarity не учитываются вовсе. Сам алгоритм предназначен для работы с большим количеством входных данных и учитывает значения всех связей.

Заключение

В этой статье был предложен новый подход для построения рекомендательных систем. Подход основан на использовании метода извлечения аудио отпечатков для идентификации одинаковых и похожих аудиозаписей. Этот подход объединяет в себе подход для построения рекомендаций на основе метаданных и подход для рекомендаций на основе звукового содержания музыки.

Для проверки была разработана рекомендательная система. Эта система способна рекомендовать музыку из разных источников метаданных. Эти источники удалось связать между собой за счет применения метода аудио отпечатка.

Не все музыкальные произведения, имеющие в себе искажения звука, удалось распознать. Используемый алгоритм ошибается в случаях, когда значительно искажена скорость аудио. В будущем следует рассмотреть другие алгоритмы для формирования аудио отпечатка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Konstas I., Stathopoulos V., Jose J.M. On social networks and collaborative recommendation // Proc. — 32nd Annu. Int. ACM SIGIR Conf. Res. Dev. Inf. Retrieval, SIGIR2009. 2009. P. 195–202.
2. Herlocker J.L. и др. An algorithmic framework for performing collaborative filtering // Proc. 22nd Annu. Int. ACM SIGIR Conf. Res. Dev. Inf. Retrieval, SIGIR1999. P. 230–237.
3. Craswell N., Szummer M. Random walks on the click graph // Proc. 30th Annu. Int. ACM SIGIR Conf. Res. Dev. Inf. Retrieval, SIGIR'07. 2007. P. 239–246.
4. Vystrčilová M., Peška L. Lyrics or Audio for Music Recommendation? // ACM Int. Conf. Proceeding Ser. 2020. V. Part F162565. P. 190–194.
5. Zhuohao W.A.N.G., Dong W.A.N.G., Qing L.I. Keyword Extraction from Scientific Research Projects Based on SRP-TF-IDF // Chinese J. Electron. 2021. V. 30. № 4. P. 652–657.

6. Lilleberg J., Zhu Y., Zhang Y. Support vector machines and Word2vec for text classification with semantic features // Proc. 2015 IEEE 14th Int. Conf. Cogn. Informatics Cogn. Comput. ICCI*CC2015. 2015. P. 136–140.
7. Ponighzwa R.M.F., Sarno R., Sunaryono D. Cover song recognition based on MPEG-7 audio features // Proceeding — 2017 3rd Int. Conf. Sci. Inf. Technol. Theory Appl. IT Educ. Ind. Soc. Big Data Era, ICSITech 2018 January. P. 59–65.
8. Wang A. The Shazam music recognition service // Commun. ACM. 2006. V. 49. № 8. P. 44–48.
9. Technology for a voice-enabled world | SoundHound Inc. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.soundhound.com/> (дата обращения: 01.03.2022).
10. Wang A.L., Wang A.L., FT. F.B. An industrial-strength audio search algorithm // Proc. 4 TH Int. Conf. Music Inf. Retr. 2003.
11. Hennequin R. и др. Spleeter: a fast and efficient music source separation tool with pre-trained models // J. Open Source Softw. 2020. V. 5. № 50. P. 2154.
12. Rafii Z. и др. MUSDB18 — a corpus for music separation // 2017.
13. Fernandes D., Bernardino J. Graph databases comparison: Allegrograph, arangoDB, infinitegraph, Neo4J, and orientDB // DATA 2018 — Proc. 7th Int. Conf. Data Sci. Technol. Appl. 2018. P. 373–380.

© Каравашкин Лев Александрович (karavashkin.la@edu.spbstu.ru), Шкригунов Алексей Евгеньевич (shkrigunov.ae@edu.spbstu.ru),
Молодяков Сергей Александрович (molodyakov_sa@spbstu.ru), Медведев Борис Моисеевич (medvedev_bm@spbstu.ru).
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БОЕВЫХ КИБЕРНЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ИНФОРМАЦИОННОМ ПРОТИВОБОРСТВЕ

JUSTIFICATION OF THE USE OF COMBAT CYBERNETIC SYSTEMS IN INFORMATION WARFARE

**K. Lukin
A. Sagdeev
I. Staheev
O. Titova**

Summary. The problems of information and telecommunication systems when transferring the antagonistic conflict of the parties to cyberspace are considered. The justification of the use of combat cybernetic systems in the emerging information confrontation is carried out.

Keywords: information and telecommunication system, cyberspace, information warfare, combat cybernetic system.

Лукин Константин Игоревич

*К.т.н., генеральный директор, ОАО «Супертел»,
Санкт-Петербург
ki@supertel.ru*

Сагдеев Александр Константинович

*К.т.н., доцент, Санкт-Петербургский
государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича
brother-aks@yandex.ru*

Стахеев Иван Геннадиевич

*К.т.н., доцент, Санкт-Петербургский
государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича
kisasig@yandex.ru*

Титова Ольга Викторовна

*К.т.н., доцент, Санкт-Петербургский
государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича
olga1110.spb@mail.ru*

Аннотация. Рассмотрена проблематика информационно-телекоммуникационных систем при переносе антагонистического конфликта сторон в киберпространство. проведено обоснование использования боевых кибернетических систем, в возникающем информационном противоборстве.

Ключевые слова: информационно-телекоммуникационная система, киберпространство, информационное противоборство, боевая кибернетическая система.

Использование государством своих возможностей: дипломатических, информационных, военных и экономических — позволяют достигать ему поставленных целей. Применение таких возможностей в киберпространстве требует безопасной передачи, хранения и обработки информации в масштабе времени, близком к реальному. Государства, которые используют эти возможности в киберпространстве, получают превосходство в использовании Вооружённых Сил в традиционных сферах их применения. Такие реалии превращают киберпространство в современное поле боя, дополняющее традиционные сферы применения Вооружённых Сил. [1]

Киберпространство является информационно-технической основой информационного пространства, т.е. находится только в физическом и информационном аспекте информационного пространства. В связи с этим,

большая часть противоборства в информационной сфере будет происходить в киберпространстве. [2]

Выполнение задач информационно-телекоммуникационных систем специального назначения (ИТКС СН) по обеспечению обмена всеми видами информации в системе управления войсками в условиях информационного противоборства (борьбы) в киберпространстве (киберконфликтах) достигается нейтрализацией действий противоборствующих систем на основе дополнения целевой функции оборонительной и наступательной функциями, что обуславливает необходимость рассмотрения в границах киберпространства нового класса систем — боевых кибернетических систем (БКС).

Под боевыми кибернетическими системами следует понимать выделенную совокупность функционально связанных и взаимодействующих аппаратных,

программных и аппаратно-программных средств, реализующих добывание информации (разведывательные действия), наступательные и оборонительные действия в киберпространстве, а также автоматизированные системы управления ими и должностных лиц их эксплуатирующих.

Совокупность элементов БКС представляют объединенную единством цели пространственно-распределенную иерархическую структуру элементов киберпространства, предназначенных для выполнения с заданным качеством поставленных задач в условиях конфликта с одной или несколькими аналогичными системами противника (противников). [3] Элементы в структуре БКС составляют иерархическую совокупность взаимообусловленных и взаимосвязанных элементов, дополняющих друг друга при реализации поставленных задач. Связи между элементами в системе, исходя из характера выполняемых задач, организационно определяются отношениями управления, исполнения и обеспечения.

Функционирование ИТКС СН базируется на оптимизации применения тех или иных видов (типов) ресурсов транспортной сети, построенной на ресурсах операторов связи, являющейся в свою очередь элементом общемирового единого информационно-телекоммуникационного пространства (ОМЕИТП), находящихся в сфере интересов одной или нескольких ИТКС, обуславливая тем самым возникновение ресурсных конфликтов. В свою очередь конфликт является основной формой функционирования БКС и характеризуется наличием одной или нескольких целей, представляющих интерес для противоборствующих сторон. Достижение целей функционирования ИТКС СН в конфликте осуществляется проведением ее БКС наступательных и оборонительных действий за овладение и поддержание целевого превосходства — оперативно-тактической инициативы для выполнения с заданным качеством поставленных задач на основе методов программно-аппаратных воздействий (ПАВ) на элементы ИТКС СН противника в целях снижения эффективности ее функционирования, а так же на элементы БКС противоборствующей стороны для снижения их боеспособности до необходимого, а в некоторых случаях и минимального уровня. [4]

Рассмотрим две взаимно конфликтующие системы «красную» и «синюю», и соответственно их представляющие ИТКС СН — К и ИТКС СН — С.

При применении ИТКС СН — К, актуальной является задача обеспечения заданной эффективности их функционирования в условиях реализации противоборствующей стороной ПАВ. Предполагается, что из состава ИТКС СН — К выделяется ресурс организационно объ-

единяемый в БКС. БКС включает совокупность функционально объединенных единством цели элементов информационно-телекоммуникационной инфраструктуры (ИТКИ), которые обеспечивают управление, добывание информации, создание, хранение, передачу исполнительного элемента (ИЭ) (программного кода) и средства и комплексы защиты информации (СКЗИ) (для общности — оборонительный элемент (ОБЭ)) для обеспечения действий ИТКС СН — К в конфликте методами и средствами информационного противоборства в киберпространстве. [5]

ИТКС СН — С для обеспечения своих действий симметрично применяет БКС, структурно включающую:

- ◆ подсистему управления (ПУ);
- ◆ подсистему добывания информации (ПДИ), использующей множество различного типа ИС добывания информации об элементах ИТКС СН — К;
- ◆ подсистему наступательных действий (ПНД), использующей множество различного типа ИЭ для воздействия на элементы ИТКС СН — К;
- ◆ подсистему оборонительных действий (ПОД), использующей множество различного типа ОБЭ для пресечения ИЭ противника. [6]

В условиях случайностей начала, продолжительности и исхода конфликта процесс функционирования ИТКС СН — К оказывается стохастическим на конечном интервале времени до достижения одной из сторон минимального уровня эффективности функционирования. Для исследования этого требуется разработка модели функционирования ИТКС СН — К в условиях использования для обеспечения эффективных действий БКС, эффект применения которой состоит в воздействии на элементы управляющей, информационной и исполнительной подсистем ИТКС СН — С и ее БКС на различных этапах конфликта для неустановившегося переходного стохастического процесса конфликтного взаимодействия противоборствующих систем. [7]

Таким образом, представляется возможным выдвинуть гипотезу: эффективность функционирования ИТКС СН применительно к условиям конфликта в киберпространстве возможно оценить через эффективность обеспечивающей ее системы — БКС. Причем оценке подлежит как «внешняя» эффективность БКС по показателям, характеризующими способность ИТКС СН выполнять функциональные задачи в условиях реализации противником информационно-технического воздействия (ИТВ) (в частности ПАВ), так и «внутренняя» эффективность БКС по показателям, характеризующими степень достижения цели функционирования при реализации оборонительных и наступательных действий. Полученные оценки позволят научно обосновывать оперативно-технические требования (ОТТ) непосредственно к ИТКС СН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лепешкин О.М., Сагдеев А.К. Подход к оценке конфликтных ситуаций в информационных системах управления // Сборник трудов № 53 СВИС РВ г. Ставрополь, СВИС РВ, 2010- С. 58–64.
2. Сагдеев А.К., Чукариков А.Г. Обоснование оперативно-технических требований к информационно-телекоммуникационным сетям специального назначения, функционирующих с использованием ресурсов ЕСЭ РФ, в условиях конфликта в киберпространстве // Труды учебных заведений связи: сб. науч. ст. том 2 № 4/ под ред. С.В. Бачевского, М.В. Буйневич, Е.А. Аникевич — СПб.: Санкт-Петербургский университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2016. — 103 с. С. 99–103.
3. Горбачева М.А., Сагдеев А.К. Проблемы обеспечения защищенности инфотелеком-муникационной сети военного назначения при ведении информационной войны // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики, часть I. — Ростов-на-Дону: ПЦ «Университет» СКФ МТУСИ, 2015, 552с. С. 426–429.
4. Лепешкин М.О., Лепешкин О.М., Сагдеев А.К. Анализ возможности реализации ролевого разграничения доступом в системах государственного управления // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. V Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 3 т./ под ред. С.В. Бачевского, сост. А.Г. Владыко, Е.А. Аникевич, Л.М. Минаков. — СПб.: Санкт-Петербургский университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2016. — 550 с. С. 290–294.
5. Лепешкин М.О., Лепешкин О.М., Сагдеев А.К. Методологический подход оценки функциональной безопасности критической социотехнической информационной системы // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. V Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 3 т./ под ред. С.В. Бачевского, сост. А.Г. Владыко, Е.А. Аникевич, Л.М. Минаков. — СПб.: Санкт-Петербургский университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2016. — 550 с. С. 294–299.
6. Сагдеев А.К., Сидоренко Е.Н., Суюндукова А.А., Тихомиров Д.А. Применение теории игр для исследования радиоэлектронного конфликта // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. VIII Международная научнотехническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. / Под. ред. С.В. Бачевского; сост. А.Г. Владыко, Е.А. Аникевич. СПб.: СПбГУТ, 2019. Т. 4. 708 с. С. 518–521.
7. Кощеев А.В., Лашин Ю.Ф., Сагдеев А.К., Халепа С.Л. Вопросы конфликтологии в системах военного назначения // Научно-практический журнал. Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки № 1–2 2022. С. 27–31.

© Лукин Константин Игоревич (ki@supertel.ru), Сагдеев Александр Константинович (brother-aks@yandex.ru),

Стахеев Иван Геннадиевич (kisasig@yandex.ru), Титова Ольга Викторовна (olga1110.spb@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



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

СОДЕРЖАТЕЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ КОНФЛИКТА ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ В КИБЕРПРОСТРАНСТВЕ

A MEANINGFUL DESCRIPTION OF THE CONFLICT MODEL OF SPECIAL-PURPOSE INFORMATION AND TELECOMMUNICATION SYSTEMS IN CYBERSPACE

**K. Lukin
A. Sagdeev
I. Staheev
O. Titova**

Summary. A meaningful description of the model of the antagonistic conflict arising in cyberspace during the mutual confrontation of special-purpose information and telecommunication systems, each of which has its own strategy for achieving the goal, is carried out.

Keywords: information and telecommunication system, cyberspace, information warfare, combat cybernetic system.

Лукин Константин Игоревич

*К.т.н., генеральный директор, ОАО «Супертел»,
Санкт-Петербург
ki@supertel.ru*

Сагдеев Александр Константинович

*К.т.н., доцент, Санкт-Петербургский
государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича
brother-aks@yandex.ru*

Стахеев Иван Геннадиевич

*К.т.н., доцент, Санкт-Петербургский
государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича
kisasig@yandex.ru*

Титова Ольга Викторовна

*К.т.н., доцент, Санкт-Петербургский
государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича
olga1110.spb@mail.ru*

Аннотация. Осуществлено содержательное описание модели антагонистического конфликта, возникающего в киберпространстве при взаимном противоборстве информационно-телекоммуникационных систем специального назначения, каждая из которых имеет свою стратегию достижения цели.

Ключевые слова: информационно-телекоммуникационная система, киберпространство, информационное противоборство, боевая кибернетическая система.

Боевая кибернетическая система (БКС) представляет собой объединенную целью совокупность элементов управления, добывания информации и исполнения, предназначенную для обеспечения конфликтно-устойчивых действий пространственно-распределенной ИТКС СН в динамике различного уровня конфликтов. Обеспечивающие действия, основная форма применения БКС в целях выполнения комплекса мероприятий, направленных на поддержание высокой боевой готовности, устойчивости, разведзащищенности, доступности и управляемости ИТКС СН, создание благоприятных условий для организованного и своевременного выполнения возложенных задач по обмену всеми видами информации между органами военного управления, а также на предупреждение и воспреещение внезапного нападения противника, снижение эффективности его ударов. [1] В качестве её элементов воз-

можно рассмотреть различного рода систем (средств, комплексов) защиты информации и реализации информационно-технических воздействий. Информационно-техническое воздействие — комплекс мероприятий, направленных на дезорганизацию или полное прекращение (нарушение, срыв, вывод из строя) функционирования информационно-технических объектов. Информационно-техническое воздействие подразделяется на программное (программно-аппаратное), радиоэлектронное и другие виды воздействий. [2]

Программное воздействие (ПВ) (программно-аппаратное (ПАВ)) — комплекс организационно-технических мероприятий, проводимых с преодолением систем защиты информационных (локальных, локально распределенных, распределенных) вычислительных сетей и автономных программных комплексов с целью

дезорганизации функционирования информационных (вычислительных) сетей (глобальных, региональных, локальных), автономных вычислительных комплексов (электронно-вычислительных машин, персональных компьютеров и др.) программно-управляемых устройств (модулей, блоков, накопителей информации и др.), электронно-программных продуктов (операционных систем, прикладных программ и др.), технических средств приёма, передачи и обработки информации, организуемый и осуществляемый с целью нарушения их штатных режимов функционирования или свойств безопасности информации (добывания, разрушения, уничтожения или искажения информации).

Программное воздействие осуществляется с использованием преднамеренно созданных и определенным образом сконфигурированных специализированных вредоносных программных средств (компьютерных вирусов, программ-сканеров, программных закладок, программ удаленного управления информационно-телекоммуникационными системами и др.), предназначенных для нарушения работы информационных систем противника и свойств безопасности информации, обрабатываемой в этих системах.

Аппаратное воздействие осуществляется скрытой установкой технических устройств контроля функционирования информационно-технических объектов и информации, циркулирующей в них, а также аппаратных закладок, предназначенных для нарушения работы информационных систем критически важных информационно-технических объектов (КВИТО) противника и свойств безопасности информации, обрабатываемой в этих системах, а также специальные средства проникновения в информационные системы КВИТО противника.

Для общности средства ПВ/ПАВ в дальнейшем будем именовать исполнительными элементами (ИЭ).

Защита от ПАВ — комплекс организационно-технических мероприятий по предотвращению, выявлению, срыву, нейтрализации, ослаблению программно-аппаратного воздействия противоборствующей стороны на информационно-технические объекты.

Радиоэлектронное воздействие осуществляется посредством радио-, оптико-электронного, гидроакустического и иного подавления, а также поражения электромагнитным излучением информационно-технических объектов.

Обоснование облика БКС основывается на результатах оценки эффективности в антагонистических конфликтах уровня БКС {К} — БКС {С} (система «красные»

и система «синие»). В настоящее время в теории сложных систем преимущественное внимание уделяется развитию методов анализа, направленных на разрешение конфликтов, связанных с неопределенностью: [3]

а) знания исходной информации о целях, задачах, функциях, ресурсах, типах и ТТХ средств, а также внешних условий применения;

б) вопросов развития методов оценки эффективности технических систем (ТС) на конечном интервале в условиях детерминированных способов противодействия, оставляя в стороне задачи их применения в условиях стохастического конфликта иерархических организационно-технических систем (ОТС). На практике разработано и используется значительное число методов оценки эффективности, разработанных для конкретных типов ТС, функционирование которых осуществляется применительно к первым двум типам конфликтов. Требования же обеспечения функционирования ОТС в условиях динамического стохастического конечного конфликта с последствием делают невозможным в полной мере воспользоваться данными методами (принципами, постановками и подходами к решению задач, используемых математических методов) и обуславливают необходимость их теоретического обобщения и дальнейшего методологического развития применительно к новому специфическому классу исследуемых объектов — БКС. Исходя из этого, предлагается метод обоснования оперативно-технических требований к ИТКС СН посредством оценки «внешней» и «внутренней» эффективности ее БКС, под которым понимается взаимообусловленная совокупность принципов и научных подходов, раскрывающих общее содержание, состав и структуру постановки задачи оценки эффективности БКС, способов и моделей её решения.

Их разработка наталкивается на ряд специфических особенностей, связанных с организованным противодействием (функционированием подсистем наступательных и оборонительных действий (ПНД, ПОД) БКС ИТКС СН — С при решении задач снижения эффективности действий ИТКС СН — К.

1. Применение ИТКС СН осуществляется в режимах централизованного, децентрализованного или автономного управления на основе взаимосвязанной по цели, задачам, месту, времени и ресурсу совокупности организационных, организационно-технических и технических методов, мероприятий или средств, комплексов и подсистем, направленных на выполнение с заданной эффективностью поставленных задач по передаче информации независимо от различного рода внешних возмущающих воздействий. [4]

Достижение целей ИТКС СН осуществляется, в том числе, проведением ее БКС различного рода действий (акций) в виде совокупности одиночных, групповых и массивованных действий (ОД, ГД и МД) для активного подавления (снижения эффективности функционирования) или воздействия ИЭ на элементы ИТКС СН — С и ее БКС. Это достигается распределением ИТКС СН ограниченного ресурса ИЭ (в том числе и ресурса ИЭ старшей инстанции, взаимодействующих систем) для парирования эффективности действий БКС {С} и выполнения с заданной эффективностью поставленных задач. Исходя из этого, процесс конфликтного функционирования ИТКС СН представляется в виде взаимообусловленного обмена совокупностью ОД, ГД и МД их БКС на основе оптимального распределения имеющегося ресурса реализации ПАВ и защиты от ПАВ противоборствующей стороны.

Выполнение ИТКС СН задач в условиях конфликта в киберпространстве сопряжено с преодолением ИЭ пространственно-распределенной эшелонированной ПОД БКС {С} в определенном районе (зоне, сегменте), основу которой составляет множество различных организационных, организационно-технических, технических (аппаратных) и программных способов или средств, комплексов и подсистем противодействия (для общности, оборонительных элементов — ОБЭ), отличающихся друг от друга назначением, алгоритмами и эффективностью применения. [5] Применение ОБЭ основывается на использовании в их составе различного типа, количества, эффективности и условий применения (уровня ЭМВОС, возможности размещения на средствах информационно-телекоммуникационной инфраструктуры (ИТКИ), времени, технических характеристик, наличия информационных средств (систем) (ИС) для обнаружения, распознавания ИЭ, целераспределения средств нейтрализации ИЭ и т.п.) средств и/или способов противодействия (СП). Наличие большой номенклатуры ОБЭ (а, соответственно, в их составе и СП) позволяет БКС {С}, исходя из пространственно-временных параметров способов применения ИЭ, осуществлять оптимизацию стратегий своего поведения на основе целераспределения имеющегося ресурса ОБЭ по возможным рубежам противодействия.

Исходя из топологического построения ПОД, БКС {С} при отражении ИЭ в МД может функционировать в режиме централизованного управления, ГД — в режиме децентрализованного управления и при отражении ОД — автономного управления. При отражении МД БКС {К} ПОД БКС {С} осуществляет целераспределение ресурса ОБЭ для защиты групп объектов в районе (зоне, сегменте) действий. При отражении же ГД БКС {К} ПОД БКС {С} реализует оптимальное распределение ресурса ОБЭ для снижения эффективности групп ИЭ с последующей

нейтрализацией (обслуживанием) каждого ИЭ. После этого процесс преодоления ИЭ ПОД БКС {С} представляется в виде совокупности последовательно или параллельно проводимых ОД.

Принятие решений в подсистемах наступательных и оборонительных действий БКС {С} сопряжено с получением, обработкой и анализом данных от различного типа ИС, объединенных единством цели в пространственно-распределенные информационно-управляющие системы (ИУС) добывания информации и управления ИЭ и ОБЭ. В этих условиях выполнение задач ИТКС СН — К может обеспечиваться ее БКС за счет разрушения и/или снижения эффективности обработки информации в иерархических контурах принятия решений ИТКС СН — С и ее БКС за счет подавления наиболее важных элементов и/или информационно-технического воздействия на их ИС для снижения эффективности её функционирования до некоторого минимального уровня.

В этих условиях методологические основы исследования эффективности БКС в условиях конфликта ИТКС СН противоборствующих сторон должны удовлетворять основным требованиям к принципам, составу, структуре и содержанию моделирования: [6]

- ◆ соответствие показателя эффективности (ПЭ) применения БКС действиям ИТКС СН, основным из которых является сохранение (не ниже заданного) среднего количества работоспособных элементов и объектов ИТКС СН от воздействия ПНД противостоящей стороны в конфликте;
- ◆ соответствие иерархической декомпозиции целевых ПЭ, вытекающих из содержания выполняемых задач БКС, структурной декомпозиции характеристик конфликта уровня сценариев, эпизодов, ситуаций и дуэлей, а также возможность агрегатирования частных ПЭ от уровня дуэлей до уровня сценариев на основе преобразования в интегральный показатель эффективности функционирования ИТКС СН в соответствии со структурой ОТТ к БКС;
- ◆ обеспечение структурно-обоснованного взаимодействия целевого (между ИТКС СН) и информационного (между БКС) конфликтов, обеспечивающего последовательное иерархическое обоснование частных ОТТ к элементам и БКС в целом;
- ◆ учет межуровневых взаимосвязей ПЭ, исходных данных и ограничений, возникающих в конфликте нижних уровней с верхними, обеспечивающих приращение эффективности как по уровням иерархии, так и во времени.

Рассмотрим принципы моделирования БКС.

- а) информационный конфликт рассматривается в рамках структуры целевого конфликта;
- б) информационный конфликт элементов БКС является симметричным, а действия сторон — асимметричными;
- в) внутренне содержание конфликта определяется номенклатурой способов и средств реализующих управление, добывание информации, наступательные и оборонительные действия.

Оценка эффективности БКС проводится по основному критерию — эффективности ИТКС СН в условиях ограничений на техническую, технологическую и экономическую эффективность и неопределенности:

- а) цели и задач, стоящих перед ИТКС СН — С;
- б) способов развязывания, продолжительности ведения и окончания конфликта.

Это затрудняет разработку сценариев стратегий действий ИТКС СН, функционирующих в интересах противоборствующих органов военного (государственного) управления, а рассмотрение конфликтов на уровне ситуаций и эпизодов не отражает как внешних, так и внутренних условий и противоречий конфликта на уровне сценария.

Основным способом разрешения данных противоречий является проведение детального анализа порядка синтеза БКС, краткосрочный (среднесрочный) прогноз развития ИТКС СН противоборствующих сторон, а также способов развязывания и продолжительности ведения информационного противоборства в киберпространстве. Последняя задача по сложности определения целевой функции является проблемной вследствие отсутствия объективной информации о текущих процессах снижения эффективности противоборствующих ИТКС СН, тем более на упреждающий период прогноза. Исходя из этого, целесообразно рассматривать обобщенную структуру различных типов конфликтов и возможные способы их развязывания и ведения по интегральным ПЭ применения ИТКС СН, базирующихся на принципе гарантированного результата.

Весь процесс синтеза структурируется по этапам применения БКС в конфликтах уровня сценариев, эпизодов, ситуаций и дуэлей. Из него следует единое многоцелевое и многоуровневое их соответствие (например, сценарии — совокупность частных эпизодов; совершаемых последовательно или асимметрично в пространстве и во времени, эпизоды — совокупность частных ситуаций; и т.д.). Оценки на частных этапах конфликта агрегируются, вследствие чего необходима структуризация внутренних процессов конфликта на основе выделения, в нем особых («узловых») состояний, обеспечивающих дискретный иерархический характер взаимодействий в конфликте.

Основными принципами, реализующими совокупность требований к методам исследования эффективности применения БКС являются:

- ◆ принцип развития, как основы разработки методов оценки эффективности БКС, предполагающей адекватное наращивание их вычислительных возможностей в соответствии с нарастающей структурной сложностью конфликта;
- ◆ принцип условной математической адекватности методов оценки эффективности реальным процессам, протекающих в моделируемых БКС;
- ◆ принцип гомотопической инвариантности, предполагающий, иерархическое преобразование и выбор значений частных ПЭ для множества стратегий поведения БКС в динамике конфликта;
- ◆ принцип учета межуровневых взаимосвязей по управлению, информации и взаимодействию элементов в структуре общей модели оценки эффективности БКС с учетом динамических ресурсных, пространственных и временных ограничений;
- ◆ принцип временного баланса, предполагающий учет динамического изменения состояния элементов ИТКС СН — С под воздействием различных ИЭ противника в особых («узловых») состояниях. [7]

Основные допущения при построении методов оценки эффективности БКС.

1. Процесс воздействия БКС на эффективность применения ИТКС СН — С является динамическим, отражающим особенности конфликта противоборствующих сторон;
2. Процесс воздействия БКС по количеству взаимодействий является ветвящимся временным процессом и может быть представлен, исходя из протекающих физических процессов в иерархических контурах принятия решений на основе методов логико-вероятностного математического моделирования. При этом простейшие конфликтные взаимодействия на нижних уровнях принятия решений возможно заменить аналитическими зависимостями расчета частных ПЭ, полученных по результатам математического моделирования.
3. При разработке методов оценки результатов конфликта предполагается, что применительно к прогнозируемым, условиям процесс функционирования ИТКС СН является условно стационарным. Такое допущение возможно, поскольку математические методы, предназначены для исследования стохастического процесса и его случайных состояний (событий) в «среднем» на основе использования его статистических характеристик — математического ожидания и дисперсии.

4. Так как в конфликте применяется множество элементов, размерности $m \times n$, где m и $n \gg 1$, то по теореме Стюдента стационарный процесс с вероятностью не ниже 0,97 при m и $n > 10$ гарантированно сходится к эргодическому. [8]

Исходя из этого, структуру методологических основ исследования эффективности БКС возможно

представить в виде иерархической системы математических моделей и способов оценки эффективности средств и способов информационного противоборства в киберпространстве, которые по сложности построения и возможности оценки эффективности физических процессов возможно рассмотреть на различных уровнях конфликта и различной его интенсивности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сагдеев А.К., Чукариков А.Г. Обоснование оперативно-технических требований к информационно-телекоммуникационным сетям специального назначения, функционирующих с использованием ресурсов ЕСЭ РФ, в условиях конфликта в киберпространстве // Труды учебных заведений связи: сб. науч. ст. том 2 № 4/ под ред. С.В. Бачевского, М.В. Буйневич, Е.А. Аникевич — СПб.: Санкт-Петербургский университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2016. — 103 с. С. 99–103.
2. Сагдеев А.К., Сидоренко Е.Н., Суюндукова А.А., Тихомиров Д.А. Применение теории игр для исследования радиоэлектронного конфликта // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. VIII Международная научнотехническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. / Под. ред. С.В. Бачевского; сост. А.Г. Владыко, Е.А. Аникевич. СПб.: СПбГУТ, 2019. Т. 4. 708 с. С. 518–521.
3. Кощеев А.В., Лашин Ю.Ф., Сагдеев А.К., Халепа С.Л. Вопросы конфликтологии в системах военного назначения // Научно-практический журнал. Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки № 1–2 2022. С. 27–31.
4. Горбачева М.А., Сагдеев А.К. Проблемы обеспечения защищенности инфотелеком-муникационной сети военного назначения при ведении информационной войны // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики, часть I. — Ростов-на-Дону: ПЦ «Университет» СКФ МТУСИ, 2015, 552с. С. 426–429.
5. Лепешкин М.О., Лепешкин О.М., Сагдеев А.К. Анализ возможности реализации ролевого разграничения доступом в системах государственного управления // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. V Международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 3 т./ под ред. С.В. Бачевского, сост. А.Г. Владыко, Е.А. Аникевич, Л.М. Минаков. — СПб.: Санкт-Петербургский университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2016. — 550 с. С. 290–294.
6. Лепешкин М.О., Лепешкин О.М., Сагдеев А.К. Методологический подход оценки функциональной безопасности критической социотехнической информационной системы // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. V Международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 3 т./ под ред. С.В. Бачевского, сост. А.Г. Владыко, Е.А. Аникевич, Л.М. Минаков. — СПб.: Санкт-Петербургский университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2016. — 550 с. С. 294–299.
7. Дробяскин А.Н., Сагдеев А.К., Сидоренко Е.Н., Ямбулатова К.И. Модель воздействия технической компьютерной разведки и деструктивных программных воздействий на информационно-телекоммуникационную сеть военного назначения // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. IX Международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. / Под. ред. С.В. Бачевского; сост. А.Г. Владыко, Е.А. Аникевич. СПб.: СПбГУТ, 2020. Т. 4. 503 с. С. 125–129.
8. Новак А.В., Сагдеев А.К., Сидоренко Е.Н., Суюндукова А.А. Методика мониторинга информационно-телекоммуникационной сети военного назначения во время техносферной борьбы // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. VII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. / Под. ред. С.В. Бачевского; сост. А.Г. Владыко, Е.А. Аникевич. СПб.: СПбГУТ, 2018. Т. 4. 746 с. С. 367–370.

© Лукин Константин Игоревич (ki@supertel.ru), Сагдеев Александр Константинович (brother-aks@yandex.ru),

Стахеев Иван Геннадиевич (kisasig@yandex.ru), Титова Ольга Викторовна (olga1110.spb@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

К ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ ЗАШУМЛЕННЫХ СИГНАЛОВ РЕАЛЬНОГО ДАТЧИКА ПОЛОЖЕНИЯ

ABOUT THE POSSIBILITY OF THE SOFTWARE-BASED FILTRATION FOR NOISY SIGNALS OF THE ACTUAL LOCATION SENSOR

**K. Meleshkin
D. Khudiakov**

Summary. In this paper the possibilities of using different software-based filters during the operation on implemented test-bench cyclically unstable system of the “ball on a rod” type is discussed. It is proposed to use a special infrared distance sensor of the Sharp 2Y0A2 type to measure the distance from the ball to the center of the rod strictly in one plane. The output signal of the sensor contains both constant noise and a random component, therefore filtering of the measured values is necessary for the normal operation of the stabilization system. It is shown that the Kalman filter provides the best filtration quality of measurement noise in this situation.

Keywords: distance sensor, measurement noise, software filter, pendulum systems, Kalman filter.

Мелешкин Кирилл Николаевич

Аспирант, ФГБОУ ВО Новосибирский
Государственный Технический Университет
kmeleshkin@mail.ru

Худяков Дмитрий Сергеевич

К.т.н., доцент, ФГБОУ ВО Новосибирский
Государственный Технический Университет
khud@mail.ru

Аннотация. В работе рассмотрены возможности применения различных программных фильтров при работе на реальном испытательном стенде циклически неустойчивой системы типа «шар на стержне». Для измерения расстояния от шара до центра стержня строго в одной плоскости предложено использовать специальный инфракрасный датчик расстояния типа Sharp 2Y0A2. Выходной сигнал датчика содержит как постоянный шум, так и случайную составляющую, поэтому для нормальной работы системы стабилизации необходима фильтрация измеренных значений. Показано, что наилучшую фильтрацию шума измерений в этой ситуации обеспечивает фильтр Калмана.

Ключевые слова: датчик расстояния, шум измерения, программный фильтр, маятниковые системы, фильтр Калмана.

Введение

В настоящее время в отечественной и зарубежной научной литературе просматривается тенденция увеличения числа публикаций, посвященных решению проблемы стабилизации различных маятниковых систем с высоким уровнем колебательности [1, 4, 5]. Это обусловлено, с одной стороны, появлением различных технических устройств (моноциклов, крановых установок, вибрационных роботов, сигвейев и др.), математическое описание которых соответствует такого рода системам [6]. С другой стороны, управление маятниковыми системами на подвижном основании представляет собой интерес с точки зрения теоретической механики и теории управления. Для исследования общих свойств таких систем и отработки алгоритмов управления разрабатываются специальные физические модели, одна из которых реализована автором и представляет собой систему «шар на стержне».

Целью данной работы является анализ влияния шума измерения аналогового датчика на выходной сигнал системы и выбор подходящего типа фильтрации.

Постановка задачи

Система «шар на стержне» относится к классу систем типа «перевернутый маятник» [1], так как стержень способен поворачиваться вокруг своей точки подвеса, расположенной под ним (рис. 1).

Данный объект является циклически неустойчивой системой, которая широко используется в качестве испытательного стенда для тестирования различных методов управления. При этом необходимо измерять расстояния от шара до центра стержня строго в одной плоскости. С этой целью в реализованной физической модели предлагается использовать ИК-датчик расстояния Sharp 2Y0A2 [7].

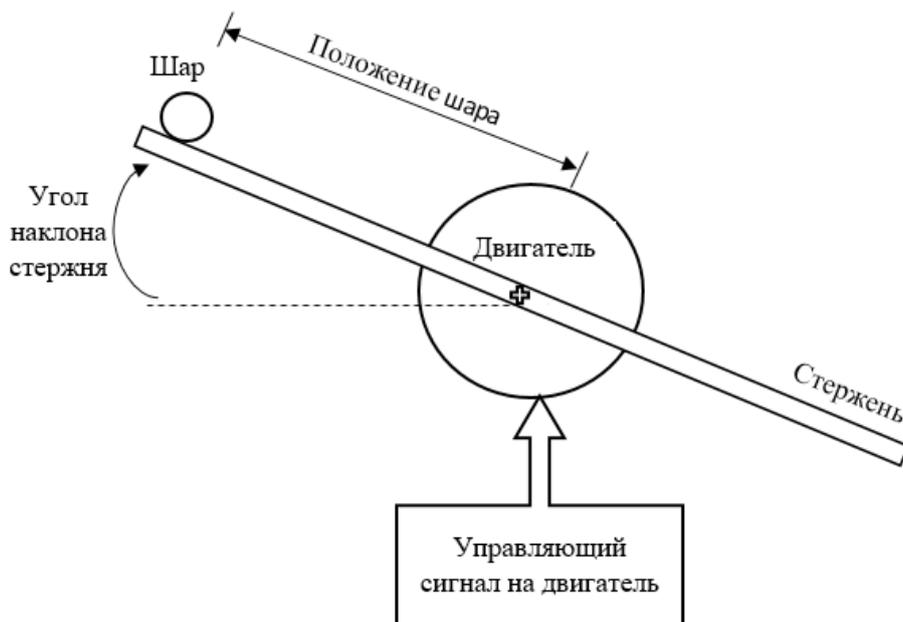


Рис. 1. Схематичное изображение системы «шар на стержне»

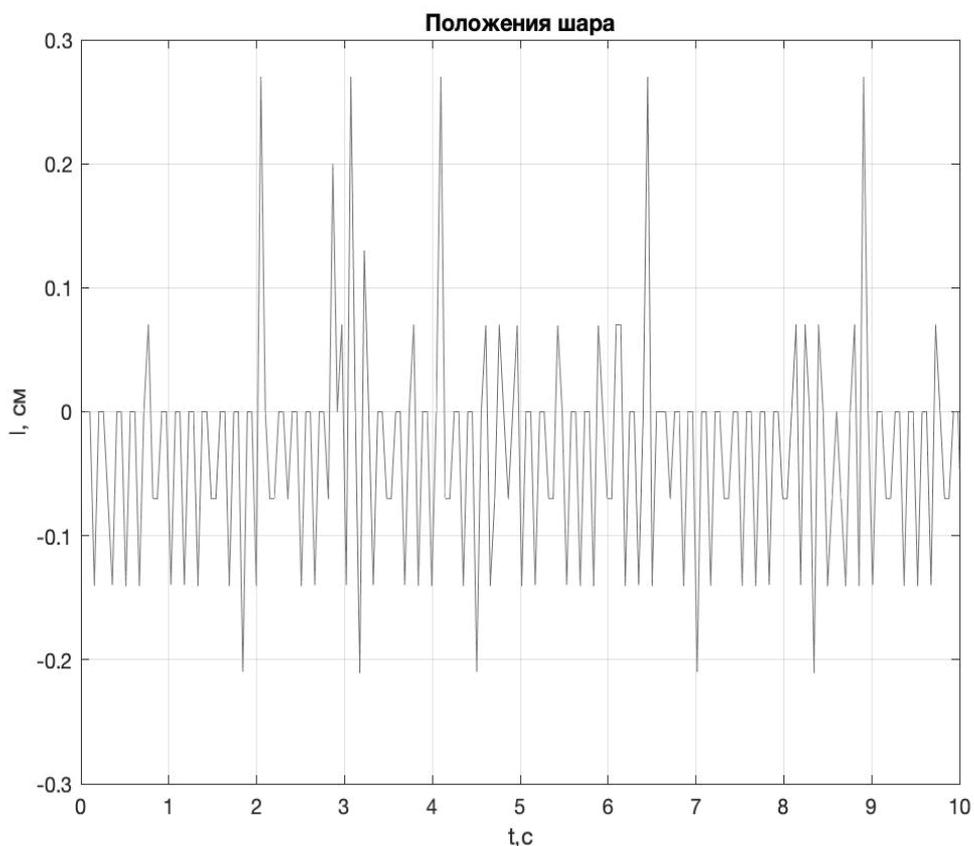


Рис. 2. Результат измерения положения шара в центре стержня

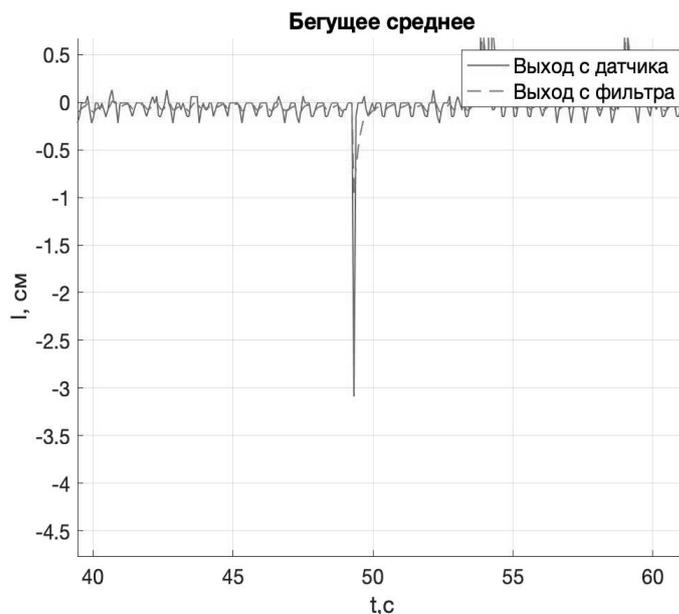


Рис. 3. Иллюстрация работы фильтра «Экспоненциальное скользящее среднее»

Система регулирования должна обеспечить удержание шара в середине стержня, что соответствует значению ИК-датчика в 0 см. На Рис. 2 показан выходной сигнал датчика для этой точки, который содержит как постоянный шум с равными отклонениями, так и случайную составляющую.

Наличие шумов измерения затрудняет решение задачи стабилизации положения шара, поэтому необходимо предусмотреть их хорошую фильтрацию. С этой целью предлагается использовать программные фильтры, обсудив предварительно возможности наиболее распространенных вариантов применительно к данной задаче.

Фильтр типа «Скользящего среднего»

«Скользящее среднее» (Moving Average) является одним из самых простых в семействе цифровых фильтров [8]. Несмотря на свою простоту, он хорошо справляется с подавлением случайных шумов и сохраняет быструю реакцию на изменение измеряемого значения.

Работа фильтра заключается в усреднении нескольких точек входного сигнала для получения каждой точки выходного сигнала в соответствии с выражением

$$y[i] = \frac{1}{M} \sum_{j=0}^{M-1} x[i+j],$$

где $x[i+j]$ — входной сигнал; $y[i]$ — выходной сигнал; M — количество точек, используемых в скользящем среднем.

Этот фильтр имеет несколько модификаций, в частности, «Взвешенное скользящее среднее» (Weighted Moving Average) и «Экспоненциальное скользящее среднее» (Exponential Moving Average) [2], который не требует длительной инициализации и выдает результат согласно выражению

$$y[i+1] = y_i + \frac{2}{M+1}(x_i - y_i), \quad x_1 = y_1,$$

$$M = const.$$

На рис. 3 представлены результаты работы программного фильтра «экспоненциальное скользящее среднее» с коэффициентом фильтрации 0.3 и шагом фильтрации 10 мс.

Как видно (рис. 3), происходит фильтрация простого шума, значение случайного шума уменьшается в 3 раза, однако имеется небольшая задержка измерений быстро изменяющихся значений.

Медианный фильтр

Медианный фильтр представляет собой последовательно скользящий по массиву сигнала и возвращающий на каждом шаге один из элементов, попавших в окно (апертуру) фильтра [9]. Выходной сигнал y_k скользящего медианного фильтра шириной $(2n+1)$ для текущего отсчета k формируется из входного временного ряда в соответствии с выражением

$$k = med(x_{k-n}, x_{k-n+1}, \dots, x_{k-1}, x_k, x_{k+1}, \dots, x_{k+n-1}, x_{k+n}),$$

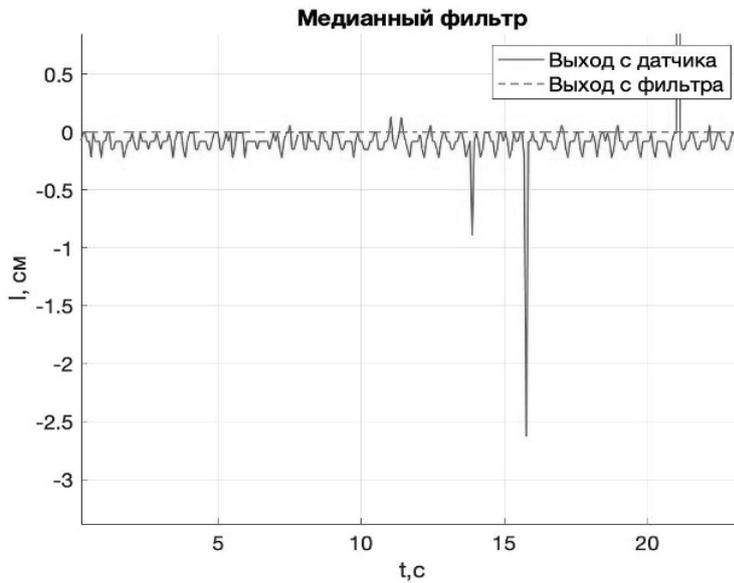


Рис. 4. Фильтрация сигнала медианным фильтром

где $med(x_1, \dots, x_m, \dots, x_{2n+1}) = x_{n+1}$ — элементы вариационного ряда, ранжированные в порядке возрастания значений.

На практике апертура фильтра для упрощения алгоритмов обработки данных, как правило, устанавливается с нечетным числом отсчетов. В качестве начальных и конечных условий фильтрации обычно принимается текущее значение сигнала, либо медиана находится только для тех точек, которые вписываются в пределы апертуры. Результаты работы фильтра приведены на рис. 4.

Видно, что фильтр полностью подавляет как постоянный, так и случайный шум. Однако при резких изменениях значений с датчика фильтр ведет себя дискретно и не чувствителен к их малым изменениям (порядка 1 см), что делает его непригодным в системах, где требуется высокая точность.

Фильтр Калмана

Фильтр Калмана — это эффективный рекурсивный фильтр, который позволяет оценить вектор состояния динамической системы, используя ряд неполных и зашумленных измерений [10]. При этом для расчёта текущего состояния системы необходимо знать текущее измерение, а также предыдущее состояние самого фильтра. Фильтр Калмана реализован во временном представлении, и в отличие от других рекурсивных фильтров, оперирует не только оценками состояния, но и оценками неопределённости (плотности распределения) вектора состояния согласно формуле Байеса условной вероятности [10].

Рассмотрим работу фильтра Калмана для динамической системы

$$\dot{x} = Fx + w(Q),$$

где $x \in R^n$ — вектор состояния; F — матрица переходов, $w(Q)$ — случайный шум с нулевым мат. ожиданием и матрицей ковариаций Q .

Фильтрация шума состоит из двух этапов: экстраполяции и коррекции. Предварительно необходимо задавать следующие параметры системы: матрицу ковариаций Q , матрицу наблюдения H , ковариацию шума наблюдения R , начальное значение ковариаций матрицы для вектора состояния $P = Q$, наблюдаемое состояние системы $z(t)$ и начальное значение оценки состояния системы $z(0) = x$. В результате экстраполяции с последующей коррекцией по определенным правилам [10] обеспечивается фильтрация измеренного датчиком выходного сигнала. Работа фильтра при значениях амплитуды шума 0.15 см (средние отклонения амплитуды сигнала без фильтра) и скорости изменения 0.2 с (подбирается в процессе эксперимента, вручную) представлена на рис. 5.

Как видно, фильтр уменьшает амплитуду постоянного и случайного шума приблизительно в 10 раз, практически не имеет задержки при измерениях и является достаточно точным.

Альфа-бета фильтр

Альфа-бета фильтр [10] представляет собой упрощенный вариант фильтра Калмана, в отличие от которого

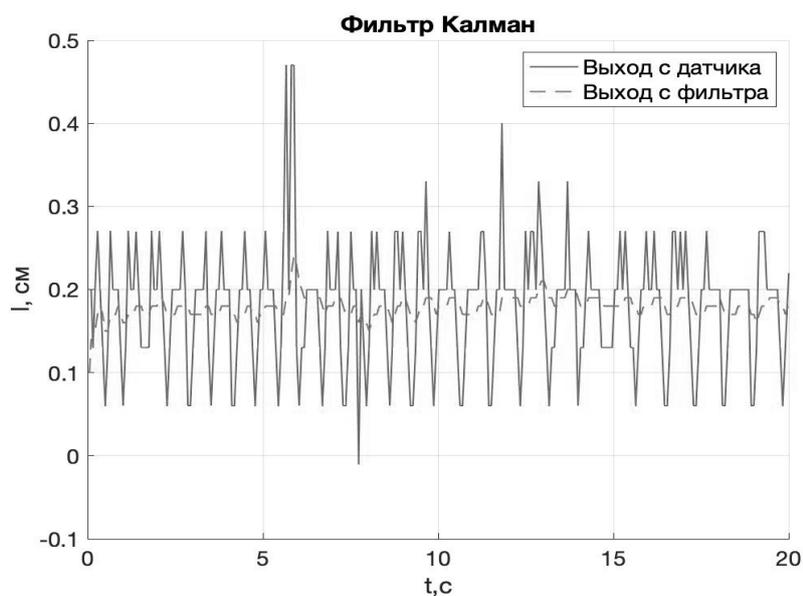


Рис. 5. Иллюстрация фильтрации выходного сигнала фильтром Калмана

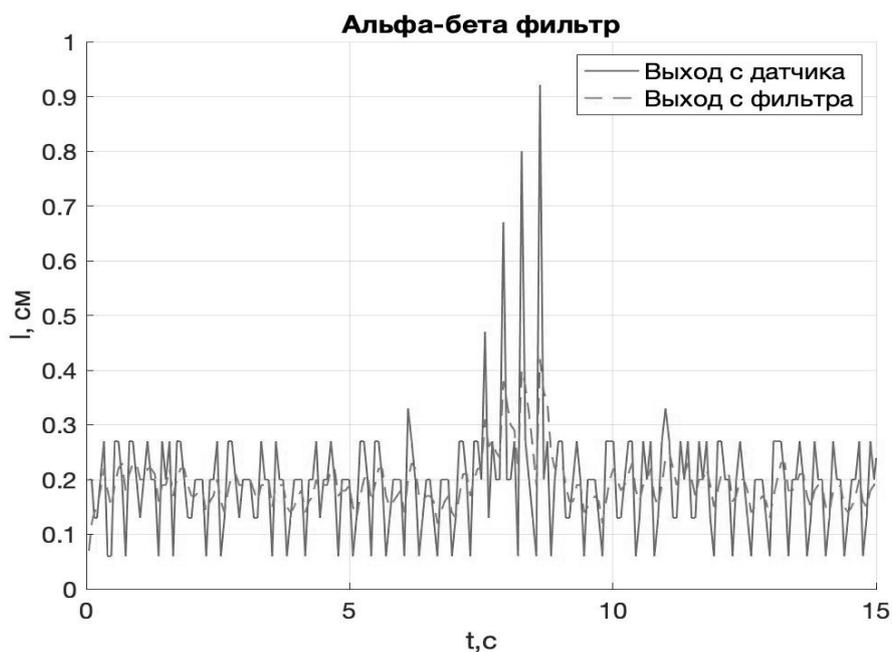


Рис. 6. Иллюстрация работы альфа-бета фильтра

при реализации не требуется знание детальной модели системы. В этом случае достаточно иметь аппроксимированную модель системы, которую определяют две переменные состояния: положение x и скорость v .

Предполагается, что скорость остается постоянной в течение малого промежутка времени ΔT между

измерениями, т.е. ее прогнозируемое значение равно текущему, $v_k = v_{k-1}$. Наличие шума приводит к отличию выходного измерения от прогнозируемого, поэтому вводится ошибка прогнозирования r . С целью корректировки оценки положения и скорости используются специальные константы α и β , при этом прогнозируемые значения определяются по соотношениям

$$\begin{cases} x_k = x_{k-1} + \Delta T \cdot v_{k-1} + \alpha \cdot r_k, \\ v_k = v_{k-1} + \frac{\beta}{\Delta T} \cdot r_k. \end{cases}$$

Для сходимости и стабильной работы фильтра значения констант должны удовлетворять условиям: $0 < \alpha < 1$, $0 < \beta \leq 2$, $(4 - 2\alpha - \beta) > 0$. Отметим, что подавление шума возможно только в случае, когда $0 < \beta < 1$. Иллюстрация фильтрации выходного сигнала датчика с помощью альфа-бета фильтра представлена на рис. 6.

Фильтр неплохо справляется с поставленной задачей, однако значения коэффициентов α и β приходится корректировать экспериментально. Как правило, увеличение значений коэффициентов приводят к ускорению реакции на изменение значений, в то время как их уменьшение снижает уровень шума в оценках состояния.

Заключение

Проведен сравнительный анализ возможностей различных программных фильтров при работе на реальном испытательном стенде с использованием ИК-датчика расстояния Sharp 2Y0A2. Показано, что наилучшую фильтрацию шума измерений в этой ситуации обеспечивает фильтр Калмана.

Разработана программная реализация фильтра, позволяющая задавать определенные настройки фильтрации: среднюю амплитуду шума, коэффициент, отвечающий за скорость изменения значений. При этом удается подавлять постоянный шум и уменьшать амплитуду случайных сигналов до 10 раз. Таким образом, фильтр Калмана может быть использован в системах, где требуется высокое быстродействие и точность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Формальский А.М. Управление движением неустойчивых объектов. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2012. 232 с.
2. Trummer G. Distance measuring device and method for determining a distance. US: Mikrowellen-Technologie und Sensoren GmbH, 2008. 235 с.
3. Датчики / В.М. Шарапов, Е.С. Полищук, Н.Д. Кошевой, Г.Г. Ишанин, И.Г. Минаев, А.С. Совлуков. — Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2017. 624 с.
4. Семенов М.Е., Пигарев А.Е., Малинина А.А., Попов М.А. Система связанных маятников с управлением вертикальными осцилляциями. // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. 2019. № 12. С. 694–707.
5. Грибков В.А., Хохлов А.О. Прием, упрощающий решение задачи устойчивости параметрически стабилизируемых статически неустойчивых маятниковых систем. // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2015. № 11. С. 29–38.
6. Корнилков А.Н., Липатников Н.Г., Хижняков Ю.Н. Разработка системы управления «Сегвей» на базе адаптивного нечеткого регулятора // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2016. № 19. С. 124–132.
7. SHARP. Описание сенсора модели GP2Y0A02YK0F // Sheet No.: E4-A00101EN URL: https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Infrared/gp2y0a02yk_e.pdf.
8. Steven W.S. Moving Average Filters // Digital Signal Processing A Practical Guide for Engineers and Scientist. 2013. № 15, С. 277–284.
9. Бардин Б.В. Обработка и представление данных // Научное приборостроение. 2011. № 3, С. 135–139.
10. Балакришнан А.В. Теория фильтрации Калмана. — Москва: Книга по Требованию, 2021. 164 с.

© Мелешкин Кирилл Николаевич (kmeleshkin@mail.ru), Худяков Дмитрий Сергеевич (khud@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

МЕТОДИКА МОДУЛЬНО-КОНВЕЙЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ SPARK SQL И SPARK MLlib С ИНТЕГРАЦИЕЙ ЯЗЫКОВ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

THE METHODOLOGY OF MODULAR PIPELINE DATA PROCESSING BASED ON SPARK SQL AND SPARK MLlib WITH THE INTEGRATION OF PROGRAMMING LANGUAGES

**V. Monastyrev
S. Molodyakov**

Summary. A methodology for constructing a data processing architecture based on Spark SQL and Spark MLlib with the possibility of integrating various programming languages is proposed. Thanks to the use of such an architecture, it is possible to modularly build the data processing process, where each step is a separate and independent part that can be added or removed from the processing process. An example of conveyor-modular processing is presented. A processing pipeline is organized using Spark MLlib. Spark SQL is used to organize queries and to process data. The structure of its processing classes is considered in Scala using the Transform and Estimator base classes of the Spark MLlib library. An example of a processing pipeline is given, which begins with data preparation and ends with training a machine learning model. In the Python language, an example of the implementation of the code of the model to which the conversion takes place directly from the pipeline is presented. The possibility of implementing data processing in one language and model training in another is shown.

Keywords: big data, machine learning, Spark, pipeline, Spark SQL, Spark MLlib.

Монастырев Виталий Викторович

Аспирант, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
vit34–95@mail.ru

Молодяков Сергей Александрович

Д.т.н., профессор, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
molodyakov_sa@spbstu.ru

Аннотация. Предлагается методика построения архитектуры обработки данных на основе Spark SQL и Spark MLlib с возможностью интеграции различных языков программирования. Благодаря использованию такой архитектуры можно модульно выстраивать процесс обработки данных, где каждый шаг является отдельной и независимой частью, которую можно добавлять или убирать из процесса обработки. Представлен пример конвейерно-модульной обработки. С использованием Spark MLlib организован конвейер обработки. Spark SQL применен для организации запросов и для обработки данных. Построение собственных классов обработки рассмотрено на языке Scala при помощи базовых классов Transform и Estimator библиотеки Spark MLlib. Приведен пример конвейера обработки, который начинается с подготовки данных и заканчивается обучением модели машинного обучения. На языке Python представлен пример реализации кода модели, к которой происходит обращение напрямую из конвейера. Показана возможность реализации обработки данных на одном языке, а обучение моделей на другом.

Ключевые слова: большие данные, машинное обучение, Spark, конвейер, Spark SQL, Spark MLlib.

Введение

В настоящее время появляется все больше областей, в которых используется обработка больших объемов информации, в частности, можно выделить банковские системы, системы анализа интересов пользователей, системы поиска и распознавания изображений и т.д. [1, 2]. Особенностью архитектуры таких систем является то, что требуется модифицировать отдельные элементы процесса обработки без изменения других. Основной архитектурой таких систем является модульная архитектура. В случае модульной архитектуры каждый этап обработки данных представляет собой отдельную и независимую часть, которая может быть добавлена или удалена из процесса обработки. Для

повышения производительности можно организовать конвейер продвижения данных по модулям обработки (рис. 1). Чем больше модулей в конвейере, тем выше скорость обработки. Более того, самый медленный модуль определяет максимальную частоту продвижения данных.

В настоящее время при работе с большими данными Apache Spark является одним из основных фреймворков. Spark предоставляет разработчикам набор библиотек [3, 4]: Spark SQL — библиотека, позволяющая работать с данными с помощью запросов и операций, близких к языку SQL; Spark Machine Learning Library (MLlib) — набор классов и методов, содержащих инструменты для реализации моделей машинного обучения на больших объемах

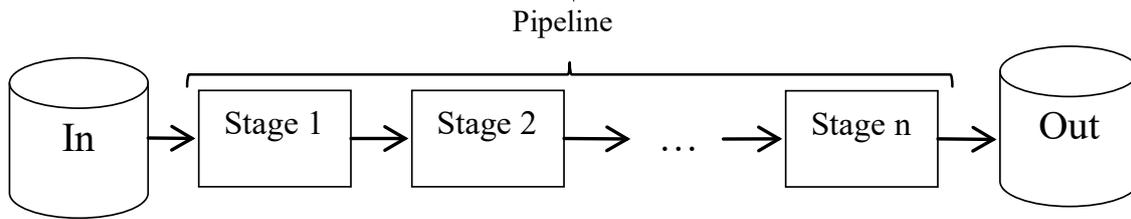


Рис. 1. Схема модульного конвейера обработки данных

данных; Spark GraphX — библиотека, которая позволяет работать с графами, распределенными поверх RDD (Resilient Distributed Dataset); Spark Streaming — это библиотека для работы с распределенным потоковым набором данных (данные из Kafka и т.д.) [5].

При работе с Spark возникают две основные трудности. Во-первых, необходимо создать модульные архитектуры для построения процесса обработки данных. Во-вторых, необходимо интегрировать модели машинного обучения в общую архитектуру. Во втором случае решается вопрос о том, как интегрировать несколько языков программирования. Spark предоставляет свой API для языков Java, Scala, Python и R, но в большинстве случаев Scala используется для обработки данных, поскольку это родной язык для Spark. Spark предоставляет собственную библиотеку машинного обучения Spark MLlib [4], однако она отстает от своих аналогов по количеству реализованных алгоритмов и функциональности, поэтому используется не так часто. Большинство наиболее популярных библиотек машинного обучения реализованы на Python (например, PyTorch [6], TensorFlow и многие другие [3]). В результате наиболее релевантной комбинацией языков является комбинация, когда код для подготовки данных реализован на Scala, а модель машинного обучения реализована на Python [7].

Существующие подходы к построению процессов обработки больших объемов информации

Рассмотрим существующие альтернативные подходы к разработке процессов обработки больших данных, которые могут быть реализованы, в том числе с использованием Apache Spark. Как правило, большинство подходов сводится к созданию собственной архитектуры процесса обработки данных. Есть два основных варианта того, как это может быть реализовано. Во-первых, непрерывный процесс обработки данных с использованием одного скрипта. В этом случае реализуется общий алгоритм обработки данных для приведения данных к требуемому виду. Алгоритм может включать в себя различные операции агрегирования, группировки, фильтрации и т.д. В то же время необходимо понимать, какие данные

перетасовываются между узлами кластера [4, 8]. Вызов такого скрипта может происходить вручную, когда разработчик при необходимости сам запускает скрипт, или запуск может происходить автоматически с помощью инструментов CI/CD (например, Jenkins, TeamCity и т.д.). Недостатки такого подхода очевидны — все преобразования данных находятся в одном месте, и логически сложно понять, какая часть кода за что отвечает. Еще одним важным моментом является сложность редактирования и дальнейшей поддержки. Во-вторых, обработка данных разделена на отдельные процессы или модули. Создается архитектура, которая позволяет вам выполнять эти этапы в правильном порядке. В этом случае при обработке данных могут быть использованы различные инструменты оркестровки — например, Apache Airflow. Однако построение этой архитектуры — это довольно сложный и длительный процесс. Ошибки проектирования могут повлиять на дальнейшую работу, но модульность позволяет быстрее вносить коррективы во время дальнейшей разработки.

Другими вариантами интеграции языков и моделей машинного обучения данных являются. Во-первых, обработка данных и модель машинного обучения реализованы на одном и том же языке. В этом случае обучение модели и запуск прогнозирования обычно полностью интегрированы с процессом обработки данных. Это может быть представлено в виде одного скрипта или в виде модулей с использованием оркестраторов. Если говорить о едином языке для обработки данных и обучения моделей, то обычно таким языком является Python, т.е. используется PySpark [9]. Среди недостатков такого подхода стоит отметить, что решения на PySpark для реализации процессов обработки данных работают медленнее, чем решения на Scala [10]. Во-вторых, обработка данных и модель машинного обучения реализованы на разных языках. В этом случае вам необходимо организовать вызов процесса обучения модели после процесса обработки данных. Для этой цели, опять же, можно использовать оркестратор или инструменты CI/CD. Из недостатков такого подхода стоит отметить, что необходимо четко понимать степень готовности данных, был ли пропущен какой-либо шаг обработки и так далее.

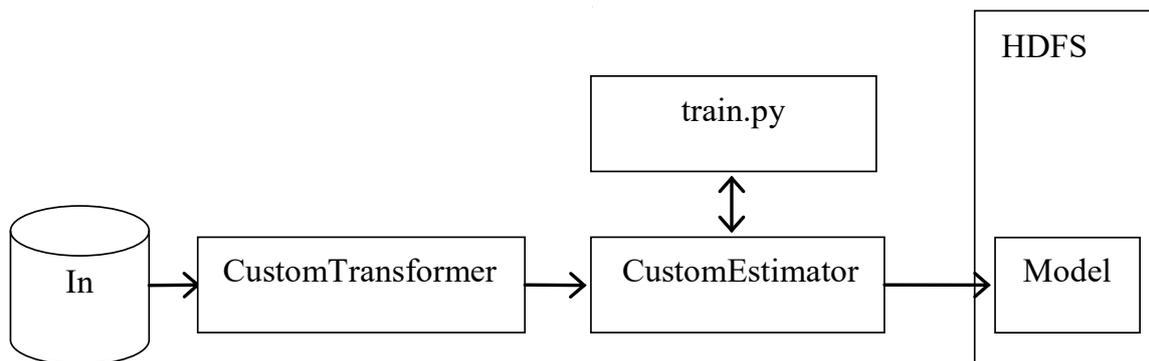


Рис. 2. Конвейер для обучения модели

Таким образом, мы сформируем окончательное представление о том, какой подход был бы желателен в процессе обработки большого объема информации и обучения моделей:

- ◆ Процесс обработки разделен на независимые модули;
- ◆ Архитектура процесса обработки проста и прозрачна;
- ◆ Процесс обработки и обучения моделей может быть реализован на различных языках программирования;
- ◆ Работа моделей может быть довольно просто интегрирована в общий процесс обработки без использования сторонних фреймворков.

В статье рассмотрен подход, в котором реализована представленная схема (рис. 1). Конвейер обработки будет построен с использованием базовых классов из библиотеки MLlib. Spark SQL используется для организации запросов и обработки данных. Рассматривается построение пользовательских классов обработки на Scala с использованием базовых классов Transform и Estimator библиотеки Spark MLlib. Благодаря использованию этих классов можно будет использовать такие классы, как Pipeline, которые делают довольно простым и модульным компиляцию процесса подготовки данных и работы моделей машинного обучения.

Пример реализации модульного конвейера обработки с интеграцией различных языков программирования

Рассмотрим пример реализации модульного конвейерного метода обработки данных с использованием Spark SQL и Spark MLlib. Spark SQL можно использовать для обработки структурированных данных. Он основан на логике запросов, основанной на языке SQL, так что пользователь, не имеющий опыта разработки, но имеющий опыт в аналитике, также может заниматься обработкой данных. Spark MLlib позволяет реализовывать

конвейер обработки и работать с использованием класса Pipeline. Pipeline позволяет осуществлять обработку данных поэтапно. Если происходит только преобразование данных, то Spark MLlib использует класс Transformer для этой цели. Если модель обучается, то используется базовый класс Estimator. Все этапы обработки передаются в Pipeline в методе setStages.

Реализация проприетарных классов обработки данных на основе Transformer и Estimator будет рассмотрена на языке Scala, однако аналогичным образом возможно реализовать кодовую базу на других языках, обеспечивающих возможность работы со Spark через API: Scala, Java, Python и R.

Упрощенный процесс обработки данных показан на рис. 2. Представлен случай, когда в процессе обработки участвуют один CustomTransformer и один CustomEstimator. Для работы с моделью используется программа на Python (train.py), а файлы распределяются между узлами вычислительного кластера, например, с использованием распределенной файловой системы Hadoop (HDFS).

Последовательно рассмотрим структуру реализованного класса для преобразования данных на основе базового класса Spark MLlib Transformer.

```

class CustomTransformer(override val uid: String)
  extends Transformer
  with DefaultParamsWritable
  {def this() = this(Identifiable.randomUUID("org.apache.
  spark.ml.feature.CustomTransformer"))
  override def transform(dataset: Dataset[_]): DataFrame
  = ???
  override def copy(extra: ParamMap): Transformer =
  defaultCopy(extra)
  override def transformSchema(schema: StructType):
  StructType = ???
  }
  
```

В приведенном выше примере предполагается, что реализованный класс называется CustomTransformer. Этот класс наследуется от двух классов: Transformer и DefaultParamsWritable.

- ◆ Transformer — это абстрактный класс библиотеки Spark MLlib, который позволяет реализовывать преобразования данных и интегрировать их в класс Pipeline в качестве этапа обработки.
- ◆ DefaultParamsWritable — особенность библиотеки Spark MLlib, которая помогает сделать реализуемый класс доступным для записи в файловое хранилище.

Каждый Transformer в рамках Spark MLlib должен иметь свой собственный уникальный идентификатор — параметр uid. Он генерируется с помощью метода Identified.randomUUID.

Метод transform принимает набор данных в качестве аргумента. Это непосредственно набор данных, переданный в Transformer. Он может быть получен как исходный набор данных или как выходной результат предыдущего этапа обработки в конвейере. Внутри метода преобразования пользователь реализует все необходимые преобразования для требуемых данных. В этом случае предлагается использовать модуль Spark SQL. Например, в качестве шага обработки вам нужно добавить новый столбец, который является суммой двух уже существующих, тогда метод преобразования будет выглядеть следующим образом:

```
override def transform(dataset: Dataset[_]): DataFrame = {
  dataset.withColumn("newFeature", col("col1") + col("col2"))
}
```

- ◆ Метод copy позволяет создать копию экземпляра с тем же UID и некоторыми дополнительными параметрами.
- ◆ Метод transformSchema содержит схему для набора данных, которая будет получена в конце преобразования. Это необходимо, потому что Spark работает с отложенными вычислениями и перед началом вычисления конвейера проверяет, что все этапы обработки могут быть выполнены, т.е. содержатся все необходимые столбцы, с которыми они работают. Например, шаг 1 выводит набор данных со столбцами col1 и col2, а шаг 2 в методе преобразования обращается к столбцу col3, который не существует. Тогда Spark выдаст соответствующую ошибку, и вычисления не запустятся.

В дополнение к наборам методов, описанных выше, transformer также может содержать наборы параметров.

Если они необходимы, то для них реализуются соответствующие методы get и set.

Наконец, чтобы иметь возможность читать, вам необходимо реализовать пользовательский объект Transformer:

```
object CustomTransformer extends DefaultParamsReadable[CustomTransformer] {
  override def load(path: String): CustomTransformer = super.load(path)
}
```

Этот объект наследуется от признака DefaultParamsReadable и реализует метод load. Этот метод позволяет вам считывать Transformer в сохраненном Pipeline.

Теперь необходимо рассмотреть структуру реализованного класса, чтобы иметь возможность обучать данные на основе базового класса Spark MLlib Estimator.

```
class CustomEstimator(override val uid: String) extends Estimator[CustomEstimatorModel] with DefaultParamsWritable {
  def this() = this(Identifiable.randomUUID("CustomEstimator"))
  override def fit(dataset: Dataset[_]): CustomEstimatorModel = {???}
  override def copy(extra: ParamMap): CustomEstimator = defaultCopy(extra)
  override def transformSchema(schema: StructType): StructType = {???}
}
```

В этом случае предполагается, что имя реализованного класса — CustomEstimator. В этом случае Estimator должен наследоваться от Estimator[CustomEstimatorModel] и DefaultParamsWritable. Класс Estimator, как и класс Transformer, имеет уникальный идентификатор uid, который генерируется с использованием метода Identified.randomUUID. По аналогии с Transformer, методы копирования также реализованы для создания экземпляра объекта и transformSchema для указания выходной схемы набора данных.

Использование Python для реализации алгоритма обработки

При реализации алгоритмов обработки существует несколько возможных вариантов:

- ◆ Алгоритм машинного обучения реализован на том же языке, что и код Estimator. Например, если код был реализован на PySpark, то различные библиотеки Python можно было бы исполь-

зовать прямо внутри оценщика для обучения моделей.

- ♦ Алгоритм машинного обучения реализован на другом языке. В этом случае вы можете интегрировать обучение модели на другом языке программирования следующим образом: преобразуйте набор данных, подготовленный для обучения, в RDD, а затем примените метод `rdd.pipe(filename)`, который запустит указанный файл, где указанный RDD будет использоваться в качестве аргумента командной строки. То есть, таким образом, вы можете реализовать код преобразования в Scala и выполнить обучение модели на Python.

Если мы рассмотрим второй вариант, то файл Python может выглядеть следующим образом:

```
rows = [] #here we keep input data to Dataframe
constructor
for line in sys.stdin:
# parsing the input dataset and writing to rows
#initialization of pandas dataframe
df = pd.DataFrame(rows)
# initialization of the property and result columns
feature_columns = ["feature1","feature2"]
label_column = "label"
# model training, we can use any machine learning
algorithm we need
model = MachineLearningAlgorithm ()
model.fit(df[feature_columns], df[label_column])
model_string = base64.b64encode(pickle.
dumps(model)).decode('utf-8')
# returning the result
print(model_string)
```

В приведенном выше примере входной RDD анализируется, модель обучается, и результат (обученная модель) возвращается в строковом формате. Это строка, которую вернет метод `rdd.pipe`.

По аналогии с `Transformer`, `Estimator` также должен реализовать объект `CustomEstimator`, чтобы иметь возможность считывать данные с файловой системы:

```
object CustomEstimator extends DefaultParamsReadab
le[CustomEstimator] {
  override def load(path: String): CustomEstimator =
  super.load(path)
}
```

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В этой статье представлена методология модульно-конвейерной обработки данных с интеграцией различных языков программирования. В качестве примера реализации был рассмотрен алгоритм построения процесса обработки данных и обучения модели. Полученный алгоритм позволяет разделить процесс обработки на независимые модули. При необходимости их можно легко редактировать, добавлять и удалять из конвейера.

Благодаря возможностям RDD, передаваемым в качестве входных строковых аргументов, разработчик может реализовать обработку данных на одном языке и обучение модели на другом. Это особенно полезно, когда команды разделены на команды `Data Engineers` и `Data Scientists`, т.е. инженеры по обработке данных могут реализовать обработку данных на удобном для них языке с помощью `Spark`, а команда по обучению данным может использовать стандартные и знакомые библиотеки Python.

Кроме того, благодаря построению процессов с использованием `Spark MLlib` вам не нужно реализовывать какие-либо дополнительные классы обработчиков, использовать сторонние фреймворки и т.д., поскольку все, что вам нужно, уже содержится в стандартной библиотеке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Monastirev V.V., Drobintsev P.D. Recommendation system based on user actions in the social network // Proceedings of the Institute for System Programming of the RAS. — 2020. — V. 32. — N3. — P. 101–108 doi: 10.15514/ISPRAS-2020–32(3)-9.
2. Voinov N.V., Voroshilov M.K., Molodyakov S.A., Drobintsev P.D., Prokofiev O.V. Zajitsev I.V. Predicting RTS Index Futures Using Machine Learning // Proceedings 24th International Conference on Soft Computing and Measurements. — 2021. — P. 193–196 doi: 10.1109/SCM52931.2021.9507184.
3. Tang S., He B., Yu C., Li Y., Li K. A Survey on Spark Ecosystem: Big Data Processing Infrastructure, Machine Learning, and Applications // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. — 2022. — V. 34. — N1. — P. 71–91 doi: 10.1109/TKDE.2020.2975652.
4. Luu H. Beginning Apache Spark 2: with resilient distributed datasets, Spark SQL, structured streaming and Spark Machine Learning library. NY: Apress, 2018.
5. Nabi Z. Pro Spark streaming: the zen of real-time analytics using Apache Spark, Berkeley. NY: Apress, 2016.
6. Ketkar N., Jojo M. Deep learning with Python: learn best practices of deep learning models with PyTorch. Berkeley, CA: Apress, 2021.
7. Nguyen G., Dlugolinsky S., Bobák M., et al. Machine Learning and Deep Learning frameworks and libraries for large-scale data mining: a survey // Artif Intell Rev. — 2019. — V. 52. — P. 77–124 doi: 10.1007/s10462–018–09679-z
8. Popov M., Drobintsev P.D. Data Shuffling Minimizing Approach for Apache Spark Programs // Lecture Notes in Networks and Systems. — 2020. — V. 95. — P. 131–139.

9. Rao T.R., Mitra P., Bhatt R., Goswami A. The big data system, components, tools, and technologies: a survey // Knowledge and Information Systems. — 2018.-V. 60. — N3.-P. 1165–1245 doi: 10.1007/s10115–018–1248–0
10. García S., Ramírez-Gallego S., Lueng J., Benítez J.M., Herrera F. Big data preprocessing: methods and prospects // Big Data Analytics. — 2016. — N. 1, (9) doi: 10.1186/s41044–016–0014–0

© Монастырев Виталий Викторович (vit34-95@mail.ru), Молодяков Сергей Александрович (molodyakov_sa@spbstu.ru).
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ И МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ОБСТРУКЦИОННЫХ ПРИЕМОВ В КОММУНИКАЦИЯХ ПРОЕКТОВ ПО СОЗДАНИЮ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ИНДУСТРИИ 4.0

USING NEURAL NETWORKS AND MACHINE LEARNING TO IDENTIFY OBSTRUCTIVE TECHNIQUES IN COMMUNICATIONS IN LARGE SCALE SYSTEMS IMPLEMENTATION PROJECTS FOR INDUSTRY 4

S. Smirnov

Summary. Less than a third of the global volume of completed projects are completely successful. As one of the key problems that actually kill projects, the problem of poor-quality project communications is described in the literature. The paper presents the results of the analysis of the possibility of using neural networks and machine learning methods to automate the recognition of obstructive techniques in project communications, which was not previously described in the literature.

Keywords: project management, project communications, project risks, obstructive techniques, neural networks, machine learning.

Смирнов Сергей Павлович

Аспирант, Российский технологический университет МИРЭА (г. Москва); Руководитель департамента управления проектами, ПАО «Вымпелком» (г. Москва)
smirnov.s.p1@edu.mirea.ru

Аннотация. Менее трети мирового объема выполняемых проектов являются полностью успешными. В качестве одной из ключевых проблем, фактически убивающих проекты, в литературе описана проблема некачественных коммуникаций проекта. В работе представлены результаты анализа возможности применения нейронных сетей и методов машинного обучения для автоматизации распознавания obstructive приемов в проектных коммуникациях, что ранее не описывалось в литературе.

Ключевые слова: управление проектами, проектные коммуникации, риски проектов, obstructive приемы, нейронные сети, машинное обучение.

Введение

Ежегодно в мире инициируется и выполняется более миллиона проектов общей стоимостью более триллиона долларов США и лишь 30% из них завершаются успешно, т.е. созданием продукта или услуги с ожидаемыми свойствами, в установленное время, в рамках установленного бюджета. Более половины проектов считаются условно успешными: полученный результат частично удовлетворяет потребностям и требуемым характеристикам; и-или срок выполнения проекта превысил ожидания, но оказался приемлем; и-или бюджет проекта превышен, но итоговая стоимость принята заказчиком проекта. Около 20% проектов, в среднем, признаются полностью неуспешными [1]. Отмечается существенная обратная корреляция объема проекта и вероятности его успеха: если для небольших, или относительно небольших, проектов процент полной неуспешности составляет 4–5%, то для больших проектов (стоимость трудозатрат проекта сто миллионов рублей и более) эта величина достигает уже 38% [1].

Для увеличения вероятности успешного получения необходимого результата для сложных систем успешно применяются различные техники и технологии, например, в качестве наиболее распространенных можно назвать методологии управления проектами (PMBOK, PRINCE2, Agile/Scrum, Agile/Kanban, Agile/Lean) и Системную инженерию. Метод Системной инженерии охватывает более широкий спектр вопросов, чем методологии управления проектами, поскольку Системная инженерия, в первую очередь, вводит понятие и рассматривает полный жизненный цикл результата (изделия, продукта, услуги), в то время как проектная деятельность (в силу заданного определением проекта границ времени существования), ограничивается процессом получения результата и не отвечает на вопросы как полученный продукт будет эксплуатироваться, развиваться, улучшаться и заменяться следующими поколениями продукта или другими продуктами. Тем не менее, и метод Системной инженерии и методологии управления проектами имеют дело с одним и тем же негативным воздействием факторов окружения, отличающимся в деталях. По результа-

там анализа литературных источников можно привести следующие статистические данные о причинах неудач проектов по данным ведущих организаций, занимающихся консалтингом и методологией в области проектного управления:

1. 46% компаний признают, что недооценили значимость и необходимость управления проектами в части управления ресурсами [2];
2. 27% проектов обычно выходят за рамки бюджета [3];
3. 41% малоэффективных компаний и 17% чрезвычайно эффективных компаний отмечают, что ключевой причиной неуспешности проектов является недостаточная поддержка проекта ключевыми заинтересованными сторонами, в том числе в контексте авторизации и выделения ресурсов для выполнения проекта [4];
4. 47% проектов имеют проблемы с достижением заявленных целей из-за существенных недостатков в управлении требованиями [5];
5. 38% организаций полагают, что наиболее значимым барьером на пути к успеху проекта является непонимание задач и разделения ответственности команды проекта [6];
6. 80% организаций отмечают, что по крайней мере половина всех трудозатрат приходится на переделки [6];
7. 37% организации отмечают, что параллельное выполнение слишком большого количества проектов ведет к существенному увеличению вероятности провала, в том числе из-за конфликта с доступностью ресурсов [7];
8. 50% проектов перерасходуют запланированный бюджет как минимум на 1 миллион долларов [8].

Из сказанного выше, можно заключить, что управление ресурсами (включающее в себя управление взаимодействием с заинтересованными сторонами, идентификацию трудоемкости и потребности в ресурсах, планирование использования ресурсов и планирование решения конфликтов, управление рисками и оказание влияния на владельцев ресурсов) является ключевым фактором для успешного выполнения проекта. При этом, необходимо отметить, что большинство применяемых методов и стандартов управления проектами [9][10] в части управления ресурсами основываются на нечеткой логике, субъективных суждениях, а также навыках ведения переговоров у менеджера проекта, что создает отдельное множество рисков, связанных с возможной ошибкой.

В области исследований социальных взаимодействий описано не очень большое количество моделей [11]: модель ДеГрута [12], модель Фридкина-Джонсона [13] и модель Краузе [14]. Модель ДеГрута [11], считаю-

щаяся на данный момент уже классической, рассматривает переход системы мнений из состояния А в состояние В. В модели рассматривается пошаговый алгоритм при котором каждый участник одновременно с другими изменяет свое мнение, используя взвешенное среднее значение мнений других участников. Ключевым недостатком модели является предположение об однородности лиц принимающих решение (агентов). Также недостатком модели является отсутствие возможности понять (учесть в модели) близость мнения индивидуума к истине — модель не позволяет учитывать влияние внешних факторов или взаимодействие мнений. В работе [15] показано, что модель ДеГрута использует чересчур упрощенный (наивный) подход к определению мнения и не может быть применена для решения практических задач. В то же время, в работе [16] отмечается, что существуют определенные виды сетей, с помощью которых, в ряде случаев, удается достигнуть приемлемого решения. В работе [17] представлено расширение модели ДеГрута путем анализа влияния гетерогенности агентов для процесс принятия решения. Для этого рассматривается упрощенная модель, учитывающая два вида агентов: конформистов, стремящихся к достижению результата, и противников — стремящихся к противоположному общему мнению. Другие расширения и модификации модели ДеГрута представлены в работах [18–32], в том числе в работах [29][30] рассматривается влияние внутренних факторов, таких как психоэмоциональные особенности человека, на достижение общего консенсуса при принятии решения в группе.

Модель Фридкина-Джонсона [13] фактически является расширением модели ДеГрута, в которую вводится некоторая устойчивость мнения агента к изменению (упрямство). Модель Краузе [14] определяет множество соседей по-другому. Каждый агент принимает в качестве своих соседей тех индивидуумов, чьи мнения отличаются от него не более чем на определенный уровень доверия. В результате, оказывается, что модель Краузе нелинейна, в то время как первые модели ДеГрута и Фридкина относятся к линейным.

Ключевым недостатком всех перечисленных моделей является необходимость нескольких итераций для достижения целевого состояния или близкого к нему. Это приводит к существенной неопределенности, поскольку переходные состояния системы, по факту, не являются статическими и, де-факто, могут быть изменены между выходом N-ной итерации и входом N+1-й итерации в совершенно произвольном порядке. Например, в работе [33], в которой с использованием методов математической биологии, путем переноса модели совместной миграции живых организмов на миграцию мнений в информационно-коммуникационном пространстве, рассматривается аспект, фактически определяющий

ограниченную применимость многоитерационных методов достижения консенсуса: перегрузка механизмов восприятия человека приводит к тому, что чем большим количеством информации обладает каждый член группы, тем большие противоречия будут формироваться и мешать достижению общего единого мнения. В этой связи достижение соглашения за один шаг выглядит более перспективным, чем решение этой же задачи за несколько итераций.

В ранее проведенной работе [34] представлены результаты анализа нескольких сотен коммуникаций 48 проектов одного направления деятельности с целью выявления приемов недружественных коммуникаций, оказывающих негативное влияние на проект, описана методика проведения анализа коммуникаций и анализ большой выборки коммуникаций, описаны исходные данные для анализа и критерии их отбора, выявлены наиболее часто встречающиеся методы недружественной коммуникации в проектах. При этом предполагается, что полученные результаты могут быть использованы менеджерами проектов для идентификации приемов недружественной коммуникации в ручном режиме (идентификация с использованием собственного опыта). Ключевым недостатком такого метода является высокая чувствительность к субъективности суждений менеджера в силу его опыта, настроения или иных факторов.

В развитие алгоритма и метода, предложенных в работе [34], в настоящей работе представлен метод, который можно использовать для снижения степени субъективности суждения менеджера при идентификации приемов недружественной коммуникации.

Подходы и материалы

При проектировании метода сделаны следующие допущения и предположения:

1. Метод предполагает использование менеджером проекта или иным заинтересованным лицом при подготовке встреч.
2. Метод предполагает использование менеджером проекта или иным заинтересованным лицом для анализа конструктивности встреч.
3. Метод предполагает использование менеджером проекта для разработки плана коррекционных мероприятий по итогам встреч.
4. Разрабатываемый метод не рассчитан на онлайн применение в процессе проведения встреч.
5. Метод не предполагает непосредственную работу с сырыми материалами встреч — презентациями, письмами, записями.
6. Метод предполагает работу с предварительно обработанными источниками данных.

7. На данном этапе развития, метод не предполагает возможности идентификации всех выявленных в [34] приемов недружественной коммуникации.

Поиск возможных источников данных для обучения [35–55] показал, что в открытом доступе готовых наборов данных (datasets), содержащих расшифровки совещаний в технической области, не найдено.

Выдвинута гипотеза о возможности выявления определенного подмножества методов недружественных коммуникаций путем анализа эмоционального статуса коммуникации. Таким образом, можно предположить возможность идентификации таких обструкционных приемов, описанных в [34], как «демонизация явления или предмета», «демонизация оппонента», «оскорбительный стиль», «переход на личности». По экспертному мнению автора, указанные приемы недружественной коммуникации встречаются достаточно часто (особенно в Enterprise бизнес-культуре или государственных предприятиях), а влияние на неэффективность встреч и на невозможность достижения консенсуса существенное, поэтому настройка модели на выявление указанных приемов представляется целесообразной.

В качестве исходных данных для обучения модели с целью определения эмоционального статуса коммуникации использована выборка маркированных токсичных (имеющих негативную эмоциональную окраску) комментариев на русском языке [56] в объеме 14412 единиц.

В качестве инструмента для проведения эксперимента выбрана площадка Kaggle (www.kaggle.com) — облачная платформа, поддерживающая Jupiter Notebook, интегрированная с платформой Google, широко используемая для простых экспериментов. Язык программирования — Python.

Выборка тестирования сделана вручную из материалов, проанализированных ранее в работе [34] и включает в себя 3 протокола, 3 электронных письма и 3 расшифровки встречи.

Результаты

В результате работы получена и размещена в публичном доступе в сети интернет обучающая выборка [57].

Проведен анализ выборки с точки зрения ее качества для обучения. Обучающая выборка содержит 35% нетоксичных и 65% токсичных комментариев. Разработанный на Python инструмент для анализа размещен в публичном доступе в сети интернет [58].

Реализован стенд на основе Convolution Network для обучения и дальнейшего анализа тестовой выборки. Тестовые данные размещены внутри инструмента [59].

Получена приемлемая корреляция между экспертным ожиданием и результатами работы конволюционной нейросети на тестовых данных.

Выводы

В рамках работы выдвинута гипотеза о возможности выявления определенного подмножества методов недружественных коммуникаций путем анализа эмоционального статуса коммуникации.

Осуществлено экспериментальное подтверждение гипотезы, для чего разработано модельное программное обеспечение на Python и опубликовано в сети Интернет, выбрана подходящая для анализа эмоционального статуса выборка достаточного для обучения модели объема, подтверждено совпадение экспертной оценки тестовой выборки и полученных результатов.

В результате длительного поиска источников данных для обучения показано, что готовых наборов размеченных данных по расшифровке совещаний, посвященных разработке ПО или выполнению ИТ-проектов, не выявлено в общедоступных источниках. Предположительно, это может быть связано с двумя факторами: 1. отсутствием научно-исследовательской составляющей в проектной деятельности компаний реального сектора экономики; 2. раскрытие информации может нарушать как коммерческую тайну, так и требования по защите персональных данных.

Наборов данных на русском языке в общем количестве выборки данных менее 1%.

Примененная обучающая выборка может быть рассмотрена как best of breed, но является специфичной для общения в Интернет, хотя и показала себя применимой для обучения с целью дальнейшего анализа корпоративных коммуникаций.

Таким образом, подтверждена возможность использования нейросетей и машинного обучения для выявления обструкционных приемов в коммуникациях в ИТ-проектах

Направление дальнейших работ по данной тематике автор формулирует следующим образом:

1. Переход на более аккуратные выборки для обучения [60];
2. Маркировка существующих материалов, полученных в работе [34] в разрезе множества идентифицируемых приемов обструкции;
3. Разработка базы данных маркированных выборок данных для обучения моделей в разрезе различных предметных областей;
4. Разработка и внедрение портала общего доступа, в который можно будет загружать маркированные материалы других авторов;
5. Разработка сетей для идентификации других типов недружественных коммуникаций;
6. Сравнительный анализ различных форм нейронных сетей и их параметров для выбора наиболее подходящего набора сетей для классификации расшифровок для идентификации обструкционных приемов;

ЛИТЕРАТУРА

1. The Standish Group report. Chaos. 2011. [Электронный ресурс] Режим доступа <https://www.projectsmart.co.uk/white-papers/chaos-report.pdf>. Дата визита 01.01.2022.
2. PMI's pulse of the profession: The high cost of low performance. 2014. [Электронный ресурс] Режим доступа <https://www.pmi.org/-/media/pmi/documents/public/pdf/learning/thought-leadership/pulse/pulse-of-the-profession-2017.pdf>. Дата визита 01.01.2022.
3. PMI's pulse of the profession. 9th Global Project management survey. 2017. [Электронный ресурс] Режим доступа <https://www.pmi.org/-/media/pmi/documents/public/pdf/learning/thought-leadership/pulse/pulse-of-the-profession-2017.pdf>. Дата визита 01.01.2022.
4. PMI's pulse of the profession: Success in disruptive times. 2018. [Электронный ресурс] Режим доступа <https://www.pmi.org/-/media/pmi/documents/public/pdf/learning/thought-leadership/pulse/pulse-of-the-profession-2018.pdf>. Дата визита 01.01.2022.
5. PMI's pulse of the profession: Requirements management — a core competency for Project and Program success. 2014 [Электронный ресурс] Режим доступа <https://www.pmi.org/-/media/pmi/documents/public/pdf/learning/thought-leadership/pulse/requirements-management.pdf>. Дата визита 01.06.2020.
6. Geneca (2011). Doomed From the Start? Why a Majority of Business and IT Teams Anticipate Their Software Development Projects Will Fail. // Geneca. Oakbrook terrace, IL.
7. The state of project management. Annual survey. 2018. [Электронный ресурс] Режим доступа <https://www.wellington.co.uk/wp-content/uploads/2018/05/The-State-of-Project-Management-Survey-2018-FINAL.pdf>. Дата визита 01.06.2020.
8. Gartner survey shows why project fails. 2012. [Электронный ресурс] Режим доступа <https://thisiswhatgoodlookslike.com/2012/06/10/gartner-survey-shows-why-projects-fail/>. Дата визита 01.06.2020.
9. A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide), 6th edition. 2017/ Newton-square, PA: Project management institute, 2017.

10. The standart for project management. 2017. Newton-square, PA: Project management institute, 2017.
11. Xu, Zhi & Liu, Ji & Başar, Tamer. (2015). On a Modified DeGroot-Friedkin Model of Opinion Dynamics. Proceedings of the American Control Conference. 2015. DOI: 10.1109/ACC.2015.7170871.
12. Morris H. DeGroot (1974). Reaching a consensus. // Journal of American statistical association, Volume 69, Issue 345, pp. 118–121.
13. N. E. Friedkin and E.C. Johnsen. Social influence networks and opinion change. Advances in Group Processes, 16(1):1–29, 1999.
14. R. Hegselmann and U. Krause. Opinion dynamics and bounded confidence models, analysis, and simulation. Journal of Artificial Societies and Social Simulation, 5(3), 2002.
15. Sobel J, Economists' models of learning, Journal of Economic Theory, 2000, 94(2): 241–261.
16. Golub B and Jackson M O, Naive learning in social networks and the wisdom of crowds, American Economic Journal: Microeconomics, 2010, 2(1): 112–149.
17. Cao, Zhigang & Jiao, Fengliang & Qu, Xinglong & Wang, Wen-Xu & Yang, Mingmin & Yang, Xiaoguang & Zhang, Boyu. (2018). Rebels Lead to the Doctrine of the Mean: A Heterogeneous DeGroot Model. Journal of Systems Science and Complexity. 31. 1498–1509. DOI: 10.1007/s11424–018–7136–6.
18. Mandyam, Sridhar & Sridhar, Usha. (2011). Endogenous Control of DeGroot Learning. Social Network Analysis and Mining. 3. 22–35. DOI: 10.1007/s13278–013–0094-z.
19. Meza, David & Reyniers, Diane. (2013). Debiasing the Becker-degroot-marschak valuation mechanism. Economics Bulletin. 2. 1446–1456.
20. Han, Huawei & Qiang, Chengcang & Wang, Caiyun & Han, Jing. (2015). Intervention of DeGroot model by soft control. 1291–1296. DOI: 10.1109/ChiCC.2015.7259820.
21. Xia, Weiguo & Liu, Ji & Johansson, Karl & Basar, Tamer. (2016). Convergence rate of the modified DeGroot-Friedkin model with doubly stochastic relative interaction matrices. 1054–1059. 10.1109/ACC.2016.7525054.
22. Ye, Mengbin & Liu, Ji & Anderson, Brian & Yu, Changbin & Başar, Tamer. (2017). On the Analysis of the DeGroot-Friedkin Model with Dynamic Relative Interaction Matrices. IFAC-PapersOnLine. 50. DOI: 10.1016/j.ifacol.2017.08.1426.
23. Romeijn, Jan-Willem & Roy, Olivier. (2017). All agreed: Aumann meets DeGroot. Theory and Decision. DOI: 10.1007/s11238–017–9633–9.
24. Burfurd, Ingrid & Wilkening, Tom. (2018). Experimental guidance for eliciting beliefs with the Stochastic Becker–DeGroot–Marschak mechanism. Journal of the Economic Science Association. 4. 10.1007/s40881–018–0046–5.
25. Gyftopoulos, Sotirios & Efraimidis, Pavlos & Katsaros, Panagiotis. (2018). Formal Analysis of DeGroot Influence Problems using Probabilistic Model Checking. Simulation Modelling Practice and Theory. 89. 10.1016/j.simpat.2018.09.009.
26. Halder, Abhishek. (2019). DeGroot–Friedkin Map in Opinion Dynamics Is Mirror Descent. IEEE Control Systems Letters. PP. 1–1. 10.1109/LCSYS.2019.2900452.
27. Xue, Min & Fu, Chao & Yang, Shan-Lin. (2019). Group consensus reaching based on a combination of expert weight and expert reliability. Applied Mathematics and Computation. 369. 124902. DOI: 10.1016/j.amc.2019.124902.
28. Klickstein, Isaac & Pecora, Louis & Sorrentino, Francesco. (2019). Symmetry induced group consensus. Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science. 29. 073101. DOI: 10.1063/1.5098335.
29. Gvirts, Hila. (2019). Alexithymia and Reaching Group Consensus. Cognition and Emotion. DOI: 10.1080/02699931.2019.1675600.
30. Shamay-Tsoory, Simone & Saporta, Nira & Marton, Inbar & Gvirts, Hila. (2019). Herding Brains: A Core Neural Mechanism for Social Alignment. Trends in Cognitive Sciences. 23. DOI: 10.1016/j.tics.2019.01.002.
31. Xue, Min & Fu, Chao & Yang, Shan-Lin. (2020). Dynamic Expert Reliability Based Feedback Mechanism in Consensus Reaching Process with Distributed Preference Relations. Group Decision and Negotiation. DOI: 10.1007/s10726–020–09660–8.
32. Fu, Chao & Chang, Wenjun & Yang, Shanlin. (2020). Multiple criteria group decision making based on group satisfaction. Information Sciences. 518. DOI: 10.1016/j.ins.2020.01.021.
33. Hiroki Sayama (2020). Enhanced ability of information gathering may intensify disagreement among groups. // Physical Review. E102. DOI: 10.1103/PhysRevE.102.012303
34. Смирнов С.П. (2021). Алгоритм и метод выявления обструкционных приемов в коммуникациях ИТ-проектов / Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия «Естественные и Технические науки», 2020 № 5–2, 88–92. DOI 10.37882/2223–2966.2021.05–2.25
35. The 50 Best Free Datasets for Machine Learning, Lionbridge AI, [Электронный ресурс] Режим доступа <https://lionbridge.ai/datasets/the-50-best-free-datasets-for-machine-learning/> Дата визита 01.01.2022.
36. Google Cloud Public Datasets, Google, [Электронный ресурс] Режим доступа <https://cloud.google.com/public-datasets/> Дата визита 01.01.2022
37. Machine Learning and AI Datasets, Carnegie Mellon University, [Электронный ресурс] Режим доступа <https://guides.library.cmu.edu/c.php?g=844845&p=6191907> Дата визита 01.01.2022.
38. Big Data and AI: 30 Amazing and Free Public Data Sources, Forbes, [Электронный ресурс] Режим доступа <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2018/02/26/big-data-and-ai-30-amazing-and-free-public-data-sources-for-2018/#f3bdeb5f8aес> Дата визита 01.01.2022.
39. Awesome Autonomous Vehicles Datasets, Github, [Электронный ресурс] Режим доступа <https://github.com/takeitallsource/awesome-autonomous-vehicles#datasets> Дата визита 01.01.2022
40. Fueling the Gold Rush, The Greatest Public Datasets for AI, StartupGrind, [Электронный ресурс] Режим доступа <https://medium.com/startup-grind/fueling-the-ai-gold-rush-7ae438505bc2> Дата визита 01.01.2022
41. Places to Find Free Datasets for Data Science Projects, Dataquest, [Электронный ресурс] Режим доступа <https://www.dataquest.io/blog/free-datasets-for-projects/> Дата визита 01.01.2022
42. The Best Datasets for Natural Language Processing, Gengo AI, [Электронный ресурс] Режим доступа <https://gengo.ai/datasets/the-best-25-datasets-for-natural-language-processing/> Дата визита 01.01.2022

43. Awesome Public Datasets, Github, [Электронный ресурс] Режим доступа <https://github.com/awesomedata/awesome-public-datasets#machinelearning> Дата визита 01.01.2022
44. StatLib Datasets Archive, Carnegie Mellon, [Электронный ресурс] Режим доступа <http://lib.stat.cmu.edu/datasets/> Дата визита 01.01.2022
45. Institutional Research and Analysis, Common Datasets, [Электронный ресурс] Режим доступа <https://www.cmu.edu/ira/CDS/index.html> Дата визита 01.01.2022
46. Datasets and Project Suggestions, Andrew W. Moore, [Электронный ресурс] Режим доступа <http://www.cs.cmu.edu/~awm/15781/project/data.html> Дата визита 01.01.2022
47. Datasets, Machine Learning Repository, MIT | [Электронный ресурс] Режим доступа <https://ocw.mit.edu/courses/sloan-school-of-management/15-097-prediction-machine-learning-and-statistics-spring-2012/datasets/> Дата визита 01.01.2022
48. Datasets, MIT Lincoln Laboratory, [Электронный ресурс] Режим доступа <https://www.ll.mit.edu/r-d/datasets> Дата визита 01.01.2022
49. Stanford Large Network Dataset Collection, Stanford University [Электронный ресурс] Режим доступа <https://snap.stanford.edu/data/> Дата визита 01.01.2022
50. Stanford Common Dataset, Stanford University [Электронный ресурс] Режим доступа <https://snap.stanford.edu/data/> Дата визита 02.01.2022
51. Datalab, UC Berkeley [Электронный ресурс] Режим доступа <http://www.lib.berkeley.edu/libraries/data-lab> Дата визита 02.01.2022
52. Exploring Datasets, Data Science at Berkeley [Электронный ресурс] Режим доступа <https://datascience.berkeley.edu/open-data-sets/> Дата визита 02.01.2022
53. DeepDrive, UC Berkeley [Электронный ресурс] Режим доступа <https://bdd-data.berkeley.edu/> Дата визита 03.01.2022
54. Machine Learning Datasets and Project Ideas — Work on real-time Data Science Projects, Data Flair [Электронный ресурс] Режим доступа <https://data-flair.training/blogs/machine-learning-datasets/> Дата визита 03.01.2022
55. Google Dataset search engine [Электронный ресурс] Режим доступа <https://datasetsearch.research.google.com/> Дата визита 09.01.2022
56. Russian Language Toxic Comments [Электронный ресурс] Режим доступа <https://www.kaggle.com/blackmoon/russian-language-toxic-comments/version/1> Дата визита 10.01.2022.
57. Обучающая выборка для анализа эмоциональной составляющей текстов [Электронный ресурс] Режим доступа <http://www.e-calc.ru/Obstruct/labeled.csv> Дата визита 10.01.2022
58. Инструмент для анализа обучающей выборки [Электронный ресурс] Режим доступа <http://www.e-calc.ru/Obstruct/toxic-feeling-comments.ipynb> Дата визита 10.01.2022
59. CCN для анализа токсичности текста [Электронный ресурс] Режим доступа <http://www.e-calc.ru/Obstruct/toxic-feeling-CCN.ipynb> Дата визита 10.01.2022
60. Корпус коротких текстов на русском языке. [Электронный ресурс] Режим доступа <https://study.mokoron.com/> Дата визита 12.01.2022.

© Смирнов Сергей Павлович (smirnov.s.p1@edu.mirea.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



ОБЩЕКорабЕЛЬНАЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СРЕДА: КОНЦЕПЦИЯ ЕЕ ФОРМИРОВАНИЯ И ИНФРАСТРУКТУРА

GENERAL SHIP COMPUTING ENVIRONMENT: THE CONCEPT OF ITS FORMATION AND INFRASTRUCTURE

A. Stalnov

Summary. A warship is a complex weapon system equipped with various and complex separate systems such as a sensor system, a strike system, a combat system, and a communications system on a single platform. If the various systems installed on a ship are classified in terms of control, they can be broadly categorized into a combat system, a C4I (command, control, communications and reconnaissance) system, and other systems that use computing resources. However, due to the rapid technological development of the weapon system, threats are diversified, response times are reduced, and the number of crew members decreases as the population and budget decrease. In such a situation, in order to complete the mission, it is necessary to quickly identify various information and make decisions, and all assets and subsystems of consequences must be ready for immediate use. To this end, each country's naval forces are expanding automation and deploying ship dispatchers to control and monitor all control systems needed to carry out a mission in one location, as well as expanding the integration of control systems.

Keywords: integrated control systems, total ship computing environment, ship information systems, system integration layers, open architecture, network of networks, Interconnect Fabric, infrastructure, network communications technology, fault tolerance, fault management.

Стальнов Алексей Николаевич
Независимый исследователь
stalnov@gmail.com

Аннотация. Военный корабль представляет собой сложную систему вооружения, оснащенную различными и сложными отдельными системами, такими как сенсорная система, ударная система, боевая система и система связи на одной платформе. Если различные системы, установленные на корабле, классифицированы с точки зрения управления, их можно в целом разделить на боевую систему, систему C4I (командование, управление, связь и разведку) и другие системы, использующие вычислительные ресурсы. Однако, в связи с быстрым технологическим развитием системы вооружения, угрозы диверсифицируются, время реагирования уменьшается, а количество членов экипажа уменьшается по мере уменьшения населения и бюджета. В такой ситуации, чтобы выполнить миссию, необходимо быстро идентифицировать различную информацию и принимать решения, а все активы и подсистемы последствий должны быть готовы к немедленному использованию. С этой целью военно-морские силы каждой страны расширяют автоматизацию и развертывают диспетчерские корабли для управления и мониторинга всех систем управления, необходимых для выполнения миссии в одном месте, а также расширяют интеграцию систем управления.

Ключевые слова: интегрированные системы управления, общекорабельная вычислительная среда, судовые информационные системы, уровни системной интеграции, открытая архитектура, сеть сетей, Interconnect Fabric, инфраструктура, сетевая коммуникационная технология, отказоустойчивость, управление отказами.

Введение

Судовые системы имеют тенденцию к интеграции и распределению с развитием корабельных технологий. Хотя разные суда выполняют разные функции, все определения, встречающиеся в литературе для судовой информационной системы (СИС), имеют одну общую черту. Эта определяющая особенность состоит в том, что СИС состоит из нескольких независимых подсетей (сенсорные сети, дисплейные сети и др.) и общей судовой коммуникационной сети, которая может обмениваться информацией (эталонный вход, выходной сигнал установки, управляющий вход и т.д.) между подсетями и системами.

Позже, с развитием системы интеллектуального управления кораблём, масштабы сети получили дальнейшее расширение. Системы управления / мониторин-

га судов (интегрированная система ходового мостика, система управления стандартного машинного оборудования, комплексная система оценки состояния и др.), которые могут быть связаны вместе с помощью глобальных сетей корабля и оптоволоконной магистрали в качестве интеллектуального корабля. Такие технологические достижения позволяют полностью контролировать корабль в реальном времени [1–24].

Основная часть

В большинстве проектов систем управления кораблём составляющие подсистемы корабля, кроме боевой, имеют отдельную систему управления, и, соответственно, низкий уровень интеграции корабельных систем. Уровень интеграции судовой системы подразделяется на пять типов интегрированного оборудования (Federation equipment) и три типа консолей — боевых

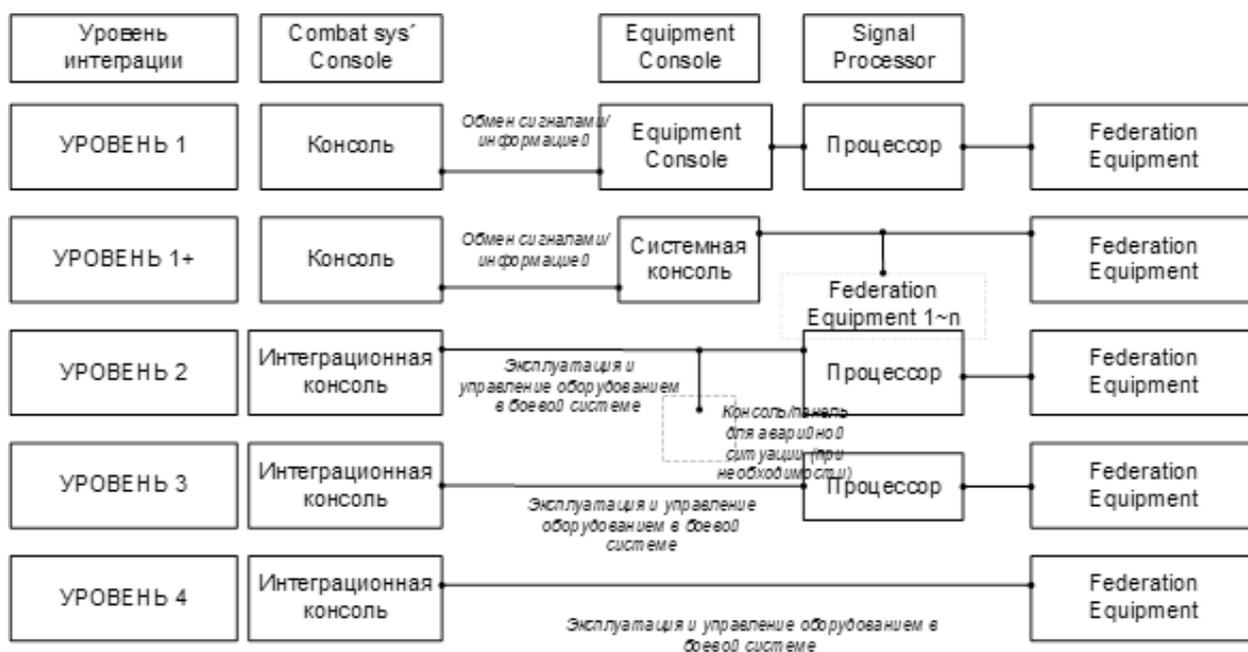


Рис. 1. Типы уровней системной интеграции корабельного оборудования

систем (Combat sys' Console), оборудования (Equipment Console) и процессоры обработки сигналов (Signal Processor) (рис. 1). Уровень 1 — это уровень обмена простыми сигналами и информацией, а также управления целевым оборудованием через отдельные консоли оборудования, Уровень 1+ — это уровень управления сигналами и информацией через системную консоль, а уровни 2–4 это уровни прямого сигнально-информационного управления [19, 25–27].

Концепции системной интеграции вычислительной среды корабля

Высокая степень интеграции и автоматизации является устойчивой тенденцией развития т.н. интеллектуальных кораблей (intelligent ship). Как определено в работе [28, с. 359]: "Основой технических средств сетецентрического управления должна стать системно- и структурно-целостная, универсально-программируемая вычислительная среда, включающая локальные и глобальные компьютерно-сетевые средства как единое целое, которая обладает встроенным системным интеллектом и сквозными технологиями бесшовного программирования, направленными на поддержку комплексных решений задач".

В частности, в Военно-морских силах (ВМС) США концепция "Единая сеть сил ВМС" (FORCEnet) пришла на смену предыдущей концепции "Информационные технологии XXI века" (IT21 — Information Technology for 21-st Century) и предполагает интеграцию всех

участников операции, систем управления и разведки, боевых платформ (надводных кораблей, подводных лодок, самолетов и т.д.), а также комплексов и средств вооружения в единую взаимосвязанную структуру рассредоточенных боевых сил, способных проводить успешные операции в конфликтах любого уровня и масштаба [28].

В 1998 году в ВМС США была разработана схема конфигурации управления кораблём DD(X) в которой впервые появилась концепция "общекорабельной вычислительной среды" (Total Ship Computing Environment, TSCE). В частности, TSCE, одна из десяти ключевых технологий многоцелевого эсминца ВМС США DDG-1000 "Zumwalt" [10, 29–31]. Используя сетевые технологии связи и компьютерного управления, TSCE объединяет все оборудование сети, вычислений, хранения, отображения и внутренней связи, чтобы поддерживать всю систему военного корабля в единой общедоступной вычислительной и демонстрационной среде. Так, DDG-1000 использует всю вычислительную среду корабля как интегрированную систему различных систем корабля, для интеграции информации, чтобы задействовать общие ресурсные преимущества системы, и, наконец, сформировать единый сетевой центр. Система TSCE основана на открытой архитектуре (Open Architecture, OA) [7, 10, 19, 20, 29–36].

Требования к интеграции корабельных систем в условиях интеллектуальных боевых действий предусматривают следующие условия:

1. Стандарты для установки уровня системной интеграции с точки зрения технической / вспомогательной производительности: во-первых, применяются стандартизированные общие протоколы для взаимодействия, совместимости и взаимодействия, а во-вторых, применяются аппаратные средства, операционная система, межплатформенное ПО и инфраструктура / прикладное ПО и была разработана открытая интегрированная архитектура, и в-третьих, была применена технология шифрования / дешифрования по сравнению с кибер-версией [26].
2. Требования к обеспечению долгосрочных эксплуатационных характеристик для создания TSCE на основе ОА системы управления судном отражают интегрированный метод управления и эксплуатации системы управления судном. Во-вторых, это составляет общую вычислительную среду для боевой системы / системы C4I (command, control, communications, computation, and intelligence — Командование, Контроль, Каналы связи, Разведка) / интегрированной системы моста / системы управления органами.
3. Стандарты для установки уровня системной интеграции с точки зрения технических / вспомогательных характеристик дополняют требования краткосрочного отражения, реализуют общую многофункциональную консоль, которая может переключать функции для каждой задачи оператора, и создают среду обмена данными и функцию управления ресурсами, которая реализует графическую производительность на основе процессора и GPU (Graphic Processing Unit) [26].
4. Адаптация к различным рабочим средам. Интегрированная система должна поддерживать все виды вычислительных задач корабля. Задача военного корабля изменчива, поэтому все вычислительные ресурсы, внутренние или внешние, должны быть интегрированы в состоянии "подключи и работай", конфигурация системы должна иметь возможность корректироваться с изменениями оперативной миссии, чтобы гарантировать нормальную работу для удовлетворения требований QoS (quality of service — качество обслуживания). В случае если некоторые вычислительные ресурсы повреждены и не работают, выполнение критических задач должно быть обеспечено с помощью функции разделения ресурсов TSCE.
5. Повышение технологической адаптируемости. Современные компьютеры и связанные с ними технологии стремительно развиваются. Напротив, цикл развития системы военных кораблей относительно долгий. Следовательно, интегрированная архитектура TSCE должна иметь возможность многократного использования и возмож-

ность обновления аппаратного и программного обеспечения военных кораблей, чтобы максимально задействовать потенциал существующих боевых кораблей и продлить срок их службы.

6. Поддержка более высокого автоматического уровня. Интеллектуальный военный корабль требует всё более высокого уровня автоматического управления, чтобы сократить укомплектование корабля персоналом. Таким образом, TSCE должен обладать функциями межсистемного соединения и интеграции, чтобы исключить кристаллизованную схему, согласно которой оружие и датчики должны быть строго сопоставлены попарно, для совместной работы все виды систем автоматизации должны быть распределены в разных точках военного корабля и мгновенно создавать оптимальные решения с учётом всех условий корабля.

Схемы на рис. 2 иллюстрируют переход от интегрированного оборудования (Federate) к сети сетей (Network-of-Networks) к концепции общекорабельных вычислений (Total Ship Computing, TSC), которая объединяет и унифицирует вычислительные ресурсы на корабле для обеспечения информационного преимущества, защиты от баллистических ракет и возможности совместного взаимодействия путем объединения всех активов, таких как корабли, датчики и вооружение, в сеть [37].

Interconnect Fabric (IF) в схеме TSC представляет инновационную сетевую технологию, которая помогает создавать гибкие, масштабируемые и легко управляемые сети центров обработки данных, обеспечивающие высокую производительность. IF объединяет датчики (sensors) и боевую часть (weapons), командование (command), противовоздушные (anti-air) и подводные (undersea) системы наблюдения. При этом обеспечивается высокий уровень отказоустойчивости всей системы (см. Рис. 2).

Термин "интегрированный" (integrated) используется для описания подхода, при котором выбор технологий реализации минимально ограничен для разработчиков. Методы интерфейса применяются только в интерфейсах, а не внутри. При интегрированном подходе каждый разработчик системы выбирает процессоры, операционные системы, межплатформенное программное обеспечение и другие компоненты инфраструктуры безотносительно к выбору, сделанному другими разработчиками систем и подсистем. В этом случае ресурсы выделяются подсистеме, и возможности для совместного использования ресурсов практически отсутствуют. Часто заявляемое преимущество интегрированного подхода состоит в том, что он обеспечивает максимальную гибкость для удовлетворения напряженных или специфических требований системы за счёт выбора передовых технологий.

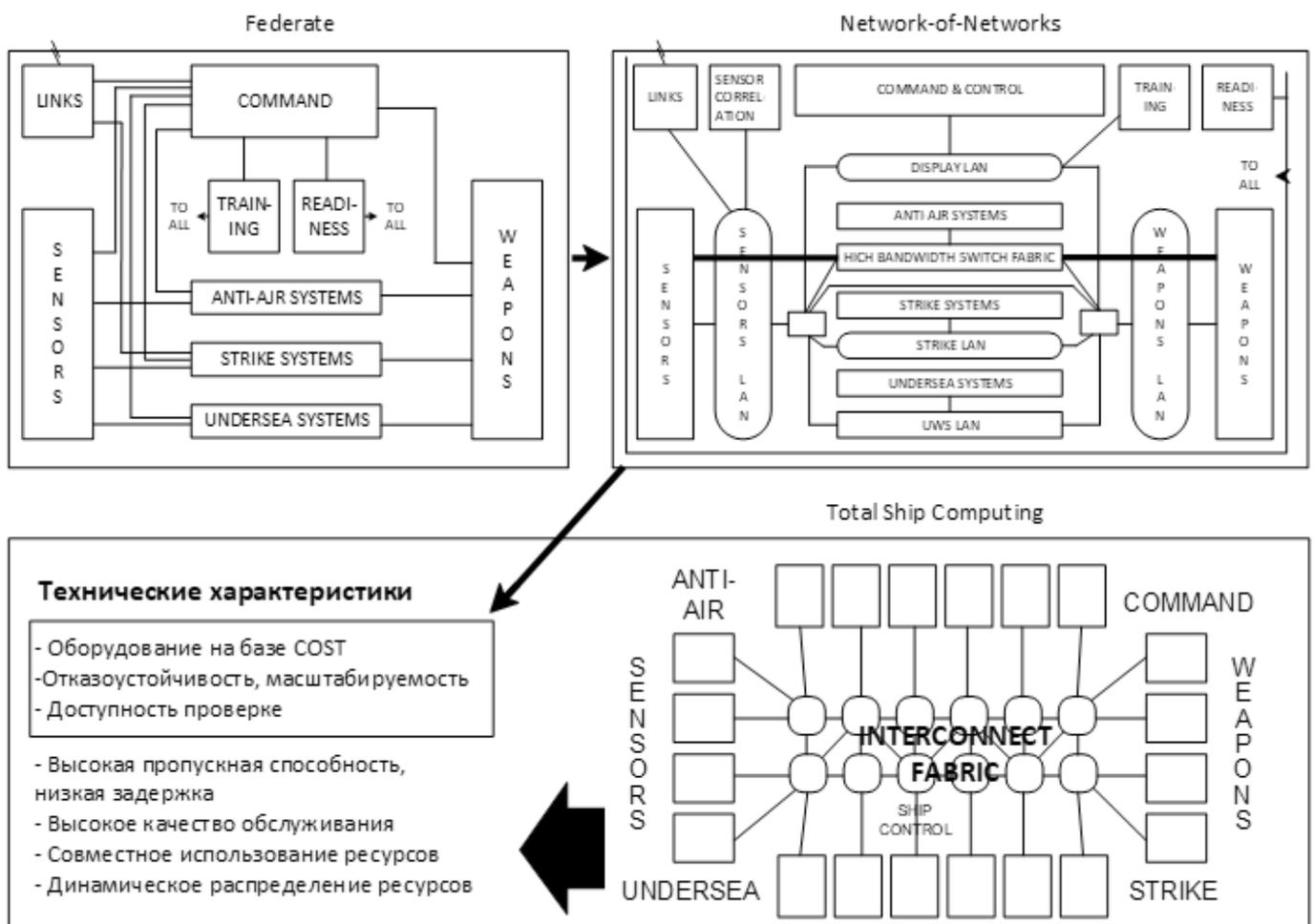


Рис. 2. Переход к общекорабельной вычислительной среде

На рис. 3 концептуально показана структура TSCE, в которой большая часть оборудования, необходимого для выполнения задач управления, такого как датчики, вооружение, двигатели и мощность, подключена к TSCE, интегрированной инфраструктуре, основанной на боевой системе [29, 37]. Это показывает изменение концепции интеграции отдельных станций управления кораблями и централизованного управления ими за счёт введения интегрированной среды, такой как TSCE, для отдельных станций управления, которые физически и функционально обычно работают независимо.

Вся инфраструктура судовой вычислительной среды (TSCE-I) создаёт открытую виртуальную вычислительную среду, все вычислительные ресурсы представляют собой единое управление расписанием, предоставляя услуги для приложений в других областях, и всё прикладное программное обеспечение распространяется в этой виртуальной вычислительной среде. Все датчики, исполнительные механизмы, драйверы и оружие подключены к вычислительной среде корабля через рас-

пределенный процессор сбора данных (Data Acquisition Processor, DAP).

За счёт модульности программного и аппаратного обеспечения, разбиения на компоненты и обслуживания всей вычислительной среды корабля решены проблемы независимой работы каждой подсистемы, сложности взаимодействия и возможности совместного использования ресурсов, и, наконец, межплатформенность достигаются возможности совместных боевых действий.

Формирование общекорабельной вычислительной среды основано на концепциях сервис-ориентированной архитектуры (Service-Oriented Architecture, SOA) и киберфизических систем (Cyber-Physical Systems, CPS).

Система TSCE, состоящая из узловых компьютеров, представляет собой высокопроизводительную распределённую вычислительную среду реального времени, которая решает проблемы интеграции, связанные с плохой совместимостью между системами военных кора-

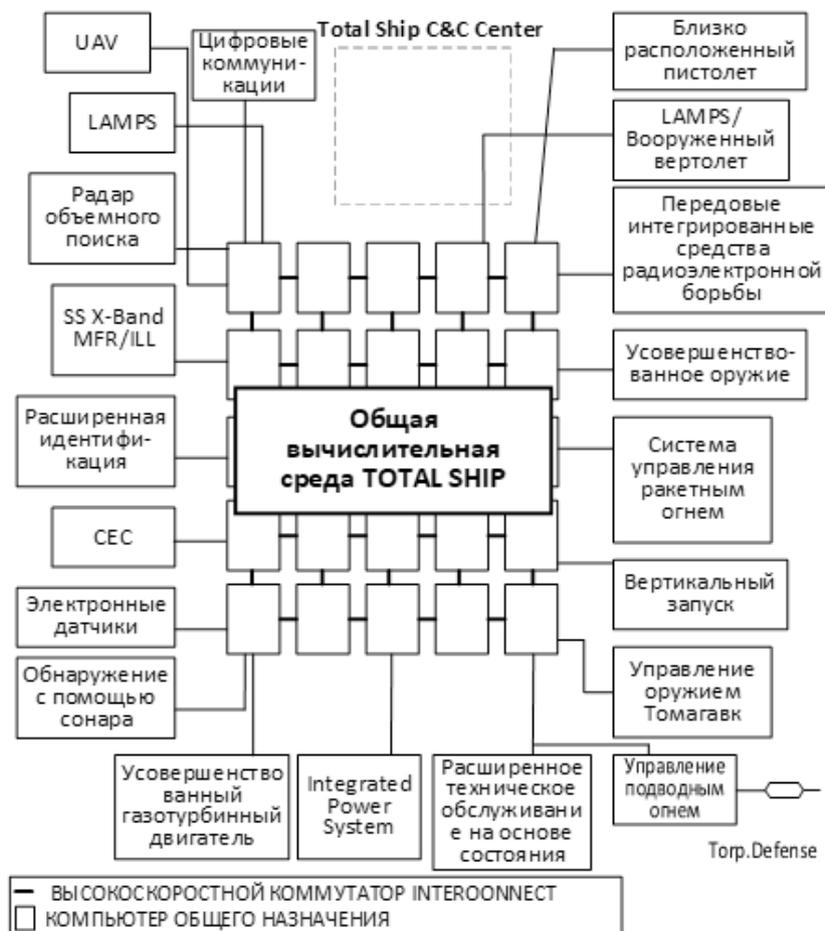


Рис. 3. Концепция общекорабельной вычислительной среды

блей и неудачным совместным использованием ресурсов.

В использовании технологии CPS для реализации бесшовной интеграции датчиков, информации и платформы управления делает упор на интеграции вычислительных, коммуникационных, управляющих и физических систем. CPS может адаптироваться к изменениям и неопределенности окружающей среды. Она может выполнять динамическую самоорганизующуюся реконструкцию и может реализовывать управление интеграцией на основе распределенной сети в реальном времени. CPS также может сделать физическую систему с вычислительной, коммуникационной, управляющей, удаленной совместной и автономной функцией [38, 39].

Основными характеристиками CPS являются: работа в реальном времени, распределенная, высокая надежность, высокий уровень безопасности, разнообразие, автономность [40], что очень хорошо совпало с требованиями TSCE, поэтому можно использовать технологию CPS для реализации органической и глубокой интегра-

ции вычислительных и физических ресурсов корабля, а именно для реализации бесшовной интеграции датчиков, сети, блоков вычислений и управления по всему кораблю. Кроме того, протокол связи CPS можно использовать в качестве эталона для реконструкции SOA в реальном времени [41].

Архитектуру TSCE можно представить с функциональной и технологической точки зрения.

Архитектура функционального представления TSCE

Как уже отмечалось, TSCE — это распределённая большая встроенная система реального времени. Основываясь на понимании принципа работы CPS и функциональных требований TSCE, архитектура функционального представления TSCE показана на рис. 4. Слои чётко разделены, а взаимосвязь между границами ясна, поскольку части TSCE классифицируются точно в соответствии с их функциями. Интегрированная вычислительная структура кораблей включает сенсорный уровень,

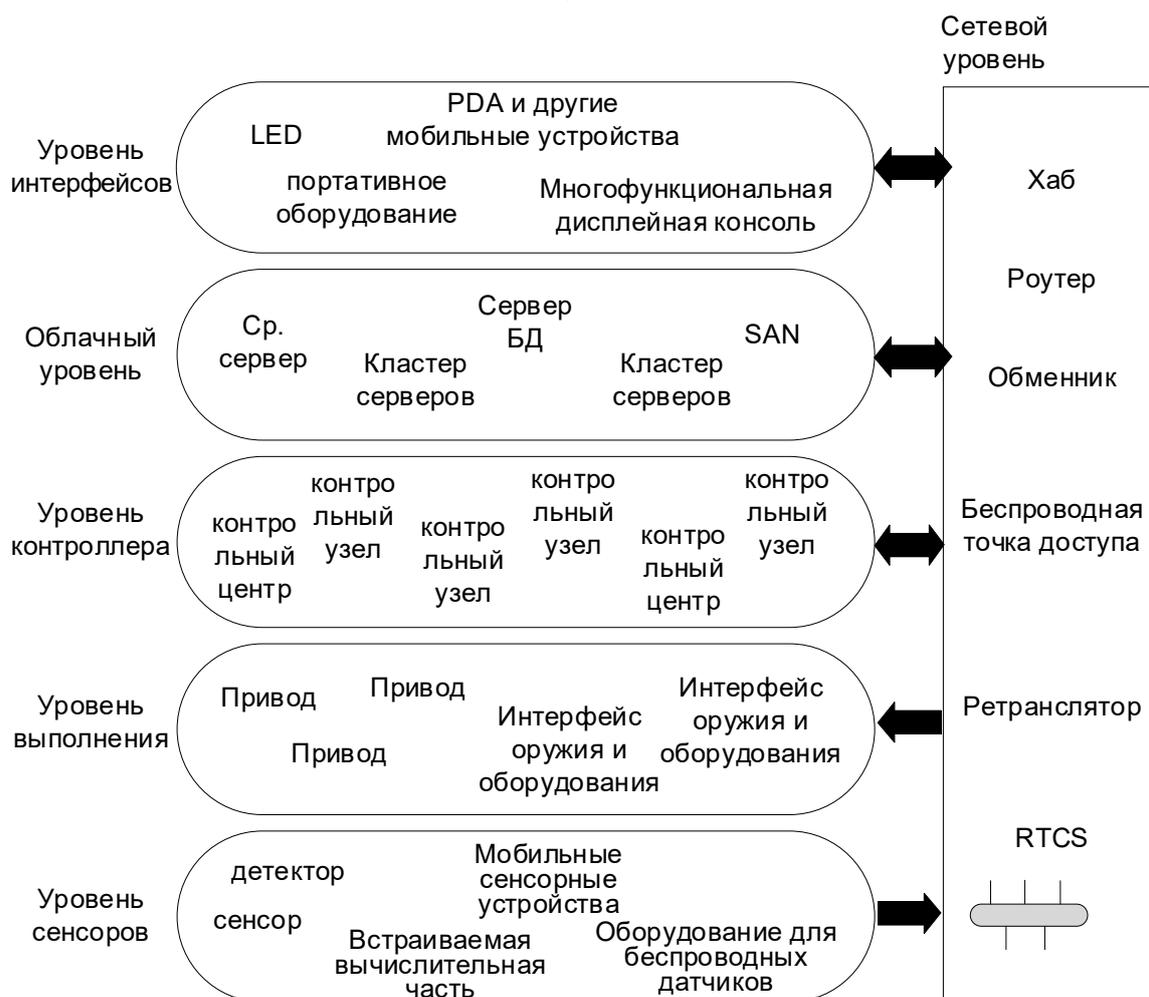


Рис. 4. Общая структура судовых вычислительных функций

уровень исполнения, уровень контроллера, вычислительный облачный уровень, уровень пользовательского интерфейса и сетевой уровень. Предварительно обработанные данные передаются на уровень управления и облачный уровень вычислений через единую сеть для объединения данных по всей системе, а уровень обработки управляет оборудованием нижнего уровня в соответствии с командами, полученными от уровня управления [23, 29].

Сенсорный уровень выполняет функции мониторинга оборудования, сбора данных, восприятия окружающей среды и интеллектуальной предварительной обработки данных. Предварительно обработанные данные будут переданы на уровень управления и вычислительный облачный уровень для глобального слияния. Уровень выполнения реализует взаимодействие с физическим устройством военного корабля в соответствии с инструкциями, получаемыми от уровня контроллера.

Уровень контроллера включает IPC (промышленный персональный компьютер), PLC (программируемый логический контроллер) и одноплатный компьютер. Уровень контроллера получает стратегию от вычислительного облачного уровня и преобразует её в инструкции, которые будут отправлены блоку управления исполнительным механизмом, чтобы действовать надлежащим образом. Вычислительный облачный уровень — это центр слияния данных и обработки информации систем военных кораблей. Ресурсы в облаке будут распределяться динамически во время выполнения. Устройства на этих двух уровнях можно размещать в любом подходящем положении на корабле.

Уровень пользовательского интерфейса передает различные решения командного состава и боевые задачи на облачный уровень вычислений. Разделение дисплея и приложения позволяет гибко распределять функции и задачи операторов или станций. Сетевой уровень обеспечивает низкую задержку, высокую пропускную

способность и возможность быстрого восстановления после сбоев, а также надежный и безопасный сетевой сервис.

Для гарантии надежности системы требуется достаточное резервирование устройств.

Выводы

При разработке TSCE необходимо использовать ряд ключевых методов. С технологической точки зрения TSCE предлагается для анализа технических проблем, которые необходимо решить при разработке TSCE.

Технология распознавания данных. В военных кораблях будут использоваться разнообразные формы технологий, такие как интеллектуальные датчики, сети мобильных датчиков, поскольку они могут более гибко и точно получать данные, а их способность интеллектуальной обработки и автономия напрямую определяют степень автоматизации систем военных кораблей.

Сетевая коммуникационная технология. Поскольку окружающая среда корабля динамична, исключительно для того, чтобы увеличить пропускную способность системы связи невозможно решить проблему, ключевым решением которой является интеграция различных ресурсов связи, поэтому важна технология объединения сетей.

Технология обработки информации. Системы военных кораблей имеют огромное количество информации и сложные требования к обработке, что требует взаимодействия различных уровней технологий. Технологии виртуализации и облачных вычислений могут решить проблемы совместного использования ресурсов и распределения информации. Как решить задачу более надежно при одновременной экономии энергии — проблема должна быть решена во встроенных технологиях. Объединение информации, интеллектуальный анализ данных и огромные технологии обработки данных — всё это ключевые факторы, влияющие на надежность системы в реальном времени.

Технология интеллектуального управления. Система боевых кораблей очень интеллектуальна, в то время как традиционным методом управления сложно решить проблему управления в TSCE.

Технология системного управления. Технология динамического управления ресурсами на различных типах аппаратных и программных ресурсов является основной гарантией для TSCE при поддержании эффективной работы. Адаптивный механизм распределения в реальном времени, а также распознавание информации и доставка на основе контента могут использоваться для удовлетворения потребностей технологии распределения данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лопота А.В., Николаев А.Б. Морские робототехнические комплексы военного и специального назначения. ЦНИИ РТК, 2019. — 46 с.
2. Михайлов В.А. Разработка методов и моделей анализа и оценки устойчивого функционирования бортовых цифровых вычислительных комплексов в условиях преднамеренного воздействия сверхкоротких электромагнитных излучений. Дисс. . . докт. техн. наук / Михайлов В.А. М.: НИИ «Аргон», 2014. — 45 с.
3. Куприянов А.А. Сетевые военные действия и вопросы интероперабельности автоматизированных систем // Автоматизация процессов управления. 2011. № 3. С. 82–97.
4. Bari M.F., Raouf B., Esteves R., Granville L.Z., Podlesny M., Rabbani M.G., Zhang Qi, Zhani M.F. Data Center Network Virtualization: A Survey // IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2013. Vol. 15. No. 2. P. 909–928.
5. Biehn A.M., Clarke J.R., Juster J.J., Voth T.E. Weapon System Virtualization and Continuous Capability Delivery for US Navy Combat Systems // Conference Proceedings of EAAW 2–3 July 2019. P. 1–9.
6. Cha J.-H., Lee Ha-Y., Kim D.-S. Design and Implementation of Naval Combat System using Virtualization Technology // Sixth International Conference on Advances in Computing, Control and Networking. ACCN2017. P. 101–104.
7. Dong X., Feng H., Shi Ch., Huang K., Yao J., Zhan J. Architecture and System Integration Framework of Total Ship Computing Environment // Chinese Journal of Ship Research. 2014. Vol. 9. No. 1. P. 8–13,30.
8. Dong X., Yang H.U. Overview of application of model-based systems engineering in integration framework of total ship computing environment // Chinese Journal of Ship Research. 2016. Vol. 11. No. 6. P. 124–135.
9. Emery K. Surface Navy Combat Systems Engineering Strategy. — PEO Integrated Warfare Systems, 4 March 2010. — 26 p.
10. Hao W. A Short Review of U.S. Naval Ship Concept Design Technology Development Features // Naše more. 2017. Vol. 64. No. 2. P. 69–76.
11. Hunt G., Pazandak F.C.P., Schneider P.S. Enabling Modularity in the Littoral Combat Ship. Department of the Navy, the Department of Defense, or the U.S. Government, 2017. P. 1–15.
12. Im J., Kil S., Kim D.-S. Study of Total Ship Computing Environments for Naval Combat Systems // International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC-2019). P. 799–801.
13. Janer D., Proum Ch.-M. Open Architecture for Naval Combat Direction System // Complex Systems Design & Management. 2014. P. 73–84.

14. Kwon S.-M., Jung S.-M. Virtualization based high efficiency naval combat management system design and performance analysis // Journal of the Korea Society of Computer and Information. 2018. Vol. 23. No 11. P. 9–15.
15. Lin X., Heng Li, Liang K., Nie J., Li J. Fault-Tolerant Supervisory Control for Dynamic Positioning of Ships // Mathematical Problems in Engineering. 2019. Vol. 2019. Article ID9134952. P. 1–12.
16. Moreland J.D. Service-Oriented Architecture (SOA) Instantiation within a Hard Real-Time, Deterministic Combat // System Environment Systems Engineering. 2013. Vol. 17. No. 3. P. 264–277.
17. Naval Engineering in the 21st Century. The Science and Technology Foundation for Future Naval Fleets. Transportation Research Board. Washington, D.C. 2011. — 134 p.
18. Naval Systems. Leonardo S.p.a., 2017. — 20 p.
19. Oh S.-W. An integrated architecture for control and monitoring system on naval surface combatants // Journal of the KIMST. 2018. Vol. 21. No. 1. P. 103–114.
20. Park G.-S. A Methodology for the Ship System Integration with Open Architecture: Focusing on the Total Ship Computing Environment based Architecture Building and Validation // Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering. 2020. Vol. 43. No. 3. P. 68–76.
21. Schmid M.E., Crowe D.G. Distributed Computer Architectures for Combat Systems // JHU/APL Developments in Science and Technology Digest. 2001. Vol. 22. No. 4. P. 488–497.
22. Schmidt D. Toward Adaptive and Reflective Middleware for Network-Centric Combat Systems // The Journal of Defense Software Engineering. November 2001. P. 10–16.
23. Yelan H., Hui C. Study on the Architecture of Intelligent Warship's TSCE Based on Multi-view // In: 13th International Symposium on Distributed Computing and Applications to Business, Engineering and Science, 2014. P. 220–223.
24. Zilic A.M., Baron N.T. Real-time realities: the application of commercial information technology to combat control systems // Naval Engineer Journal. 2009. Vol. 121. No. 1. P. 17–33.
25. Jung S.-H. Direction of development for ship system integration // Bulletin of the Society of Naval Architects of Korea. 2020. Vol. 57. No. 1. P. 15–20.
26. Park G.-S. Study on the ship system integration in the basis of total ship computing environment. — Naval Ship Technology and Weapon Systems Seminar Proceeding, 2019. — 238 p.
27. Navy Headquarters. A Study on TSCE-based Methodology for Ship System Integration, 2019. — 76 p.
28. Макаренко С.И., Иванов М.С. Сетцентрическая война — принципы, технологии, примеры и перспективы. — СПб.: Научное издание, 2018. — 898 с.
29. Navy DDG-51 and DDG-1000 Destroyer Programs: Background and Issues for Congress. — Congressional Research Service. RL32109. — Updated December 22, 2020. — 34 p.
30. The Navy's newest warship is powered by Linux. [Электронный ресурс]. 02.05.2021. — URL: <https://arstechnica.com/information-technology> (дата обращения 02.05.2021).
31. DDG-51 Arleigh Burke — Specifications. [Электронный ресурс]. 02.05.2021. — URL: <https://www.globalsecurity.org/military/systems.htm> (дата обращения 02.05.2021).
32. Dong X. Analysis on the Architecture of USN DDG-1000 Total Ship Computing Environment // Chinese Journal of Ship Research. 2012. Vol. 7. No. 6. P. 7–15.
33. Mark H. DDG-1000 Engineering Control System(ECS) // ASNE Intelligent Ship VIII Symposium, 2018. — 187 p.
34. Liu S., Xu D. Ship information system: overview and research trends // International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering. September 2014. Vol. 6. — No. 3. P. 670–684.
35. Strei T. Open Architecture Overview. Oct 2003. 6th Annual System Engineering Conference. [Электронный ресурс]. 02.05.2021. — URL: <http://www.dtic.mil/ndia/2003systems/strei.ppt> (дата обращения 02.05.2021).
36. Strei T. Open Architecture in Naval Combat System Computing of the 21st Century: Network-Centric Applications. [Электронный ресурс]. 02.05.2021. — URL: <https://www.researchgate.net> (дата обращения 02.05.2021).
37. Masters M.W. Total ship computing risk analysis[C/OL]. DARPA Quorum PI Conference, November, 1998. — 39 p.
38. Rong W.J. Cyber physical system // Journal of automation. Apr. 2016. Vol. 38. P. 507–517.
39. Feng H.J. Cyber Physical Systems // China Computer Society Newsletter. Jan. 2018. Vol.6. P. 25–29.
40. Min H. Research on architecture for cyber-physical systems based on multi-view // Computer Engineering and Applications. 2016. Vol. 49. P. 25–32.
41. Shuang H.X. Research into Architecture framework of submarine campaign system based on SOA and CPS // Shipboard Electronic countermeasure. May 2013. Vol.26. P. 5,1–5+31.

© Стальнов Алексей Николаевич (stalnov@gmail.com).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

БИБЛИОТЕКА SDL КАК ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ДИЗАЙНА ПРИ СОЗДАНИИ КОМПОЗИЦИЙ И СИНТЕЗИРОВАННЫХ ЗВУКОВЫХ КОМБИНАЦИЙ НА ЯЗЫКЕ ПРОГРАММИРОВАНИЯ NYQUIST

Таран Василий Васильевич

*К.культурологии, заведующий, Лаборатория
компьютерного дизайна и прикладной информатики
«SPLASH»; ФГБУН «Всероссийский институт научной
и технической информации РАН»
allscience@lenta.ru*

SDL LIBRARY AS AN AUXILIARY ALGORITHMIC DESIGN TOOL WHEN CREATING COMPOSITIONS AND SYNTHETIC AUDIO COMBINATIONS BY USING NYQUIST PROGRAMMING LANGUAGE

V. Taran

Summary. The matter dealing with the implementation of the SDL library in Nyquist programming is investigated in the article below. The main purpose of the scientific analysis suggested by the author is the qualitative acceleration of the conventional translation of score notation into basic Nyquist language code. The potential abilities of the SDL library contributing the maintenance of algorithmic design practices by using the Nyquist language are revealed. It is established that the calculating procedures of the SDL library are based on the generation of tabular lists containing mathematical parameters and some symbolic data contributing fast and high-quality calculation when translating the score notation into microscenarios and the procedural code of the Nyquist language. Individual code samples demonstrate its structure and rules for the presentation of logical constructions defining calculating process according to the SDL library manuals. The main functions of the SDL library affecting the formation of the event-driven mechanism in Nyquist programming are analyzed and clarified. It is proved that the use of the SDL library tools significantly simplifies and improves the application procedures for translating score notation into procedural code of the Nyquist language.

Keywords: Nyquist programming, SDL library, procedural code, the libraries of the programming languages, algorithmic design of compositions, synthetic audio combinations, calculating procedures, tabular lists, score notation, symbolic and numerical data, calculation of audio data array.

Аннотация. В статье проанализирован материал, касающийся применения библиотеки SDL в Nyquist-программировании. Основным целеполаганием авторского научного анализа является качественное ускорение процессов трансляции традиционной нотации счёта на исходный код языка Nyquist. Раскрыты потенциальные функции библиотеки SDL, способствующие совершенствованию практик алгоритмического дизайна с использованием языка Nyquist. Установлено, что процедуры счёта библиотеки SDL основываются на создании табличных списков, внутри которых указываются математические параметры и некоторые символьные данные, способствующие быстрой и качественной калькуляции в условиях перевода нотации счёта в микросценарии и процедурный код языка Nyquist. На фрагментарных примерах кода показана его структура и отображены правила изложения логических конструкций, формирующих процессы счёта по инструкциям библиотеки SDL. Разобраны и уточнены основные функции библиотеки SDL, влияющие на формирование событийного аппарата при Nyquist-программировании. Обосновано, что применение инструментария библиотеки SDL значительно упрощает и улучшает прикладные процедуры по переводу нотации счёта в процедурный код языка Nyquist.

Ключевые слова: Nyquist-программирование, библиотека SDL, процедурный код, библиотеки языков программирования, алгоритмический дизайн композиций, синтезированные звуковые комбинации, процедуры счёта, табличные списки, нотация счёта, символьно-числовые данные, калькуляция массивов аудиоданных.

Библиотеки языков программирования являются важным структурным элементом в сфере разработки программно-технических решений, направленных на совершенствование инженерных практик в различных отраслях человеческой деятельности. Инженерные практики в области компьютерной обработки звука постоянно обогащаются, прежде всего, за счёт инновационных процессов, происходящих в одной из *главных наук современности* — компьютерных наук. Не секрет, что в настоящее время, практически ни одна инженерная практика не обходится без вовлечения в неё компьютерных технологий. Компьютерные технологии в сфере обработки аудиоданных дают возможность аудиоинженеру раскрыть творческий потенциал при процедурах синтеза звука, его мастеринга и ремастеринга, а также прочих прикладных процедур, многим из которых посвящён ряд авторских статей [1,2,3,4,5,6,7,8,9].

Программирование — это технический инструмент, позволяющий достичь желаемых результатов в каждой из предметных областей инженерных практик. Качественное программирование — вещь сложная, а его процесс требует колоссальной внимательности и порой принятия нестандартных решений. Чтобы сосредоточиться исключительно на *инженерных процедурах* и не растрачивать своё время на *рутинные практики программирования*, можно использовать *специализированные библиотеки*, целью которых является обеспечение непрерывности процессов программирования в условиях реализации сложнопрограммированных проектов.

Специальные языки программирования (отраслевые языки) обладают богатым спектром возможностей для реализации креативных концепций проектировщика. Язык программирования Nyquist (далее по тексту — язык Nyquist), относится именно к таким языкам. Язык Nyquist позволяет производить сложные манипуляции над звуковыми данными, упрощает процедуры формирования аудиоданных, решает проблему точной обработки звука при проектировании новых композиций, предоставляет возможность производства синтеза звуковых комбинаций, превращая набор сэмплов в совершенно новые звуки.

Язык Nyquist поддерживает исполнение команд на синтаксисе SAL¹. Это обстоятельство позволяет испол-

¹ **Прим. автора.** SAL (Simple Algorithmic Language) — алгоритмический язык программирования специального назначения, спроектированный в целях обеспечения удобства трансляции алгоритмических моделей в машинный код. Язык может быть полезен электронным композиторам, инженерам по звуку, которые хотят реализовать свои замыслы на компьютерных (программно-аппаратных) платформах. Является Lisp-ориентированным языком.

нять функции счёта в Nyquist на SAL. Как и другие языки подобного толка, Nyquist нуждается во вспомогательных средствах программирования, которые могут существенно облегчить рутинные процедурные моменты в режиме формирования программного кода. Для этого в Nyquist зарезервирован определённый набор библиотек, предназначенных для упрощения мини операций, связанных с написанием кода. Одной из таких библиотек является SDL [10,11].

Библиотека SDL (Score Description Library) является библиотекой описания счёта и предназначена для облегчения перевода традиционной нотации счёта на исходный код языка Nyquist², она также успешно обеспечивает точный контроль над параметрами производительности и синтеза. Библиотека спроектирована Педро Моралесом (Pedro J. Morales)³. Цель разработки данной библиотеки заключается в попытке *облегчения транскрипции музыки, от традиционной нотации — до синтеза*, на языке Nyquist. Строго говоря, композиции компьютерной музыки формально задаются с помощью предопределённого языка программирования. Благодаря тому, что язык Nyquist является расширением языка LISP, он может использоваться одинаково хорошо как для *синтеза аудио сэмплов*, так и для *алгоритмической композиции*[12]. Связь Nyquist с основным LISP, а также с некоторыми его ветками (XLISP, Common Lisp), расши-

² **Прим. автора.** Nyquist поощряет представление музыки в виде исполняемых программ или моделей поведения. Существуют различные способы изменения поведения, включая растяжение во времени, транспонирование и т.д. Альтернативой составлению исполняемых программ является манипулирование со счётом, как с редактируемыми данными. У каждого подхода есть свои сильные и слабые стороны. Мы описываем функции, предназначенные для управления счётом Xmusic, полученные с помощью score-gen. Напомним, что таким образом счёта являются списками событий (например, нот), где события представляют собой трехэлементные списки формы (выражение продолжительности времени, и где выражение является стандартным вызовом функции LISP, где все параметры являются параметрами *ключевых слов*). Кроме того, первой «нотой» может быть специальное выражение «SCORE-BEGIN-END». Если оно отсутствует, партитура начинается с нуля и заканчивается последней нотой.

³ **Прим. автора.** Хуан Педро Домингес-Моралес (Juan Pedro Dominguez-Morales) — специалист в области компьютерных наук и аудиоинженерии, получил степень бакалавра в области компьютерной инженерии, степень магистра в области компьютерной инженерии и сетей, и степень доктора философии в области компьютерной инженерии (специализируется на *нейроморфной* обработке звука и нейронных сетях с шипами) в Университете Севильи, Севилья, Испания, в 2014, 2015 и 2018 годах — соответственно. С октября 2015 по декабрь 2018 года он был аспирантом факультета архитектуры и компьютерных технологий Севильского университета, получив исследовательский грант от Министерства образования и науки Испании. С января 2019 года работает доцентом на кафедре архитектуры и компьютерных технологий. Его научные интересы включают анализ медицинских изображений, свёрточные нейронные сети, системы автоматизированной диагностики, *нейроморфную* инженерии, импульсные нейронные сети, *нейроморфные* датчики и обработку звука. В 2016 году он стал членом Европейского общества нейронных сетей и уже четыре года является членом Института инженеров электротехники и электроники — IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers).

```
(setf *my-sdl-score*
 '(TF 1)
 (INIT-INSTR "i1" sinte) (INSTRUMENT "i1") (PWL-POINT :mm 100) (ATTR :idur 0.1)
 2 (:c4 1) :d4 (:e4 2) :c4 :g4 :e4 :a4 (:g4 1) :f4 (:g4 4)
 (:a4 1) :c5 :f4 :a4 :g4 :f4 :e4 :g4 :f4 :a4 :d4 :f4 :e4 :d4 :c4 :d4 :e4 :f4 (:g4 2)
 :a3 :c4 :d4 :f4
 :g3 :b3 :c4 :e4 (:f3 1) :e4 :d4 :c4 :g3 :d4 :c4 :b3 (ATTR :idur 1) (LABEL :t1)
 (:c4 4)))
```

©Design-technology: Vasily V.Taran

Программный код № 1*. Базовый пример счёта SDL.

*Иллюстрации к статье являются неотъемлемой частью авторского права данной рукописи, их воспроизведение в публичных научных источниках (в том числе средствах массовой информации) допускается с письменного разрешения редакции и уведомления автора. Фрагменты программного кода, изложенные в иллюстрациях, принадлежат их законным владельцам: Педро Моралесу (Pedro J. Morales) и Луису Родригесу (Luis Rodríguez).

ряет возможности традиционного программирования за счёт введения интеллектуальных функций[13,14]. Помимо этого, язык Nyquist можно эффективно использовать для воспроизведения музыки, которая описывается как последовательность нот (партитура в традиционной нотной записи). Но в этом случае необходимо *указать каждый параметр ноты*, что затрудняет комфортное сочинение музыки[15,16,17,18].

Счёт SDL во многом упрощает данные процедуры и представляет собой табличный список, в котором указаны инструктивные примечания¹, а также атрибуты продолжительности звука, высота его тона и другие важные аргументы, связанные с параметрами синхронизации и синтеза.

Здесь TF означает фактор времени. Все значения длительности будут умножены на этот коэффициент (значение по умолчанию равно 1). INIT-INSTR показывает инструмент, который будет использоваться при синтезе. Первый аргумент «i1» — это название инструмента в счёте SDL. Второй аргумент — это имя функции Nyquist, которое определяет инструмент. Базовый перечень функций счёта на языке Nyquist перечислен в таблице 1. Эта функция должна быть определена независимо от счёта с помощью выражения (defun sinte ...). Команда ИНСТРУ-

¹ Прим. автора. Под инструктивными примечаниями понимаются примечания, содержащие набор правил и предписаний для своевременного их выполнения на определённых участках программного кода. Это может быть зарезервированный для конкретных целей сектор таблицы или ячейка списка, которым должна соответствовать определённая процедура.

МЕНТ (INSTRUMENT) способствует тому, что все ноты с этого момента синтезируются инструментом «i1» до тех пор, пока не будет указан новый инструмент. PWL-POINT описывает линейную функцию по частям, для того, чтобы задать *переменные* во времени параметры. К примеру: mm принимает значение 100, когда инструкция, называемая ATTR, задаёт значение постоянного параметра². Значение 2 определяет двухтактную паузу. Можно рассмотреть несколько различных типов времени:

- ◆ Время счёта, измеряемое в тактах.
- ◆ Физическое время, измеряемое в секундах.
- ◆ Четверть — имеет продолжительность 4 удара.

Физическое время вычисляется в соответствии со временем счёта, темпом и Временным Фактором TF. (:c4 1) представляет собой ноту, заданную шагом C4 и длительностью в 1 такт (т.е. под номером шестнадцатая). Указываются только высота и продолжительность. Шаг может быть задан с помощью альтернативного синтаксиса. Длительность может быть любым выражением LISP.

Остальные атрибуты, необходимые для синтеза, предоставляются инструкциями ATTR и PWL-POINT. «d4» — это нота высоты тона D4 и унаследованная длительность 1 такта. Остатки не изменяют продолжительность по умолчанию. Изменения продолжительности за-

² Прим. автора. Значение параметра не изменяется до тех пор, пока не будет достигнута новая инструкция ATTR. Например, параметр: idur принимает значение 0,1 в каждой заметке до тех пор, пока новое значение не будет указано новым значением ATTR.

Таблица 1. Перечень основных функций, предназначенных для счёта при составлении программного кода на языке Nuquist.

Функции счёта Nuquist (свойства и события)			Процедурные предписания
Диалект SAL	Диалект LISP		
1	score-sorted(score)	(score-sorted score)	Проверяет, отсортирован ли счёт.
2	score-sort(score [, copy-flag])	(score-sort score [copy-flag])	Сортирует ноты в партитуре <i>от начала</i> . Если разделитель копирования равен нулю, это «разрушительная» операция, которая должна выполняться только в том случае, если список оценок верхнего уровня является свежей копией, которая не используется другими переменными. Разделитель копирования предназначен только для использования во внутренней системе. Для следующих операций предполагается, что счёта отсортированы, и все операции возвращают отсортированный счёт.
3	score-shift(score, offset, from-index: i, to-index: j, from-time: x, to-time: y)	(score-shift score offset: from-index i: to-index j: from-time x: to-time y)	Добавляет постоянное смещение ко времени начала набора нот в партитуре. По умолчанию все ноты изменяются, но их диапазон может быть ограничен параметрами ключевого слова. Время начала оценки при необходимости уменьшается до минимального времени любого события, перенесённого на более раннее время (с отрицательным смещением), а время окончания оценки увеличивается при необходимости до максимального времени окончания любого события, перенесённого на более позднее время. Если все смещенные события остаются в диапазоне от начала до конца счёта, время начала и окончания не изменяется. Исходный счёт не изменяется, а возвращается новый счёт.
4	score-stretch(score, factor, dur: dur-flag, time: time-flag, from-index: i, to-index: j, from-time: x, to-time: y)	(score-stretch score factor: dur dur-flag: time time-flag: from-index i: to-index j: from-time x: to-time y)	Растягивает время и продолжительность нот по алгоритму. Разделитель dur по умолчанию не равен нулю, но если разделитель dur равен нулю, первоначальная длительность сохраняется и растягивается только время. Аналогично, разделитель времени по умолчанию не равен нулю, но если равен нулю, исходное время сохраняется, и растягиваются только продолжительности. Если и разделитель dur, и разделитель времени равны нулю, счёт не изменяется. Если указан диапазон нот, время масштабируется в пределах этого диапазона, а ноты после диапазона сдвигаются так, чтобы растянутая область не создавала «дыру» или не перекрывалась бы последующими заметками. Если диапазон начинается или заканчивается временем (через «from-time:» и «to-time:»), растяжение времени происходит течение указанного временного интервала независимо от того, присутствуют ли какие-либо ноты или где они начинаются. Другими словами, «остатки» растягиваются вместе с нотами. Исходный счёт не изменяется, а возвращается новый счёт.
5	score-transpose(score, keyword, amount, from-index: i, to-index: j, from-time: x, to-time: y)	(score-transpose score keyword amount: from-index i: to-index j: from-time x: to-time y)	Для каждой ноты в партитуре и в любом указанном диапазоне, если есть параметр, соответствующий ключевому слову и значение параметра выражено числом, увеличивает значение параметра на определенную величину. Например, чтобы транспонировать вверх на целый шаг, напишите ((score-transpose 2: pitch score). Исходный счёт не изменяется, а возвращается новый счёт. Если ключевое слово «: pitch» и соответствующее значение параметра является списком, каждый элемент списка увеличивается на определенную величину. Этот особый случай соответствует соглашению timed-seq, в котором события оценки со списками для атрибута «: pitch» расширяются в «аккорды», путём создания экземпляра события для каждого элемента (шага) в списке (аккорде).

Таблица 1 (продолжение). Перечень основных функций, предназначенных для счёта при составлении программного кода на языке Nuquist.

Функции счёта Nuquist (свойства и события)			Процедурные предписания
Диалект SAL	Диалект LISP		
6	score-scale(score, keyword, amount, from-index: i, to-index: j, from-time: x, to-time: y)	(score-scale score keyword amount: from-index i: to-index j: from-time x: to-time y)	Для каждой ноты в партитуре и в любом указанном диапазоне, если есть ключевое слово, соответствующее ключевому слову, и значение параметра равно числу, умножает значение параметра на определённую величину. Исходный счёт не изменяется, а возвращается новый счёт.
7	score-sustain(score, factor, from-index: i, to-index: j, from-time: x, to-time: y)	(score-sustain score factor: from-index i: to-index j: from-time x: to-time y)	Для каждой ноты в партитуре и в любом указанном диапазоне умножает продолжительность (фактор растяжения) на определённую величину. Это может быть использовано для того, чтобы ноты звучали более выраженным легато или стаккато, и не изменяет время их начала. Исходный счёт не изменяется, а возвращается новый счёт.
8	score-voice(score, replacement-list, from-index: i, to-index: j, from-time: x, to-time: y)	(score-voice score replacement-list: from-index i: to-index j: from-time x: to-time y)	Для каждой ноты в партитуре и в любом указанном диапазоне, заменяет имя (функции) поведения с помощью replacement-list, который имеет формат: ((old1 new1) (old2 new2) ...), где old — показывает текущее имя поведения, а new — является заменой. Если old обозначается как *, это может соответствовать любому типу данных. Например, чтобы заменить my-note-1 тромбонем, а my-note-2 рожком, используйте score-voice(score, {{my-note-1 trombone} {my-note-2 horn}}). Чтобы заменить все инструменты на фортепиано, используйте score-voice(score, {{* piano}}). Исходный счёт не изменяется, а возвращается новый счёт.
9	score-merge(score1, score2, ...)	(score-merge score1 score2 ...)	Создаёт новый счёт, содержащий все примечания к параметрам, которые являются счётами. Полученные ноты сохраняют свое первоначальное время и продолжительность. Время начала объединенной оценки — это минимальное время начала параметров, а время окончания объединенной оценки — максимальное время окончания параметров. Исходные счёта не изменяются, а возвращается новый счёт.
10	score-append(score1, score2, ...)	(score-append score1 score2 ...)	Создаёт новый счёт, содержащий все примечания к параметрам, которые являются счётами. Время начала первого счёта остается неизменным. Время начала каждого другого счёта совпадает со временем окончания предыдущего счёта; таким образом, счёта «срачиваются» последовательно. Исходные счёта не изменяются, а возвращается новый счёт.

Таблица 1 (продолжение). Перечень основных функций, предназначенных для счёта при составлении программного кода на языке Nuquist.

Функции счёта Nuquist (свойства и события)			Процедурные предписания
Диалект SAL	Диалект LISP		
11	score-select(score, predicate, from-index: i, to-index: j, from-time: x, to-time: y, reject: flag)	(score-select score predicate: from-index i: to-index j: from-time x: to-time y: reject flag)	Выбирает (или отклоняет) ноты, чтобы сформировать новую партитуру. Ноты выбираются, если они попадают в заданные диапазоны индекса и времени, и удовлетворяют предикату (<i>Предикат в программировании — выражение, использующее одну или более величину с результатом логического типа</i>), функции из трёх параметров, которая применяется к времени начала, продолжительности и нотному выражению. В качестве альтернативы предикатом может быть <i>t</i> , указывающее, что должны быть выбраны все ноты в диапазоне. Выбранные ноты, вместе с существующими маркерами начала и конца партитуры, объединяются для формирования новой партитуры. В качестве альтернативы, если параметр «reject:» не равен нулю, невыбранные ноты образуют новый счёт (другими словами, выбранные ноты отклоняются или удаляются для формирования нового счёта). Исходный счёт не изменяется, а возвращается новый счёт.
12	score-get-begin(score)	(score-get-begin score)	Возвращает начальное время счёта.
13	score-set-end(score, time)	(score-set-end score time)	Конечное время начала с маркера счёта SCORE-BEGIN-END устанавливается на время. Исходный счёт не изменяется, а возвращается новый счёт.
14	score-get-end(score)	(score-get-end score)	Возвращает время окончания счёта.
15	score-must-have-begin-end(score)	(score-must-have-begin-end score)	Если счёт не имеет времени начала и окончания, создаёт счёт с выражением SCORE-BEGIN-END и возвращает его. Если у счёта уже есть время начала и окончания, просто возвращает счёт. Исходный счёт не изменяется.
16	score-filter-length	(score-filter-length score cutoff)	Удаляет ноты, которые выходят за рамки времени отсечения. Это похоже на score-select, но события здесь удаляются, когда их номинальное время окончания (время начала плюс продолжительность) превышает отсечку, в то время как параметр «to-time:» сравнивается со временем начала ноты. Исходный счёт не изменяется, а возвращается новый счёт.
17	score-repeat(score, n)	(score-repeat score n)	Создаёт последовательность из n копий партитуры. Каждая копия смещается так, чтобы время её начала совпадало со временем окончания предыдущей копии, как в score-append. Исходный счёт не изменяется, а возвращается новый счёт.
18	score-stretch-to-length(score, length)	(score-stretch-to-length score length)	Растягивает счёт так, чтобы время окончания счёта было временем начала счёта, плюс его длиной. Исходный счёт не изменяется, а возвращается новый счёт.
19	score-filter-overlap(score)	(score-filter-overlap score)	Удаляет перекрывающиеся ноты (на основе времени начала и продолжительности заметки), отдавая приоритет порядку расположения в списке нот (который также является временным порядком). Исходный счёт не изменяется, а возвращается новый счёт.

Таблица 1 (продолжение). Перечень основных функций, предназначенных для счёта при составлении программного кода на языке Nuquist.

Функции счёта Nuquist (свойства и события)			Процедурные предписания
Диалект SAL	Диалект LISP		
20	score-print(score, [lines])	(score-print score [lines])	Печатает партитуру с одной нотой в строке. Возвращает ноль. Если задано количество строк (необязательно ФИКСИРОВАННОЕ число), выводит максимум из строк (но минимально не менее 3-х). Формат — первый параметр lines-2 события оценки, строка «...» и последнее событие оценки.
21	score-play(score)	(score-play score)	Воспроизводит партитуры с помощью timed-seq для преобразования партитуры в звук и воспроизведение для демонстрации звука.
22	score-adjacent-events(score, function, from-index: i, to-index: j, from-time: x, to-time: y)	(score-adjacent-events score function: from-index i: to-index j: from-time x: to-time y)	Вызывает (функции A B C), где A, B и C — последовательные ноты в партитуре. Полученный результат заменяет B. Если результат равен нулю, B удаляется, и следующий вызов будет (функция A C — D) и т.д. Первый вызов — (функция ноль A B), а последний — (функция Y Z ноль). Если в партитуре есть только одна нота, вызывается (функция ноль, A — ноль). Вызовы функций не выполняются, если нота находится за пределами указанного диапазона. Эта функция позволяет настраивать ноты и их параметры в соответствии с их непосредственным контекстом. Исходный счёт не изменяется, а возвращается новый счёт.
23	score-apply(score, function, from-index: i, to-index: j, from-time: x, to-time: y)	(score-apply score function: from-index i: to-index j: from-time x: to-time y)	Заменяет каждую ноту в партитуре результатом (выражение dur функции времени) (в LISP) или функцией (время, dur, выражение) (в SAL), где время, dur и выражение — это время, продолжительность и выражение ноты. Если указан диапазон, заменяются только ноты в диапазоне. Исходный счёт не изменяется, а возвращается новый счёт.
24	score-indexof(score, function, from-index: i, to-index: j, from-time: x, to-time: y)	(score-indexof score function: from-index i: to-index j: from-time x: to-time y)	Возвращает индекс (<i>позицию</i>) <i>первого</i> события оценки (в диапазоне), для которого применяется функция, посредством (выражения dur/ функция времени) с последующим возвратом реального значения.
25	score-last-indexof(score, function, from-index: i, to-index: j, from-time: x, to-time: y)	(score-last-indexof score function: from-index i: to-index j: from-time x: to-time y)	Возвращает индекс (<i>позицию</i>) <i>последнего</i> события оценки (в диапазоне), для которого применяется функция, посредством (выражения dur/ функция времени) с последующим возвратом реального значения.
26	score-randomize-start(score, amt, from-index: i, to-index: j, from-time: x, to-time: y)	(score-randomize-start score amt: from-index i: to-index j: from-time x: to-time y)	Изменяет время начала нот на случайную величину до плюс или минус amt. Исходный счёт не изменяется, а возвращается новый счёт.

даются явно атрибутом примечания. Также есть функции для изменения времени начала нот, времени растяжения и длительности, растяжения только длительности, добавления смещения к параметру ключевого слова, масштабирования параметра ключевого слова и других манипуляций. Предусмотрены функции для извлечения диапазонов нот, нот, соответствующих критериям, и для объединения счётов. Большинство из этих функций (подробно перечисленных ниже) имеют общий набор параметров ключевых слов, которые при необходимости ограничивают диапазон, в котором выполняется преобразование. Параметры «from-index:» и «to-index:» показывают индекс первой ноты и индекс последней ноты, которую необходимо изменить. Если эти числа отрицательные, они смещены от конца партитуры, на-

пример, «-1» обозначает последнюю ноту партитуры. «from-time:» и «to-time:»¹ — идентифицируют диапазон времени начала нот, на которые повлияет манипуляция. Изменяются только ноты, время которых больше или равно времени «from-time» и строго меньше времени «to-time». Если указаны как индексы, так и временные диапазоны — выбираются только заметки, удовлетворяющие обоим ограничениям.

LABEL — задаёт метку времени, предназначенную для синхронизации разделов счёта. LABEL связана со временем подсчёта. Совпадение ссылок на LABEL зависит

¹ Прим. автора. В синтаксисе LISP двоеточия предшествуют ключевому слову, поэтому используйте «: from-index», «: to-index», «: from-time» и «: to-time».

```
(load ``sdl``)
(sdl->score *my-sdl-score*)

=> ((0.3 0.15 (SINTE :PITCH 60 :MM 100 :IDUR 0.1))
(0.45 0.15 (SINTE :PITCH 62 :MM 100 :IDUR 0.1))
(0.6 0.3 (SINTE :PITCH 64 :MM 100 :IDUR 0.1))
(0.9 0.3 (SINTE :PITCH 60 :MM 100 :IDUR 0.1))
(1.2 0.3 (SINTE :PITCH 67 :MM 100 :IDUR 0.1))
...
)
```

©Design-technology: Vasily V.Taran

Программный код № 2. Обработка оценки SDL.

```
(sdl:normalize-score-duration(sdl->score *my-sdl-score*))

=> ((0.3 1 (SINTE :PITCH 60 :MM 100 :IDUR 0.1))
(0.45 1 (SINTE :PITCH 62 :MM 100 :IDUR 0.1))
(0.6 1 (SINTE :PITCH 64 :MM 100 :IDUR 0.1))
(0.9 1 (SINTE :PITCH 60 :MM 100 :IDUR 0.1))
(1.2 1 (SINTE :PITCH 67 :MM 100 :IDUR 0.1))
...
)
```

©Design-technology: Vasily V.Taran

Программный код № 3. Установка масштабирующих множителей растяжения на 1 по sdl: normalize-score-duration.

```
((0.3 0.15 (SINTE :PITCH 60 :MM 100 :IDUR 0.1))
```

Рис. 1

от карты темпа оценки. Таким образом, пользователь несёт ответственность за контроль над этой проблемой. Библиотека счёта может производить событийную оценку, указываемых математических параметров. Оценка SDL обрабатывается функцией `sdl->score`.

Как можно заметить, в результате получается оценка Xmusic¹. Каждое событие Xmusic score состоит из трёх элементов. Первый из них указывает время начала за-

¹ **Прим. автора.** Несколько библиотек Найквиста предлагают поддержку алгоритмической композиции. Xmusic — это специальная библиотека для генерации последовательностей и шаблонов данных. В Xmusic включены: ✓ объекты шаблонов, используемые для генерации интересных последовательностей значений параметров;

Music работает на Common Lisp и Scheme, но не на XLISP (базовом языке для Nyquist). Библиотеки Xmusic в Nyquist предлагают интересное подмножество инструментов в Common Music. Одной из важных особенностей Xmusic является то, что он интегрирован со всеми функциями синтеза Nyquist, поэтому вы можете использовать шаблоны и партитуры Xmusic для управления мелкими деталями синтеза звука.

* Рик Таубе (Rick Taube) является доцентом в Школе музыки при Университете Иллинойса в Урбане (США). Специализируется на компьютерной обработке звука, алгоритмической композиции, теории классической композиции.

** Common Music (CM) — это система создания музыки в реальном времени, реализованная на JUCE/C++ и Scheme. Она генерирует музыкальный вывод через MIDI, OSC, CLM, FAMOUS и CSOUND. Её пользовательское приложение называется GRACE (Графическая среда алгоритмической композиции в реальном времени). Фактически является объектно-ориентированной средой создания музыки, распространяемой по лицензии GPL. Common Music — создаёт звук, преобразуя высокоуровневое представление музыкальной структуры в различные протоколы управления для синтеза и отображения аудиоматериала.

```
(setf *my-time-labels* (sdl->timelabels *my-sdl-score*))

(setf *voz-2*
  '((TF 1)
   (INIT-INSTR "i1" sinte) (INSTRUMENT "i1") (PWL-POINT :mm 100) (ATTR :idur 0.1)
   (AT-LABEL :t1)
   2 (:g4 1) :a4 (:b4 2) :g4))

(sdl->score *voz-2* *my-time-labels*)

=> ((9.9 0.15 (SINTE :PITCH 67 :MM 100 :IDUR 0.1))
    (10.05 0.15 (SINTE :PITCH 69 :MM 100 :IDUR 0.1))
    (10.2 0.3 (SINTE :PITCH 71 :MM 100 :IDUR 0.1))
    (10.5 0.3 (SINTE :PITCH 67 :MM 100 :IDUR 0.1)))
```

Программный код № 4. Процедуры синхронизации. Пример отправки временных ссылок в качестве аргумента в функцию `sdl->score`.

```
(play (timed-seq (sdl:normalize-score-duration (sdl->score *my-sdl-score*)))
```

Рис. 2

```
(setf *my-time-labels* (sdl->timelabels *my-sdl-score*))
(print (symbol-plist *my-time-labels*))

=> (:T1 64)
```

Рис. 3

```
(setf *minimal-sco-1* '((INIT-INSTR "i1" xx) (INSTRUMENT "i1") (PWL-POINT :mm 100)
  (:c4 2)))
(setf *minimal-sco-2* '((INIT-INSTR "i2" yy) (INSTRUMENT "i2") (ATTR :mm 100) :c4))
```

Рис. 4

метки. Второй — это фактор растяжения, а третий — вызов функции синтеза. Например, первое событие (рис. 1).

Оно начинается с 0,3 секунды; коэффициент растяжения равен 0,15, а вызов функции синтеза (синтез: шаг 60: idur 0,1). Здесь: аргумент `mm` — это не параметр синтеза, а элемент управления темпом.

Таким образом, реализация `sinte` не должна содержать никаких аргументов с этим именем. Масштабиру-

ющий множитель растяжения умножает длительность ноты на значение растяжения. Например, для вызова функции синтеза для возврата 1-секундной заметки, масштабирующий множитель растяжения равен 0,15, а общая продолжительность заметки составит 0,15. Одной из наиболее примечательных особенностей Nyquist является Поведенческая абстракция (Behavioral Abstraction), которая представляет собой основу для решения контекстно-зависимых преобразований, включая растяжение. Каждая функция синтеза имеет опре-

```
(setf *pitches* (list 60 60.0 c4 'c4 C4 'C4 cs4 df4 :c4 :c#4 :cb4 :df4
"с4" "сs4" "сb4" "с#4"))
(mapcar #'sdl:pitch-lex *pitches*)
=> (60 60 60 60 60 60 61 61 60 61 59 62 60 61 59 61)
```

Рис. 5

деленное поведение по умолчанию, которое адекватно в большинстве ситуаций. Тем не менее, в некоторых случаях это поведение по умолчанию может быть неприемлемым. Поэтому, например, воздействие на огибающую амплитуду звука может быть изменено различными значениями масштабирующего множителя растяжения и может не подходить для звука, подобного клавесину. Чтобы решить эту проблему, функцию синтеза можно определить так, чтобы время достижения максимального уровня было постоянным и не зависело от масштабирующего множителя растяжения. Для выполнения этой операции требуются обширные знания Поведенческой абстракции (Behavioral Abstraction). В качестве альтернативы *всемасштабирующего множителя*, растяжения могут быть установлены равными 1 и для указания конкретной продолжительности любого события можно использовать определенный параметр. Для этой цели используется параметр: idur.

Таким образом, продолжительность звука может быть выше или ниже, что позволяет использовать несколько режимов артикуляции от легато¹. Параметры контроля времени не могут быть вызваны: dur, так как это имя является зарезервированным ключевым словом Xmusic. «sdl: normalize-score-duration» — используется для установки масштабирующих множителей растяжения на 1, как показано в следующем *примере*. Программный код №3.

Для удобства представления счёт можно визуализировать. Как только счёт SDL будет переведён в формат Xmusic, Nyquist behavior может быть определен с помощью функции timed-seq², рис. 2.

При работе со *сложными оценками* целесообразно разбивать их на более мелкие этапы. Временные ссылки должны быть установлены для синхронизации всех за-

действованных этапов. Эти временные привязки могут быть установлены с помощью LABEL-инструкции. Функция sdl->timelabels используется для получения списка временных ссылок. Эти данные регистрируются как *список свойств символа*, созданного по ходу выполнения. Например (рис. 3).

Инструкция AT-LABEL позволяет нам сопоставить временную метку, которая была ранее указана LABEL, а также другое значение времени из другого счёта. Список временных ссылок должен быть отправлен в качестве аргумента в функцию sdl->score, как показано в следующем примере:

Пользователи должны учитывать, что метки времени на самом деле являются временем счёта (измеряемого в тактах), тогда как в оценках Xmusic время указывается в секундах, которые, в свою очередь, отображаются на основе времени счёта, параметра TF и карты темпа. По этой причине *метки времени* всегда совпадают со *временем счёта*, но для достижения совпадения в *физическом времени* они должны использовать один и тот же параметр TF и карту темпа. Счёт SDL — это табличный список, содержащий примечания, записи или другие элементы, связанные с синтезом и общим процессом. В любом счёте SDL должны присутствовать следующие базовые элементы:

- ◆ Инициализация одного инструмента INIT-INSTR.
- ◆ Одно задание по измерению INSTRUMENT.
- ◆ Одно временное функциональное требование: tm с помощью PWL-POINT или ATTR.
- ◆ По крайней мере, одна нота.

Пример — рис. 4.

Функция sdl->score возвращает ошибку, если счёт не содержит этих основных данных.

Здесь была принята стандартная шкала высоты тона MIDI (60 = C4). При использовании чисел с плавающей запятой (FLONUM) не допускается изменение высоты тона. Используем стандартные символы Nyquist.

Пример:

cs4 = C4 sharp = 61.

¹ **Прим. автора.** Легато (итал. legato — связано, плавно) в музыке — приём игры на музыкальном инструменте или в пении, связанное исполнение звуков, при котором имеет место плавный переход одного звука в другой (пауза между звуками отсутствует) до стаккато*.

*Стаккато (итал. staccato — отрывисто) — музыкальный штрих, предписывающий исполнять звуки отрывисто, отделяя один от другого паузами).

² **Прим. автора.** Также можно использовать функцию воспроизведения партитуры для непосредственного её отображения.

```
(setf *sco3*
'((TF 1.0) ; Общий фактор времени
(INIT-INSTR 'i1' xx) ; Преамбула (инициализация) instr. init.
(INSTRUMENT 'i1') ; Присвоенный инструмент.
(ATTR :mm 60) ; Метроном MM=60. 1 Четверть = 1 сек.
(:c4 4) ; c4 Четверть
4 ; Оставшаяся Четверть
:d4 ; d4. Продолжительность = четверть (наследуется)
(PAU 8) ; Оставшаяся половина
(:e4 (/ 4.0 3.0)) ; e4. Треть четверти
:e4 ;
:e4 ;
(DELTA (* 2 4)) ; Оставшаяся половина
(:f4 (* 2 1.5)) ; f4 Продолжительность = 3 = пунктирная восьмая часть
(DUR 4) ; Текущая продолжительность = 4 (четверть)
:g4 ; Продолжительность g4 = четверть
(DUR (/ 4.0 3.0)) ; текущая продолжительность = треть четверти
:a4 :a4 :a4 ; тройные структурные элементы a4
))
```

Программный код № 5. Пример использования инструкций DELTA и PAU при работе с продолжительностью числового значения (действия указаны в комментариях к коду — «»).

```
(setf *sco4*
'((TF 1.0) ; Общий фактор времени
(INIT-INSTR 'i1' xx) ; Преамбула init. instr.
(INSTRUMENT 'i1') ; Присвоенный инструмент
(ATTR :mm 60) ; Метроном MM=60. 1 Четверть = 1 сек.
(:c4 4) ; четверть c4
4 ; Оставшаяся четверть
(DUR 8) ; Текущая продолжительность =8= половина
(CH :c4 :e4 :g4) ; Трёхтонный аккорд. Продолжительность = половина
```

Программный код № 6. Пример краткосрочной продолжительности по CH. Использование трёхтонного аккорда, краткосрочная продолжительность — ½.

Стандартные звуковые символы lambda Music¹ представлены символами, начинающимися с двоеточия. Острые и плоские точки обозначаются # и b.

Пример:

«: c4: C4: c#4: C#4: cb4: Cb4».

Табличные символы.

Пример: 'c4 'cs4 'c#4 'cb4.

Строковые последовательности.

Пример: "c4" "cs4" "c#4" "cb4" (рис. 5).

Продолжительность измеряется в тактах. Четверть эквивалентна 4 тактам, половина — 8 тактам и так далее. Допускаются дробные продолжительности. Продолжительность может быть задана:

- ◆ Числовым значением.
- ◆ Выражением (интерпретацией) LISP.

Пример:

(/ 4.0 3.0) — представляет собой треть четверти, то есть одну восьмую каждого из трёх элементов.

¹ Прим. автора. Библиотека музыкальных композиций, разработанная Педро Моралесом в Common Lisp.

```

(setf *sco5*
'((TF 1.0) ; Общий фактор времени
(INIT-INSTR ''i1'' xx) ; Преамбула Init. instr.
(INSTRUMENT ''i1'') ; Присвоенный инструмент
(ATTR :mm 60) ; Метроном MM=60. 1 Четверть = 1 сек.
(:c4 4) ; Четверть c4
4 ; Оставшаяся четверть
(CH1 :c4 4) ; НАЧАЛО АККОРДА. Четверть c4
(CH1 :e4 8) ; e4 половина. ОДНОВРЕМЕННОЕ НАЧАЛО c4
(:g4 4) ; g4 четверть. ОДНОВРЕМЕННОЕ НАЧАЛО. c4, e4
(:c5 4) ; c5 четверть. Начинается, когда g4 заканчивается
; e4 продолжает играть из-за половины продолжительности
(CH1 :c4 8) ; НАЧАЛО арпеджированного аккорда
; (звуки воспроизводятся поочередно)
(DELTA 0.2) ; Увеличение времени на 2 такта
(CH1 :e4 (- 8 0.2)) ; e4 начинается на 0,2 удара после c4
; Заканчивается в то же самое время
(DELTA 0.2) ; Время увеличивается на 2 такта
(CH1 :g4 (- 8 0.2 0.2)) ; g4 другая нота арпеджио
(:c5 (- 8 0.2 0.2 0.2)) ; c5 финальная нота арпеджио
(:g3 4) ; g3 Четверть после арпеджио
)) ; (общая продолжительность арпеджио = 8)

```

©Design-technology; Vasily V.Taran

Программный код № 7. Использование DELTA-инструкции в качестве инструмента приращения времени, каждая нота может иметь независимые аккорды по длительности.

```

(setf *sco6*
'((TF 1.0)
(INIT-INSTR ''i1'' flute) ; Присвоить название партитуры инструмента через i1
; для функции флейты
(INSTRUMENT ''i1'') ; Текущий инструмент = i1
(ATTR :mm 60)
(:c4 4) ; Передано флейтой
4
(INIT-INSTR ''i2'' clarinet) ; Присвоить название партитуры инструмента через i2
; Для функции кларнета
:d4 ; Передано флейтой
(INSTRUMENT ''i2'') ; Текущий инструмент = i2
:e4 ; Передано кларнетом
))

```

©Design-technology; Vasily V.Taran

Программный код № 8. Пример сопоставления имени счётного инструмента с функцией Nyquist по INIT-INSTR.

```

(setf *sco7*
 '(TF 1.0)
 (INIT-INSTR 'i1' flute) ; Карты i1 для флейты
 (INSTRUMENT 'i1') ; Текущий инструмент i1 (флейта)
 (:c4 4) ; mm = 100; rel = 4; затухание = 3.2
 (ATTR :decay 3.2) ;
 (:d4 4) ; mm = 100; rel = 4; затухание = 5.1
 (ATTR :decay 5.1)
 (:e4 4) ; mm = 100; rel = 4; затухание = 5.1
 (PWL-POINT :rel 4.0)
 (PWL-POINT :mm 100)
 (:f4 4) ; mm = 100; rel = 4; затухание = 5.1
 (:g4 4) ; mm = 100; rel = 5; затухание = 5.1
 (:a4 4) ; mm = 100; rel = 6; затухание = 5.1
 (PWL-POINT :rel 7.0)
 (:b4 4) ; mm = 100; rel = 7; затухание = 5.1
 (:c5 4) ; mm = 100; rel = 7; затухание = 5.1
 (:d5 4) ; mm = 100; rel = 7; затухание = 5.1
 (PWL-POINT :rel 7.0)
 (:e5 4) ; mm = 100; rel = 7; затухание = 5.1
 ))

```

Программный код № 9. Пример определения параметров функций синтеза в Nyquist при счёте SDL по ATTR и PWL-POINT.

Физическое время (измеряется в секундах) вычисляется после времени счёта (измеряется в тактах), фактора времени, TF и карты темпов (задаётся параметром: mm). Фактор глобального времени задаётся инструкцией по оценке TF. Пример: (TF 2.0) умножает на 2,0 все длительности в счёте, тогда как (TF 0,5) умножает это на 0,5. Эта инструкция должна появиться в счёте только один раз. Значение TF по умолчанию равно 1,0. Значения темпов задаются параметром: mm, значение которого устанавливается с помощью инструкций ATTR или PWL-POINT. Синхронизация по примечаниям осуществляется через две возможности синхронизации нот:

1) С помощью 2-х элементного списка (высота и продолжительность).

Пример:

(:c4 4) является четвертью C4

2) Только по высоте. Продолжительность взята из последней ноты.

Продолжительность по умолчанию может быть изменена с помощью инструкции DUR. Что же касается дополнительной информации, можно отметить, что числовое значение представляет количество тактов. Инструкции DELTA или PAU¹ указывают на продолжительность с помощью числового значения или выражения LISP.

Музыкальная полифония может быть реализована в SDL путём сбора нескольких партитур. Тем не менее, заранее заданные (встроенные) инструкции SDL могут

¹ Прим. автора. Обе инструкции взаимозаменяемы.

```

(setf *sco-8*
 '(TF 1)
 4 (:c4 4)
 (PWL-POINT :mm 60)
 :d4 :e4 :f4 :g4
 (PWL-POINT :mm 60)
 :e5 :d5 :c5 :b4 :c5
 (PWL-POINT :mm 30)))

(score-print (sdl->score *voz-8*))

=> ((0 1 (FLUTE :PITCH 60 :MM 60))
 (1 1 (FLUTE :PITCH 62 :MM 60))
 (2 1 (FLUTE :PITCH 64 :MM 60))
 (3 1 (FLUTE :PITCH 65 :MM 60))
 (4 1 (FLUTE :PITCH 67 :MM 60))
 (5 1 (FLUTE :PITCH 76 :MM 60))
 (6 1.11111 (FLUTE :PITCH 74 :MM 54)) ; Румарганго
 (7.11111 1.25 (FLUTE :PITCH 72 :MM 48))
 (8.36111 1.42857 (FLUTE :PITCH 71 :MM 42))
 (9.78968 1.66667 (FLUTE :PITCH 72 :MM 36))
 )

```

Программный код № 10. Применение PWL-POINT для постепенного изменения темпа замедления воспроизведения музыкальной дорожки. Для резкого изменения темпа музыкального произведения используем ATTR.

быть более подходящими в простых случаях. SN — производит одновременные ноты, имеющие краткосрочную продолжительность. *Пример* — программный код №6.

SN1 выдает одну ноту без увеличения времени. Приращения времени могут быть указаны с помощью DELTA-инструкции. Таким образом, для каждой ноты могут быть созданы независимые аккорды длительности.

Пример — программный код № 7.

В каждой партитуре ноты должны быть привязаны к инструменту синтеза. INIT-INSTR — это инструкция, используемая для сопоставления имени счётного инструмента с функцией Nyquist, реализующей сам инструмент. Инструкция INSTRUMENT присваивает примечаниям название инструмента. Текущий инструмент можно настроить с помощью новой инструкции INSTRUMENT.

В счётах SDL параметры функций синтеза в Nyquist определяются инструкциями ATTR и PWL-POINT. У ATTR есть два аргумента. *Первый* — это имя параметра (начинающееся с двоеточия). *Второй* — используется только для установки значения параметра. Текущее значение параметра может быть изменено другой инструкцией ATTR. PWL-POINT ведёт себя так же, как инструкция ATTR. Единственное различие заключается в том, что *линейная интерполяция* выполняется между *двумя последовательными инструкциями* PWL-POINT. Не разрешается определять одно и то же значение характеристики с помощью инструкций ATTR и PWL-POINT.

ATTR можно использовать в случае резких изменений темпа, в то время как PWL-POINT (Ritardando)¹ — по-

¹ **Прим. автора.** Ritardando (ритардандо) — постепенное замедление темпа исполнения музыкального произведения.

```

; Функция Найквиста, повторяющая событие n раз

(defun sdl-repeat (n quoted-event)
  (let (result)
    (dotimes (i n (apply #'append result))
      (push quoted-event result))))

; Макрос sdl-repeat, вызванный из счета
; Последовательность :f4 :g4 повторяется 4 раза

(setf *score*
  '((TF 1.0)
    (INIT-INSTR "i1" flute2)(INSTRUMENT "i1")(ATTR :mm 60)
    (:e4 4) (MAC sdl-repeat 4 (:f4 :g4))))

(sdl->score *score*)

=> ((0 1 (FLUTE2 :PITCH 64 :MM 60))
    (1 1 (FLUTE2 :PITCH 65 :MM 60)) ; f4 повторите 4 раза f4 g4
    (2 1 (FLUTE2 :PITCH 67 :MM 60)) ; g4
    (3 1 (FLUTE2 :PITCH 65 :MM 60)) ; f4
    (4 1 (FLUTE2 :PITCH 67 :MM 60)) ; g4
    (5 1 (FLUTE2 :PITCH 65 :MM 60)) ; f4
    (6 1 (FLUTE2 :PITCH 67 :MM 60)) ; g4
    (7 1 (FLUTE2 :PITCH 65 :MM 60)) ; f4
    (8 1 (FLUTE2 :PITCH 67 :MM 60)) ; g4
    )

```

Программный код № 11. Пример работы с макросами. Применение инструкции MAC для повторяющихся структур.

```

; Поля, управляемые логистическим уравнением
; Логистическая кривая*
; Комментарий*: Таран Василий Васильевич, кандидат культурологии

(setf *logistica* 0.3)
(setf *k* 3.97)

(defun logistica ()
  (setf *logistica* (* *k* (- 1.0 *logistica*) *logistica*)))

(defun call-logistica (n dur pitch-min pitch-interval)
  (let (result)
    (dotimes (i n (reverse result))
      (push (list (pitch-min (round (* (logistica) pitch-interval))) dur)
            result))))

(setf *score2*
  '( (TF 1.0)
    (INIT-INSTR "i1" flute2) (INSTRUMENT "i1") (ATTR :mm 60)
    (:e4 4) (MAC call-logistica 5 4 30 15)))

(score-print (sdl->score *score2*))

=> ((0 1 (FLUTE2 :PITCH 64 :MM 60))
    (1 1 (FLUTE2 :PITCH 43 :MM 60))
    (2 1 (FLUTE2 :PITCH 38 :MM 60))
    (3 1 (FLUTE2 :PITCH 45 :MM 60))
    (4 1 (FLUTE2 :PITCH 31 :MM 60))
    (5 1 (FLUTE2 :PITCH 34 :MM 60))
    )

```

Программный код № 12. Пример использования управления значениями параметров с помощью функции LISP для автоматизации работы с примечаниями.

```

(load "xm")

(setf *my-durations* (make-heap (list 4 6 8)))

(defun heap-durations (inicio pitch)
  (let ((dur (next *my-durations*)))
    (list inicio dur (list 'sinte-fun :pitch pitch :mm 60 :idur dur))))

(setf *score3*
  '( (TF 1.0)
    (INIT-INSTR "i1" flute2) (INSTRUMENT "i1") (ATTR :mm 60)
    (:e4 4)
    (FUN #'heap-durations 1 :c4)
    (FUN #'heap-durations 2 :d4)
    (FUN #'heap-durations 3 :e4)
    (FUN #'heap-durations 4 :c4)
    (FUN #'heap-durations 7 :d4)))

(sdl->score *score3*)

=> ((0 1 (FLUTE2 :PITCH 64 :MM 60))
  (0.25 1.5 (SINTE-FUN :PITCH :C4 :MM 60 :IDUR 6))
  (0.5 1 (SINTE-FUN :PITCH :D4 :MM 60 :IDUR 4))
  (0.75 2 (SINTE-FUN :PITCH :E4 :MM 60 :IDUR 8))
  (1 1.5 (SINTE-FUN :PITCH :C4 :MM 60 :IDUR 6))
  (1.75 1 (SINTE-FUN :PITCH :D4 :MM 60 :IDUR 4))
  )

```

Программный код № 13. Использование инструкции FUN для определения событий оценки с помощью функций LISP.

степенное замедление темпа исполнения музыкального произведения, выполняет постепенные изменения темпа. *Пример* — программный код № 10.

Базовая реализация макросов доступна в SDL и позволяет описывать повторяющиеся структуры, такие как тремоло¹ и т.д. Для этой цели используется инструкция MAC. Первый аргумент — это имя функции LISP, а остальные — аргументы для этой функции. *Пример* — программный код № 11.

Макросы также можно использовать для управления значениями параметров с помощью функции LISP, вместо того, чтобы указывать их примечание за примечанием. *Пример* — программный код № 12.

¹ **Прим. автора.** Тремоло — приём игры, заключающийся в быстром многократном чередовании звуков, интервалов или аккордов.

Логистическая функция (или логистическая кривая) является общей S-образной (сигмообразной) кривой, описываемой уравнением Ферхюльста² (по имени впервые сформулировавшего его бельгийского математика), которое изначально появилось при изучении изменений численности населения.

$$f(x) = \frac{L}{1 + e^{-k(x-x_0)}}$$

Где:

x_0 — значение x средней точки сигмоиды;

² **Прим. автора.** Пьер Франсуа Ферхюльст (фр. Pierre François Verhulst) — бельгийский математик, известен работами в области моделирования численности населения.

Таблица 2. Список дополнительных инструкций определяющих управление счётотом и факторами времени при использовании языка Nyquist совместно с SDL.

Инструкции по счётоту (SDL)		Предписания
1	(TF args: time-factor)	Общий Фактор Времени. Все продолжительности в счётоте умножаются на этот коэффициент.
2	(TIME-IN-SECONDS)	Время в секундах. Никаких аргументов не требуется. Длительность измеряется в секундах, когда темп установлен на 60.
3	(DUR lisp-expr)	Задаёт значение текущей продолжительности. В качестве аргумента можно использовать любое выражение LISP.
4	(DELTA lisp-expr)	Увеличивает значение времени.
5	(PAU lisp-expr)	То же самое, что и DELTA.
6	(INIT-INSTR string function-name)	(Имя строковой функции INIT-INSTR). Запускает инструмент. Сопоставляет строку инструмента с названием партитуры с именем функции синтеза.
7	(INSTRUMENT string)	(Строка ИНСТРУМЕНТА) Устанавливает текущий инструмент на строковый режим. Ноты, следующие этой инструкции, отображаются <i>строкой инструмента</i> до тех пор, пока не будет <i>установлен новый инструмент</i> .
8	(ATTR: symbol lisp-expr)	Устанавливает значение символа в lisp-expr. Первый аргумент должен начинаться с двоеточия (: symbol). Значение этого атрибута сохраняется до тех пор, пока не настанет очередь новой инструкции ATTR.
9	(PWL-POINT: symbol lisp-expr)	Ведёт себя как ATTR. Единственное различие заключается в том, что линейная интерполяция выполняется между двумя последовательными инструкциями PWL-POINT.
10	(CH &rest pitches)	(CH &оставшиеся поля) Создает аккорд, содержащий высоту тона, заданную его аргументом и текущую продолжительность.
11	(CH1 pitch duration)	Создаёт ноту, высота и продолжительность которой задаются аргументами. Время не увеличивается, так что следующее событие начинается в то же время.
12	(FUN #'function-name &rest args)	Вызывает функцию имени функции, отправляющую аргументы в списке аргументов. Возвращаемое значение должно быть событием, которое будет добавлено в музыкальную партитуру. Это событие должно быть обработано функцией Nyquist timed-seq. Следовательно, событие должно соответствовать формату (начало-время растяжения-синтез фактора-функция-вызов)
13	(MAC macro-name &rest args)	Вызывает имя макрокоманды функции, отправляя аргументы в списке аргументов. Возвращаемое значение должно быть кодом SDL, который заменяет вызов макроса.
14	number	Число. На самом деле это остаток длительности такта числа.
15	symbol	Символ. Нота, высота тона которой задаётся символом и с текущей длительностью.
16	(pitch dur)	Нота, указанная аргументами pitch и dur.

Таблица 3. Дополнительные функции библиотеки SDL.

Функции библиотеки SDL		Предписания
1	(sdl->score score-data &optional time-marks)	Создаёт музыкальную партитуру, состоящую из (функции синтеза фактора растяжения времени начала) формат списка событий. score-data представляют собой счёт SDL. Метки времени — это символ, список свойств которого содержит метки времени, на которые следует ссылаться из данных оценки.
2	(sdl->timelabels score-data &optional time-marks)	Возвращает символ, список свойств которого содержит метки времени в метках времени, добавленных к меткам времени данных оценки. Синхронность может быть обеспечена с помощью меток времени.
3	(sdl: normalize-score-duration score)	Оценка представляет собой счёт Xmusic. Эта функция устанавливает все коэффициенты растяжения событий равными 1,0. Это предназначено для того, чтобы сделать параметры синтеза независимыми от продолжительности нот.

Таблица 4. Перечень дополнительных функций, предназначенных для счёта при составлении программного кода на языке Nuquist.

Функции счёта Nuquist (свойства и события)		Процедурные Предписания
Диалект SAL	Диалект LISP	
event-time(event)	(event-time event)	Извлекает поле времени из события.
event-set-time(event, time)	(event-set-time event time)	Создаёт новое событие, в котором время события заменяется временем.
event-dur(event)	(event-dur event)	Извлекает поле продолжительности (т.е. фактор растяжения) из события.
event-set-dur(event, dur)	(event-set-dur event dur)	Создаёт новое событие, в котором длительность (или фактор растяжения) события заменяется на dur.
event-expression(event)	(event-expression event)	Извлекает поле выражения из события.
event-set-expression(event, dur)	(event-set-expression event dur)	Создаёт новое событие, в котором выражение события заменяется выражением.
event-end(event)	(event-end event)	Получает время окончания события и его продолжительность.
expr-has-attr(expression, attribute)	(expr-has-attr expression attribute)	Проверяет, имеет ли выражение события оценки данную характеристику.
expr-get-attr(expression, attribute [, default])	(expr-get-attr expression attribute [default])	Получает значение данной характеристики из выражения события оценки. Если атрибут отсутствует, возвращает значение по умолчанию, если оно указано, и в противном случае — nil.
expr-set-attr(expr, attribute, value)	(expr-set-attr expr attribute value)	Создаёт новое выражение, идентичное expr, за исключением того, что атрибут имеет значение.
event-has-attr(event, attribute)	(event-has-attr event attribute)	Проверяет, имеет ли выражение данного события оценку атрибута.
event-get-attr(event, attribute, [default])	(event-get-attr event attribute [default])	Получает значение данной характеристики из выражения события оценки. Если атрибут отсутствует, возвращает значение по умолчанию, если оно указано, а в противном случае — nil.
event-set-attr(event, attribute, value)	(event-set-attr event attribute value)	Создаёт новое событие, идентичное событию, за исключением того, что атрибут имеет значение.

L — максимальное значение кривой;
k — темпы логистического прироста или крутизна кривой.

FUN-инструкция позволяет определять события оценки с помощью функций LISP. Включение атрибута: `mm` является обязательным, если генерируемое событие является примечанием. *Пример* — программный код № 13.

Здесь `make-hear` — создаёт неупорядоченный массив данных. «Inicio pitch» — производит запуск поля. В дополнении к вышеизложенному автор предлагает ознакомиться с дополнительными инструкциями счёта SDL представленными в табличном виде. Данные инструкции помогут звукоинженерам и программистам по звуку настраивать процедуры счёта по собственным предпочтениям, приведённые ниже данные могут служить в качестве памятки по использованию наиболее частых действий связанных с управлением счётом (таблицы: 2,3,4).

Итак, нами рассмотрена библиотека языка Nyquist, позволяющая проводить манипуляции со счётом. Пред-

ставленная на обозрение научной общественности статья, служит хорошим дополнением к практикам программирования на языке Nyquist.

Рассмотренные в рукописи функции, отвечающие за счётные характеристики, упростят понимание процессов обработки аудиоданных на языке Nyquist и дадут базовые представления инженерам по звуку в области проектирования алгоритмических композиций. Автор не сомневается, что библиотека, написанная в своё время Педро Моралесом (Pedro J. Morales), станет хорошим вспомогательным инструментом в Nyquist-программировании особенно при проведении операций, направленных на составление алгоритмических композиций и синтезированных звуковых комбинаций.

В свою очередь материалы, собранные из различных источников (в т.ч. инструкций) и уточнённых в ходе исследования автором данной статьи, послужат питательной почвой для перспективных научных исследований в данной сфере.

ЛИТЕРАТУРА

1. Таран В.В. Корректировка аудиосигнала при монтаже аудиозаписей в программной среде Audacity®, используя мультифункциональные возможности языка программирования Nyquist // Современная наука актуальные проблемы теории и практики: Серия естественные и технические науки — 2021. — № 3. — С. 155–202. [ISSN2223–2966]. (DOI 10.37882/2223–2966.2021.03.32).
2. Таран В.В. Цифровая библиотека чтения и записи аудиоданных Libsndfile: техническая структура, возможности использования и перспективы развития / В.В. Таран, П.С. Гиляревский // Современная наука актуальные проблемы теории и практики: Серия естественные и технические науки — 2021. — № 6. — С. 131–155. [ISSN2223–2966].
3. Таран В.В. Компьютерная очистка аудиоматериала штатными средствами программы Audacity® (программно-ориентированный подход) / В.В. Таран// Современная наука актуальные проблемы теории и практики: Серия естественные и технические науки — 2020. — № 9. — С. 112–128. [ISSN2223–2966]. (DOI 10.37882/2223–2966.2020.09.37).
4. Таран В.В. Язык программирования Nyquist: настоящее время и перспективы его развития в области компьютерной аудиоинженерии и аудиоинформатики / В.В. Таран// Современная наука актуальные проблемы теории и практики: Серия естественные и технические науки — 2020. — № 4. — С. 135–153. [ISSN2223–2966]. (DOI 10.37882/2223–2966.2020.04.37).
5. Таран В.В. Компьютерный аудиосинтез штатными средствами Audacity® с возможностью имитационного дизайн-моделирования на языке Nyquist/ В.В. Таран// Современная наука актуальные проблемы теории и практики: Серия естественные и технические науки — 2020. — № 1. — С. 115–129. [ISSN2223–2966].
6. Таран В.В. Проектирование дизайна аудиопродукции в программной среде Audacity® с применением языка Nyquist/ В.В. Таран// Современная наука актуальные проблемы теории и практики: Серия естественные и технические науки — 2019. — № 10. — С. 159–171. [ISSN2223–2966].
7. Таран В.В. Сравнительный анализ качества передаваемой информации форматами MP3, OGG, AIFF, WMA для оптимального выбора трансляции в Интернете/В.В. Таран // Материалы XVII международной научно-практической конференции Академическая наука — проблемы и достижения [Технические науки], North Charleston, USA. — 2018 г., Том 1, стр.78–94 [ISBN: 978–1729559000].
8. Таран В.В. Актуальные проблемы развития аудиоинженерии в России и их философско-техническое обоснование /В.В. Таран// Материалы X международной научно-практической конференции Фундаментальная наука и технологии — перспективные разработки [Технические науки], North Charleston, USA. — 2016 г., Том 1, стр. 108–123 [ISBN: 978–1729559000].
9. Таран, В.В. АУДИОМАСТЕРИНГ: Динамика современной культуры / В.В. Таран, О.В. Шлыкова // Вестник Московского государственного университета культуры и искусств. — 2016. — № 3. — С. 84–92.
10. Morales P.J. Score Description Library — Reference Manual / Перевод на английский язык: Luis Rodríguez and Pedro J. Morales/ July 25, 2007. — 15 с.
11. Компьютерная программа Nyquist IDE v.3.15 / Файл директории (C:\Users\Name\nyquist) // Полная реализация — Jesse Clark, David Hovard, David Movatt, David Deangelis, Roger B. Dannenberg. — 2002–2018. [Электронный источник, компьютерная программа].
12. Simoni M., Dannenberg R., Algorithmic Composition (A Guide to Composing Music with Nyquist) / Published in the United States of America by The University of Michigan Press Manufactured in the United States of America (e-book). — 2008, 2013. — p.249. [ISBN978–0–472–02905–1].

13. Touretzky, David S. Common LISP: a gentle introduction to symbolic computation /Carnegie Mellon University /// Copyright © 1990 by Symbolic Technology, Ltd./// Published by The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc.p.587 [ISBN0–8053–0492–4].
14. Seibel Peter. Practical COMMON LISP /APRESS — 2005, p.528 [ISBN1–59059–239–5].
15. Dannenberg R.B. Nyquist Reference Manual Version 3.16 // Carnegie Mellon University — School of Computer Science/ Pittsburgh, PA 15213, U.S.A. 2013–2020 WEB-version, URL: <http://www.cs.cmu.edu/~rbd/doc/nyquist/> [дата обращения к электронному ресурсу: 12.03.2022].
16. Dannenberg R.B. Nyquist Reference Manual Version 3.15 // Carnegie Mellon University — School of Computer Science/ Pittsburgh, PA 15213, U.S.A. 11.08. 2018 p.276.
17. Dannenberg R.B. Nyquist Reference Manual Version 3.09 // Carnegie Mellon University — School of Computer Science/ Pittsburgh, PA 15213, U.S.A. 27.12. 2014 p.297.
18. Dannenberg R.B. Nyquist Reference Manual Version 2.36 // Carnegie Mellon University — School of Computer Science/ Pittsburgh, PA 15213, U.S.A. 05.03. 2007 p.205.

© Таран Василий Васильевич (allscience@lenta.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Всероссийский институт научной и технической информации РАН

РЕШЕНИЕ ПРИКЛАДНОЙ ЗАДАЧИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ СИСТЕМЫ ПОДАЧИ РАБОЧЕГО ТЕЛА В ПРОТОЧНУЮ ЧАСТЬ ТУРБОУСТАНОВКИ

SOLUTION OF THE APPLIED PROBLEM OF AUTOMATIC CONTROL OF THE WORKING FLUID SUPPLY SYSTEM IN THE TURBINE UNIT FLOW PART

**F. Chubarov
A. Sizov
A. Nikitin
A. Golikov**

Summary. The article discusses the case of the development of an automatic control system model based on the synthesis of a system of linearized differential equations with the setting of initial parameters and the calculation of the final state for various variants of the control process.

An applied solution to this problem is a simulation of the operation of a steam inlet system for a low-power steam turbine.

The model described in the article allows to get the results that satisfy the requirements for the operation of these control systems, to determine the most important factors affecting the overall functionality of the system.

Keywords: control system, mathematic simulation, steam turbine.

Чубаров Федор Леонидович

К.т.н., ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева»

*Калужский филиал
fedor1966chub@yandex.ru*

Сизов Александр Николаевич

*К.т.н., ПАО Калужский турбинный завод
axelxd@yandex.ru*

Никитин Алексей Валерьевич

*К.п.н., Директор, ГАПОУ Калужской области
«Калужский технический колледж»
anikitin74@yandex.ru*

Голиков Андрей Сергеевич

*Старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», Калужский филиал
gas@bmstu.ru*

Аннотация. В статье рассматривается разработка модели системы автоматического управления на основе синтеза системы линеаризованных дифференциальных уравнений с заданием начальных параметров и расчетом конечного состояния при различных вариантах протекания процесса регулирования.

Прикладным решением данной задачи является моделирование работы системы паровпуска для паровой турбины малой мощности.

Описанная в статье модель позволяет получить результаты, удовлетворяющие требованиям к работе данных систем управления, определить наиболее важные факторы, влияющие на общую функциональность системы.

Ключевые слова: система управления, математическое моделирование, паровая турбина.

Введение

Одним из путей повышения эффективности работы паротурбинных установок является сокращение времени их ввода в эксплуатацию после ремонта или длительного простоя, сопряжённого со значительным изменением теплового состояния установки (охлаждением).

В соответствии с типовым руководством по эксплуатации при вводе турбины в действие после длитель-

ного простоя паропровод требует для себя плавного прогрева, иначе от быстрого контакта перегретого пара с холодными стенками в нём неизбежно будут возникать разрушительные гидроудары.

Прогрев, как правило, выполняется постепенным частичным ступенчатым пропуском свежего пара через главный паропровод, а скорость и интенсивность такого прогрева могут и должны регулироваться соответствующей системой автоматического регулирования, являющейся предметом рассмотрения ниже. В качестве

$$\begin{cases}
 T_1 \cdot \frac{d}{dt} \rho_n(t) + \rho_n(t) = A_1 \cdot \mu(t) + T_1 \cdot \frac{d}{dt} \tau_n(t); \\
 T_2 \cdot \frac{d}{dt} \tau_n(t) + \tau_n(t) = A_2 \cdot \mu(t) + b_4 \cdot \tau_{cm}(t) + b_5 \cdot \rho_n(t) + T_3 \cdot \frac{d}{dt} \rho_n(t); \\
 T_m \cdot \frac{d}{dt} \tau_{cm}(t) + \tau_{cm}(t) = b_6 \cdot \tau_n(t); \\
 T_{\text{эн}} \cdot \frac{d^2}{dt^2} \mu(t) + \frac{d}{dt} \mu(t) = a_3 \cdot y(t); \\
 T_\delta \cdot \frac{d}{dt} \Psi_1(t) + \Psi_1(t) = \rho_n(t).
 \end{cases} \quad (1)$$

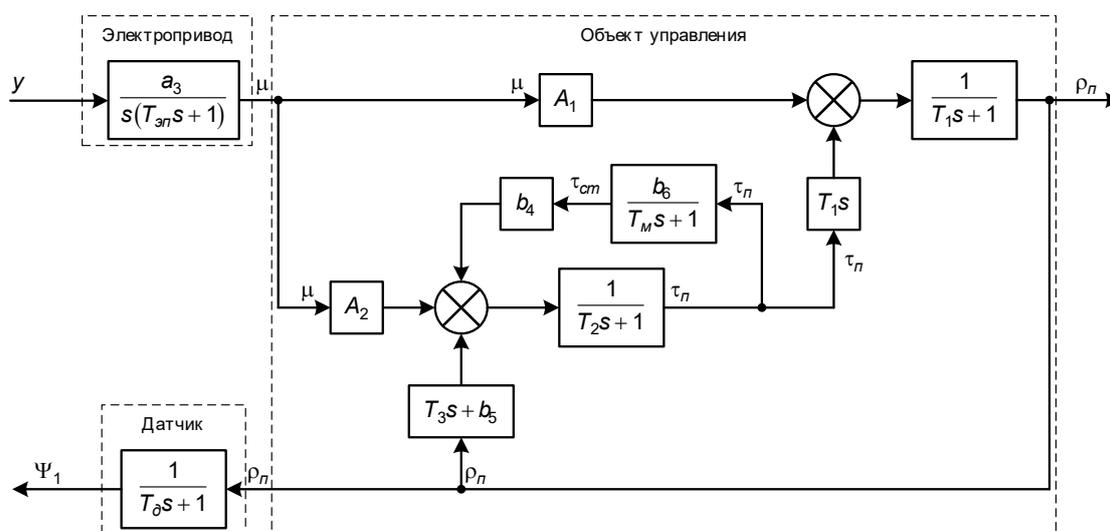


Рис. 1. Структурная схема объекта

объекта применения рассматривается тепловая сеть электростанции, рассчитанной на работу с турбиной конденсационного типа мощностью 6 МВт.

Постановка задачи

Рассмотрим объект управления — систему нагрева паропровода свежего пара, которая состоит из трёх основных элементов: электропривода с регулирующим клапаном, задачей которого является изменение подачи свежего пара в паропровод; датчика давления пара и самого паропровода.

Математическая модель объекта в отклонениях может быть представлена следующей системой дифференциальных уравнений (формула (1)).

Здесь $\rho_n(t)$ — изменение абсолютное давление пара в паропроводе; T_δ — постоянная времени, характеризующая инерционные свойства датчика давления; $\mu(t)$ —

величина относительного положения клапана (величина открытия клапана);

$$a_3 = \frac{1}{T_{nx}}, T_{nx} —$$

время полного перемещения клапана; $T_{\text{эн}}$ — постоянная времени разгона (выбега) выходного вала электропривода; $\tau_n(t)$ — относительное изменение температуры пара в паропроводе; $\tau_{cm}(t)$ — относительное изменение температуры самого паропровода.

Числовые значения параметров:

$$\begin{aligned}
 T_\delta &= 0,5 [c]; & T_{nx} &= 24 [c]; & T_{\text{эн}} &= 0,24 [c]; & A_1 &= 3,064; \\
 A_2 &= 2,426 \cdot 10^{-1}; & b_4 &= 7,362 \cdot 10^{-1}; & b_5 &= 4,025 \cdot 10^{-3}; & b_6 &= 1; \\
 T_1 &= 3,778 [c]; & T_2 &= 8,823 \cdot 10^{-1} [c]; & T_3 &= 1,342 \cdot 10^{-2} [c]; \\
 T_m &= 4,858 \cdot 10^1 [c].
 \end{aligned}$$

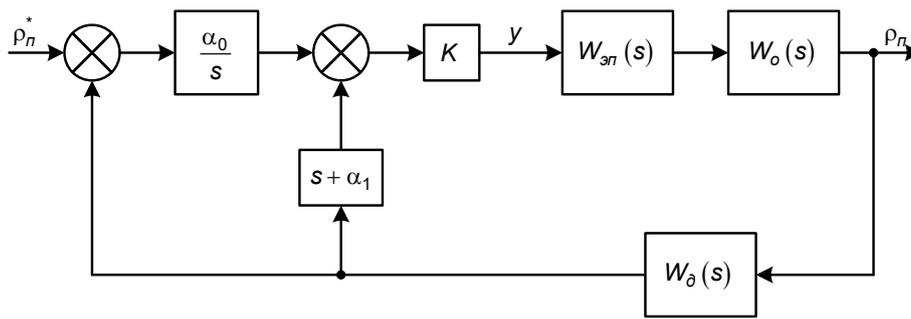


Рис. 2. Структурная схема замкнутой системы управления

Структурная схема системы прогрева, соответствующая системе уравнений, представлена на Рис. 1.

В дальнейшем математическую модель будем рассматривать в форме передаточных функций:

$$W_{\rho_i, y}(s) = \frac{\rho_i(s)}{y(s)} = \frac{b_2^o \cdot s^2 + b_1^o \cdot s + b_0^o}{a_3^o \cdot s^3 + a_2^o \cdot s^2 + a_1^o \cdot s + a_0^o} \cdot \frac{a_3}{s(T_{\dot{y}}s + 1)},$$

$$W_{\Psi_1, y}(s) = \frac{\Psi_1(s)}{y(s)} = \frac{1}{T_a s + 1} \cdot \frac{b_2^o \cdot s^2 + b_1^o \cdot s + b_0^o}{a_3^o \cdot s^3 + a_2^o \cdot s^2 + a_1^o \cdot s + a_0^o} \cdot \frac{a_3}{s(T_{\dot{y}}s + 1)},$$

где коэффициенты определяются следующим образом:

$$\begin{aligned} b_0^o &= A_1 \cdot (1 - b_4 \cdot b_6); b_1^o = A_2 \cdot T_1 + A_1 \cdot (T_2 + T_i); \\ b_2^o &= T_i \cdot (A_1 \cdot T_2 + A_2 \cdot T_1); \\ a_0^o &= 1 - b_4 \cdot b_6; a_1^o = (1 - b_4 \cdot b_6 - b_5) \cdot T_1 + T_2 + T_i; \\ a_2^o &= ((1 - b_5) \cdot T_i + T_2 - T_3) \cdot T_1 + T_2 \cdot T_i; \\ a_3^o &= T_1 \cdot T_i \cdot (T_2 - T_3). \end{aligned} \tag{2}$$

Для системы требуется реализовать дискретный закон управления, обеспечивающий синтезируемой замкнутой системе управления апериодический переходный процесс с временем управления не более 35 секунд (исходя из требований экономичности).

Синтез закона управления

Особенность рассматриваемого объекта управления заключается в том, что прогрев паропровода свежего пара в нём обычно выполняется в четыре этапа, на ка-

ждом из которых числовые значения параметров изменяются, что затрудняет выбор и настройку регулятора, обеспечивающего требуемые показатели качества.

В ряде работ [1,2] предложен подход, позволяющий построить замкнутую систему управления со свойствами заданной эталонной модели, и продемонстрированы робастные свойства таких алгоритмов управления. Идея данного подхода заключается, как отмечено в [3], в построении управления из условия минимизации функционала, характеризующего минимум энергии ускорения по выражению

$$J(y) = \frac{1}{2} [\ddot{\rho}_y(t) - \ddot{\rho}(t, y)]^2, \tag{3}$$

где $\rho(t, y)$ — выходной сигнал проектируемой замкнутой системы; $\ddot{\rho}_y(t)$ — выходной сигнал эталонной системы, параметры которой определяются из условия обеспечения требуемых показателей качества к проектируемой системе.

Для нахождения управления $y(t)$ используется градиентная схема:

$$\frac{d}{dt} y(t) = \lambda \frac{d}{dy} J(y), \lambda = \text{const}. \tag{4}$$

Задав в качестве эталонной модели звено второго порядка, после соответствующих выкладок, которые

можно найти в [4], искомое управление $y(t)$ будет определяться выражением

$$y(t) = K \left\{ \alpha_0 \cdot \int_0^t [\rho_n^*(t) - \rho_n(t)] dt - \alpha_1 \cdot \rho_n(t) - \dot{\rho}_n(t) \right\}. \tag{5}$$

Здесь $\rho_n^*(t)$ — требуемое изменение давление пара в паропроводе.

В результате структурная схема замкнутой системы управления будет иметь вид, представленный на Рис. 2.

Остается определить параметры α_0 и α_1 эталонной модели, а также числовое значение коэффициента усиления в прямой цепи K .

Эталонная модель

Поскольку требуется обеспечить апериодический закон изменения выходной координаты и в тоже время модель эталонной модели должна быть представлена в виде звена второго порядка, то в качестве эталонной модели рассмотрим звено второго порядка с передаточной функцией

$$W_o(s) = \frac{1}{(T \cdot s + 1)^2} \quad (6)$$

переходной процесс которой будет иметь вид

$$h(t) = 1 - \left(1 + \frac{1}{T} \cdot t\right) \cdot e^{-\frac{1}{T}t}. \quad (7)$$

Зная время управления t_y , нетрудно найти значение постоянной времени T .

Поскольку передаточная функция должна быть задана в виде [5]

$$W(s) = \frac{\alpha_0}{s^2 + \alpha_1 \cdot s + \alpha_0}, \quad (8)$$

то, приравняв соответствующие коэффициенты передаточных функций и можно найти числовые значения интересующих нас параметров α_0 и α_1 .

Исследуем влияние значения коэффициента усиления в прямой цепи K на динамику полученной замкнутой системы управления. Имеем следующую систему уравнений в форме преобразования Лапласа:

$$\begin{cases} y(s) = K \cdot \left(\rho_n^*(s) - W_o(s) \cdot \rho_n(s) \right) \cdot \frac{\alpha_0}{s} - (s + \alpha_1) \cdot W_o(s) \cdot \rho_n(s); \\ \rho_n(s) = W_o(s) \cdot W_{zn}(s) \cdot y(s). \end{cases}$$

Из последней системы получим:

$$W_p(s) = \frac{\alpha_0 K W_o(s) W_{zn}(s)}{s + K(s^2 + \alpha_1 s + \alpha_0) W_o(s) W_{zn}(s)};$$

$$W_y(s) = \frac{\alpha_0 K}{s + K(s^2 + \alpha_1 s + \alpha_0) W_a(s) W_o(s) W_{y\dot{r}}(s)} \quad (9)$$

Если представить передаточные функции элементов рассматриваемого объекта в виде рациональных дробей:

$$W_{zn}(s) = \frac{B_{zn}(s)}{A_{zn}(s)}; W_o(s) = \frac{B_o(s)}{A_o(s)}; W_{\dot{r}}(s) = \frac{B_{\dot{r}}(s)}{A_{\dot{r}}(s)},$$

где $W_{zn}(s)$, $W_o(s)$ и $W_{\dot{r}}(s)$, соответственно, передаточные функции электропривода, датчика и паропровода, то выражения * MERGEFORMAT (9) можно переписать в виде:

$$W_p(s) = \frac{\alpha_0 K A_o(s) B_o(s) B_{zn}(s)}{s A_o(s) A_o(s) A_{zn}(s) + K(s^2 + \alpha_1 s + \alpha_0) B_o(s) B_o(s) B_{zn}(s)};$$

$$W_y(s) = \frac{\alpha_0 K A_o(s) A_o(s) A_{zn}(s)}{s A_o(s) A_o(s) A_{zn}(s) + K(s^2 + \alpha_1 s + \alpha_0) B_o(s) B_o(s) B_{zn}(s)}. \quad (10)$$

Очевидно, что при $K \rightarrow \infty$ передаточная функция примет вид

$$W_p(s) = \frac{\alpha_0 A_o(s)}{[s^2 + \alpha_1 s + \alpha_0] B_o(s)}.$$

Однако в этом случае передаточная функция по управлению $W_y(s)$ примет вид

$$W_y(s) = \frac{\alpha_0 A_o(s) A_o(s) A_{zn}(s)}{(s^2 + \alpha_1 s + \alpha_0) B_o(s) B_o(s) B_{zn}(s)},$$

порядок числителя, которой будет выше порядка знаменателя, т.е. управление будет определяться производными, что может привести к неустойчивости замкнутой системы управления. Поэтому допустимые значения коэффициента K можно определить из условия обеспечения устойчивости замкнутой системы управления. На Рис. 3 и Рис. 4 представлены результаты моделирования полученной замкнутой системы управления при различных значениях коэффициента K .

Из анализа влияния значения коэффициента K на динамику системы и на управления можно сделать следующий вывод, что при увеличении значения K ошибка между реальным выходным сигналом и заданным эталонным уменьшается, но, в тоже время, увеличивается колебательность управляющего сигнала в переходном режиме.

Поэтому необходимо найти компромисс между требованием наилучшего совпадения выходного сигнала

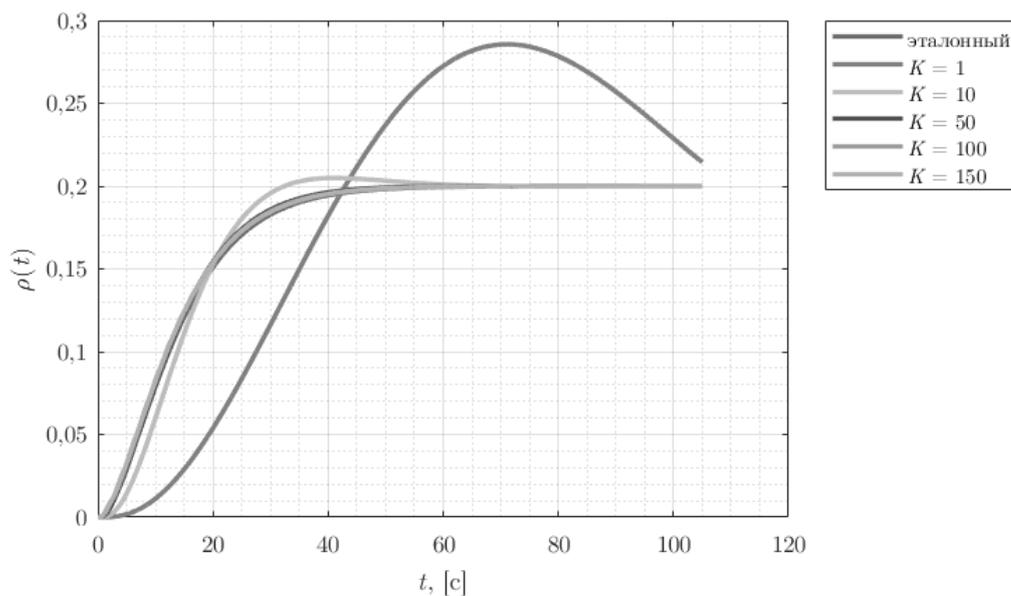


Рис. 3. График выходного сигнала в зависимости от значения коэффициента K

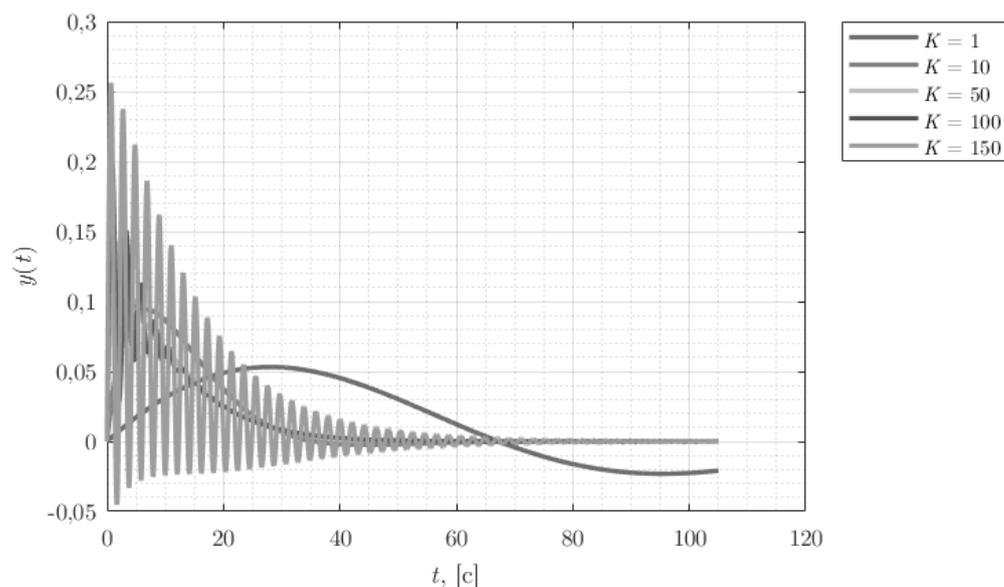


Рис. 4. График управления в зависимости от коэффициента K

с заданным эталонным и снижения колебаний управления в переходном режиме.

В качестве критерия можно рассмотреть следующий:

$$J(K) = \left[\int_0^T \left\{ k_p \cdot (\rho_3(t) - \rho(t, K))^2 + k_y \cdot y^2(t, K) \right\} dt \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (11)$$

где k_p и k_y — весовые коэффициенты, а верхний предел интегрирования традиционно $T = 3t_n$.

График зависимости данного критерия от K при $k_p = k_y = 1$ приведён ниже.

Минимум данного критерия достигается при $K_{opt} = 31$

Для данного значения коэффициента K график выхода и управления соответственного представлены ниже

Прогрев паропровода свежего пара осуществляется в несколько этапов, на каждом из которых числовые

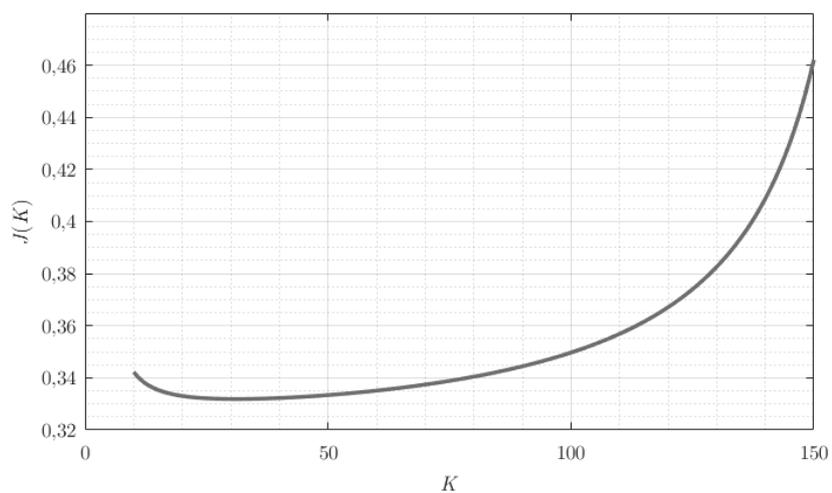


Рис. 5. График зависимости критерия от значений коэффициента K

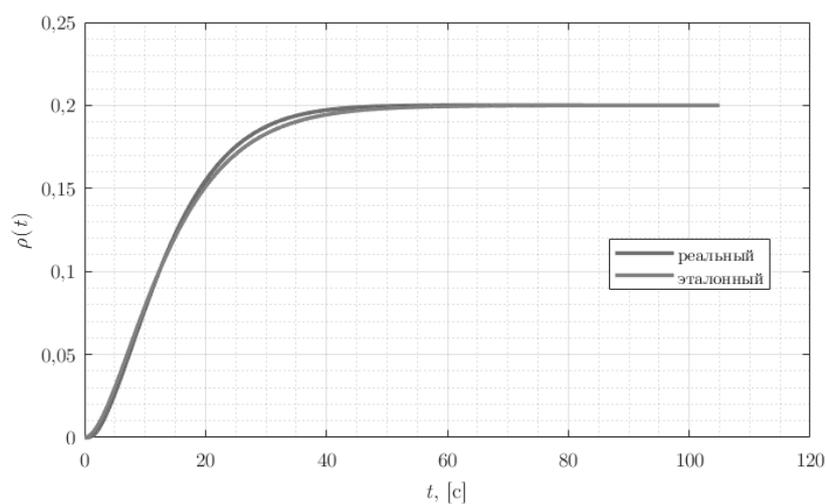


Рис. 6. График выходного сигнала при оптимальном значении K

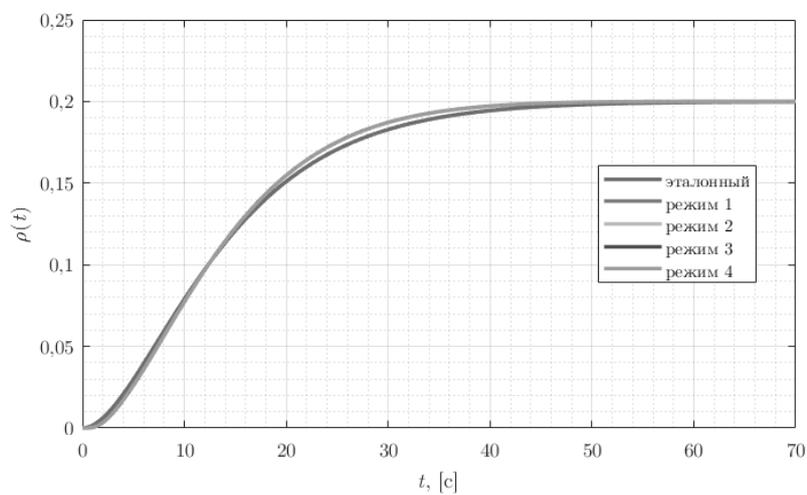
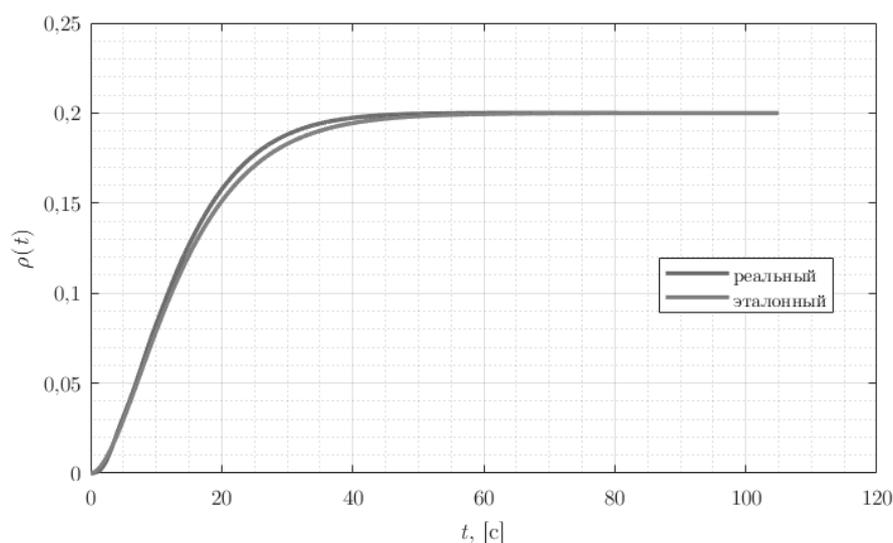
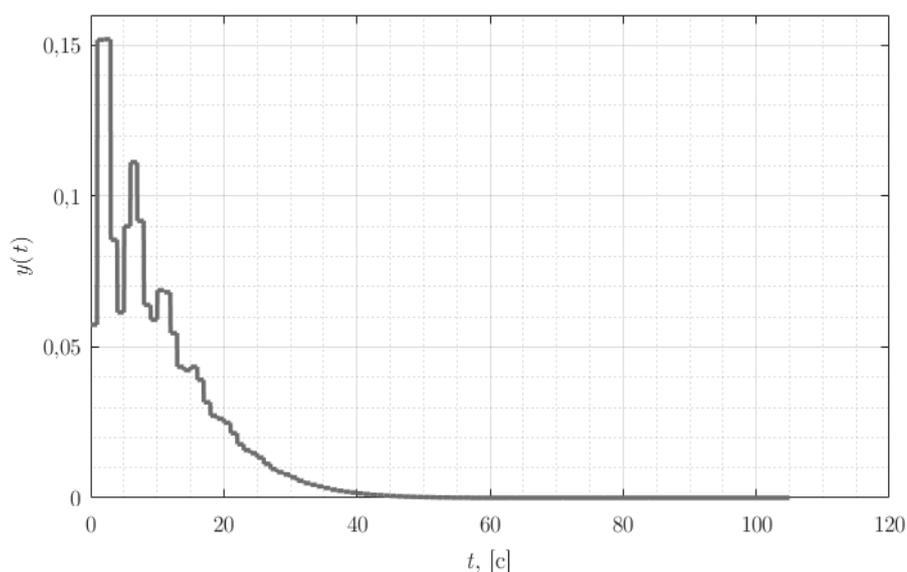


Рис. 7. Графики выходных сигналов на различных режимах



а) выходной сигнал



б) управление

Рис. 8. Графики выхода и управления полученной дискретно-непрерывной системы управления

значения параметров объекта управления различны. Поэтому проведены исследования динамики построенной системы управления на различных режимах работы, результаты которых представлены ниже.

Таким образом, построенный алгоритм управления позволяет обеспечить требуемые динамические показатели замкнутой системы управления на различных режимах работы.

Поскольку известен непрерывный алгоритм формирования управления (см. Рис. 3), то на его основе

можно получить технически более простой дискретный алгоритм управления, воспользовавшись, например, методом обратной разности, или подстановкой Тустена [6]. На Рис. 8 показан результат моделирования.

Таким образом, подход построения алгоритма управления, изложенный в [7], позволит синтезировать дискретный алгоритм формирования управления, обеспечивающий требуемые показатели качества замкнутой дискретно-непрерывной системы управления на всех режимах работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чубаров, Ф.Л. Прогрессивные способы контроля рабочих параметров как этап создания совместной системы диагностики / Ф.Л. Чубаров, А.С. Кувшинов, А.В. Никитин // Передовые инновационные разработки. Перспективы и опыт использования, проблемы внедрения в производство: Сборник научных статей международной научной конференции, Казань, 28 февраля 2019 года. — Казань: Общество с ограниченной ответственностью «КОНВЕРТ», 2019. — С. 87–89.
2. Чубаров, Ф.Л., Разработка математической модели клапана-захлопки для оптимизации его демпфирования при закрытии / Ф.Л. Чубаров, Д.А. Акименко, А.Н. Сизов, А.В. Никитин // Журнал Современные наукоемкие технологии — 2019 г. — № 6; С. 119.
3. Чубаров Ф.Л. Отработка модели высокоточного быстродействующего следящего электромеханического привода и её применение к системе регулирования паровой турбины / Ф.Л. Чубаров, А.Н. Сизов, А.И. Быков // Фундаментальные исследования. — 2016. — № 9–1. — С. 91–95.
4. Дунаев В.И., Федосовский М.Е., Кушбасов А.Н. Способ повышения точности измерения аналогового сигнала, устройство для измерения аналогового сигнала // Патент РФ RU2506697.
5. Жеваженко В.В., Смирнов И.И., Сизов А.Н., Кириухин А.А. Модернизация системы автоматического регулирования частоты вращения и давления пара паротурбинной установки. Материалы XIII молодежной научно-технической конференции «Взгляд в будущее-2015». СПб — ОАО «ЦКБ МТ «Рубин», 2015. — С. 104–106.
6. Сизов А.Н., Мусатов Е.А., Чубаров Ф.Л., Гусев И.В. Применение высокоточных быстродействующих следящих электромеханических приводов в электрогидравлических системах регулирования частоты вращения паровых турбин. Теоретические и прикладные аспекты современной науки: сборник научных трудов по материалам V Международной научно-практической конференции 30 ноября 2014 г.: в 6 ч. / Под общ. ред. М.Г. Петровой. — Белгород: ИП Петрова М.Г., 2014. — Часть III. — С. 133–139.
7. Сизов А.Н., Чубаров Ф.Л., Гусев И.В. Разработка модели высокоточного быстродействующего следящего электромеханического привода // Современные проблемы науки и образования. — 2015. — № 1–1.; <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=19719>.

© Чубаров Федор Леонидович (fedor1966chub@yandex.ru), Сизов Александр Николаевич (axelxd@yandex.ru),
Никитин Алексей Валерьевич (anikitin74@yandex.ru), Голиков Андрей Сергеевич (gas@bmstu.ru).
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ В ОРГАНИЗАЦИИ ОРТОДОНТИЧЕСКОЙ ПОМОЩИ ДЕТЯМ С ЗУБОЧЕЛЮСТНЫМИ АНОМАЛИЯМИ

SOME ISSUES IN THE ORGANIZATION OF ORTHODONTIC CARE FOR CHILDREN WITH DENTOALVEOLAR ANOMALIES

**F. Alimirzoev
U. Bigaeva
A. Alimirzoev**

Summary. A screening of the incidence of dentoalveolar anomalies in children in Makhachkala was carried out. It was revealed that 63% of children and adolescents have a pathology requiring treatment. An in-depth study of the effectiveness of the medical examination method showed that the main form of organizing orthodontic care for children is dynamic observation and rehabilitation by the medical examination method. As a result, the number of persons without pathology of the dentition increases by 8.3 times, the number of children with anomalies decreases by 7.2 times.

Keywords: orthodontics, dental care, dental system, fluoride, periodontal disease.

Алимирзоев Фарман Алиирзоевич

К.м.н., доцент, ФБГОУ ВО «Дагестанский государственный медицинский университет» МЗ РФ
alimirzoyev1976@mail.ru

Бигаева Умукусум Саидовна

Ассистент, ФБГОУ ВО «Дагестанский государственный Медицинский университет» МЗ РФ
bigaeva75@mail.ru

Алимирзоев Алим Фарманович

Ассистент, ФБГОУ ВО «Дагестанский государственный медицинский университет» МЗ РФ
alimirzoev89@mail.ru

Аннотация. Проведен скрининг заболеваемости зубочелюстными аномалиями у детей в Махачкале. Выявлено, что у 63% детей и подростков имеется патология, требующая лечения. Углубленное изучение эффективности метода диспансеризации показало, что основной формой организации ортодонтической помощи детям является динамическое наблюдение и реабилитация методом диспансеризации. В результате количество лиц без патологии зубочелюстной системы увеличивается в 8,3 раза, количество детей с аномалиями уменьшается в 7,2 раза.

Ключевые слова: ортодонтия, стоматологическая помощь, зубочелюстная система, фтор, заболевания пародонта.

Пациенты с аномалиями зубочелюстной системы (АЗЧС) страдают не только в связи с нарушением слуха и жевания, они имеют психологические проблемы: в связи с измененным внешним обликом, возникают ощущения ущербности, собственной неполноценности и, трудности общения вплоть до ограничений в выборе профессии. В структуре распространенности стоматологических заболеваний у детей АЗЧС занимает третье место после кариеса и заболеваний пародонта. Частота развития АЗЧС, по данным ВОЗ, составляет примерно 50% [8]. По заключению Национального института стоматологии США, у 40,0% всего населения имеют место АЗЧС, из них 17,0% лиц требуется оперативное вмешательство [7]. Однако оказываемая стоматологическая помощь не всегда отвечает потребностям и жители Республики Дагестан нуждаются в улучшении качества стоматологической помощи [2].

В связи с тем, что в ближайшее время не следует ожидать значительного увеличения объема финансирования здравоохранения, следует несколько изменить

приоритеты и уделить внимание профилактике стоматологических заболеваний, которая требует значительно меньших (5,6 раз) затрат, чем лечение [10].

Общеизвестно влияние кариеса и его осложнений на формирование зубочелюстнолицевой области в связи с преждевременной утратой зубов [1]. Существенное влияние на распространенность АЗЧС связано с содержанием фтора в питьевой воде [6]. Содержание фтора влияет не только на распространенность, сколько на выраженность клинической картины АЗЧС [2]. Установлены связь между ростом между частоты и выраженности АЗЧС и пиком социально-экономического развития [9] и зависимость распространенности зубочелюстных аномалий от загрязненности окружающей среды крупного промышленного города [3]. Патогенетические механизмы, удерживающие стабильный уровень распространенности в рамках популяции, связаны с факторами генетического характера, состоянием здоровья популяции, а также с социально-экономическими условиями [1].

Таблица 1. Возрастные особенности развития зубочелюстной системы детей и подростков г. Махачкала

Состояние зубочелюстной системы	Зрелость прикуса и возрастные группы									
	Временный		Начальный, смешанный		Второй период сменного прикуса		Доформирующийся, постоянный		Общее число детей и подростков	
	3–6 лет		7–9 лет		10–13 лет		14–16 лет		3–16 лет	
	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%
Гармоничное развитие	217	3,7	386	6,9	13,4	489	9,8	738	1920	32,3
Факторы риска	266	4,8	522	-	-	-	-	-	666	15,2
формирующиеся АЗЧС	167	3,1	678	218	3,9	-	-	218	1134	20,1
Сформированные АЗЧС	189	4,1	980	422	7,8	237	4,3	432	1845	34,3
Всего	821	14,9	2644	1280	25,2	736	13,3	1388	5609	100,0

Скрининг распространенности зубочелюстных аномалий в г. Махачкале показал, что у 63% детей и подростков имеются дефекты, проявляющиеся проявлениями [3, 5]. У детей, проживающих в Махачкале, высокоинфицированных АЗЧС колеблется от 41,3 до 42,9%, формирующихся — от 18,7 — до ДО — 22,3%, с факторами риска развития от 17,9 до 19,3% от общего числа обследованных [7, 9].

У подавляющего большинства детей (89,9%) АЗЧС сочетаются с отклонением от нормы других систем и органов: с рахитом (53,8%), нарушением осанки, сколиозом (72,9%), миопией (72,7%) [14]. Распространенность АЗЧС неравномерна в возрастном аспекте. В период временного прикуса аномалии встречаются у 26% детей, в периоде сменного — у 49%, в возрасте 17 лет (постоянный прикус) у 36% [16]. Наблюдается рост частоты АЗЧС в возрасте от 6 до 11 лет [4].

Наши исследования также свидетельствуют о возрастных различиях в распространенности АЗЧС. В период временного прикуса у детей 3–6 лет преобладают факторы риска развития АЗЧС — их почти в 2 раза больше, чем формирующихся (см. табл.).

У 26,4% обследованных нами дошкольников факторы риска формирования АЗЧС проявляются в виде вредных привычек (сосание соски, пальцев, игрушек и др.). Нарушение стираемости бугров наблюдается у 35% детей 5-летнего возраста. Высок процент формирующихся аномалий прикуса — 23,7 на 100 обследованных дошкольников. Среди сформированной патологии преобладали также аномалии прикуса, а в их структуре ограниченные у дошкольников 4–7 лет наиболее часто встречались прогнатия (45,0%), затем открытый (18,5%) и глубокий (17,4%) прикус. Прогения была зарегистрирована у 11,8% детей дошкольного возраста, а трансверзальные аномалии прикуса — у 5,1%. у детей в возрасте 3–6 лет сочетанная патология прикуса выявлена лишь у 12 из 708 человек.

Наше динамическое наблюдение за развитием зубочелюстной системы у детей подтвердило способность саморегуляции в 14,7% случаев в период сменного прикуса с 6 до 13 лет. Состояние здоровья ребенка, наследственность, конституция, тип лица (уравновешенный, массетериальный) являются весьма значимыми факторами в данном процессе. Отрицательное влияние оказывают множественный кариес и ранняя потеря временных зубов, наличие вредных привычек, хронические заболевания органов дыхания. При выявлении и устранении некоторых активно действующих причин нормализация состояния зубочелюстной системы происходит в 85,7% случаях. В связи с этим отмечена важность применения данного явления при организации ортодонтической помощи детям.

Для оценки результативности динамического наблюдения и последующего наблюдения за детьми у ортодонтот нами было проведено углубленное исследование метода диспансерного наблюдения в сравнении с приемом по обращаемости. Плановыми лечебно-профилактическими мероприятиями были охвачены 1194 школьника начальных классов, а 787 школьников аналогичного возраста получали ортодонтическую помощь по обращаемости. По состоянию зубочелюстной системы школьники были разделены на 4 группы: здоровые, с факторами риска, с начальными стадиями формирования патологии, с выраженными АЗЧС. Весь комплекс оздоровительных мероприятий проводился в течение 4 лет — с 1 по 4 класс, затем дети находились под наблюдением участкового ортодонта до формирования регулярного прикуса. Лечение АЗЧС различной сложности и восстановления функций жевательного аппарата с помощью аппаратных и безаппаратных методов.

Активное выявление АЗЧС в начальной стадии развития позволило в 59,1% случаев устранить их с помощью безаппаратных методов (избирательное пришлифование, миогимнастика). Кроме традиционных ортодонти-

ческих устройств, применялись аппараты с системой пружинящих плоскостей. Эффективность этих устройств прямо пропорциональна степени сложности (трудоемкости) АЗЧС и возрасту пациентов.

Результативность диспансеризации детей с нарушениями развития зубочелюстной системы зависит от психологических особенностей личности и от силы мотивации в начале ортодонтического лечения. Анализ психологических особенностей в отношении ортодонтического лечения 345 учащихся младших классов с восьмицветового теста Люшера позволил сделать следующие выводы.

1. У большинства детей вылеченных успешно, ярко выражено желание произвести впечатление на окружающих стремление к признанию. В ряде случаев, даже на фоне напряжения, наблюдается стремление расширить сферу деятельности, выйти из неблагоприятной ситуации с путем активного решения проблемы, надеяться на лучшее.
2. У детей, отказавшихся от ортодонтической помощи и прервавших ортодонтическое лечение, выявлены психологические конфликты, сильное напряжение, тревожность, неуверенность в себе, ощущение неопределенности. Они уходят от ре-

шения проблем, от реальности, избегают конфликтов.

Успех ортодонтического лечения зависит от контакта пациента и его родителей с врачом и требует психологической подготовки ортодонта. В результате трехлетнего цикла диспансеризации детей у ортодонта число здоровых детей без нарушений развития жевательного аппарата возросло в 8,1 раз. Число больных с аномалиями уменьшилось в 5,2 раза. Результативность диспансеризации детей с АЗЧС в периоде начального сменного прикуса составила 67,3%, а работа врача ортодонта на приеме по обращаемости — 23,1%. При активном наблюдении и плановом лечении детей младшего школьного возраста с АЗЧС и деформациями на участке результативность работы ортодонта увеличилась в три раза по сравнению с таковой при приеме по обращаемости. Коррекция нарушений развития в оптимальные сроки позволяет в два раза сократить продолжительность и трудоемкость лечения по сравнению с аналогичными показателями при приеме по обращаемости. Целесообразно адаптировать разработанную и внедренную в практику схему диспансерных ортодонтических мероприятий к новым экономическим условиям на основе добровольного медицинского страхования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стоматологическая заболеваемость населения России. Эпидемиологическое обследование населения России М. 1999. — С. 85–88.
2. Сухорецкая Е.Н. Погодина А.А. и др. Труды VII Всесоюзного съезда стоматологов. Ташкент, 1981. — С. 352.355.
3. Хитров В.Ю., Анохина А.В. Материал III диагностического симпозиума: «Современные технологии в детской краниофасциальной хирургии». М. 2000. — С. 74–75.
4. Хорошилкина Ф.Я. Малыгин Ю.М. Руководство по ортодонтии. Под ред. Ф.Я. Хорошилкиной. М. 1982. -С 6–8.
5. Цинкер М.Н. Синицкий В.И., Граница Е.Н. // Энциклопедия тестов. М., 1997. С 204. 258.
6. Ялина З.Х. Клинико-статистическое и морфологическое обоснование выбора методов профилактики и раннего лечения зубочелюстных аномалий у детей дошкольного возраста: Автореф. дисс. ... канд. мед. наук. Казань, 1992.
7. Костлин Я. Стоматологическое обслуживание в Европе. -Копенгаген, 1998.-С18–20.
8. Тураев Р.Г. Социально-гигиенический мониторинг зубочелюстных аномалий детского населения города. -Махачкала, 2001. -С.223–224.
9. Кузмин Э.М. Стоматологическая заболеваемость населения России. Эпидемиологическое обследование населения России. Ташкент, 2005. -С.104–105.
10. Чикорин А.Б. Роль фтора в возникновении зубочелюстных аномалий и его влияние на некоторые физиологические показатели организма. -1999.-Т.7.-С.113–117.

© Алимйрзоев Фарман Алиирзоевич (alimirzoyev1976@mail.ru),

Бигаева Умукусум Саидовна (bigaeva75@mail.ru), Алимйрзоев Алим Фарманович (alimirzoev89@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ЛЕЧЕНИЕ ДЕСТРУКЦИИ КОСТНОЙ ТКАНИ ПРЕПАРАТОМ СТИМУЛЯТОРОМ ОСТЕОГЕНЕЗА

TREATMENT OF BONE TISSUE DESTRUCTION WITH AN OSTEOGENESIS STIMULANT

**G. Valeeva
R. Khaibullina
K. Danilko
O. Shangina
L. Gerasimova
A. Gadiullin
A. Sorokin**

Summary. To date, inflammatory periodontal diseases are one of the urgent problems of modern dentistry. According to WHO, about 98% of the world's population have pathological processes in the periodontium, ranging from simple catarrhal gingivitis, ending with chronic periodontal disease with destruction of bone tissue. Periodontitis is an inflammatory process, which is the most common form of the disease in the population. Periodontitis usually begins with a lesion of the marginal gum, followed by the involvement of all periodontal structures in the inflammatory and destructive process, in particular it concerns the alveolar bone. The basis of chronic periodontitis is the progressive destruction of the dentoalveolar junction, which contributes to the formation of periodontal pockets with further resorption of the bone structures of the alveolar process. Periodontitis is the main factor of tooth loss among the adult population.

Keywords: periodontitis, osteogenesis stimulators, bone tissue regeneration, repair.

Валеева Гульнара Ахметовна

Аспирант, Башкирский государственный
медицинский университет МЗ РФ

Хайбуллина Расима Рашитовна

Д.м.н., доцент, Башкирский государственный
медицинский университет МЗ РФ
rasimadiana@mail.ru

Данилко Ксения Владимировна

К.б.н., доцент, с.н.с., Башкирский государственный
медицинский университет МЗ РФ

Шангина Ольга Ратмировна

Д.б.н., профессор, Башкирский государственный
медицинский университет МЗ РФ

Герасимова Лариса Павловна

Д.м.н., профессор, Башкирский государственный
медицинский университет МЗ РФ

Гадиуллин Альберт Мансурович

К.м.н., доцент, Башкирский государственный
медицинский университет МЗ РФ

Сорокин Александр Петрович

К.м.н., доцент, Башкирский государственный
медицинский университет МЗ РФ

Аннотация. На сегодняшний день воспалительные заболевания пародонта являются одной из актуальных проблем современной стоматологии. По данным ВОЗ, около 98% населения всего мира имеют патологические процессы в пародонте, начиная от простого катарального гингивита, заканчивая хроническим пародонтозом с деструкцией костной ткани. Пародонтит — это воспалительный процесс, являющийся самой распространенной формой заболевания у населения. Пародонтит обычно начинается с поражения маргинальной десны с последующим вовлечением всех структур пародонта в воспалительно-деструктивный процесс, в частности это касается альвеолярной кости. В основе хронического пародонтита лежит прогрессирующее разрушение зубодесневого соединения, которое способствует образованию пародонтальных карманов с дальнейшей резорбцией костных структур альвеолярного отростка. Пародонтит представляет собой главный фактор потери зубов среди взрослого населения.

Ключевые слова: пародонтит, стимуляторы остеогенеза, регенерация костной ткани, репарация.

Актуальность проблем воспалительных заболеваний пародонта определяется их высокой распространенностью среди населения, при этом могут страдать лица как молодого, так и старшего возраста, способствуя развитию тяжелых изменений в тканях пародонта и организме пациента в целом. Последствия и осложнения пародонтита являются следствием недо-

статочной эффективности медикаментозных препаратов и неправильно выбранных методов лечения [1,2]. Важную роль в развитии воспалительных заболеваний пародонта играют системные заболевания, увеличивая ход деструктивных процессов в костной ткани. При сахарном диабете происходит повышение уровня провоспалительных цитокинов, что приводит к повышению

активности остеокластов, и как следствие, способствует апоптозу, что существенно усложняет процесс регенерации кости. Ревматологические заболевания влекут за собой выраженную потерю околоуставной костной ткани.

Прогрессирование течения заболевания пародонта в совокупности с чередованием стадий ремиссий и обострений оказывает значительную роль в функционировании зубочелюстной системы у пациентов [4,6]. Развитие воспалительно-деструктивных процессов в тканях пародонта связано не только с патологическим воздействием пародонтопатогенных микроорганизмов, но и с особенностями иммунной системы человека в целом, а также с наличием у него сопутствующих соматических заболеваний. При хроническом генерализованном пародонтите наблюдается деструкция костной ткани альвеолярного отростка с включением в этот процесс микробных клеток, различных типов клеток организма человека, а также многочисленных молекул и субстанций [1,2]. Иммунный ответ организма на действие пародонтопатогенных микроорганизмов ведёт к развитию местной деструкции костной ткани и, как результат, системному распространению липополисахаридов, что является следствием прогрессирования заболевания. Частичная или полная адентия у лиц с заболеваниями пародонта является следствием преобладания деструктивных процессов в основе заболевания. Это также способствует развитию общей сенсibilизации, снижению уровня иммунитета, прогрессированию течения хронических одонтогенных очагов инфекции и их переходу в стадию обострения, что сопровождается временной частичной потерей трудоспособности у человека [3,5,10].

Отсутствие эффективности лечения воспалительных заболеваний пародонта является необходимостью совершенствования существующих консервативных и хирургических методов лечения данной патологии.

Цель исследования

Совершенствование современных методов лечения хронического пародонтита за счёт усиления процессов регенерации костной ткани. В целях исследования также было проведено изучение клинических изменений пародонта с изменёнными структурами кости и мягких тканей с применением мезенхимальных стволовых клеток в лечении деструкции костной ткани в эксперименте.

Материалы и методы исследования

В целях проведения исследования был выполнен экспериментальный этап на базе кафедры терапевтической стоматологии с курсом ИДПО, в центральной науч-

но-исследовательской лаборатории, лаборатории клеточных культур, иммуно-гистохимической лаборатории ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России. Период наблюдения: 2020 г.-2022 гг. До начала экспериментального этапа исследования были выделены мультипотентные мезенхимальные стволовые клетки (далее ММСК), полученные путём экстракции из удалённого ретинированного зуба человека. В качестве модели для экспериментального исследования были использованы половозрелые крысы породы Вистар в количестве 50 особей. Экспериментальное моделирование деструкции костных структур в парадонтальных тканях было выполнено в области второго моляра на верхней челюсти и в области резцов на нижней челюсти крыс. В дальнейшем, полученные ММСК были смешаны с препаратом стимулятором остеогенеза. Полученную смесь вносили в костные (пародонтальные) карманы крыс. Для фиксации массы накладывали защитную повязку «Septo-pack». Курс лечения составляет 3 процедуры с интервалом 5 дней. Наблюдение за крысами после курса лечения проводили в сроки от 1-го до 12 месяцев.

Результаты исследования

Проведённое исследование показало следующие результаты: выраженная терапевтическая эффективность лечения деструкции костной ткани при пародонтите, повышение возможности полного восстановления зубодесневых сосочков, регенерация периодонтальных тканей в экспериментальной области деструктивных изменений пародонта в течение первых 35 дней. Экспериментальный этап исследования показал полное отсутствие признаков воспалительных процессов (кровоточивость десны, появление патологической подвижности зубов и отделяемого при пальпации) в основной группе, что является подтверждением эффективности лечебных свойств ММСК и стимулятора остеогенеза.

Клинические наблюдения проводились за 50 крысами с генерализованным пародонтитом в течение 15 суток, 2, 6 и 12 месяцев. Полученные результаты экспериментального, патоморфологического, рентгенологического исследований свидетельствовали, что в подопытной группе животных наблюдалась более интенсивная репаративная регенерация, что объясняется заполнением их костных дефектов ММСК пульпы удалённого зуба человека в совокупности со стимулятором остеогенеза. В данной группе костная ткань была сформирована к 90 суткам от начала проведения экспериментального этапа, тогда как в группе сравнения процесс регенерации был далёк от завершения. Через 3 месяца после проведенной операции были выявлены признаки образования новой кости у крыс на рентгенограмме. Выраженность этих признаков увеличилась к 6 месяца от начала эксперимента, при этом наблюдалось

частичная ликвидация костных карманов и приобретение мелкопетлистой структуры в костной ткани. Через 12 месяцев в основной группе крыс было обнаружено исчезновение очагов пятнистого остеопороза, а также появление четких и ровных контуров межальвеолярных перегородок с одновременным увеличением участков резорбции их гребней. Результаты проведенных экспериментально-морфологических и клинико-рентгенологических исследований при воспалительных заболеваниях пародонта убедительно показали, что введение в ММСК пульпы удаленного зуба человека в совокупности со стимулятором остеогенеза в опытной группе крыс увеличило эффективность всех этапов репаративной регенерации костных структур в области костного дефекта, начиная с формирования фиброзно-волоконистой, хрящевой и остеонной ткани, заканчивая образованием полноценной пластинчатой костной ткани.

Заключение

Изучение характера изменений клинической картины в тканях пародонта с патологическими изменениями с применением ММСК пульпы зуба человека и стимулятора остеогенеза в лечении деструктивных процессов

костной ткани и проведение экспериментального исследования показало выраженную положительную динамику. Уже с 11-х суток от начала эксперимента было выявлено снижение интенсивности и распространённости воспалительных изменений в мягких тканях десны. К 35-м суткам от начала исследования наблюдалось полное отсутствие признаков воспаления у крыс после введения в пародонтальные карманы мезенхиальных стволовых клеток и стимулятора остеогенеза. В клинической картине было замечено увеличение репаративных процессов и регенерации пародонтальных карманов на 35 сутки, при этом отсутствовали признаки кровоточивости десны и отделяемого из карманов при пальпации. Кроме того, отмечалось отсутствие подвижности зубов. Через 3 месяца от начала экспериментального этапа было проведено рентгенологическое исследование, которое показало наличие признаков образования новой кости у животных, при этом эти признаки становились более выраженными к 6-и месяцев и сопровождалась исчезновением очагов пятнистого остеопороза и появлением мелкопетлистых структур в контурах межальвеолярных перегородок. Кроме этого, межальвеолярные перегородки стали более ровными и четкими с одновременным увеличением высоты их резорбированных гребней.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеева, И.С. Восстановление костной ткани после удаления зубов при использовании тканеинженерной конструкции на основе мультипотентных стромальных клеток жировой ткани / И.С. Алексеева, А.А. Кулаков, А.В. Гольдштейн, А.В. Волков // *Стоматология*. — 2012. — № 4. — С. 32–35.
2. Баринов, С.М. Трехмерная печать остеокондуктивных керамических матриц для тканевой инженерии / С.М. Баринов, И.В. Вахрушев, А.А. Егоров, В.С. Комлев, В.Н. Картунов, Л.И. Кротова, В.К. Попов, А.Ю. Федотов, К.Н. Ярыгин // *Материалы 1 — го Национального Конгресса по регенеративной медицине*. — М.: МЕДИ Экспо, 2013. — С. 24
3. Блатт, Н.Л. Выделение и анализ стволовых клеток из зачатков пульпы третьего моляра человека: автореф. дис. канд. биологических наук: 03.03.04 / Блатт Наталия Львовна. — Саранск, 2012. — 23 с.
4. Вахрушев, И.В. Мезенхимальные клетки пульпы молочного зуба: цитофенотип и первичная оценка возможности применения в тканевой инженерии костной ткани / И.В. Вахрушев // *Клеточные технологии в биологии и медицине*. — 2010. — № 1. — С. 55–60.
5. Вахрушев, И.В. Разработка тканеинженерных имплантов для регенерации костной ткани на основе полилактогликолидных скаффолдов нового поколения и мультипотентных мезенхимальных клеток пульпы молочного зуба (SHED — клеток) / И.В. Вахрушев, Е.Н. Антонов, А.В. Попова, Е.В. Константинова, П.А. Каралкин, И.В. Холоденко, А.Ю. Лупатов, В.К. Попов, В.Н. Баграташвили, К.Н. Ярыгин // *Клеточные технологии в биологии и медицине*. — 2012. — № 1. — С. 29–33.
6. Велиханова, Л.К. Применение стволовых клеток пульпы зуба в заместительной клеточной терапии / Л.К. Велиханова, И.В. Фирсова // *Бюллетень медицинских интернет-конференций*. — 2013. — Т. 3. — № 2. — С. 346–348.
7. Карпюк, В.Б. К изучению свежeweделенных аутологичных стромальных клеток подкожной жировой клетчатки для регенерации биологических тканей / В.Б. Карпюк, М.Д. Перова, М.Г. Шубич // *Институт стоматологии*. — 2009. — № 3. — С. 74.
8. Космачева, С.М. Технология приготовления *in vitro* клеточного трансплантата для замещения костного дефекта у экспериментальных животных / С.М. Космачева, Н.Н. Данилкович, В.С. Деркачев, С.А. Алексеев, М.П. Потапнев // *Республиканский научно — практический центр трансфузиологии и медицинских биотехнологий*. — 2014. — С. 1–5.
9. Induction of Pluripotent Stem Cells from Adult Human Fibroblasts by Defined Factors / K. Takahashi [et al.] // *Cell*. — 2007. — № 5. — P. 861–872.
10. Yu, J. Induced Pluripotent Stem Cell Lines Derived from Human Somatic Cells / J. Yu, M.A. Vodyanik, J.A. Thomson // *Science*. — 2007. — Vol. 318. — P. 1917–1920.

© Валеева Гульнара Ахметовна, Хайбуллина Расима Рашитовна (rasimadiana@mail.ru ,

Данилко Ксения Владимировна, Шангина Ольга Ратмировна,

Герасимова Лариса Павловна, Гадиуллин Альберт Мансурович, Сорокин Александр Петрович .

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СИНДРОМА ДЛИТЕЛЬНОГО СДАВЛЕНИЯ

GENERAL CHARACTERISTICS OF THE SYNDROME OF PROLONGED COMPRESSION

A. Dalgatova
G. Bayramalieva
B. Nurudinova
A. Gasanova
T. Agaev
P. Bekmirzayeva

Summary. The presented literature data testify to the relevance and pathogenetic diversity of the long-term compression syndrome (SDS). All life-supporting organs and systems are involved in the range of processes and events that form the pathophysiological basis of SDS. To date, there are quite convincing data indicating the pathogenetic significance of changes in the system of congenital and adaptive immunity in DFS. This provision is a “starting point” in justifying the use of immunocorrection agents in the complex treatment of such a serious condition as DFS.

Keywords: pathological process, traumatic shock, secondary immunodeficiency, renal failure.

Далгатова Асера Арабхановна

К.м.н., ассистент, ФБГОУ ВО «Дагестанский
государственный медицинский университет» МЗ РФ
asera.dalgatova@mail.ru

Байрамалиева Гюльселем Фережуллаховна

ФБГОУ ВО «Дагестанский государственный
медицинский университет» МЗ РФ
bairamalieva.gula@mail.ru

Нурудинова Багжат Ахмедовна

ФБГОУ ВО «Дагестанский государственный
медицинский университет» МЗ РФ
nurudinova_b@mail.ru

Гасанова Асият Канаматовна

ФБГОУ ВО «Дагестанский государственный
медицинский университет» МЗ РФ
gasanova85@mail.ru

Агаев Темирлан Алегерович

ФБГОУ ВО «Дагестанский государственный
медицинский университет» МЗ РФ
agaev1993@mail.ru

Бекмирзаева Патимат Бекмирзаевна

ФБГОУ ВО «Дагестанский государственный
медицинский университет» МЗ РФ
bekmirsaeva1999@mail.ru

Аннотация. Представленные литературные данные свидетельствуют об актуальности и патогенетическом многообразии синдрома длительного сдавления (СДС). Все жизнеобеспечивающие органы и системы вовлечены в ту гамму процессов и событий, которые формируют патофизиологический базис СДС. На сегодняшний день существуют достаточно убедительные данные, свидетельствующие о патогенетической значимости изменений в системе врождённого и адаптивного иммунитета при СДС. Это положение является “точкой отсчёта” при обосновании применения средств иммунокоррекции в комплексном лечении такого тяжёлого состояния, как СДС.

Ключевые слова: патологический процесс, травматический шок, вторичный иммунодефицит, почечная недостаточность.

Синдром длительного сдавления (СДС) представляет собой вид травматизма, при котором воздействие единственного этиологического фактора — сдавления мягких тканей, прежде всего, мышечной — индуцирует множество патологических процессов, затрагивающих все жизненно важные органы и системы органов организма. Эта уникальная особенность СДС обуславливает формирование полиорганной патологии с ведущей ролью реперфузионной травматической эндогенной токсемии, острой почечной недостаточности и травматического шока [1].

Этот синдром впервые был описан в начале 19-го века, когда во время военных действий, после освобождения раненых из-под завалов, а также при землетрясениях, цунами, взрывах в жилых домах и др., пострадавшие подвергались длительному сдавливанию мягких тканей и, после освобождения раненных из-под завалов и возобновления кровообращения в травмированных тканях, наблюдались тяжёлые полиорганные осложнения, часто приводящие к смерти. Многообразие патологических процессов, лежащих в основе СДС, обусловило появление множества синонимов этого тяжёлого

состояния — краш-синдром, травматический токсикоз, компрессионная травма, травматический рабдомиолиз, миоренальный синдром и др. [2] Частота развития СДС среди раненных при бомбёжках и артиллерийских обстрелах населённых пунктов составляет 5–25%, при землетрясениях при обвалах домов эта цифра может повышаться до 50%, а летальность при СДС тяжёлой степени особенно при больших землетрясениях может достигать 80%. [3].

В связи с вариациями силы и длительности сдавления мягких тканей важным является деление СДС на степени тяжести. Обоснованием подобного деления является то, что при различной степени тяжести СДС задействованы различные патогенетические механизмы, что определяет различную лечебную тактику, в т.ч. и на этапе эвакуации пострадавших [4]. Кроме этого, критерии степеней тяжести СДС лежат в основе экспериментального моделирования СДС, применённого в настоящей работе [5].

Выделяют три степени тяжести СДС. СДС лёгкой степени тяжести развивается при сдавлении небольших участков мышц в течение 2–3 часов. Токсемия невыражена, олигурия устраняется через несколько суток, прогноз благоприятный. СДС средней степени тяжести развивается при более обширных участках сдавления ног и рук в течение около 6 часов. Эта степень тяжести характеризуется нарастанием травматической эндотоксемии, нарушением функции почек в течение недели и более после травмы. В случаях своевременного применения первой помощи, прогноз благоприятный. СДС тяжёлой степени развивается при сдавлении одной или двух конечностей более 6 часов. Возможны повреждения сосудов и костей. Именно эти случаи наиболее распространены при обрушениях домов во время землетрясений и именно эти случаи формируют указанные выше высокие цифры летальности. При СДС тяжёлой степени, после освобождения из-под завалов и реперфузии участков сдавления, быстро нарастает травматическая эндогенная токсемия, острая почечная недостаточность, появляются симптомы травматического шока. При отсутствии своевременного и интенсивного лечения, детоксикационной терапии прогноз неблагоприятный [6,7].

Периодизация СДС связана, прежде всего, с выделением периода компрессии и декомпрессии (посткомпрессионный период). Деление принципиально важно, поскольку именно в период декомпрессии мягких тканей и восстановления регионарного кровотока формируется весь комплекс патологических процессов, обуславливающий травматическую эндогенную токсемию — ведущее патогенетическое звено при СДС. Характерной чертой периода компрессии мышц является появление психической депрессии, апатии, сонливости, заторможенности.

На стадии декомпрессии выделяют, в свою очередь, три периода:

- ◆ ранний посткомпрессионный период (составивший тему настоящей работы);
- ◆ промежуточный период;
- ◆ поздний посткомпрессионный период [8].

В ранний посткомпрессионный период, с момента освобождения от сдавления до 3- суток, при средней и тяжёлой степени тяжести СДС преобладает картина травматического шока — общая слабость, бледность, артериальная гипотония, тахикардия. Вследствие гиперкалиемии регистрируются нарушения сердечного ритма. В этой ситуации в первые дни появляются симптомы острой почечной и печёночной недостаточности, а также отёка лёгких. Сдавленные ткани плотные на ощупь из-за отёка, кожа напряжена. Лабораторные исследования выявляют признаки гемоконцентрации, выраженных электролитных нарушений, повышение уровня креатинина, мочевины, билирубина, глюкозы. Отмечается тяжёлый метаболический ацидоз, гипопроотеинемия, гиперферментемия, а также протеинурия, эритроцитурия, лейкоцитурия, цилиндрурия. Начинаются существенные изменения иммунологической реактивности [9].

Промежуточный период при средней и тяжёлой степени тяжести СДС длится от 4 до 20 суток с пиком манифестации травматического эндотоксикоза и острой почечной недостаточности. В этот период появляются признаки токсической энцефалопатии, развивается токсический миокардит, токсическая анемия, ДВС-синдром, парез кишечника. Отёк повреждённых тканей сохраняется и даже нарастает. Важно подчеркнуть, что именно в этот период развивается вторичная иммунодепрессия и на этом фоне возможно развитие сепсиса и инфекционного воспаления в ишемизированных тканях [5].

Поздний посткомпрессионный период СДС — от 4 недель до 2–3 месяцев — в случаях благоприятного исхода характеризуется постепенным восстановлением функций поражённых органов и тканей (почек, печени, лёгких, сердца, мышц). Однако токсические и дистрофические изменения в них, с соответствующими функциональными следствиями, могут персистировать длительное время. В этот период сохраняется состояние иммунодепрессии, которое можно определить как вторичное иммунодефицитное состояние (ИДС). На этом фоне в ишемизированных тканях могут быстро развиваться инфекционные (особенно анаэробные) осложнения, склонные к генерализации [10].

Важно подчеркнуть, что описанные патогенетические механизмы в период декомпрессии при СДС свойственны также и т.н. постокклюзионному синдрому реперфузии миокарда, развивающемуся в послеоперационном

периоде при операциях аорто-коронарного шунтирования, стентирования или приёма тромболитиков в случаях декомпенсированной коронарной недостаточности. Синдрому реперфузии миокарда характерны возобновление загрудинных болей, развитие аритмий и изменений в ЭКГ, которые определялись до операции. В соответствии с этими фактами в настоящее время коронарная недостаточность определяется как совокупность двух синдромов — ишемического и реперфузионного, а не только одного — ишемического [11].

Патогенез СДС сложен и многообразен, в котором участвуют все жизнеобеспечивающие органы и системы. Однако, несмотря на значительные работы, посвящённые этой проблеме, остаётся множество спорных вопросов, связанных с изучением патогенеза СДС на разных этапах его развития, а также разработке обоснованных рекомендаций в отношении лечения и ведения этих больных.

Все теории патогенеза СДС во главу угла, в той или иной степени, ставят три основополагающих патологических процесса — токсемию, плазмо-кровопотерю и нервно-рефлекторный механизм [8]. В настоящее время считается, что ведущим патогенетическим фактором при СДС является посткомпрессионная травматическая токсемия, развивающаяся вследствие попадания в кровеносное русло продуктов распада повреждённых клеток. Следствия этого процесса многообразны. Вследствие токсического повреждения эндотелия возникают нарушения микроциркуляторного русла с последующим формированием отёка, активацией калликреин-кининовой системы и артериальной гипотензии. Задействован механизм внутрисосудистого свёртывания с последующей активацией фибринолитической системы и индукцией ДВС-синдрома. В развитии капиллярного стаза, тканевой и гемической гипоксии важную роль играют изменения реологических свойств крови и эритроцитарной мембраны вследствие токсемии. На величину общего периферического сопротивления большое влияние оказывают показатели вязкости крови. Гемореологические нарушения при СДС в эксперименте пропорциональны степени тяжести СДС [8]. Важное значение придаётся изменениям коагуляционных свойств лимфы, вплоть до тромбообразования [11].

В процессе посткомпрессионной реперфузии тканей накопившиеся кислые продукты анаэробного обмена, миоглобин, молочная кислота, калий, фосфор, кальций являются причиной метаболического ацидоза. Метаболический ацидоз, продукты ишемии и реперфузии тканей вызывают токсическое поражение внутренних органов. Наиболее опасно высвобождение в кровь из ишемизированных поперечно-полосатых мышц больших количеств миоглобина. Этот белок фильтруется в почечных клубочках и, в условиях метаболиче-

ского ацидоза, трансформируется в нерастворимый солянокислый гематин. Соединение вызывает блокаду почечных канальцев и оказывает прямое токсическое действие на канальцевый эпителий, что в совокупности приводит к миоглобинурийному нефрозу и острой почечной недостаточности (ОПН). Наиболее значимые патологические следствия при СДС падают именно на ОПН [5].

После реперфузии тканей эндотоксемия, гиперферментемия поражает также и лёгкие с потенциалом возникновения интерстициального и альвеолярного отёка лёгких и респираторного дистресс-синдрома.

Рабдомиолиз сопровождается выбросом в кровеносное русло больших количеств калия. Гиперкалиемия является причиной серьёзных нарушений сократительной функции миокарда и сердечного ритма, выражающиеся в снижении сегмента S-T и инверсии зубца T. [12]. В этом отношении феномен рабдомиолиза патогенетически близок к резорбционно-некротическому синдрому, наблюдающемуся при инфаркте миокарда. При резорбционно-некротическом синдроме при инфаркте миокарда также определяются гиперкалиемия, гиперферментемия и указанные ЭКГ-изменения в постинфарктном периоде.

Плазмо-лимфопотеря при СДС являются причинами уменьшения ОЦК и гиповолемии. В тяжёлых случаях эти процессы могут заканчиваться и гиповолемическим шоком.

Развивающаяся гипоксия приводит к повышению проницаемости кишечной стенки и нарушению её барьерной функции. Это является причиной проникновения в портальную систему токсических соединений бактериальной природы и блокады антитоксической функции печени, что даёт основание для констатации острой печёночной недостаточности, как патогенетического звена при СДС.

Возобновление регионарного кровотока в области сдавления сопровождается повышением проницаемости клеточных мембран, что является причиной развития мембраногенного отёка. При СДС отёк является преимущественно местным и, если учесть факт значительной плазмопотери, вполне объяснимо наблюдающееся при СДС сгущение крови, гиповолемии, вплоть до гиповолемического шока при тяжёлой степени СДС [12]. Необходимо подчеркнуть и “позитивное” значение этого процесса, учитывая, что отёк травмированных тканей защищает организм от поступления из них в жидкие среды токсических веществ. В этой связи, авторы, изучающие проблему СДС, считают, что применяемая в практике фасциотомия при тяжёлой компрессионной травме конечности может

приводить к нарастанию токсемии и утяжелению клинического состояния пострадавших [11].

Патогенетическое значение нервно-рефлекторного механизма при СДС сводится к тому, что при компрессионной травме воздействие на болевые рецепторы кожи, скелетных мышц, сопровождается неконтролируемой афферентной импульсацией. Это приводит к развитию сильного болевого синдрома, психогенного стресса и иннервационных расстройств внутренних органов. Истощение защитно-приспособительных механизмов под влиянием тяжёлой травмы, сильной боли, психогенного стресса приводит к развитию у пострадавших травматического шока [12].

Информативны морфологические изменения во внутренних органах при СДС. В частности показано, что при краш-синдроме в почках уже через один час определяется спазм сосудов коркового вещества и капилляров клубочка, через 24 часа определяются дистрофические изменения эпителия канальцев, закупорка канальцев миоглобином. В гепатоцитах через один час также опре-

деляются признаки внутриклеточных дистрофий, разрушения митохондрий, изменений гладкой эндоплазматической сети. В селезёнке возникает спазм сосудов, а к 24 часам в центральной части фолликулов определяется скопление лимфоцитов, макрофагов [5]. Интересны изменения в тимусе. В первые сутки после сдвигания определяется увеличение доли коркового вещества и снижение доли мозгового вещества, вероятно, вследствие отёка. Одновременно отмечается перераспределение лимфоцитов в органе — уменьшение малых лимфоцитов и увеличение средних лимфоцитов и бластов [8].

Безусловно, СДС сопровождается вовлечением механизмов общего адаптационного синдрома по Г. Селье с гиперпродукцией надпочечниковых гормонов. На этом фоне очевидно важное патогенетическое значение состояния врождённого и адаптивного иммунитета, претерпевающего фундаментальные изменения при СДС, которые можно интерпретировать как транзиторный вторичный иммунодефицит (ИДС), соответствующий степени тяжести СДС [6].

ЛИТЕРАТУРА

1. Бардахчян Э.А., Кардашьян Г.Х., Бочков Н.И. Ультраструктурные изменения в нефроне, вызванные длительным раздавливанием тканей // Ж. эксп. и клин. мед. 1979 — Т. 19 — № 3 — С. 48–55.
2. Вишневецкий А.А., Шрайбер М.И. Синдром длительного сдавления // Военно-полевая хирургия. М. — 1968 — С. 106–110.
3. Карпов А.В. Функциональное состояние лимфатической системы в условиях повторной травмы при синдроме длительного сдавления // Автореф. дис. . . кан. мед. наук — Новосибирск, 1995, с. 27.
4. Гуманенко Е.К. Синдром длительного сдавления // Военно-полевая хирургия. 2-е издание. Глава 9. 2008 — С. 233–245.
5. Кипиани В.А., Павлишвили Н.С., Кевлишвили О.Ш. Регионарное кровообращение и микроциркуляция в патогенезе синдрома длительного сдавления // Регионарное кровообращение и микроциркуляция — 2003 — Т. 3 — С. 65–70.
6. Котельникова Г.П. Синдром длительного сдавления // Травматология. Национальное руководство. М. — 2008 — С. 35–40.
7. Минасян Л.Г. Хачатурян Г.Н. Клинико-лабораторные параллели при синдроме длительного сдавливания // Клиническая медицина — 1991 — № 7 — С. 76–78.
8. Османова А.А. Динамика микроциркуляторного русла фиброзных мембран при компрессионной травме мягких тканей конечностей и коррекции инфузией перфторана (экспериментальное исследование) // дис. . . кан. мед. наук — Махачкала, 2010, 164 с.
9. Насонкин О.С. Краш-синдром. Этиология и патогенез. // Патол. физиол., экспер. терапия — 1991 — № 2 — С. 3–9.
10. Петровский Б.В. Травматический токсикоз // Большая медицинская энциклопедия. Москва. Т. 25, 1985, С. 188–189.
11. Чучалин А.Г. Синдром длительного раздавливания. // Российский терапевтический справочник. Травматология. М. — 2007, С. 576–577.
12. Cambers L.L., Name S.L., Levine B. et al. Acute exertional medial compartment syndrome of the foot after playing basketball // Skeletal Radiol. — 2011 — V.40 — № 7 — P. 931–935.

© Далгатова Асера Арабхановна (asera.dalgatova@mail.ru), Байрамалиева Гюльселем Фережуллаховна (bairamalieva.gula@mail.ru),

Нурудинова Багжат Ахмедовна (nurudinova_b@mail.ru), Гасанова Асият Канаматовна (gasanova85@mail.ru),

Агаев Темирлан Алепгеревич (agaev1993@mail.ru), Бекмирзаева Патимат Бекмирзаевна (bekmirsaeva1999@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ПРОФИЛАКТИКЕ КАРИЕСА ЗУБОВ У ДЕТЕЙ С РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНЬЮ РАЗВИТИЯ КАРИЕСА

DIFFERENTIAL APPROACH TO THE PREVENTION OF DENTAL CARIES IN CHILDREN WITH DIFFERENT DEGREES OF CARIES DEVELOPMENT

**A. Karlash
N. Lenshina
V. Zhurbenko**

Summary. Prevention of dental diseases is a significant problem, since the results of numerous studies show that the intensity of dental caries among the Russian population is quite high. Prevention of dental diseases, in turn, prevents the occurrence and development of diseases of the oral cavity. The article examines the main caries-causing factors affecting the development of dental caries in children of preschool and school age, the main methods of prevention of dental caries in preschool and school age, describes a plan of preventive measures for preschool and school-age children with varying degrees of dental caries development.

Keywords: dental caries, prevention methods, cariesogenic factors, children, oral hygiene.

Карлаш Анастасия Евгеньевна

*К.м.н., доцент, ФГБОУ ВО «Курский Государственный
Медицинский Университет» Минздрава России*

Леньшина Надежда Паатовна

*ФГБОУ ВО «Курский Государственный Медицинский
Университет» Минздрава России*

Журбенко Вероника Александровна

*ФГБОУ ВО «Курский Государственный Медицинский
Университет» Минздрава России*

prepvermed@mail.ru

Аннотация. Профилактика стоматологических заболеваний — значимая проблема, поскольку результаты многочисленных исследований показывают, что интенсивность кариеса зубов среди населения России достаточно высока. Профилактика стоматологических заболеваний, в свою очередь, предупреждает возникновение и развитие заболеваний полости рта. В статье изучены основные кариесогенные факторы, влияющие на развитие кариеса зубов у детей в дошкольном и школьном возрасте, основные методы профилактики кариеса зубов в дошкольном и школьном возрасте, описан план профилактических мероприятий для детей дошкольного и школьного возраста с различной степенью развития кариеса зубов.

Ключевые слова: кариес зубов, методы профилактики, кариесогенные факторы, дети, гигиена полости рта.

Введение

Кариес зубов (*caries dental*) — это патологический процесс, проявляющийся после прорезывания зубов, при котором происходят деминерализация и размягчение твердых тканей зуба с последующим образованием дефекта в виде полости.

Этиология

Местные факторы:

- ◆ Зубная бляшка, изобилующая микроорганизмами;
- ◆ Изменения количества и качества ротовой жидкости;
- ◆ снижение реминерализующего потенциала;
- ◆ буферная емкость;
- ◆ неспецифические и специфические факторы защиты.
- ◆ Углеводистые пищевые остатки в полости рта (низкий уровень гигиены полости рта);
- ◆ Неполноценная структура и химический состав твердых тканей зуба;

- ◆ Сложная форма фиссур (грушевидные, колбовидные).

Общие факторы:

- ◆ Неполноценное питание (дефицит белков, витаминов);
- ◆ Минеральный состав воды (недостаток макро- и микроэлементов);
- ◆ Наследственные и соматические заболевания, сдвиги в функциональном состоянии органов и систем организма в период закладки, развития и прорезывания постоянных зубов;
- ◆ Невысокий социальный уровень;
- ◆ Экстремальные воздействия (лучевое загрязнение, эмоциональный стресс);
- ◆ Низкий уровень стоматологической профилактики.

Диспансерные группы по Т.Ф. Виноградовой:

1. Практически здоровые;
2. С компенсированной формой кариеса, имеющие факторы риска заболеваний твёрдых тканей зубов, пародонта и зубочелюстные аномалии;

3. С субкомпенсированной формой кариеса;
4. С декомпенсированной формой кариеса, а также лица с субкомпенсированной формой этого заболевания и отягощенным анамнезом, патологией краевого пародонта, острым течением кариозного процесса.

К методам профилактики относятся:

- ◆ Стоматологическое просвещение населения;
- ◆ Обучение правилам рационального питания;
- ◆ Обучение правилам гигиенического ухода за полостью рта;
- ◆ Эндогенное использование препаратов фтора;
- ◆ Применение средств местной профилактики;
- ◆ Вторичная профилактика (санация полости рта).
- ◆ Стоматологическое просвещение населения.

Активные методы — предусматривающие заинтересованное участие населения.

Преимущества:

- ◆ Индивидуальный подход;
- ◆ Индивидуальная коррекция;
- ◆ Более детальное изучение.

Недостатки:

- ◆ Короткое по продолжительности воздействие на аудиторию;
- ◆ Небольшое количество слушателей.

Пассивные методы — не требуют активного участия населения.

Преимущества: воздействуют длительное время и на большую аудиторию (реклама, печатные издания, листовки).

Недостатки: отсутствие обратной связи между пациентом и специалистом.

Первичная профилактика — это комплекс государственных, социальных и медицинских мероприятий, направленных на предупреждение возникновения стоматологических заболеваний.

Вторичная профилактика предусматривает терапевтическое вмешательство при ранних признаках и симптомах заболевания в целях предотвращения его развития.

Третичная профилактика включает лечение развившихся заболеваний, направленное на предотвращение их прогрессирования, предупреждение осложнений и последствий, восстановление утраченной функции зубочелюстной системы в результате потери зубов с помощью протезов и других средств.

Материалы и методы

Научная литература, социологические исследования.

Анкетирование, тест Мориски-Грина.

- ◆ Первая анкета содержала в себе 5 вопросов, затрагивающих пол, возраст, профессиональную и домашнюю гигиену полости рта, частоту посещения детского врача-стоматолога. Участие приняли 57 детей, проходящих лечение у детского врача-стоматолога.
- ◆ Вторая анкета содержала в себе 10 вопросов, направленных на выявление проблемы и комплекса проблем, которые мешают пациенту соблюдать комплаенс. Участие приняли 65 человек, проходящих лечение у детского врача-стоматолога.

Результаты исследования и обсуждения

В первом анкетировании приняли участие — 36 (63%) девочек и 21 (37%) мальчик.

Распределение по возрасту: 24 (42%) пациентов в возрасте 7–10 лет, 15 (26%) пациентов в возрасте 11–14 лет, 18 (32%) пациентов в возрасте 15–18 лет.

Из них 22 (39%) пациента проходили профессиональную гигиену полости рта у детского врача-стоматолога, 35 (61%) не проходили данную процедуру.

Большинство выполняют рекомендации детского врача-стоматолога по домашней гигиене полости рта (чистка зубов 2 раза в день) — 42 (74%) пациента, 15 (26%) пациентов не в полном объеме соблюдают правила гигиены.

Детского врача-стоматолога, из 57 опрошиваемых, 7 (12%) посещают 2 раза в год, 21 (37%) 1 раз в год, 16 (28%) 1 раз в 2 года, 13 (23%) при необходимости.

Для получения объективных данных собраны результаты осмотра полости рта каждого пациента.

Данные осмотра были сопоставлены с классификацией активности кариеса зубов по Т.Ф. Виноградовой, которая включает в себя три формы активности кариеса: компенсированная, субкомпенсированная, декомпенсированная.

На основании полученных данных пациенты разделились по нескольким категориям.

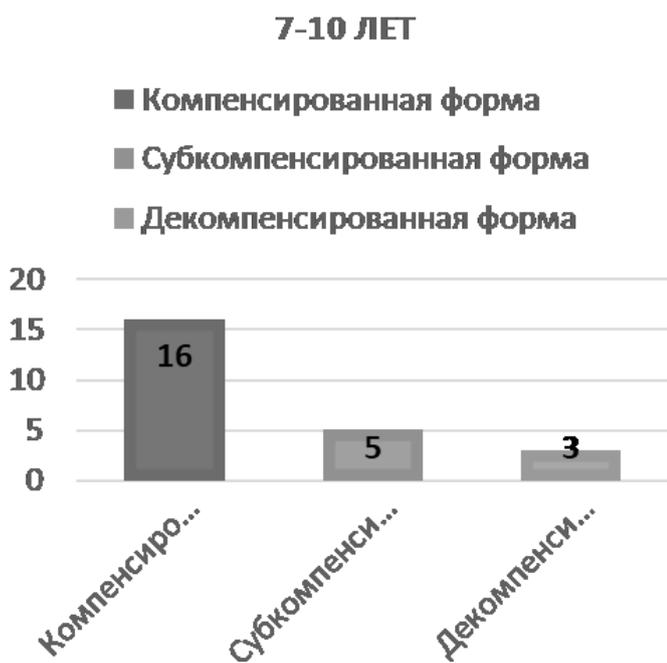


Рис. 1. Дети в возрасте 7–10 лет

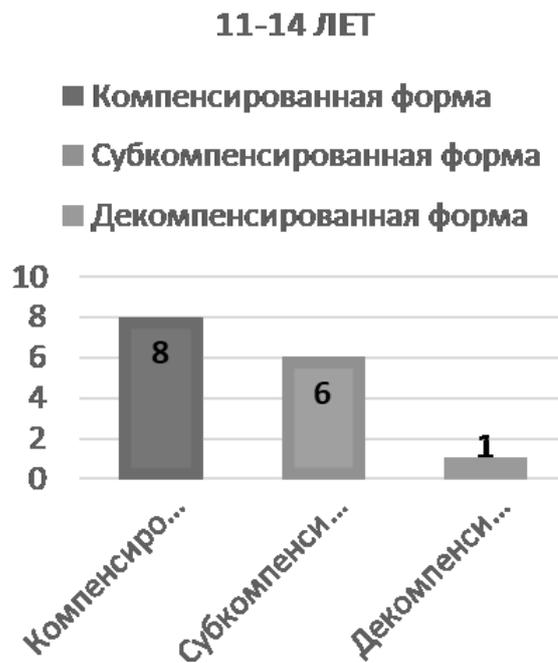


Рис. 2. Пациенты возрастной категории 11–14 лет

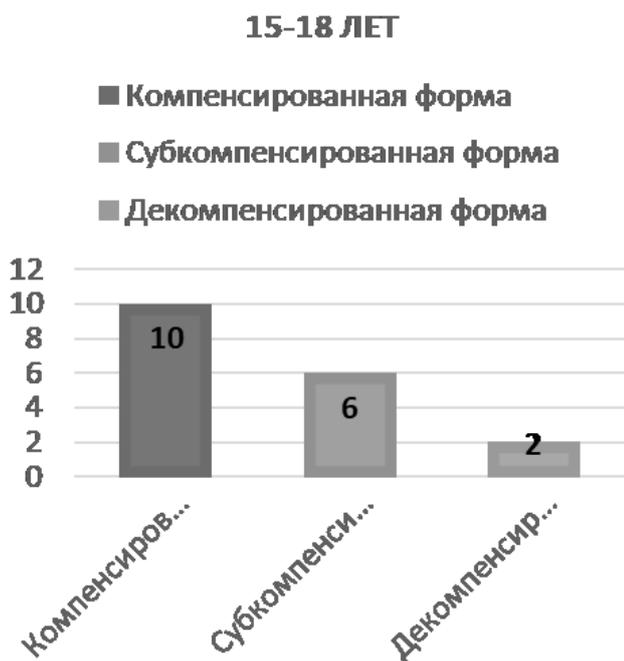


Рис. 3. Пациенты 15–18 лет

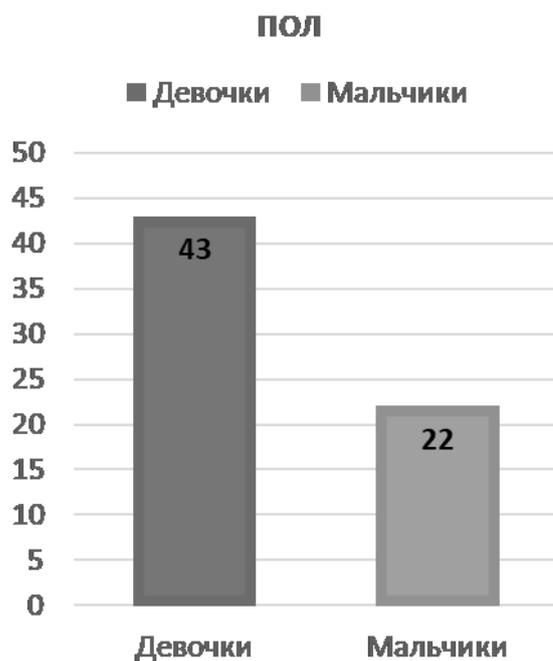


Рис. 4. Распределение по полу

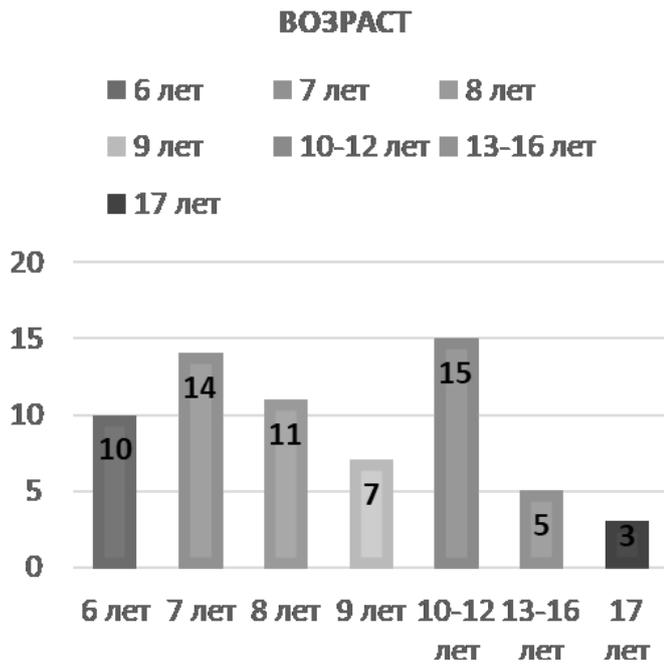


Рис. 5. Распределение по возрасту



Рис. 6. Распределение по месту жительства

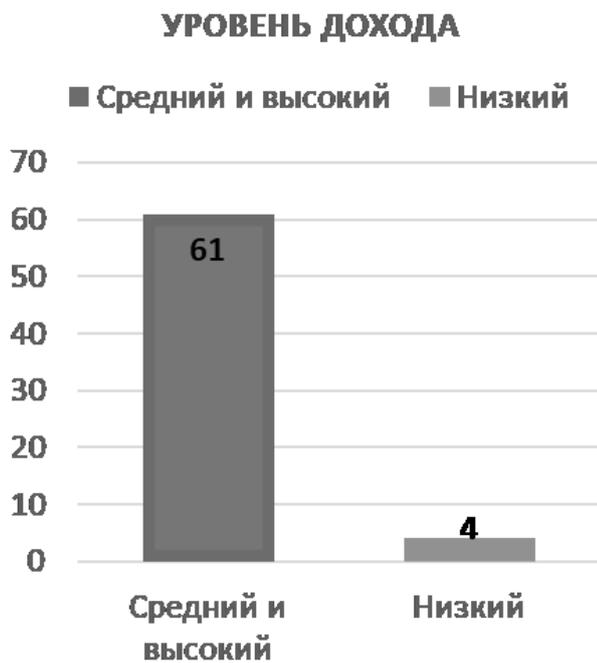


Рис. 7. Распределение по уровню дохода

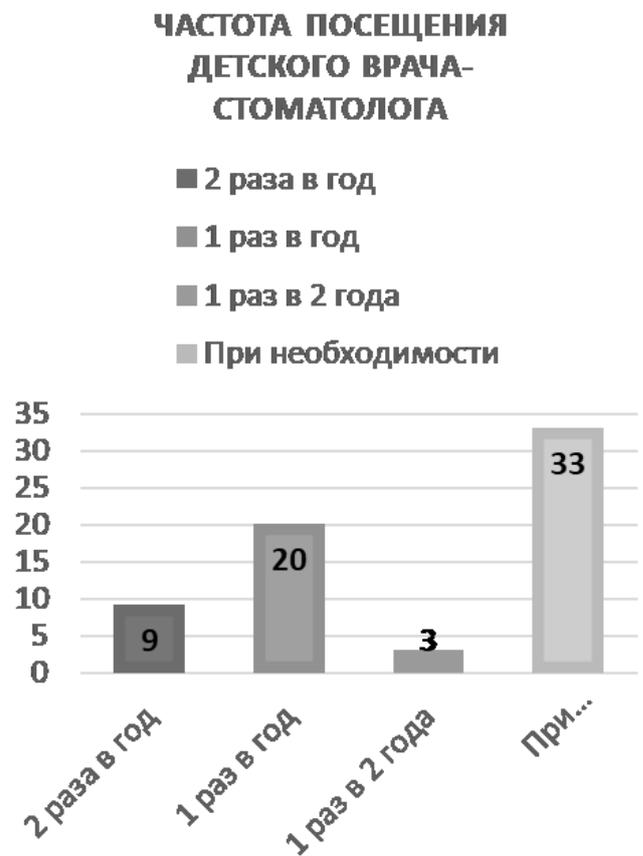


Рис. 8. Частота посещения детского врача-стоматолога

ВЫПОЛНЕНИЕ РЕКОМЕНДАЦИЙ ВРАЧА



Рис. 9. Выполнение рекомендаций врача

ТЕСТ МОРИСКИ-ГРИНА

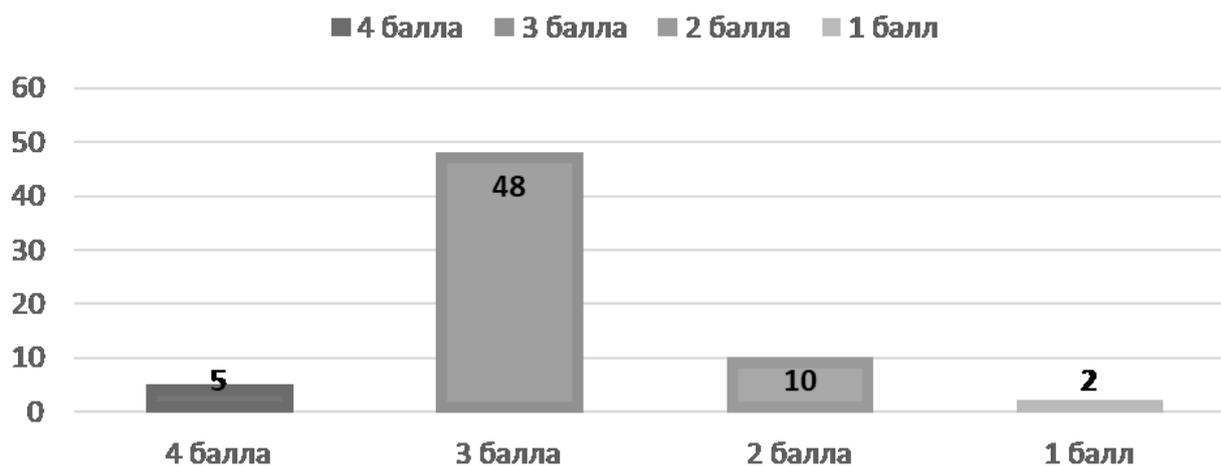


Рис. 10. Тест Мориски-Грина

Дети в возрасте 7–10 лет имеют следующие показатели: 16 (67%) детей имеют компенсированную форму (КПУ менее 5), 5 (20%) детей имеют субкомпенсированную форму (КПУ 6–8), 3 (13%) детей имеют декомпенсированную форму (КПУ более 8) (рис. 1).

Пациенты возрастной категории 11–14 лет: 8 (53%) детей имеют компенсированную форму (КПУ менее 4), 6 (40%) детей имеют субкомпенсированную форму (КПУ 5–8), 1 (7%) детей имеют декомпенсированную форму (КПУ более 8) (рис. 2).

Пациенты 15–18 лет: 10 (56%) детей имеют компенсированную форму (КПУ менее 6), 6 (33%) детей имеют субкомпенсированную форму (КПУ 7–9), 2 (11%) детей имеют декомпенсированную форму (КПУ более 9) (рис. 3).

Во втором анкетировании приняли участие — 43 (66%) девочек и 22 (34%) мальчиков (рис. 4).

Распределение по возрасту (рис. 5): 10 (15%) пациентов в возрасте 6 лет, 14 (21%) пациентов в возрасте 7 лет, 11 (17%) пациентов в возрасте 8 лет, 7 (11%) пациентов в возрасте 9 лет, 15 (23%) пациентов в возрасте 10–12 лет, 5 (8%) пациента в возрасте 13–16 лет, 3 (5%) пациента в возрасте 17 лет.

Из них 41 (67%) пациента проживают в городе, 15 (15%) в областном центре, 6 (9%) в районном центре и 3 (9%) в сельской местности (рис. 6).

Большинство имеют средний и высокий уровень дохода (94%), у 4 (6%) пациентов доход ниже среднего (рис. 7):

Детского врача-стоматолога, из 65 опрашиваемых, 9 (14%) посещают 2 раза в год, 20 (31%) 1 раз в год, 3 (4%) 1 раз в 2 года, 33 (51%) при необходимости (рис. 8):

51 (78%) пациентов выполняют рекомендации врача, 3 (5%) не выполняет рекомендации и 2 (3%) редко выполняет рекомендации, 9 (14%) не всегда выполняет рекомендации. В основном, пренебрежение планом лечения возникает из-за отсутствия симптомов заболевания или боли после посещения (рис. 9):

Отдельно проводилось анкетирование с использованием теста Мориски-Грина (рис. 10). Результаты оказались неоднозначные. 4 балла (пациент отрицательно ответил на все четыре вопроса) получили 5 пациентов (8%), 3 балла получили 48 пациентов (74%), 2 балла получили 10 пациентов (15%), 1 балл получили 2 пациента (3%). Большинство пациентов отказываются от лечения, если чувствуют себя плохо после приема лекарственных препаратов. Также, если у пациента пропадают симптомы заболевания, родители прекращают курс препаратов.

ВЫВОДЫ

- ◆ Дети, которые входят в группу с компенсированной формой (60%) кариеса зубов нуждаются в посещении детского врача-стоматолога 1 раз в год. Пациенты с субкомпенсированной формой (30%) подлежат наблюдению 2 раза в год. Каждые 3 месяца детского врача-стоматолога должны посещать пациенты с декомпенсированной формой (10%) кариеса зубов.
- ◆ Формирование медико-социальных мероприятий по профилактике ведущих стоматологических заболеваний позволит значительно снизить процент заболеваемости у детей. Не стоит забывать, что дошкольные и школьные учреждения играют значительную роль в формировании стоматологического статуса у человека.
- ◆ Повышению комплаентности пациента способствует полная, своевременная и доступная информация о состоянии его полости рта;
- ◆ Исчезновение симптомов после приема у стоматолога и отсутствие времени непосредственно сказывается на желании и способности больного выполнять рекомендации врача;
- ◆ Большинство родителей самовольно прекращают курс лечения при исчезновении симптомов, мешающих нормальной жизнедеятельности;
- ◆ Пациенты, которые регулярно появляются на приеме у специалиста и выполняют ежедневный гигиенический уход, чаще следуют плану лечения, назначенного врачом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Данилов, Д.С. Терапевтическое сотрудничество (комплаенс): содержание понятия, механизмы формирования и методы оптимизации // Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика. — 2014. — № 2. — С. 4–12.
2. Журбенко, В.А. Оценка эффективности профилактических мероприятий у школьников г. Курска / В.А. Журбенко, А.Е. Карлаш // Региональный вестник — № 2 (58) — 2021 — стр. 8–10
3. Журбенко, В.А. Определение уровня санитарно-гигиенического воспитания детей младшего школьного возраста и подростков (на примере средних образовательных учреждений г. Курска) / В.А. Журбенко, А.Е. Карлаш // Региональный вестник-№ 12 (51) — 2020 — стр. 16–18

4. Мартынов, А.А., Спиридонова Е.В., Бутарева М.М. Повышение приверженности пациентов стационаров и амбулаторно-поликлинических подразделений к лечебно-реабилитационным программам и факторы, оказывающие влияние на комплаентность // Вестн. дерматологии и венерологии. 2012. — № 1. — С. 21–27.
5. Мачулина, Н.А., Каменских Д.В. Отдельные аспекты эндогенной профилактики кариеса зубов у детей дошкольного возраста // Современные проблемы науки и образования. — 2016. — № 3.
6. Смирнов, С.В., Морозов С.Л., Шуленин К.С., Ярославцев М.Ю. Социальный тип личности пациента и эффективность гипертензивной терапии // Фундаментальные исследования. — 2012. — № 2. — С. 131–134.
7. Сокольская, О.Ю., Бимбас Е.С. Исследование местных кариесогенных факторов, связанных с гигиеной полости рта, у детей 3–10 лет // Проблемы стоматологии. — 2013. — № 1. — С. 58–62.

© Карлаш Анастасия Евгеньевна, Леньшина Надежда Паатовна,
Журбенко Вероника Александровна (rprvrmed@mail.ru).
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Курский государственный медицинский университет

ОБЩИЕ И ЧАСТНЫЕ ПРИЗНАКИ ПОЧЕРКА У ЛИЦ С РАССТРОЙСТВАМИ ЛИЧНОСТИ

GENERAL AND PARTICULAR CHARACTERISTICS OF HANDWRITING IN INDIVIDUALS WITH PERSONALITY DISORDERS

**E. Levchenko
S. Mukhina
Yu. Roshchin**

Summary. Changes in handwriting as a highly individual and subtle mechanism is an indicator of the state of health and simultaneously a diagnostic sign of various diseases and pathological conditions of psychological genesis. The analysis of handwriting, seldom used in practice of the psychiatrist, has the big potential allowing to diagnose at early stages of disorders of non-psychotic level, in particular, psychopathies. Objective: identification of general and private signs of writing at various psychopathologies which are most typical for each of pathologies. Materials and Methods. Study of psychological profile of the personality in patients with known personality disorders on the basis of Leanchko's test and Leongard-Shmishkek questionnaire; methods of system and comparative analysis; measurement and description of results according to the modified "Complex method of determination of gender, age and psychological properties of the executor of the text executed in handwriting of high and above average degree of development", A.N. Gerasimov and L.V. Sidelnikova (taking into account gender and age known in the study). Results. The general and special signs of handwriting described for each group are stable and highly informative. Conclusion. The peculiarities of handwriting of the patients in the studied groups fully reflect the anamnestic criteria of diagnosis in writing, but are not pathognomonic. In this connection, they can be applied as an additional method of diagnostics of psychopathies. The results obtained in the study partially correspond to the data available in the literature, but at the same time are more complete, with details of particular signs of handwriting.

Keywords: graphology, handwriting, personality disorders, psychopathies.

Левченко Елена Вадимовна

*К.м.н., доцент, Курский государственный
медицинский университет
levchenkoev@kursksmu.net*

Мухина Софья Анатольевна

*Курский государственный медицинский университет
muxina.sofya@bk.ru*

Роцин Юрий Валерьевич

*Врач-психиатр, главный врач, ОБУЗ «Курская
клиническая психиатрическая больница имени святого
великомученика и целителя Пантелеимона»
kpbkursk@yandex.ru*

Аннотация. Изменения почерка как высоко индивидуального и тонкого механизма являются индикатором состояния здоровья и одновременно диагностическим признаком различных заболеваний и патологических состояний психического генеза. Анализ почерка, редко используемый в практике врача-психиатра, имеет большой потенциал, позволяющий диагностировать на ранних стадиях расстройства не психотического уровня, в частности, психопатии. Цель работы: выявление общих и частных признаков письма при различных психопатиях, наиболее характерных для каждой из патологий. Материалы и методы. Исследование психологического профиля личности у пациентов с известными расстройствами личности на основании результатов теста Личко и опросника Леонгарда-Шмишека, методы системного и сравнительного анализа, измерение и описание результатов по модифицированной «Комплексной методике установления пола, возраста и психологических свойств исполнителя текста, выполненного почерком высокой и выше средней степени выработанности», А.Н. Герасимова и Л.В. Сидельниковой (с учетом известных у исследуемых пола и возраста). Результаты. Общие и частные признаки почерка, описанные для каждой из групп, являются устойчивыми и высокоинформативными. Заключение. Особенности письма пациентов в исследуемых группах полностью отражают на письме анамнестические критерии диагностики, но не являются патогномоничными. В связи с чем они могут применяться в качестве дополнительного метода диагностики психопатий. Полученные при исследовании результаты частично соответствуют имеющимся в литературе данным, но при этом являются более полными, с детализацией частных признаков почерка.

Ключевые слова: графология, почерк, расстройства личности, психопатии.

Введение

Графология как прикладная наука имеет обширный опыт накопленных знаний и долгий путь развития. Первая книга «Как узнать природу и качества человека, взглянув на букву, которую он написал» — труд итальянского профессора Камилло Бальдо, который вышел в свет еще в 1633 году [1,2].

Считаем важным заметить, что анализ почерка как профайлинговый прием или инструмент судебной экспертизы своим становлением обязан, в первую очередь, медикам — английскому физиологу и психиатру В. Прайеру и неврологу-психиатру Р. Пофалю [1]. В России изучением связи почерка с психологическими особенностями человека занимались И.Ф. Моргенштерн, написавший «Психографологию» и Д.М. Зуев-Инсаров в своих трудах «Строение почерка и характер» и «Почерк и личность» [2].

Для понимания связей механизмов формирования почерка с личностными особенностями отметим, что система выполнения рукописной продукции (письма) основана на сложной системе навыков, которая образует письменный функционально-динамический комплекс (ФДК), имеющий многофакторную структуру с двумя подсистемами — письменно-речевой и письменно-двигательной [3]. Письменно-двигательный компонент ФДК лежит в основе понятия почерка и включает подкомпоненты:

- а) зрительно-двигательный образ (модель) выполняемых рукописей (психофизиологический регуляторный компонент, активно изменяющийся при наличии патологических сдвигов в неврологическом и психическом статусе);
- б) развернутая система движений, специально приспособленная для реализации этого образа (биомеханический исполнительский компонент) [3,4].

Индивидуальность почерка определяется своеобразием письменно-двигательного ФДК и зависит от следующих факторов:

1. индивидуальности личности в единстве ее анатомических, физиологических и психологических свойств;
2. условий формирования ФДК, которые по отношению к формирующемуся навыку образуют «внешний» (или объективный) фактор;
3. взаимодействия внешних условий формирования навыков, с одной стороны, и индивидуальных свойств личности, с другой [3].

Исходя из этого, мы можем сделать вывод, что почерк человека является сверхтонким, высокочувствительным и индивидуализированным процессом, который охва-

тывает сразу несколько сфер — восприятие и когнитивную систему, тонкую моторику — и он чутко реагирует на состояние человека, обусловленное совокупностью внутренних факторов, и на внешние условия [1,5]. Изменения почерка становятся, в частности, индикатором состояния здоровья и, наоборот, различных заболеваний и патологических состояний психического генеза [6,7,8,9]. Заметим, что способность почерка быть ранним «индикатором» диагностики болезней особенно актуальна, когда стандартные симптомы еще незначительно проявляются. Однако необходимо помнить, что ни одно из изменений почерка, не является патогномичным или высокоточным признаком психологической патологии или психических нарушений.

Таким образом, анализ почерка становится эффективным вспомогательным инструментом во врачебной практике. Во-первых, согласно трудам Анетты Пойзнер, графологический анализ может использоваться [10] в качестве психоаналитического инструмента, позволяющего на этапе первичной диагностики психопатологии лучше оценить особенности личности пациента и выявить возможные акцентуации характера.

Важно отметить, что к настоящему моменту накоплен незначительный опыт данных графологической экспертизы при различных расстройствах личности и практически отсутствуют исследования корреляции особенностей письма и отдельных симптомов или критериев, соответствующих отдельным психопатиям [8,11]. В различных работах исследовались изменения почерка при наиболее распространенных расстройствах личности или таковые в архивных материалах уголовных дел у серийных преступников [11,12]. Были получены следующие данные. При обсессивно-компульсивном расстройстве личности проявляются следующие признаки: заметная стабильность формы букв и соединений, четкая и стабильная топология — расстояния и интервалы, медленный темп, статичность почерка [1,12,13]. Шизоидное расстройство: почерк отличается угловатостью форм, узкими буквами и сокращением интервалов между ними, сильной несвязностью, упрощенностью (например, печатные буквы), резкими изменениями направления ведения линий, изменениями наклона [1,12,13]. Почерк часто неразборчив. В тексте может проявляться символизация — включение примитивных рисунков и различных условных знаков, связанных с содержанием текста [12,13]. При циклоидном расстройстве почерк, как правило, связанный, с округлыми формами, достаточно крупный, с сильным право- или левосторонним наклоном, доминирует нижняя зона, поля узкие или отсутствуют совсем. У истериков в почерке характерными являются: неравномерный наклон букв; петлевая форма движений; выполнение строчной буквы «т» с надстрочным элементом, строчной буквы «ш» с подстрочным элементом

и т.д. [12,13]. Черты почерка пациентов с параноидным расстройством: малый размер полей; большое расстояние между словами и знаками препинания; наклон букв влево; смешанная форма движений; изменение направления движений [12,13].

На сегодняшний день существует несколько авторских методик диагностирования психологических свойств исполнителя рукописи по почерку. Единственной стандартизированной, надежной и наиболее полной среди существующих методик, по нашему мнению, является «Комплексная методика установления пола, возраста и психологических свойств исполнителя текста, выполненного почерком высокой и выше средней степени выработанности», разработанная А.Н. Герасимовым и Л.В. Сидельниковой [14]. Особенности оценки данной методики тесно связаны с интерпретацией психологического теста «Шестнадцать личностных факторов» 16 PF Р. Кеттелла [15]. Однако, мы считаем, что минусом данной методики является то, что она используется в психологии и криминалистике, но не имеет возможности оценки конкретных симптомов или диагностических критериев психических заболеваний и степени их выраженности.

Несмотря на наличие большого количества известных особенностей письма при различных психических заболеваниях и патологических состояниях (острые и хронические отравления наркотическими веществами, алкоголем), наличие систематизированных практик оценки почерка в психологической практике, в практической работе психиатра обычно недостаточно используются в диагностических целях оценка особенностей письменной продукции больных и их почерка. Поэтому, на наш взгляд, анализ почерка в медицине имеет большой потенциал, позволяющий диагностировать на ранних стадиях расстройства непсихотического уровня, в частности, психопатии.

Материал и методы

Исследование проводилось на базе стационара Курской клинической психиатрической больницы. В исследовании принимало участие 39 пациентов. Из них: 8 лиц женского пола в возрасте от 19 до 23 лет и 31 -мужского возрастом 30–60 лет. Участники были поделены на исследуемые группы согласно имеющимся психопатиям. Группы по данному признаку составили соответственно:

- ◆ эксплозивное (эмоционально неустойчивое) расстройство — 4 человека (из них: женщины — 2 человека (23 года), мужчины — 2 человека (30 и 34 года));
- ◆ диссоциальное расстройство— 4 человека (из них: женщины — 1 человек (23 года), мужчины — 2 человека (36 и 42 года));

- ◆ обсессивно-компульсивное расстройство (ОКР) — 4 человека (из них: 2 женщины (19 и 20 лет), мужчины — 2 человека (35 и 56 лет));
- ◆ шизоидное расстройство — 7 человек (женщины — 1 человек (23 года), мужчины 6 человек (средний возраст —36 лет));
- ◆ мозаичная психопатия — 7 человек (женщины — 2 человека (21 и 23 года), мужчины — 5 человек (средний возраст —41 год));
- ◆ инфантильное расстройство — 2 человека (мужчины, средний возраст —32 года);
- ◆ параноидное расстройство — 10 человек (мужчины, средний возраст —47 лет)
- ◆ тревожное расстройство — 1 человек (мужчина, 33 года).

Методы: исследование психологического профиля личности на основании результатов теста Личко и опросника Леонгарда-Шмишека, методы системного и сравнительного анализа, измерение и описание результатов по модифицированной «Комплексной методике установления пола, возраста и психологических свойств исполнителя текста, выполненного почерком высокой и выше средней степени выработанности», А.Н. Герасимова и Л.В. Сидельниковой (с учетом известных у исследуемых пола и возраста) с анализом признаков:

1) Общие признаки (читабельность, плотность, стабильность):

1 группа — топографические признаки:

Поля: наличие, размер, наклоны (линейность относительно вертикальных срезов бумаги), конфигурации.

Интервалы между строками (оцениваются относительно высоты строчных букв).

Интервалы между словами (оцениваются относительно ширины двухэлементных строчных букв («и», «н», «п», и т.д.)).

Линии письма относительно горизонтальных срезов бумаги.

Форма линий.

Размеры знаков препинания, расположение относительно линий письма.

2 группа-степень и характер сформированности навыка письма.

Степень выработанности, сложности почерка, темп и координация письма.

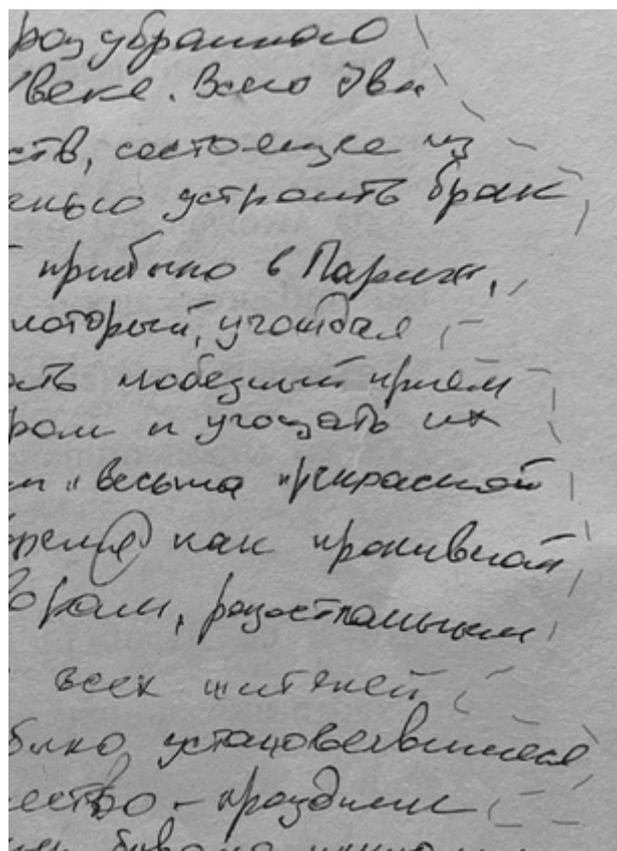


Рис. 1. Извилистые правые поля

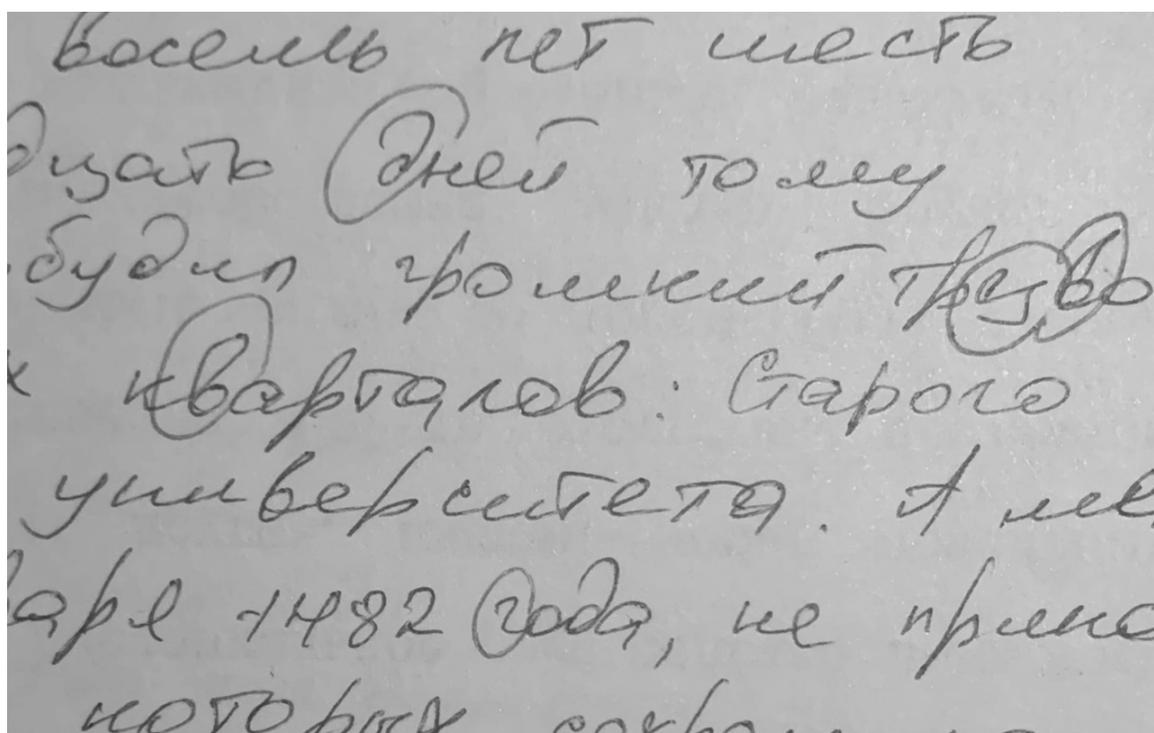


Рис. 2. Левоокружная одноэлементная буква «д»

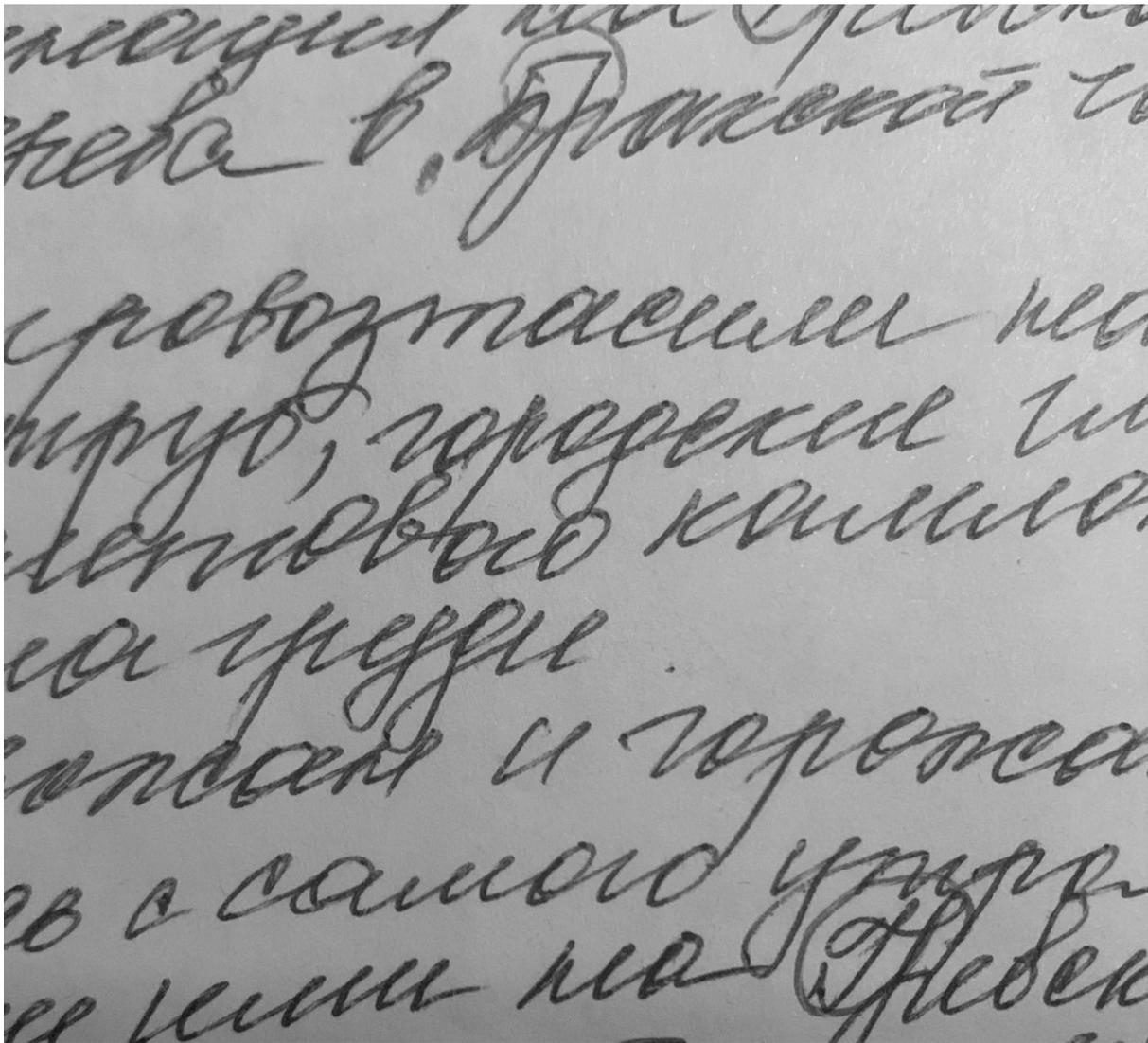


Рис. 3. Петлевые элементы при соединении заглавных букв с «р»

3 группа-структура движений по траектории.

Форма и преобладающее направление движений.

Наклон, размер, разгон, степень связности почерка.

2) Частные признаки

Наличие характерных над- или подстрочных дополнительных элементов букв.

Сложность движений при выполнении букв (упрощение движений или их усложнение).

Вид соединения движений (с оценкой устойчивости по связности букв внутри слов); ручной анализ текстов при помощи линейки и лупы.

Исследование проводилось с соблюдением необходимых для данной методики условий: пациентам с учетом наличия у них почерка средней и выше степени выработанности предлагалось в положении сидя переписать основной рукой на чистый лист формата А4 без какой-либо разметки текст объемом слов в комфортных условиях (удобное место для письма, хорошее освещение, отсутствие комментирования исследующим во время письма, отсутствие ограничения по времени). Оценка письма производилась с применением обычной линейки (с сантиметровыми и миллиметровыми делениями), лупы (для исследования элементов букв при оценке частных признаков письма). Результаты исследования по каждому образцу почерка вносились в таблицу вида «Признак-Характеристика» с прикреплением изображений в графах, описывающих состояние признаков по оценке букв и их элементов.

Результаты

Наиболее распространенными общими признаками почерка (около 90%) среди всех участников исследования являются: отсутствие полей или наличие одного из полей (чаще всего правого, извилистого с неравномерными значениями ширины (рисунок 1)), прямолинейное расположение строк письма параллельно срезу бумаги, наличие знаков препинания на условной строке письма (с учетом письма на нелинованных листах бумаги), постоянных размеров интервалов между строками и словами в размере малых — у 92% (расстояние от 1 до 1,5 высоты 1-элементной буквы по высоте и менее ширины одной двухэлементной буквы соответственно); у 95% участников наблюдалось отсутствие или наличие малого (от 1 до 2 см) абзацного отступа.

При определении общих и частных признаков почерка, наиболее свойственных каждой группе больных с психопатиями (определены по тесту Леонгарда-Шмишека и опроснику Личко), были выявлены следующие закономерности.

1. Для шизоидного расстройства характерны отражение на письме внешней небрежности (упрощения и непостоянные формы написания отдельных элементов, переменная плотность текста) при соблюдении усредненных норм правописания и наличие необычных форм или усложнений при соединении букв: размеры почерка ближе к малому (около 2 мм в высоту), наличие извилистого правого поля, преимущественно средний интервал между словами, разный размер слов и разгон почерка, чаще всего — высокосвязный или сплошной почерк, форма движений — овально-дугообразная в независимости от пола; средняя разборчивость и плотность почерка. Почерк простой, правонаклонный, характерны нарушение последовательности движений при соединении строчного и надстрочного элементов буквы с периодической деформацией «в», печатный стиль выполнения заглавных букв, наблюдается редукция соединительного элемента в «к» и «н», наличие повторов в овале — соединительные петли в буквах «а», «о», «д», петлевая форма движения при выполнении заключительной части второго элемента буквы «р», непостоянная угловатая форма и периодическая завершенность подстрочных элементов в буквах «ц» и «з», прямая форма движений при написании начального элемента «з»; наличие необычных элементов: левоокружная одноэлементная «д» (рисунок 2), наличие петель наверху при соединении заглавных букв с «р» (рисунок 3), усложнение за счет петлевых элементов буквы «ф».

2. Среди лиц с взрывным расстройством наиболее часто встречались признаки, подтверждающие нестабильность состояния данных лиц и ускорения процессов письма (лабильность построения, резкая смена аффекта с гипертрофированными проявлениями злости вплоть до ярости, импульсивность) на письме (рисунок 4): наличие только правых полей, письмо средней плотности, малосвязный почерк, отрывистые элементы букв, поднимающиеся или опускающиеся строки, различная степень нажима при выполнении букв и соединений между ними; часто-написание слов не на одной линии — волнообразное расположение, высокая скорость письма, выработанность у всех исследуемых — выше среднего; средние, но непостоянные размеры интервалов между строками (от 1,5 до 2х размеров в высоту одноэлементных букв), соблюдаются наиболее усредненные признаки почерка (стремление держать ситуацию и собственное состояние под контролем), частая незавершенность элементов (в частности, буквы «а», «я»), нарушение последовательности движений в «в» и «а» за счет разрывов между элементами, упрощение «н» и «к» до «и» (редукция нормальной формы движений в соединительном элементе), исправления ошибок выполнены многократными жирными повторами правильных слов/букв поверх ошибочных. Для лиц с диссоциальным расстройством характерны сходные признаки (рисунок 5): разная ширина букв, мало связный или отрывистый почерк, высокие темп и координация за счет упрощений и укорочений букв, форма движений — угловато-прямолинейная, наличие суженных элементов в «в», непостоянная ширина и небрежность в написании отдельных элементов букв, преобладание сужений — вертикальных движений в буквах, незавершенность конечных элементов гласных «о», «а», непостоянный признак — наличие и размер абзацного отступа.
3. У лиц с инфантильным расстройством наблюдается выражение на письме черт отсутствия эмоционального равновесия и плохого контроля устойчивости почерка: различное направление строк письма (восходящее, параллельно срезу и нисходящее в тексте, исполненное одним лицом), периодически изменяющийся интервал между строками, различные междустрочные интервалы при переходе к новому абзацу, непостоянная ширина обоих полей, периодические переходы на печатную форму написания слов или отдельных букв; наличие петлевых движений и «открытого верха» при написании буквы «а» (рисунок 6). Также просматривается явное наличие признаков, характерных для детского (школьного) по-

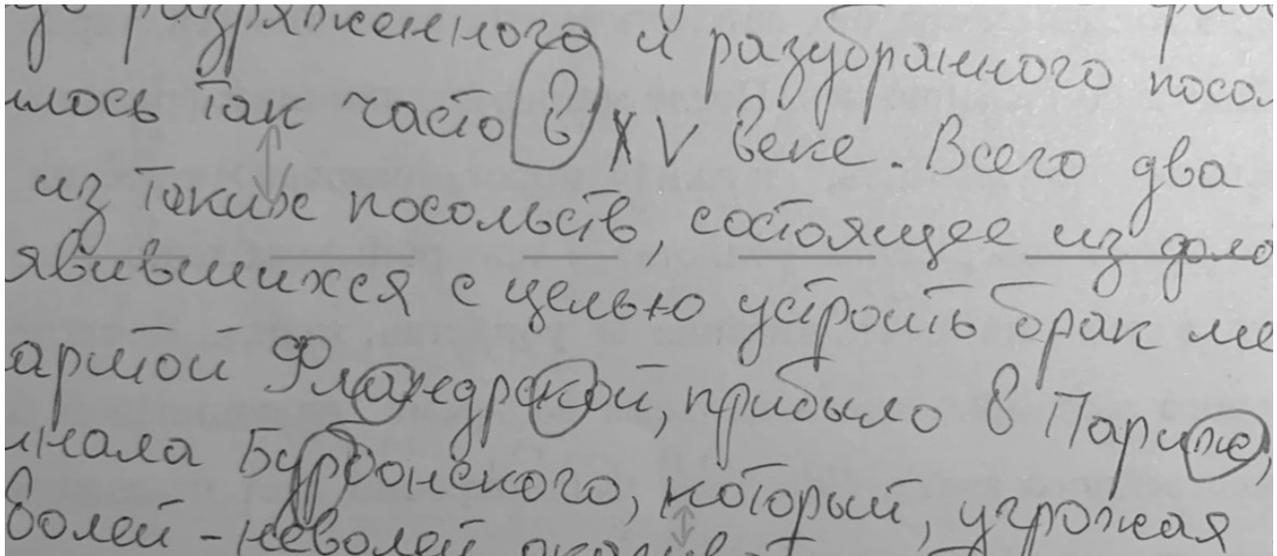


Рис. 4. Образец почерка, выполненного лицом с взрывным расстройством

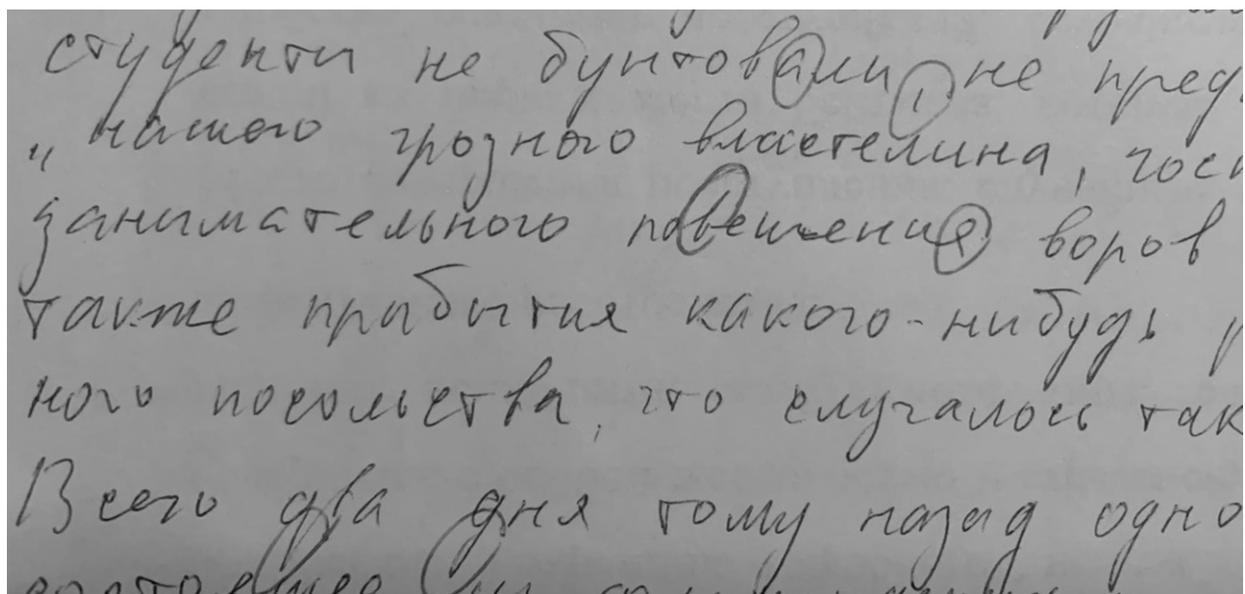


Рис. 5. Образец почерка, выполненного лицом с истеро-возбудимой акцентуацией

черка: средняя степень выработанности, средний темп и разгон письма, низкая разборчивость текста, волнообразное расположение букв в словах («скачущие» слова), различные размер букв и интервалы между ними в одном слове, простой или упрощенный почерк с овально-округлой формой движений.

4. У исследуемых лиц с тревожным расстройством чаще всего выявлялись признаки напряженности и обеспокоенности (в том числе, многочисленные уточнения по поводу оформления

текста), стремление к внешнему конформному поведению при наличии признаков нестабильности и др.: хорошая организация страницы, высокая степень выработанности почерка, прямое расположение строк параллельно срезу листа, средняя стабильность текста — изменения интервалов между словами и буквами в словах при уставании (трудность концентрации внимания, неусидчивость), наличие слов, частично не на условной линии письма; петлевые элементы усложнения в буквах «р», «о» (убежден-

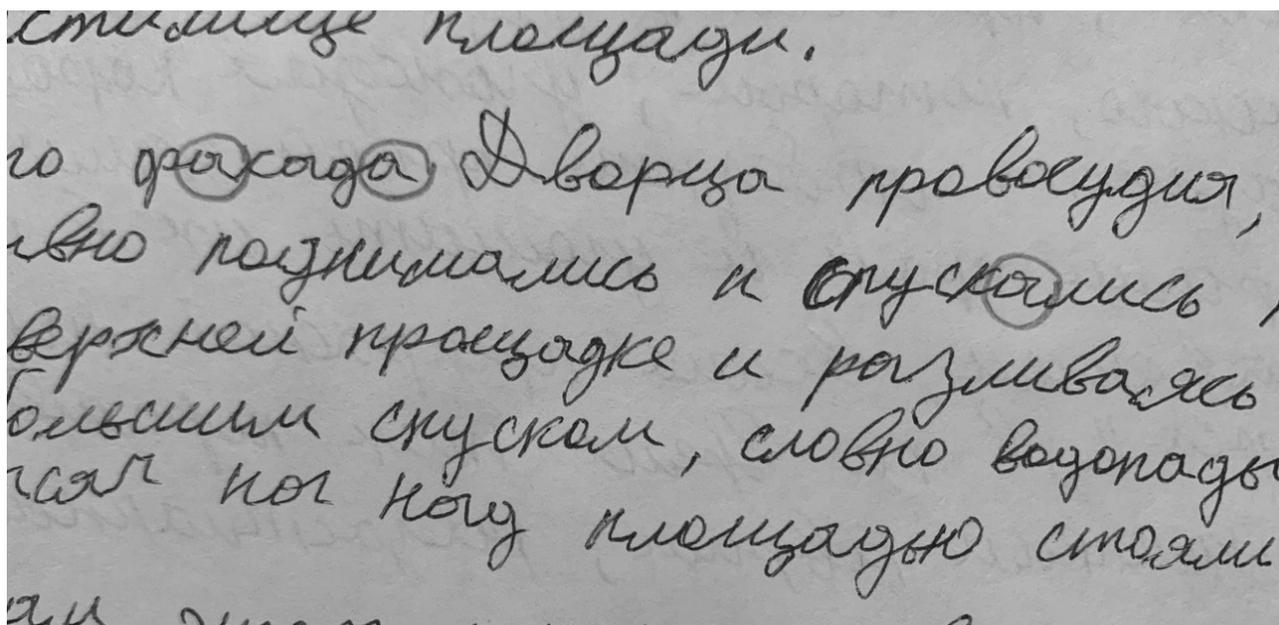


Рис. 6. Петлевое движение в последнем элементе и незавершенная верхняя часть при написании буквы «а»

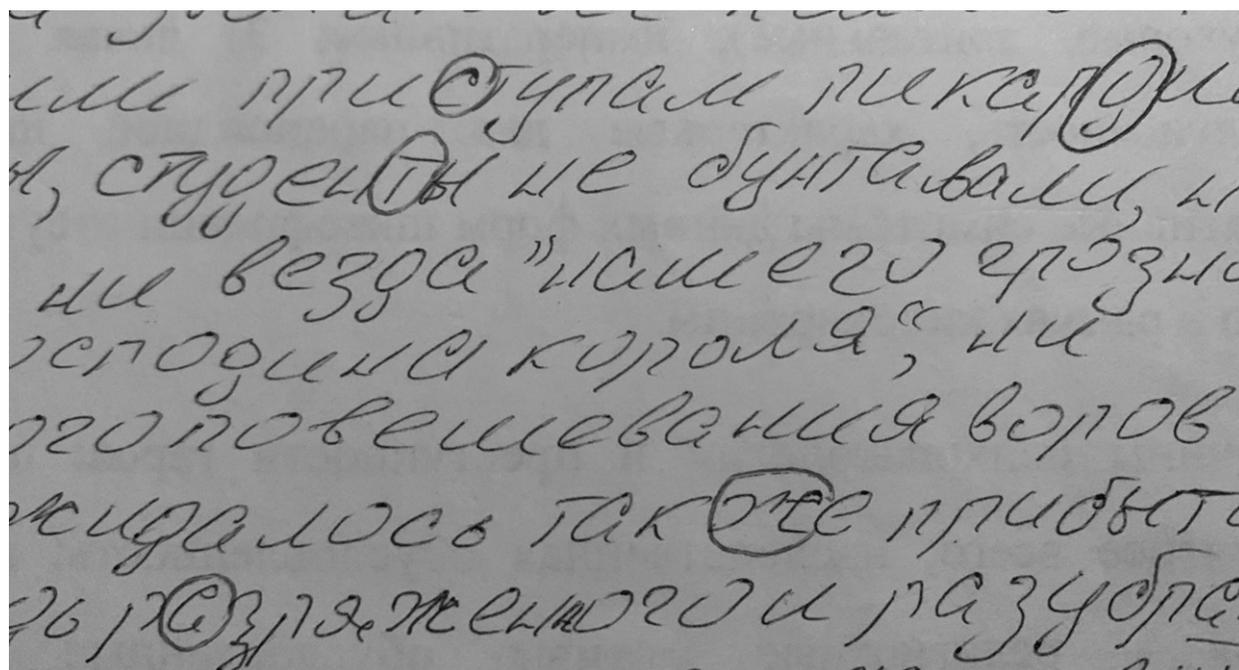


Рис. 7. Нарушения последовательности соединений элементов «д», видоизмененные буквы с украшениями, «печатный стиль»

ность в непривлекательности внешних свойств текста), при этом почерк простой, соблюдаются нормы правописания — нет нарушений последовательности движений в буквах.

5. Мозаичные психопаты (усредненные признаки сочетания черт следующих психопатий: эксплозивная или истеро-возбудимая, шизоидная и тревожная): для всех исследуемых данной группы характерны: средняя степень выработанности

почерка, средний или медленный темп, средняя или низкая координация движений, простой почерк, характерны косонисходящие строки, знаки препинания расположены на линии, расстояние от слова до запятой превышает расстояние после запятой до следующего слова, абзацный отступ отсутствует; мозаичные признаки — различная степень читабельности текстов, везде разный стиль написания буквы «р» (от упрощенной до 2х штрихов, в т.ч. раздельно написанных, до усложняющих петлевых элементов в овале); наличие в некоторых текстах: нарушения последовательности движений в «д» и элементов украшений в виде изменения формы надстрочных элементов, «печатный стиль» текста (рисунок 7); деформация соединения крайних элементов «ж», упрощение «к» и «н» до «и»; форма движений варьируется от округло-овальной до угловатой.

6. В группе исследуемых с ОКР наблюдались признаки чрезмерной осторожности и перфекционизма, добросовестности и скрупулезности, а также ригидности (сверхвысокой стабильности) при выполнении текста: почерк высокочитабельный, высокосвязный, по размеру — ближе к малому, малое устойчивое расстояние между строками, строки прямые, располагаются параллельно срезам бумаги, средний темп и разгон почерка, высокая степень выработанности; округло-овальная форма движений, четкая очерченность букв в словах, классическая форма запятой, формы и последовательность движений в буквах не нарушены, практически отсутствуют элементы усложнения и упрощения (за исключением единичных петлевых элементов в овалах), знаки переноса короткие и четкие с равным нажимом, «укорочение» слов за счет редукции завершающих движений в последних элементах букв «м», «я, и «и» на конце слова.
7. В образцах почерка, выполненных участниками с параноидным расстройством личности, наблюдалось выражение черт подозрительности и недоверия в виде частого уменьшения размеров почерка и соблюдения постоянного малого размера левых полей несмотря на наличие достаточного количества свободного места на листе, чрезмерной аккуратности и требовательности к собственному почерку (ригидность — высокая приверженность классическим нормам письма и упорство — четкая тенденция к стабильности исполнению отдельных элементов букв и их соединений): линии письма строго прямолинейны и параллельны горизонтальным срезам листа, интервалы между строками и словами постоянны, знаки препинания чаще всего над или под линией письма, абзацный отступ чаще всего отсутству-

ет или представлен увеличенным междустрочным интервалом; выработанность почерка выше среднего, при этом темп и координация-средние. Почерк среднесвязный, высокой плотности на листе (разгон малый), простой, высоко читабельный, имеет средне выраженный правый наклон во всех случаях. Отличительной чертой является отсутствие упрощения конечных элементов последних букв в словах и вида соединения элементов букв в большинстве случаев (при этом в сложных буквах зачастую элементы имеют разрывной вид написания).

Обсуждение

Графологические характеристики, относящиеся к большинству исследуемых, не несут диагностической значимости в связи с отсутствием высокоспецифичных признаков и данных, свидетельствующих о наличии психической патологии. Признаки письма, описанные для каждой из групп, являются устойчивыми и полностью отражают характеристики акцентуаций личности — выражают на письме анамнестические критерии диагностики. В связи с чем могут применяться для диагностики расстройств личности. Полученные при исследовании результаты частично соответствуют имеющимся в литературе данным, но при этом являются более полными, с детализацией частных признаков почерка.

Заключение

Образцы почерка, принадлежащие участникам каждой из исследуемых групп, имеют набор характерных особенностей, отражающих на письме диагностические критерии и характеристики психопатий по данным опросников соответствующих расстройств личности. Однако, несмотря на наличие достаточного количества специфичных для определенных психопатий общих и частных графологических признаков, патогномичные признаки, необходимые для диагностики, отсутствуют. В связи с чем данный метод анализа может применяться только в качестве вспомогательного инструмента в практике врача-психиатра и требуют дальнейшего изучения с привлечением большего числа участников с целью определения высоко специфичных графологических признаков для каждого из видов вышеописанных патологий.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии спонсорских или иных финансовых источников при проведении исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чернов, Ю.Г. Применение анализа почерка в медицине // Медицинская психология в России: электрон. науч. журн. — 2020. — Т. 12, № 6(65) [Электронный ресурс]. — URL: <http://mprj.ru> (дата обращения: 12.03.2022).
2. Графология как метод выявления качеств менеджера // Studbooks.net: [сайт]. — URL: https://studbooks.net/1529884/menedzhment/grafologiya_metod_vyuavleniya_kachestv_menedzhera?usclid=111121uyr0 (дата обращения: 13.03.2022).
3. Почерковедение и почерковедческая экспертиза / под ред. В.В. Серегина. — Волгоград: ВА МВД России, 2007. — 340 с., ил. — ISBN978–5–7899–0505–0.
4. Томилин, В.В. Основы судебно-медицинской экспертизы письма / В.В. Томилин. — Москва: «Медицина», 1974. — 125 с.
5. Тестов, Д.Ф. Трансформация коммуникативных паттернов в условиях сетевых медиа: психопатология и дискретность / Д.Ф. Тестов // Вестник Московского университета. Серия 7. Философия. — 2018. — № 2 [Электронный ресурс]. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/transformatsiya-kommunikativnyh-patternov-v-usloviyah-setevyh-media-psihopatologiya-i-diskretnost> (дата обращения: 01.04.2022).
6. Барабанов, Р.Е. Определение личностных качеств человека посредством использования графологического метода исследования / Р.Е. Барабанов // Всероссийский журнал научных публикаций. — 2011. — № 4. — С. 58–63.
7. Кулик, С.Д. Подход к решению задачи определения психологических характеристик личности по почерку / С.Д. Кулик, Н.Е. Гунько // Экспериментальная психология. — 2011. — Т. 4, № 4. — С. 62–74.
8. Антропов, Ю.А. Основы диагностики психических расстройств. Руководство для врачей / Ю.А. Антропов, А.Ю. Антропов, Н.Г. Незнанов. — Москва: ГЭОТАР Медиа, 2010. — 384 с. — URL: https://bookap.info/genpsy/antropov_osnovy_diagnostiki_psihicheskikh_rasstroystv_ruk_dlya_vrachey/#0 (дата обращения: 12.03.2022).
9. Лихачева, А.А. Исполнение рукописи лицами с психическими отклонениями / А.А. Лихачева // Обеспечение безопасности личности, общества и государства в условиях глобализации: правовые проблемы и перспективы. Сборник статей 48-й Всероссийской научной конференции студентов, магистров и молодых ученых. — Ижевск, 2020. — С. 450–458.
10. Poizner, A. Clinical Graphology: An Interpretive Manual for Mental Health Practitioners / A. Poizner // — Springfield: Charles C Thomas Pub Ltd, 2012. — 187 p.
11. Бобовкин М.В. Теория и практика судебно-диагностической экспертизы письма лиц, находящихся в психопатологическом состоянии: дис... докт. юрид. наук 12.00.09 / Бобовкин Михаил Викторович; Волгоград, 2005. — 466 с.
12. Ахмедшин, Р.Л. Исследования почерка и профилирование серийных преступлений: тактико-криминалистический аспект / Р.Л. Ахмедшин, В.Ф. Енгальчев // Актуальные вопросы судебно-психологической экспертизы и комплексной экспертизы с участием психолога. Перспективы научного и прикладного исследования почерка. Сборник материалов III международной научно-практической конференции. — Калуга: КГУ им. К.Э. Циолковского, 2019. — С. 62–70. — ISBN978–5–88725–540–8.
13. Петрова, С.И. Диагностика психологических свойств по почерку (криминалистический, физиологический и психологический аспекты) / С.И. Петрова // Известия ТулГУ. Экономические и юридические науки. — 2016. — № 1–2 [Электронный ресурс]. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/diagnostika-psihologicheskikh-svoystv-po-pocherku-kriminalisticheskij-fiziologicheskij-i-psihologicheskij-aspektu> (дата обращения: 01.04.2022).
14. Современные методики диагностирования психологических свойств исполнителя рукописи по почерку / Материалы из студенческих работ. Российская книжная палата: [сайт]. — URL: <http://zakoniporjadok.my1.ru/publ/5-1-0-8088>. — Дата публикации: 06.05.2017.
15. Сидельникова, Л.В. Комплексная методика установления пола, возраста и психологических свойств исполнителя текста, выполненного почерком высокой и выше средней степени выработанности (методическое письмо) / Л.В. Сидельникова, А.Н. Герасимов // Портал психологических изданий PsyJournals.ru: электронный журнал. — URL: https://psyjournals.ru/exp/2011/n4/48967_full.shtml? (дата обращения: 13.03.2022).

© Левченко Елена Вадимовна (levchenkoev@kursksmu.net),

Мухина Софья Анатольевна (muhina.sofya@bk.ru), Рощин Юрий Валерьевич (kpbkursk@yandex.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ЛЕЧЕНИЕ РЕЦЕССИИ ДЕСНЫ ПРЕПАРАТОМ СТИМУЛЯТОРОМ РЕГЕНЕРАЦИИ

TREATMENT OF GUM RECESSION WITH A REGENERATION STIMULANT

**N. Lopatina
R. Khaibullina
K. Danilko
O. Shangina
L. Gerasimova
A. Golub**

Summary. The research work carried out reflects the results of effective treatment of gingival margin recession using regeneration stimulant drugs in combination with mesenchymal stem cells obtained from adipose tissue. The experimental stage indicated the possibility of complete restoration of the altered dentoalveolar papillae and periodontal tissues in the areas of recession, which was experimentally created. During the study, the absence of inflammatory signs in the main group was registered, which is a confirmation of the therapeutic effect of the regeneration stimulator in combination with the use of mesenchymal stem cells.

Keywords: dental papillae, regeneration, mesenchymal stem cells, gum recession.

Лопатина Наталья Викторовна

Аспирант, Башкирский государственный
медицинский университет МЗ РФ

Хайбуллина Расима Рашитовна

Д.м.н., доцент, Башкирский государственный
медицинский университет МЗ РФ
rasimadiana@mail.ru

Данилко Ксения Владимировна

К.б.н., доцент, с.н.с., Башкирский государственный
медицинский университет МЗ РФ

Шангина Ольга Ратмировна

Д.б.н., профессор, Башкирский государственный
медицинский университет МЗ РФ

Герасимова Лариса Павловна

Д.м.н., профессор, Башкирский государственный
медицинский университет МЗ РФ

Голубь Анна Аркадьевна

К.м.н., доцент, Башкирский государственный
медицинский университет МЗ РФ

Аннотация. Проведённая исследовательская работа отражает результаты эффективного лечения рецессии десневого края с использованием препаратов — стимуляторов регенерации в комплексе с мезенхимальными стволовыми клетками, полученными из жировой ткани. Экспериментальный этап обозначил возможность полного восстановления изменённых зубодесневых сосочков и тканей периодонта в участках рецессии, которая была экспериментально создана. В процессе исследования было зарегистрировано отсутствие воспалительных признаков в основной группе, что является подтверждением лечебного действия стимулятора регенерации в комплексе с использованием мезенхимальных стволовых клеток.

Ключевые слова: зубодесневые сосочки, регенерация, мезенхимальные стволовые клетки, рецессия десны.

Актуальность

Наиболее распространённой формой воспалительных заболеваний пародонта является рецессия десны, которая является одной из актуальных проблем в современной стоматологии. Рецессия десны представляет собой патологический процесс, в основе которого лежит прогрессирующая убыль десневого края в апикальном направлении. Научные исследования отечественных и зарубежных авторов указывают, что в настоящее время имеется тенденция к увеличению распространённости и интенсивности рецессии от 9,7% до 99,3% [1,4,11]. Каждый день возрастают требования в эстетической стоматологии, в которых должно обя-

зательно учитываться не только проведённое лечение, но и повышение качества жизни пациентов.

В терапии воспалительных заболеваний пародонта и рецессии десны, в частности, отмечается существенный прорыв в последние годы. В России ежедневно выполняются тысячи операций, которые направлены на стабилизацию воспаления и активацию репаративных функций. Отрицательным фактором является недостаточная квалификация врачей в данной области, что приводит к возникновению ложного мнения у стоматологов о неэффективности и бесполезности лечения, что способствует дальнейшему прогрессированию заболевания и удалению зубов в конечном итоге. При этом, ре-

комендации обычно сводятся к назначению физиотерапевтических процедур и массажу в области дёсен.

Среди этиологических факторов, способствующие рецессии, выделяют следующие: особенности анатомо-физиологического строения альвеолярной кости, аномалии расположения зубов, пародонтопатогенные микроорганизмы, зубные отложения, острые и хронические травмы десневого края, вредные привычки и ятрогенные патологии [5,6].

Рецессия десны способствует возникновению повышенной чувствительности со стороны дентина зубов, являясь при этом фактором, стимулирующим накопление зубных отложений, который, в свою очередь, способствует дальнейшей потере прикрепления десны [2,3]. Рецессия десны является одним из множества заболеваний, которое негативно влияет на эстетику лица и, как следствие, на психоэмоциональное состояние пациентов. Корни оголённых зубов видны при улыбке, вследствие чего у пациентов снижается самооценка, возникают трудности во взаимоотношениях с людьми и нарушается социальная адаптация в обществе.

В современной стоматологической практике существует множество различных методов лечения рецессии, включающих в себя терапевтические, хирургические, физиотерапевтические, ортодонтические и ортопедические методы. Однако, результаты клинических исследований показывают, что эффективность известных методов регенерации десны являются недолгосрочным методом восстановления тканей пародонта, вследствие чего происходит дальнейшая убыль десны [7,9]. Среди терапевтических методов лечения часто встречается устранение этиологических факторов, которые способствовали развитию рецессии. В этом случае, стоматологи применяют метод очищения патологически изменённой области, т.е. путём проведения профессиональной гигиены полости рта. Такая манипуляция способствует удалению зубного налёта с парадонтопатогенными микроорганизмами и зубного камня, результатом которой является затруднение прикрепления микроорганизмов к поверхности зубов и в дальнейшем их колонизации. Профессиональная гигиена способствует стабилизации патологического процесса, при этом репаративных процессов после проведённого лечения не наблюдается.

Среди новых методик лечения рецессии встречается плазмолифтинг. Данный способ подразумевает собой введение плазмы в патологически изменённые ткани, которая богата клетками — тромбоцитами, получаемых заранее из крови пациента. Плазмолифтинг отличается высокой эффективностью, но имеет свои недостатки. Успешность лечения отмечается только на ранних стади-

ях заболевания, тогда как в более тяжёлых клинических случаях данный метод является безуспешным.

Хирургический метод лечения рецессии пользуется большей популярностью. Среди распространённых хирургических вмешательств встречается трансплантация тканевого лоскута на место рецессии десны. Хирургический способ восстановления является более эффективным, чем терапевтический метод, при этом имеет свои сложности, к которым относятся: несовпадение цвета лоскута с тканями десны, длительный процесс восстановления, перемещение трансплантата возможно только при достаточном объеме мягких тканей.

Одним из наиболее частых факторов развития рецессии десневого края является хронический деструктивный периапикальный процесс, вызванный резорбцией и/или перфорацией корня. По статистике, перфорации являются следствием некачественно проведённого эндодонтического лечения или нерационального ортопедического протезирования штифтовыми культевыми вкладками. При этом, нередко перфорация характеризуется бессимптомным течением и именно рецессия десны проявляется как первый патологический симптом ятрогенного действия [8,11].

Стволовые клетки являются унипотентными, способными к образованию новых клеток исключительно в определённых тканях. Однако, современные научные исследования позволили использовать возможность стволовых клеток к направленной дифференцировке, при которой из них можно получить мышечные или нервные клетки, благодаря проведению генетического перепрограммирования [9]. Основным ограничением использования мезенхимальных стволовых клеток (далее МСК) выступает инвазивность проведённых процедур, т.е. взятие исходного материала из тканей [10].

Среди результатов научных исследований за последние годы широкое распространение получила возможность использование жировой ткани как альтернативную модель костному мозгу. Было доказано, что количество мезенхимальных стволовых клеток в жировой ткани больше, чем в костном мозге, однако срок хранения данного материала напрямую воздействует на количество стволовых клеток [11].

Использование стволовых клеток как способ лечения рецессии представляет собой перспективное направление современных научных исследований. Результаты эффективности лечения способствуют внедрению данного метода в клиническую практику врачей-стоматологов. Успешность лечения рецессии десневого края, несомненно, способствует повышению качества жизни пациентов [12,13,14]. В настоящее время, проводится

множество разноплановых исследований по этой теме, в которых задействованы специалисты по всему миру. При этом, на сегодняшний день нет точного определения механизма действия регенерации стволовых клеток и необходимого количества материала для восстановительного лечения [15, 16]. Исходя из этого, возникает необходимость для экспериментальных исследований, в основе которых лежит использование стволовых клеток в комплексе с препаратами — стимуляторами регенерации мягких тканей.

Цель исследования

Совершенствование современных методов лечения десны с применением мезенхимальных стволовых клеток в комплексе со стимулятором регенерации в экспериментальном этапе.

Материалы и методы исследования

Экспериментальный этап исследования был выполнен на кафедре терапевтической стоматологии с курсом ИДПО, в центральной научно-исследовательской лаборатории, лаборатории клеточных культур, иммуно-гистохимической лаборатории ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России. Период наблюдения: 2020 г.-2022 г. Было проведено оперативное вмешательство в области резцов нижней челюсти у крыс.

До начала проведения экспериментального этапа был проведён забор жировой ткани в объеме равном 1–2 мл у одной особи в стерильных условиях с целью получения стволовых клеток. Для эксперимента в качестве модели использовали самок белых крыс породы Vistar в количестве 50 особей. Все животные были разделены на 2 группы в зависимости от планируемого метода лечения — основную и группу сравнения. В контрольную группу животных входили 10 крыс, имеющих здоровые интактные дёсна. В этой группе для лечения проводилась обработка десны 0,05% раствором Хлоргексидина и аппликации Облепиховым маслом на область дёсен.

В первом этапе исследования была создана экспериментальная модель рецессии десны. Под эфирным наркозом у животных была проведена операция с целью создания на вестибулярной поверхности десны рецессии в области резцов нижней челюсти. Экспериментальная модель рецессии десны была создана с помощью механического иссечения пародонтальных тканей V-образной формы с помощью скальпеля.

Основная группа включала в себя 30 лабораторных животных с экспериментально созданной рецессией десневого края. На протяжении всего периода наблюдений на основной группе лабораторных животных про-

водились разработанные нами мероприятия лечебного характера. В целях исследования, были проведены инъекции аллогенных МСК в комплексе с препаратом стимулятора регенерации десны, после чего накладывали специальную пародонтальную повязку. Курс ежедневных процедур состоял из 7-и инъекций.

В 0,1 мл смеси одному лабораторному животному вводилось 100 тыс. мезенхимальных стволовых клеток, полученных из жировой ткани. В объеме 0,02 мл были проведены инъекции в слизистую часть десны, а также 0,01 — в участок зубодесневого сосочка. Точки для инъекции были определены на нижней челюсти.

На 14-е сутки от начала введения препаратов осуществлялось выведение животных из экспериментального этапа исследования (24-сутки от момента создания экспериментальной модели рецессии десневого края) и на 28-е сутки от начала инъекций, что соответствовало 38-м суткам от начала общего наблюдения. С истечением срока наблюдения производился вывод лабораторных животных из эксперимента.

В момент выведения лабораторных животных из экспериментального этапа был произведён забор костно-периодонтальных блоков челюстей крыс, который включал в себя зубы и мягкие ткани периодонта, необходимые для гистоморфологических исследований. Послеоперационное наблюдение составило 14 и 28 суток, так как они наиболее информативны для определения гистологических показателей восстановительного процесса в мягких тканях. В процессе всего исследования проходили наблюдения за состоянием тканей периодонта.

Результаты исследования

В результате проведённого исследования была установлена возможность регенерации зубодесневых сосочков и восстановление тканей периодонта в участках созданной экспериментальной модели в течение первых 28-суток. Помимо этого, было зарегистрировано полное отсутствие воспалительных признаков, к которым относятся гиперемия, отёк, кровоточивость дёсен. Это является прямым доказательством выраженного лечебного действия мезенхимальных стволовых клеток в комплексе с использованием препаратов — стимуляторов регенерации десны.

После создания экспериментальной модели рецессии десневого края к 10-м суткам отмечались клинические воспалительные признаки десны в основной и контрольной группе. В группе сравнения рецессия десны на нижней челюсти визуально была определена как $5,2 \pm 0,05$ мм. При этом отмечалась выраженная гипер-

мия в десневом сосочке, легкая отечность дёсен, а также кровоточивость после удаления некротизированных участков. В отдельных случаях были определены остатки пищи и наличие фибринозного налёта на десневом крае. В основной группе рецессия десны на нижней челюсти составила в среднем $3,4 \pm 0,04$ мм. Были определены признаки лёгкой отёчности и гиперемии десен и зубодесневых сосочков, при этом край десны стал более ровный и плотный по консистенции. В некоторых участках был выделен фибринозный налёт, который определялся в области зубодесневого сосочка, а также кровоточивость дёсен при зондировании. На 28-сутки в группе сравнения изменение общего состояния лабораторных животных не наблюдалось. На нижней челюсти в области рецессии десневого края и зубодесневых сосочков было отмечено наличие некротических участков и выраженного воспаления мягких тканей десны с заметным отёком и гиперемией, которые определялись рыхлой консистенцией и неровным изъеденным контуром.

Общее состояние лабораторных животных в основной группе было удовлетворительное, при этом отсутствовали признаки фибринозного налёта и кровоточивости дёсен. Было отмечено полное восстановление тканей зубодесневого сосочка. После проведения инъекций МСК в комплексе со стимулятором регенерации наблюдался одинаковый уровень десневого края в области правого и левого резца на нижней челюсти, при этом зубодесневой сосочек был полностью восстановлен. Клинически определялась десна бледно-розового цвета, плотная по консистенции, с ровными краями как на верхней, так и на нижней челюсти, при зондировании кровоточивости не наблюдалось. Помимо этого, было

отмечено валикообразное утолщение десны по краю в зоне проведённых инъекций. Экспериментальным этапом исследования показал возможность полного восстановления мягких тканей, в частности зубодесневых сосочков и десны, а также позволил выявить генерацию периодонтальных тканей в области экспериментальной модели рецессии в течение 28-суток.

Выраженное и эффективное лечебное действие мезенхимальных стволовых клеток в комплексе со стимулятором регенерации подтверждается отсутствием клинических признаков воспаления, включающих в себя гиперемию, отёк и кровоточивость дёсен.

Заключение

Изучение характера изменений клинической картины в тканях патологически изменённого периодонта с использованием МСК и препаратов — стимуляторов регенерации в лечении рецессии десневого края в экспериментальном этапе исследования позволило выявить положительную динамику в регенерации десны, что подтверждается снижением интенсивности воспаления и распространённости процесс, начиная с 14-х суток. Уже к 28-м суткам наблюдалось полное отсутствие воспалительных признаков у лабораторных животных после проведённых инъекций смеси препаратов.

Помимо этого, наблюдается заметное нарастание регенеративных процессов к 24-м суткам от начала создания экспериментальной модели рецессии десны. К 38-м суткам от начала наблюдения было установлено, что десневой край был полностью восстановлен, без признаков рецессии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеева, И.С. Восстановление костной ткани после удаления зубов при использовании тканеинженерной конструкции на основе мультипотентных стромальных клеток жировой ткани / И.С. Алексеева, А.А. Кулаков, А.В. Гольдштейн, А.В. Волков // *Стоматология*. — 2012. — № 4. — С. 32–35.
2. Баринов, С.М. Трёхмерная печать остеокондуктивных керамических матриц для тканевой инженерии / С.М. Баринов, И.В. Вахрушев, А.А. Егоров, В.С. Комлев, В.Н. Корунов, Л.И. Кротова, В.К. Попов, А.Ю. Федотов, К.Н. Ярыгин // *Материалы 1 — го Национального Конгресса по регенеративной медицине*. — М.: МЕДИ Экспо, 2013. — С. 24
3. Блатт, Н.Л. Выделение и анализ стволовых клеток из зачатков пульпы третьего моляра человека: автореф. дис. канд. биологических наук: 03.03.04 / Блатт Наталия Львовна. — Саранск, 2012. — 23 с.
4. Вахрушев, И.В. Мезенхимальные клетки пульпы молочного зуба: цитофенотип и первичная оценка возможности применения в тканевой инженерии костной ткани / И.В. Вахрушев // *Клеточные технологии в биологии и медицине*. — 2010. — № 1. — С. 55–60.
5. Вахрушев, И.В. Разработка тканеинженерных имплантов для регенерации костной ткани на основе полилактогликолидных скаффолдов нового поколения и мультипотентных мезенхимальных клеток пульпы молочного зуба (SHED — клеток) / И.В. Вахрушев, Е.Н. Антонов, А.В. Попова, Е.В. Константинова, П.А. Каралкин, И.В. Холоденко, А.Ю. Лупатов, В.К. Попов, В.Н. Багратшвилли, К.Н. Ярыгин // *Клеточные технологии в биологии и медицине*. — 2012. — № 1. — С. 29–33.
6. Велиханова, Л.К. Применение стволовых клеток пульпы зуба в заместительной клеточной терапии / Л.К. Велиханова, И.В. Фирсова // *Бюллетень медицинских интернет-конференций*. — 2013. — Т. 3. — № 2. — С. 346–348.
7. Карпюк, В.Б. К изучению свежевыделенных аутологичных стромальных клеток подкожной жировой клетчатки для регенерации биологических тканей / В.Б. Карпюк, М.Д. Перова, М.Г. Шубич // *Институт стоматологии*. — 2009. — № 3. — С. 74.

8. Космачева, С.М. Технология приготовления *in vitro* клеточного трансплантата для замещения костного дефекта у экспериментальных животных / С.М. Космачева, Н.Н. Данилкович, В.С. Деркачев, С.А. Алексеев, М.П. Потапнев // Республиканский научно — практический центр трансфузиологии и медицинских биотехнологий. — 2014. — С. 1–5.
9. Induction of Pluripotent Stem Cells from Adult Human Fibroblasts by Defined Factors / K. Takahashi [et al.] // Cell. — 2007. -№ 5. — P. 861–872.
10. Yu, J. Induced Pluripotent Stem Cell Lines Derived from Human Somatic Cells / J. Yu, M.A. Vodyanik, J.A. Thomson // Science. — 2007. — Vol. 318. — P. 1917–1920.

© Лопатина Наталья Викторовна, Хайбуллина Расима Рашитовна (rasimadiana@mail.ru),

Данилко Ксения Владимировна, Шангина Ольга Ратмировна,

Герасимова Лариса Павловна, Голубь Анна Аркадьевна.

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Башкирский государственный медицинский университет

HLA-СИСТЕМА И ЕЁ РОЛЬ В НЕВЫНАШИВАНИИ БЕРЕМЕННОСТИ

HLA-SYSTEM AND ITS ROLE IN MISSION OF PREGNANCY

**P. Maximova
Z. Rumyantseva
A. Sulima
S. Anikin**

Summary. An urgent problem of modern obstetrics is miscarriage, the frequency of miscarriage is 10–25% of all pregnancies. The relevance of the problem is due to the fact that it determines the level of perinatal mortality and morbidity. After exclusion of genetic (translocation — 2–10%, inversion — 5%, mosaicism — 21.7%), anatomical (intrauterine septum — 55%, bicornuate uterus — 10%, two uterus — 5%, unicornuate uterus — 20%, uterine myoma — 30–75%, intrauterine synechia — 13.2%, isthmico-cervical insufficiency in combination with genital infantilism — 40%), hormonal (inferior luteal phase, congenital adrenal hyperplasia) causes of miscarriage [1] remain cases of unclear etiology, about 80% of them are regarded as a consequence of the influence of immunological factors [2]. Due to impaired expression of immunological factors, reproductive losses are possible [2]. In this case, a special role is assigned to a group of genes located on the short arm of the 6th chromosome, encoding the production of human leukocyte antigens (HLA) in the body. The HLA system plays a huge role in the implementation of the immune response, ensuring the interaction of the body's immunocompetent cells, including during pregnancy. For normal pregnancy, the mother's body must maintain immunological tolerance to the fetus. The fetus, from the point of view of immunology, is an allograft, since the placenta and embryo consist of half of the genetic material of the father, which differs from the mother's organism [2]. Pregnancy is a unique phenomenon of transplantation immunology, which consists in the "peaceful coexistence" of the maternal organism and the semi-allogenic fetus. An important role in this process is played by the HLA system, which will be discussed in this article.

Keywords: HLA system, miscarriage, causes of miscarriage.

Максимова Полина Евгеньевна

Институт «Медицинская академия имени С.И. Георгиевского» (структурное подразделение ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского») rtaqsq@mail.ru

Румянцева Зоя Сергеевна

К.м.н., доцент, Институт «Медицинская академия имени С.И. Георгиевского» (структурное подразделение ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского») zoyarum@inbox.ru

Сулима Анна Николаевна

Д.м.н., профессор, Институт «Медицинская академия имени С.И. Георгиевского» (структурное подразделение ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского») annikin@mail.ru

Аникин Сергей Сергеевич

К.м.н., доцент, Институт «Медицинская академия имени С.И. Георгиевского» (структурное подразделение ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского») anikin@mail.ru

Аннотация. Актуальной проблемой современного акушерства является невынашивание беременности (НБ), частота НБ составляет 10–25% от всех беременностей. Актуальность проблемы обусловлена тем, что она определяет уровень перинатальной смертности и заболеваемости. После исключения генетических (транслокация — 2–10%, инверсия — 5%, мозаицизм — 21,7%), анатомических (внутриматочная перегородка — 55%, двурогая матка — 10%, две матки — 5%, однорогая матка — 20%, миома матки — 30–75%, внутриматочные синехии — 13,2%, истмиоцервикальная недостаточность в сочетании с генитальным инфантилизмом — 40%), гормональных (неполноценная лютеиновая фаза, врожденная гиперплазия коры надпочечников) причин НБ [1] остаются случаи неясной этиологии, около 80% из них расценивают как следствие влияния иммунологических факторов [2]. Вследствие нарушенной экспрессии иммунологических факторов возможны репродуктивные потери [2]. При этом особую роль отводят группе генов, располагающихся на коротком плече 6-й хромосомы, кодирующих выработку в организме человеческих лейкоцитарных антигенов (HLA). HLA-система играет огромную роль в реализации иммунного ответа, обеспечивая взаимодействие иммунокомпетентных клеток организма, в том числе и во время беременности. Организм матери для нормального вынашивания беременности должен сохранять иммунологическую толерантность к плоду. Плод, с точки зрения иммунологии, является аллотрансплантантом, так как плацента и эмбрион состоят наполовину из генетического материала отца, который отличается от материнского организма [2]. Беременность — уникальный феномен трансплантационной иммунологии, заключающийся в «мирном сосуществовании» материнского организма и семиаллогенного плода. Важную роль в данном процессе играет HLA-система, которая будет рассмотрена в данной статье.

Ключевые слова: HLA-система, невынашивание беременности, причины невынашивания.

НLA-комплекс организма включает 3 класса генов. HLA I класса включают так называемые «классические» гены (HLA-A, HLA-B, HLA-C) и менее полиморфные «неклассические» гены (HLA-E, HLA-F, HLA-G, HLA-H). HLA-G экспрессируют только клетки трофобласта, подавляют действие естественных киллеров (NK-клеток). Антигены HLA представляют собой гликопротеиды (комплекс белков и углеводов) [3]. Гены II класса (HLA-DP, HLA-DQ, HLA-DR) контролируют синтез молекул HLA класса II. Антигены класса I присутствуют на поверхности всех ядродержащих клеток, антигены класса II — на поверхности клеток, участвующих в иммунологических реакциях (В-лимфоцитов, активированных Т-лимфоцитов, моноцитов, макрофагов и дендритных клеток). Гены класса III кодируют молекулы врожденного иммунитета (ФНО, лимфотоксин, компоненты комплемента C2, C4). Гены системы HLA наследуются кодоминантно, то есть экспрессируются гены, полученные от обоих родителей.

Одним из механизмов, приводящему к невынашиванию беременности, является совпадение по трем и более общими антигенами HLA II класса. Если у родителей высокая степень совместимости по HLA-системе, то выработка защитных антител для плода от материнской иммунной системы снижается. В результате наступает отторжение эмбриона и выкидыш [4].

HLA-G является антигеном гистосовместимости I класса, но в отличие от классического главного комплекса гистосовместимости I класса (MHC-I), HLA-G демонстрирует ограниченный полиморфизм. Роль HLA-G особенно велика во время беременности. Главные отличия HLA-G от «классических» генов I класса — это ограниченное распространение в тканях, низкий уровень полиморфизма, а также способность оказывать супрессивное действие на иммунокомпетентные клетки [3]. HLA-G экспрессируется тканеспецифично клетками цитотрофобласта, клетками плаценты и амниона [3].

Развитие плода в матке требует питательных веществ и кислорода, поступающих с материнской кровью. Ремоделирование спиральных артерий необходимо для ускорения и стабилизации плацентарного кровотока во время беременности. После овуляции стромальные фибробласты эндометрия матки дифференцируются в децидуальные клетки. Кроме того, образуются маточные спиральные артерии. На ранних сроках беременности стероидные гормоны, прогестерон и β -эстрадиол действуют на эндотелиальные клетки сосудов матери и повышают проницаемость сосудов, способствуя ангиогенезу [5]. Иммунные клетки, особенно естественные клетки-киллеры (NK), рекрутируются через материнские сосуды. Вневорсинчатые трофобласты эмбриона проникают в децидуальную оболочку и замещают эндотелиаль-

ные клетки [6]. Эти изменения в основном индуцируются ангиогенными факторами роста, которые, как было установлено, продуцируются децидуальными NK-клетками и макрофагами [7]. Чрезмерное или неадекватное привлечение NK-клеток периферической крови в матку может привести к цитотоксической среде внутриутробно, в которой затруднена пролиферация и дифференцировка трофобласта. Кроме того, неадекватный ангиогенез маточными NK-клетками часто приводит к аномальному развитию сосудов и паттернам кровотока, что, в свою очередь, приводит к усилению окислительного стресса или ишемическим изменениям в инвазивном трофобласте [4].

NK-клетки составляют менее 20% периферических лимфоцитов человека, но составляют около 70% лимфоцитов в децидуальной оболочке первого триместра [8] и, следовательно, являются наиболее распространенными лимфоцитами на ранних стадиях взаимодействия матери и плода. NK-клетки распознают белки главного комплекса гистосовместимости на клетках-мишенях, экспрессируя рецепторы, такие как иммуноглобулинподобные рецепторы клеток-киллеров (KIR). А затем NK-клетки решают, убивать ли клетки-мишени по сигналам от ингибирующих или активирующих рецепторов. KIR2DL4 (также называемый CD158d), член семейства KIR, имеет структуру, локализацию и функцию, которые отличаются от других KIR [9]. KIR2DL4 экспрессируется NK-клетками и активирует продукцию IFN- γ . Лигандом KIR2DL4 является HLA-G. Рецептор KIR2DL4 и его лиганд HLA-G считаются важными в иммунной толерантности плода и матери и в протекании успешной беременности. Было показано, что растворимый HLA-G активирует секрецию проангиогенных/провоспалительных цитокинов и хемокинов (т.е. IL-6, IL-1 β , IL-8, IL-23, MIP-1 α и MIP-3 α) NK-клетками. Раджагопалан и др. [10] позже описал молекулярный механизм, участвующий в этом процессе. Было обнаружено, что в NK-клетках KIR2DL4 взаимодействует с сигнальной киназой повреждения ДНК DNA-PKcs и запускает фосфорилирование Akt в положении Ser473 после стимуляции растворимым HLA-G. Фосфорилированный Akt активирует путь NF- κ B и, следовательно, приводит к продукции провоспалительных и проангиогенных цитокинов [10]. Супернатанты периферических NK-клеток, стимулированных антителом-агонистом KIR2DL4, могут повышать проницаемость сосудов эндотелиальных клеток пупочной вены человека (HUVEC). Таким образом, HLA-G может способствовать ремоделированию спиральных артерий.

Принимая во внимание эти данные, касающиеся HLA-G, неудивительно также обнаружить взаимосвязь между HLA-G и осложнениями, связанными с беременностью. В частности, было обнаружено, что полиморфизм гена HLA-G и сниженный уровень sHLA-G связаны

с неудачной имплантацией эмбриона [11], повторным самопроизвольным абортom [12], отслойкой плаценты [13] и преэклампсией [14].

В матке плод экспрессирует отцовские антигены гистосовместимости, которые являются чужеродными антигенами для матери, однако материнская иммунная система не отторгает и не атакует плод. Это явление связано со специфической микросредой иммунологической толерантности на границе между матерью и плодом. В первом триместре иммунные клетки составляют до 40% децидуальной оболочки. NK-клетки, макрофаги и Т-клетки составляют, соответственно, около 70%, 15–20% и 5–15% децидуальных лейкоцитов [15]. Вневорсинчатый трофобласт проникает в децидуальную оболочку и вступает в непосредственный контакт с материнскими лейкоцитами. Трофобласт экспрессирует классические молекулы МНС I HLA-C и неклассические молекулы МНС I HLA-G и HLA-E, которые взаимодействуют с лейкоцитами, экспрессирующими рецепторы (такие как KIR), чтобы обеспечить условия для поддержания иммунной толерантности [16]. В 1999 г. Ле Галь и соавт. [17] обнаружили, что HLA-G специфически ингибирует цитолитическую функцию Т-клеток. HLA-G оказывает супрессивное действие на NK-клетки, CD4+ и CD8+ Т-клетки, В-лимфоциты и антигенпрезентирующие клетки, такие как макрофаги и дендритные клетки. Это взаимодействие важно для иммунного баланса матери и плода, необходимого для оптимальной инвазии трофобласта во время имплантации и плацентации. Кроме того, было обнаружено, что гранулоцитарные супрессорные клетки миелоидного происхождения (GR-MDSC) накапливаются в доношенной плаценте [18]. GR-MDSC в периферической крови беременной женщины экспрессируют ILT2 и ILT4. Рас-

творимый HLA-G может усиливать супрессивную активность плацентарных GR-MDSC в отношении пролиферации Т-клеток [19]. Таким образом, GR-MDSC также способствуют формированию иммунной толерантности в плаценте.

Согласно исследованиям последних лет, помимо содействия ремоделированию спиральных артерий и иммунной толерантности, HLA-G способствует росту плода, стимулируя секрецию факторов роста в NK-клетках [19]. Фу и соавторы обнаружили, что децидуальные NK-клетки в первом триместре экспрессируют большое количество факторов роста, таких как плейотрофин, остеоглицин и остеоопонтин на уровне мРНК и белка [19]. Более того, метаанализ показал, что sHLA-G в супернатантах культур эмбрионов умеренно полезен для прогнозирования способности достичь беременности у женщин, проходящих лечение от бесплодия [20].

Вывод

Понимание узкими специалистами патофизиологических процессов иммунологического фактора, приводящего к невынашиванию беременности, играет в важную роль в диагностике и лечении данной проблемы. Гены HLA оказывают протективное действие на всех стадиях имплантации, опосредованно влияя на различные звенья иммунной системы, ответственной за взаимоотношения системы мать-плод — двух генетически различных организмов. Определение генотипа супругов по генам HLA-системы, определение экспрессии биологических маркеров, участвующих в развитии иммунной толерантности между матерью и плодом, может привести к успехам в лечении репродуктивных потерь.

ЛИТЕРАТУРА

- Имангулова, А.В. Причины привычного невынашивания беременности / А.В. Имангулова, В.И. Журавлева // Два сердца как одно, Пермь, 26 ноября 2015 года / Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера. — Пермь: Книжный формат, 2015. — С. 46–53. — EDN VKLJAN.
- Айрапетов Д.Ю., Ордянец И.М. Иммуногенетические причины ранних репродуктивных потерь // Вестник МГУ. 2013. № 1–2.
- Баклейчева, М.О. Роль экспрессии HLA I класса (G, E и C) в ранних репродуктивных потерях / М.О. Баклейчева, О.Н. Беспалова, Т.Э. Иващенко // Акушерство и гинекология. — 2020. — № 2. — С. 30–36. — DOI 10.18565/aig.2020.2.30–36.
- Kwak-Kim J, Bao S, Lee SK, Kim JW, Gilman-Sachs A. Immunological modes of pregnancy loss: inflammation, immune effectors, and stress. *Am J Reprod Immunol.* 2014 Aug;72(2):129–40. doi: 10.1111/aji.12234. Epub 2014 Mar 24. PMID: 24661472.
- Das A, Mantena SR, Kannan A, Evans DB, Bagchi MK, Bagchi IC. De novo synthesis of estrogen in pregnant uterus is critical for stromal decidualization and angiogenesis. *P Natl Acad Sci U S A* (2009) 106(30):12542–7. 10.1073/pnas.0901647106
- Gregori S, Amodio G, Quattrone F, Panina-Bordignon P. HLA-G Orchestrates the Early Interaction of Human Trophoblasts with the Maternal Niche. *Front Immunol* (2015) 6:128. 10.3389/fimmu.2015.00128
- Brosens I, Puttemans P, Benagiano G. Placental bed research: I. The placental bed: from spiral arteries remodeling to the great obstetrical syndromes. *Am J Obstet Gynecol* (2019) 221(5):437–56. 10.1016/j.ajog.2019.05.044
- Jabrane-Ferrat N, Siewiera J. The up side of decidual natural killer cells: new developments in immunology of pregnancy. *Immunology* (2014) 141(4):490–7. 10.1111/imm.12218
- Rajagopalan S, Long EO. A human histocompatibility leukocyte antigen (HLA)-G-specific receptor expressed on all natural killer cells. *J Exp Med* (1999) 189(7):1093–9. 10.1084/jem.189.7.1093

10. Rajagopalan S, Moyle MW, Joosten I, Long EO. DNA-PKcs controls an endosomal signaling pathway for a proinflammatory response by natural killer cells. *Sci Signal* (2010) 3(110):ra14. 10.1126/scisignal.2000467
11. Kotze D, Kruger TF, Lombard C, Padayachee T, Keskinetepe L, Sher G. The effect of the biochemical marker soluble human leukocyte antigen G on pregnancy outcome in assisted reproductive technology—a multicenter study. *Fertil Steril* (2013) 100(5):1303–9. 10.1016/j.fertnstert.2013.07.1977
12. Zidi I, Rizzo R, Bouaziz A, Laaribi AB, Zidi N, Di Luca D, et al. sHLA-G1 and HLA-G5 levels are decreased in Tunisian women with multiple abortion. *Hum Immunol* (2016) 77(4):342–5. 10.1016/j.humimm.2016.01.019
13. Steinborn A, Rebmann V, Scharf A, Sohn C, Grosse-Wilde H. Placental abruption is associated with decreased maternal plasma levels of soluble HLA-G. *J Clin Immunol* (2003) 23(4):307–14. 10.1023/A:1024592901663
14. Steinborn A, Varkonyi T, Scharf A, Bahlmann F, Klee A, Sohn C. Early detection of decreased soluble HLA-G levels in the maternal circulation predicts the occurrence of preeclampsia and intrauterine growth retardation during further course of pregnancy. *Am J Reprod Immunol* (2007) 57(4):277–86. 10.1111/j.1600–0897.2007.00475.x
15. Ferreira LMR, Meissner TB, Tilburgs T, Strominger JL. HLA-G: At the Interface of Maternal-Fetal Tolerance. *Trends Immunol* (2017) 38(4):272–86. 10.1016/j.it.2017.01.009
16. Erlebacher A. Immunology of the Maternal-Fetal Interface. *Annu Rev Immunol* (2013) 31:387–411. 10.1146/annurev-immunol-032712–100003
17. Le Gal FA, Riteau B, Sedlik C, Khalil-Daher I, Menier C, Dausset J, et al. HLA-G-mediated inhibition of antigen-specific cytotoxic T lymphocytes. *Int Immunol* (1999) 11(8):1351–6. 10.1093/intimm/11.8.1351
18. Kostlin N, Hofstadter K, Ostermeier AL, Spring B, Leiber A, Haen S, et al. Granulocytic Myeloid-Derived Suppressor Cells Accumulate in Human Placenta and Polarize toward a Th2 Phenotype. *J Immunol* (2016) 196(3):1132–45. 10.4049/jimmunol.1500340
19. Fu B, Zhou Y, Ni X, Tong X, Xu X, Dong Z, et al. Natural Killer Cells Promote Fetal Development through the Secretion of Growth-Promoting Factors. *Immunity* (2017) 47(6):1100–13 e6. 10.1016/j.immuni.2017.11.018
20. Xu X, Zhou Y, Wei H. Roles of HLA-G in the Maternal-Fetal Immune Microenvironment. *Front Immunol*. 2020 Oct 22;11:592010. doi: 10.3389/fimmu.2020.592010. PMID: 33193435; PMCID: PMC7642459.

© Максимова Полина Евгеньевна (pmaksq@mail.ru), Румянцева Зоя Сергеевна (zojarum@inbox.ru),

Сулима Анна Николаевна, Аникин Сергей Сергеевич.

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Крымский Федеральный Университет им. В.И. Вернадского

ВЗАИМОСВЯЗЬ ВОСПАЛИТЕЛЬНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ ПАРОДОНТА И СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

RELATIONSHIP BETWEEN INFLAMMATORY PERIODONTAL DISEASE AND THE CARDIOVASCULAR SYSTEM (LITERATURE REVIEW)

**S. Minkailova
I. Shamov
P. Bagataeva**

Summary. The article analyzes the literature sources, which convincingly confirms the importance of cardiovascular diseases (CVD) as risk factors for the development and progression of chronic periodontal diseases, describes a similar effect on the periodontal state of the second most common CVD — arterial hypertension (AH). Among the risk factors for the development of periodontal diseases, older age, smoking, the presence of hypertension and a history of acute ischemic diseases were identified.

Keywords: periodontal disease, pathogenesis, cytokines, risk factors, focus of infection, vascular disease.

Минкаилова Санера Расуловна

Доцент, ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный медицинский университет» МЗ РФ
minkailova76@mail.ru

Шамов Ильяс Магоедович

Доцент, ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный медицинский университет» МЗ РФ
shamov.ilyas@mail.ru

Багатаева Патимат Расуловна

К.м.н., ассистент, ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный медицинский университет» МЗ РФ
Bagataeva@mail.ru

Аннотация. В статье проведен анализ литературных источников, который убедительно подтверждает значение сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) как факторов риска развития и прогрессирования хронических заболеваний пародонта, описано аналогичное влияние на состояние пародонта второго по частоте ССЗ — артериальная гипертония (АГ). Среди факторов риска развития заболеваний пародонта выявлены пожилой возраст, курение, наличие АГ и перенесённых острых ишемических заболеваний в анамнезе.

Ключевые слова: пародонт, патогенез, цитокины, факторы риска, очаг инфекции, сосудистые заболевания.

Исследования последних двух десятилетий показали существенные клинические и патогенетические взаимосвязи болезней пародонта и внутренних органов. Один из наиболее важных — вопрос о связях заболеваний пародонта с ССЗ.

Эта проблема всегда привлекала внимание исследователей в связи с широким распространением сосудистой теории патогенеза поражений пародонта, которая, естественно, предполагает связь таких поражений с состоянием системной циркуляции [1; 2]. Кроме того, наличие взаимосвязей между состоянием здоровья полости рта и развитием сердечно-сосудистой патологии подтверждено результатами эпидемиологических исследований. [3]. Согласно результатам исследования Valtonen V.V. (1999), этиологическая модель влияния очагов одонтогенной инфекции на развитие патологии ССС выглядит следующим образом: бактерии, локализующиеся

в зубном налете, кариозных зубах, пародонтальных карманах, выделяют эндо- и экзотоксины, которые инициируют превращение макрофагов в пенистые клетки [4]. Кроме этого, пародонтопатогенные возбудители способны инфицировать эндотелиальные клетки коронарных артерий, способствуя агрегации тромбоцитов. Большая роль отводится цитокинам, выделяющимся при воспалительной реакции. Воспаление является специфической, но однотипной реакцией эндотелия на повреждение, провоцируемое столь разными повреждающими воздействиями — факторами риска [5;6]. Давно известны такие «классические» факторы риска, являющиеся общими для ИБС и ХГП, как стресс и курение. Век и соавт. (1996) обнаружили, что при увеличении глубины пародонтальных карманов возрастает риск заболеваний коронарных сосудов, вне зависимости от прочих факторов. В основе взаимосвязи между сосудистыми заболеваниями и ХГП, по мнению исследователя, лежит гиперактивный фено-

тип макрофагов, вызывающий избыточное высвобождение противовоспалительных цитокинов и медиаторов воспаления (IL-1-β, TNF-α, PGE2) при контакте с липополисахаридами грамотрицательных бактерий [7]. Повышенное выделение медиаторов воспаления приводит к атеросклеротическим изменениям [8]. Сделав в итоге вывод, что любая инфекция — это фактор риска для атеросклероза, нельзя исключать влияние пародонтопатогенов, как повреждающего фактора. Данный подход на патогенез ИБС выглядит, как «ответ на повреждение» и воспалительную теорию атерогенеза. При этом найдены и значительные изменения гемомикроциркуляции в тканях пародонта у этих больных [9; 10]. Также проведенные исследования подтвердили, что к потенциальным «виновникам» ИБС в настоящее время относятся: *Porphyromonas gingivalis*, *Aggregatibacter actinomycetem comitans*, *Bacteroides forsythus* [11].

Данные пародонтопатогены обнаружены в атероматозной бляшке методом полимеразной цепной реакции. Предполагается, что эти бактерии могут влиять на течение ИБС либо напрямую, колонизируя сосудистый эндотелий, либо косвенно, продуцируя метаболиты, которые повышают провоспалительную и протромботическую активность в сосудистой стенке коронарных сосудов. В частности, *Porphyromonas gingivalis* может стимулировать агрегацию тромбоцитов. По данным A. Spahr (2006), в развитии ИБС большое значение могут иметь общая бактериальная обсемененность периодонта и, в особенности, наличие *Actinobacillus actinomycetem comitans*. Данная ситуация провоцирует эндотелиальную дисфункцию, которая считается предиктором высокого риска ИБС [29; 35; 201]. Важным аргументом, влияющим на тяжесть течения ХГП является наличие соматической патологии, в частности, наличие у больного в анамнезе атеросклероза и ИБС [12]. Изучение влияния различных системных факторов на механизм локальной морфофункциональной тканевой реакции является актуальной проблемой пародонтологии [13]. Согласно работам Акиншиной А.О. взаимосвязь между общесоматическими заболеваниями и состоянием органов полости рта связана с нарушениями метаболизма, гемодинамики, иммунологическими и нейрорегуляторными нарушениями и сдвигами микробиоценоза [14; 15].

Так, нарушение микроциркуляции может стать основным звеном, нарушающим метаболический гомеостаз в тканях пародонта [7]. Прямое воздействие на состояние пародонта у пациентов оказывают сахарный диабет [2]. Кроме того, степень тяжести заболеваний пародонта коррелирует со злоупотреблением алкоголем, табакокурением, состоянием нервной и гормональной систем [16], загрязнением окружающей среды и характером труда человека [5].

Gutzeit (1937) [6] доказал, что у лиц пожилого возраста, страдающих ИБС и атеросклерозом, наличие очаговой одонтогенной инфекции приводит к сенсбилизации организма, вызывает явления эндотелиоза, повышает проницаемость сосудов сердца и провоцирует длительные ангиоспастические реакции. Perlick (1965) выявил, что очаговая одонтогенная инфекция способствует возникновению коронаротромбозов [16]. Нарушение гомеостаза эндотелия в ответ на инфекцию по отношению к прокоагулянтам может приводить к увеличению локального тромбообразования и коронарной болезни сердца [17]. В работе Габбасова З.А.(2009), изучено влияние клеток крови на стенозирующие поражения сосудов. Автор отмечает, что у пациентов с ИБС происходит повышение агрегационной активности тромбоцитов в ответ на воздействие низких доз целого ряда физиологических индукторов. Таким образом, тромбоциты, взаимодействуя с клетками-предшественниками, участвуют в развитии стенозирующих процессов в сосудистой стенке [7]. Еще в нескольких исследованиях была показана связь патологии пародонта с атеросклерозом и ССЗ [11]. В частности, выявлена связь между титрами антител к бактериям пародонта и выраженностью атеросклероза [14]. В проспективном исследовании с 3-х летним периодом наблюдения были получены данные, свидетельствующие об уменьшении скорости утолщения коэффициента интимы-медиа сонных артерий на фоне улучшения клинического и бактериального состояния пародонта [18]. Вместе с тем неясно, насколько скорость увеличение коэффициента интимы-медиа сонных артерий определяет развитие клинических симптомов ССЗ [17]. Было установлено, что у больных атеросклерозом, в том числе включая атеросклеротические поражения аорты, коронарных и мозговых артерий, имеется увеличение частоты и интенсивности поражений пародонта с преобладанием воспалительных и пиорейных форм [8]. В настоящее время получены убедительные данные о более высокой частоте поражения тканей пародонта у больных ССЗ, в частности, ИБС, по сравнению с пациентами без кардиоваскулярной патологии [18; 12]. Увеличение частоты заболеваний пародонта, особенно тяжелых форм пародонтита и атрофических поражений пародонта при атеросклерозе отмечалось и другими авторами [19].

Отдельные авторы (отмечают, что изменение динамики заболеваний пародонта с возрастом прежде всего связаны с нарастанием атеросклеротического поражения сосудистой системы в старших возрастных группах. Другими авторами [15] описано аналогичное влияние на состояние пародонта второго по частоте ССЗ — АГ. По сведениям этих авторов, у больных, длительно страдающих АГ, доказано увеличение интенсивности поражения пародонта, верифицируемое расчетами различ-

ных пародонтальных индексов. Вместе с тем, вопрос о влиянии атеросклероза на заболевания пародонта не может считаться решенным. Так, некоторые авторы [19] отрицают его влияние на развитие заболеваний пародонта. Канакян А.П. и соавт. состояние пародонта исследовалось в группе больных атеросклерозом (1 группа) и атеросклерозом в сочетании с АГ (2 группа). В обследованную выборку вошли 64 человека в возрасте 45–75 лет с атеросклеротическим поражением аорты, периферических, коронарных и церебральных артерий. Вторая группа обследованных включала 75 больных атеросклерозом того же возраста в сочетании с АГ. Полученные результаты показали, что в обеих подгруппах достоверно увеличивается частота пародонтитов и пародонтозов. Между выборками больных сравниваемых групп не было статистически достоверных различий в распространенности заболеваний пародонта, хотя при наличии АГ имела тенденция к увеличению числа больных пародонтозом. Анализ поражений пародонта по комплексному периодонтальному индексу (КПИ) показал, что если в контрольной выборке стандартизованный по возрасту индекс КПИ был равен 3,2, то в группе больных атеросклерозом он равнялся 3,7, а у больных атеросклерозом в сочетании с АГ — 3,9 [16].

У больных ССЗ достоверно уменьшается относительное число сектантов зубных дуг со здоровыми зубами и увеличивается число таковых с тяжелыми поражения-

ми пародонта, включая наличие глубоких десневых карманов. Результаты проведенных исследований в этом направлении показали, что у больных атеросклерозом индекс нуждаемости в лечении заболеваний пародонта СРІТМ был равен 10% (лиц с интактным пародонтом), 14% (с кровоточивостью десен), 50% (с наличием зубного камня), 17% (с наличием патологических зубодесневых карманов глубиной 4–5 мм) и 9% (с наличием соответствующих карманов глубиной 6 мм и более). Вместе с тем у больных атеросклерозом в сочетании с АГ цифровые значения данного показателя составляли соответственно 7%, 19, 48, 14 и 12% против значения исследуемого индекса у лиц без сердечно-сосудистой патологии (соответственно 17%, 19, 51, 9 и 3%) [16]. По данным Блашкова С.Л. и соавт., распространенность ХГП у пациентов с ИБС, находящихся на этапе подготовки к аортокоронарному шунтированию, составила 73,6%. В структуре заболеваемости основное место занимал ХГП легкой (51,9%) и средней (48,1%) степени тяжести. Среди факторов риска развития заболеваний пародонта у пациентов были выявлены пожилой возраст, курение, наличие АГ и перенесенных острых ишемических заболеваний в анамнезе [19; 20].

Таким образом, анализ литературных источников убедительно подтверждает значение ССЗ как факторов риска развития и прогрессирования хронических заболеваний пародонта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баласанянц, Г.С. Эпидемиология и профилактика сердечно-сосудистых Банченко, Г.В. Заболевания слизистой оболочки полости рта / Г.В. Банченко, А.И. Рыбаков. — М.: Медицина, 1978. С. 230–232.
2. Акиншина, А.О. Профилактика системных инфекционных осложнений при стоматологическом лечении больных с заболеваниями сердечно-сосудистой системы: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.00.21 / Акиншина Александра Олеговна. — М., 2009. С. 22–23.
3. Банченко, Г.В. Сочетанные поражения слизистой оболочки полости рта и внутренних органов / Г.В. Банченко. — М.: Медицина, 1979. С. 187–190.
4. Барер, Г.М. Болезни пародонта: клиника, диагностика и лечение. Учебное пособие / Г.М. Барер, Т.И. Лемецкая. — М.: ВУМНЦ, 1996. С. 10–11.
5. Безрукова, И.В. Быстро прогрессирующий пародонтит / И.В. Безрукова. — М.: Медицинская книга, 2004. с. 23–35.
6. Бажанов, Н.Н. Использование иммунологических показателей для оценки тяжести лечения пародонтита и эффективности лечения / Н.Н. Бажанов, Г.П. Тер-Асатуров, В.Ю. Кассин // Стоматология. — 1996. — № 1. — С. 15–18.
7. Безрукова, И.В. Микрофлора пародонтальных карманов у пациентов с быстро прогрессирующим пародонтитом / И.В. Безрукова // Пародонтология. — 2004. — № 4. — С. 24–26.
8. Беловол А.Н., Князькова И.И. Терапевтический потенциал мельдония при остром коронарном синдроме // ЛікиУкраїни. 2012. № 1. С. 48–53.
9. Блашкова С.Л. и соавт. Распространенность и структура заболеваний пародонта у пациентов с ишемической болезнью сердца на этапе подготовки к аортокоронарному шунтированию / С.Л. Блашкова, А.С. Галявич, Е.М. Василевская // Казанский медицинский журнал, 2015. Выпуск 2, С. 170–174.
10. Габбасов, З.А. Клеточные аспекты стенозирования артерий и рестеноза стентов (передовая) / З.А. Габбасов, С.Г. Козлов // Клиническая Геронтология. — 2009. — т.153. — С. 3–9.
11. Гублер Е.В. Применение непараметрических критериев статистики в медико-биологических исследованиях / Е.В. Гублер, А.А. Генкин // Л., Медицина, 1973, — с. 19–21.
12. Жижина, Н.А. Инициальная роль функциональных изменений сосудов пародонта в патогенезе пародонта / Н.А. Жижина, А.А. Прохончуков // Стоматология. — 1981. — № 4. — С. 81–86.
13. Зимин, Ю.В. Липидснижающая терапия при ИБС / Ю.В. Зимин // Кардиология. — 2003. — № 4. — С. 74–82.
14. Иванов В.С. Заболевания пародонта / В.С. Иванов. — М: 2001. — 299.—С.4.
15. Калув А.В. К проблеме окислительных процессов в ишемическом мозге / А.В. Калув // Биохимия, Т. 61, № 5, 1996, — с. 939–941.

16. Окуневич И.В., Рыженков В.Е. Антиатеросклеротическое действие Милдроната в эксперименте. Патологическая физиология и экспериментальная терапия 2002, № 2: 24–27.
17. Рудык, Ю.С. Инфекция как фактор развития ишемической болезни сердца / Ю.С. Рудык // Врачебная практика. — 2001. — № 4. — С. 35–42.
18. Стаценко М.Е., Евтерева Е.Д., Туркина С.В. и др. Возможность применения миокардиального цитопротектора в комбинированной терапии больных с хронической сердечной недостаточностью и метаболическим синдромом // Consilium medicum. 2010. Т. 12. № 10. С. 76–81.
19. Курякина, Н.В. Заболевания пародонта / Н.В. Курякина, Т.Ф. Кутепова. — М.: Медицинская книга, 2000. — С.45–46.
20. Кабатов Ю.Ф. Вероятностно-статистические методы в медицинских исследованиях и надежность медицинской аппаратуры / Ю.Ф. Кабатов, М.Б. Славин // М., Медицина, 1976, — 296 с.
21. Калувев А.В. К проблеме окислительных процессов в ишемическом мозге / А.В. Калувев // Биохимия, Т. 61, № 5, 1996, — с. 939–941.

© Минкаилова Санера Расуловна (minkailova76@mail.ru),

Шамов Ильяс Магоедович (shatov.ilyas@mail.ru), Багатаева Патимат Расуловна (Bagatayeva@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Дагестанский государственный медицинский университет

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДИАГНОСТИКИ ПОСЛЕОПЕРАЦИОННОГО ПАНКРЕАТИТА И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПРОФИЛАКТИКИ ЕГО РАЗВИТИЯ

TOPICAL ISSUES OF DIAGNOSIS OF POSTOPERATIVE PANCREATITIS AND THE MAIN DIRECTIONS OF PREVENTION OF ITS DEVELOPMENT

**S. Pliev
C. Hutiev
U. Beslekoev**

Summary. Acute postoperative pancreatitis (API) is a significant problem in abdominal surgery due to the aggravation of the postoperative period and the development of life-threatening complications. A number of surgical interventions, both directly on the pancreas itself and on anatomically adjacent organs, contribute to the development of API.

In this regard, the tactics of managing patients of this profile should include a set of clinical, laboratory and instrumental methods that allow diagnosing the development of this complication in the early stages of the postoperative period. In addition, it is considered expedient to carry out combined schemes of preventive measures, both at the stage of performing an operational benefit and in the preoperative period (introduction of synthetic analogues of somatostatin, antioxidant, antibacterial drugs, etc.).

Keywords: acute postoperative pancreatitis, somatostatin, octreotide, amylase, lipase.

Плиев Сослан Аланович

Аспирант, ФГБОУ ВО «Северо-Осетинская государственная медицинская академия» МЗ РФ
plionbg@yandex.ru

Хутиев Цара Сардионович

Д.м.н., профессор, ФГБОУ ВО «Северо-Осетинская государственная медицинская академия» МЗ РФ
tsarokh@mail.ru

Беслекоев Урузмаг Соломонович

Д.м.н., ФГБОУ ВО «Северо-Осетинская государственная медицинская академия» МЗ РФ

Аннотация. Острый послеоперационный панкреатит (ОПП) является значимой проблемой в абдоминальной хирургии вследствие утяжеления течения послеоперационного периода и развития жизнеугрожающих осложнений. Ряд оперативных вмешательств как непосредственно на самой поджелудочной железе, так и на анатомически смежных органах, способствует развитию ОПП.

В связи с этим тактика ведения пациентов данного профиля должна включать комплекс клинико-лабораторных и инструментальных методов, позволяющих диагностировать развитие данного осложнения на ранних этапах послеоперационного периода. Кроме того, целесообразным признано проведение комбинированных схем профилактических мероприятий, как на этапе выполнения оперативного пособия, так и в предоперационном периоде (введение синтетических аналогов соматостатина, антиоксидантных, антибактериальных препаратов и т.д.).

Ключевые слова: острый послеоперационный панкреатит, соматостатин, октреотид, амилаза, липаза.

Введение

Острый послеоперационный панкреатит (ОПП) — опасное и часто встречающееся осложнение оперативных вмешательств на органах брюшной полости и забрюшинного пространства. Летальность в ряде случаев может достигать 80%, что определяется клинической ситуацией и объективным статусом пациента. Стопроцентная летальность наблюдается в случае деструктивных форм ОПП.

В большинстве случаев причиной ОПП являются хирургические вмешательства на самой поджелудочной железе составляя, по данным разных авторов, от 1,9 до 100%. Кроме этого, к развитию ОПП могут приводить осложнения, развивающиеся после вмешательств на анатомически близкорасположенных областях (пищевод, желудке, двенадцатиперстной кишке) [2].

Сложность диагностики ОПП обусловлена предшествующим развитием данного патологического состоя-

ния оперативным вмешательством, которое обуславливает исходно тяжелое клиническое состояние пациента. В ряде случаев симптоматика заболевания сглаживается введением лекарственных препаратов в послеоперационном периоде. Наконец, не всегда клиницисты принимают утяжеление клинической картины заболевания за развитие ОПП. Чаще ими это состояние расценивается как парез кишечника и анастомозит.

В связи с этим вопросы своевременной диагностики данного патологического состояния и проведения профилактических мероприятий являются актуальными в оперативной хирургии.

Цель работы

Анализ литературных данных по вопросам диагностики ОПП и основных направлений профилактики его развития.

Диагностический алгоритм ОПП включает ряд клинико-лабораторных и инструментальных методов. Среди основных клинических проявлений: тошнота, рвота и выраженные болевые ощущения.

Характерными объективными признаками ОПП являются следующие: выраженные болевые ощущения в эпигастральной области, чувство тошноты, рвота.

В клинической практике наибольшее внимание уделяется определению амилазы в крови и моче, чувствительность и специфичность которого составляет 92% и 60% соответственно. При этом анализ литературных данных свидетельствует о том, что среди исследователей и клиницистов нет единства в отношении определения значений, соответствующих диагнозу ОПП. По мнению других авторов, весьма перспективным может быть определение уровня альфа-амилазы в слезе [Error: Reference source not found].

Активность липазы также является одним из показателей острого панкреатита, но при этом развитие гиперлипаземии может быть при других патологиях (острая кишечная непроходимость, патология гепатобилиарной системы, почечная недостаточность).

Еще одними возможными критериями ОПП могут быть: определение содержания трипсиногена в моче; фосфолипазы A2 и сывороточной эластазы-1 в крови и моче; уровня белков в острой фазе воспаления — СРБ и прокалцитонина [3].

Сложность появляется в проведении дифференциальной диагностики ОПП с обострением хронического панкреатита и раком поджелудочной железы, поскольку

при данных нозологиях все вышеперечисленные лабораторные маркеры также могут быть повышены. Отсутствие «золотого стандарта» по лабораторному исследованию усугубляет сложность своевременного выявления ОПП.

Основными инструментальными методами диагностики ОПП являются: рентгенологическое и ультразвуковое исследования (УЗИ) поджелудочной железы, компьютерная томография (КТ) и магнитно-резонансная томография (МРТ) органов брюшной полости [4].

Проведение УЗИ органов брюшной полости в послеоперационном периоде может быть малоинформативным вследствие развития пареза кишечника и пневмоперитонеума, однако при хорошей визуализации возможна верификация увеличенных размеров поджелудочной железы с нечеткими контурами и измененной экоструктурой. Кроме того, использование в ряде передовых клиник методики эндоскопической ультрасонографии позволяет с высокой точностью диагностировать патологические изменения экоструктуры не только поджелудочной железы, но и окружающих ее тканей [5].

«Золотым стандартом» диагностики ОПП признана КТ с болюсным контрастным усилением. МРТ также является перспективным методом диагностики и оценки динамики развития ОПП [6]. КТ и МРТ позволяют провести точную дифференциальную диагностику ОПП с другими патологическими состояниями послеоперационного периода.

Сложность и высокая стоимость диагностики такого тяжелого состояния делает вопросы его профилактики чрезвычайно важными.

Профилактика развития ОПП включает методы хирургической (щадящее выполнение оперативного пособия) и консервативной коррекции (специфической и неспецифической).

В настоящее время наибольшие перспективы в профилактике и лечении ОПП связаны с применением специфических профилактических мероприятий, направленных на патогенетические аспекты развития ОПП. Среди них: введение синтетических аналогов соматостатина: октреотида, стиламина, сандостатина и октреотида-депо, направленных на снижение экзокринной функции поджелудочной железы [7,8].

В ряде литературных данных имеется информация об использовании антиоксидантов (тиоктацида, убихинона-композитум), антибактериальных препаратов, цитостатиков (производные пиримидина — 5-ФТУ и фторафура), реополиглюкин-компламинтренталовой смеси, а также комбинации схем профилактики [9,10].

Так, например, при комплексном подходе к профилактике ОПП у больных с абдоминальными, торакальными и торакоабдоминальными травмами с применением антимагнетических (5-фторурацила; сандостатина), антиоксидантов (мексидола, витамина Е), антибиотикотерапии, парентерального питания с последующим переводом на энтеральный путь приема пищи развитие ОПП среди исследуемых не наблюдалось [11].

В литературных данных также имеются работы, свидетельствующие о важности предотвращения микроциркуляторных расстройств в панкреатодуоденальной зоне путем введения реополиглюкин-компламинтrentальной смеси [12].

Вывод

1. Развитие ОПП является серьезным осложнением при ряде оперативных вмешательств, выполняемых на органах брюшной полости, утяжеляющим течение послеоперационного периода.
2. Своевременная диагностика с применением клинико-лабораторных и инструментальных методов исследования позволяет определиться с патологией на ранних этапах ее развития.
3. Проведение профилактических мероприятий (на этапе оперативного лечения и терапевтических) позволит снизить риск развития ОПП и ускорить процесс выздоровления пациента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Characterization of postoperative acute pancreatitis (POAP) after distal pancreatectomy / S Andrianello, E Bannone, G Marchegiani, G Malleo, S Paiella, et al // *Surgery*.—2021.— Vol. 169, № 4.— P 724–731.
2. Стяжкина, С.Н. Послеоперационный острый панкреатит / С.Н. Стяжкина, М.А. Булатова, Д.А. Гырдымова // *Вестник науки*.—2018.— Том. 9, № 9. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/posleoperatsionnyy-ostroy-pankreatit> (дата обращения: 29.05.2022).
3. Покровский, К.А. Оптимизация диагностической и хирургической тактики при лечении больных панкреонекрозом в многопрофильном стационаре: автореф. дис. ... д-ра мед. наук: 14.01.17-хирургия/ К.А. Покровский: Москва, 2009, — 42 с.
4. Saxon Connor, Defining post-operative pancreatitis as a new pancreatic specific complication following pancreatic resection, *HPB*.— 2016.— 18, № 8.— P. 642–651.
5. Shan, A.P. Acute pancreatitis: current perspectives on diagnosis and management / A.P. Shah, M.M. Mourad, SR Bramhall // *J Inflamm Res*.— 2018.— № 11.— P. 77–85.
6. Shi, Zhenshan et al. Assessment of acute obstructive pancreatitis by magnetic resonance imaging: Predicting the occurrence of pancreatic fistula following pancreatoduodenectomy. *Molecular and clinical oncology*.— 2019.— Vol. 10, № 3.— P. 371–376.
7. Егоров, А.В. Октеотид в профилактике панкреатита после радикальных операций при раке желудка. Съезд российского Общества хирургов гастроэнтерологов «Актуальные вопросы хирургической гастроэнтерологии», 1-й: Материалы / А.В. Егоров, Н.Н. Крылов, Д.В. Вычужанин // *Вестн хир гастроэнтерол.* — 2008. — № 4. — P. 84.
8. Буханов, И.П. Роль ингибиторов секреции поджелудочной железы в комплексном лечении больных панкреонекрозом / И.П. Буханов // *Вестник медицинского института «Реавиз»: реабилитация, врач и здоровье*. — 2013. — № 3(11).
9. Шабанов, В.В. Острый послеоперационный панкреатит: профилактика и некоторые аспекты патогенеза (клинико-экспериментальное исследование): Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. — М, 2007. — 220.
10. Drug discovery and formulation development for acute pancreatitis / X Jiang, YW Zheng, S Bao, H Zhang, R Chen, et al // *Longfa Kou Drug Deliv*.— 2020.— Vol. 27, № 1.— P. 1562–1580.
11. Сирота, Е.С. Профилактика панкреатита у пострадавших с абдоминальной, торакальной и торакоабдоминальной травмой без прямого механического повреждения поджелудочной железы: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. Барнаул, 2008. — 23.
12. Малков И.С. Лечение острого панкреатита: поиски и решения / И.С. Малков // *ПМ*.— 2010. № 41.

© Плиев Сослан Аланович (plionbg@yandex.ru), Хутиев Цара Сардионович (tsarokh@mail.ru),

Беслекоев Урузмаг Соломонович.

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ТРУДНОСТИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ПРИ ДИЛАТАЦИОННОЙ КАРДИОМИОПАТИИ

DIFFICULTIES OF DIFFERENTIAL DIAGNOSIS IN DILATED CARDIOMYOPATHY

**O. Saigina
V. Normaykin
L. Chegodaeva
N. Kurkina**

Summary. In the clinical practice of a doctor, there are cases with the unknown causes of dilation of the heart chambers. In such cases, setting a diagnosis of dilated cardiomyopathy implies the use of the wide range of laboratory, instrumental and radiological research methods to find out the underlying cause for the diagnosis. One of such complex variants of differential diagnosis is presented in the studied clinical case.

Keywords: dilated cardiomyopathy, myocarditis, heart failure, diagnosis.

Сайгина Оксана Александровна

ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва», Саранск
ya.saigina2014@yandex.ru

Нормайкин Владислав Игоревич

ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва», Саранск
normaikin13@mail.ru

Чегодаева Людмила Викторовна

К.м.н., доцент, ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва»,
Саранск

Chegodaeva20@rambler.ru

Куркина Надежда Викторовна

К.м.н., доцент, ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва»,
Саранск

nadya.kurckina@yandex.ru

Аннотация. В клинической практике врача встречаются случаи, когда причина дилатации камер сердца остается неизвестной. Выставляя в таких ситуациях диагноз «Дилатационная кардиомиопатия», врач применяет широкий спектр лабораторных, инструментальных и рентгенологических методов исследования, чтобы ответить себе на такой вопрос: «Что же может скрываться за этим диагнозом?». Один из таких сложных вариантов дифференциальной диагностики представлен в нашем клиническом случае.

Ключевые слова: дилатационная кардиомиопатия, миокардит, сердечная недостаточность, диагностика.

Дилатационная кардиомиопатия (ДКМП) является одной из самых распространенных форм кардиомиопатий, однако, точная распространенность данного заболевания неизвестна. Предположительные данные о распространенности ДКМП в общей популяции составляет 1:250, из которых на долю генетически обусловленных ДКМП приходится от 30–50%. Данная болезнь может развиваться в любом возрасте, но в большей части случаев клинические проявления возникают на третьем или четвертом десятилетии жизни [1].

Иницирующими факторами развития ДКМП могут быть: аутоиммунные заболевания (сахарный диабет, заболевания щитовидной железы); токсины (прием алкоголя, химиотерапия); ишемическая болезнь сердца, артериальная гипертензия и другие [2].

В настоящее время известно, что количество генов, которые могут определять развитие данного заболевания, превышает сотню. Причина такой генетической

гетерогенности до настоящего времени остается неизвестной. Отмечено, что существуют значительные совпадения генов, которые детерминируют развитие ДКМП, других кардиомиопатий и каналопатий [3].

Особенностью течения дилатационной кардиомиопатии является вовлечение в патологический процесс, как левых, так и правых отделов сердца, при выраженных декомпенсированных нарушениях функции миокарда. Тяжесть течения ДКМП осложняет развитие синдрома легочной гипертензии вторичного генеза. Основные патогенетические механизмы данного заболевания представлены снижением насосной функции сердца, увеличением конечно-диастолического давления в левом желудочке [4].

Применение для диагностики ЭКГ-исследования в сочетании с другими методами, такими как, тест на переносимость физических нагрузок, Эхо-КГ исследование, магнитно-резонансная томография, позволяют обеспечить

выявление форм ДКМП. К тому же, изменения на ЭКГ могут интерпретировать тяжесть заболевания и оценить риски [5].

Магнитно-резонансная томография сердца считается золотым стандартом для оценки объемов желудочков и фракции выброса. К тому же, данный метод исследования позволяет провести оценку свойств тканей [6].

Эхокардиографическое исследование играют важную роль в дифференциальной диагностике ДКМП с другими заболеваниями [7].

В клинической практике диагноз «Дилатационная кардиомиопатия» нередко может использоваться в качестве синдромального диагноза, означающего «большое сердце». За таким диагнозом может стоять большой диапазон абсолютно разных, труднодиагностируемых на начальных этапах заболеваний, одним из которых является миокардит [8].

В таких ситуациях врач применяет широкий спектр различных лабораторных, инструментальных и рентгенологических методов исследования, чтобы ответить на вопрос: «Что же может скрываться за этим диагнозом?» Порой дифференциальная диагностика дилатационной кардиомиопатии и миокардита бывает крайне затруднительной, поэтому для верификации диагноза необходимо применение эндомикардиальной биопсии.

Один из таких сложных вариантов дифференциальной диагностики представлен в нашем клиническом случае.

Больной Г., 35 лет, 01.12.2020 г. поступил в стационар с жалобами на инспираторную одышку, сухой кашель до удушья при незначительной физической нагрузке, дискомфорт в левой половине грудной клетки, отечность нижних конечностей, общую слабость.

Status praesens: состояние средней степени тяжести, положение «ортопноэ». Кожные покровы бледные, акроцианоз. Периферические лимфоузлы не увеличены. При аускультации легких: дыхание жесткое, в нижних отделах выслушивается небольшое количество мелкопузырчатых влажных хрипов. Частота дыхательных движений (ЧДД) — 24 в 1 мин в покое. Левая граница относительной сердечной тупости смещена до передней подмышечной линии, правая на 1,5 см от правого края грудины. При аускультации сердца: тоны приглушены, ритм правильный, на верхушке и в проекции трикуспидального клапана выслушивается систолический шум. Частота сердечных сокращений (ЧСС) — 110 в 1 мин. Артериальное давление (АД) — 125/80 мм рт. ст. Живот мягкий, безболезненный при пальпации. Печень на 2,0–2,5 см выступает из

под края правой реберной дуги. Край печени ровный, при пальпации безболезненный. Селезенка не пальпируется. Отеки на голенях и стопах.

Из анамнеза заболевания: больным себя считает в течение 3-х недель, когда при повседневной физической нагрузке стала беспокоить одышка, причем с тенденцией нарастания. Накануне обращения за медицинской помощью появился кашель до удушья при незначительном физическом усилии, выраженная общая слабость.

Из вредных привычек отмечает курение (до 10 сигарет в день в течение 12 лет), иногда употребляет алкогольные напитки.

Перенесенные заболевания: операция по поводу острого аппендицита в детском возрасте, частые ОРВИ (последний раз переболел в начале ноября 2020 года, отмечал повышение температуры тела до 37,8, заложенность носа, першение в горле, лечился самостоятельно жаропонижающими препаратами). Хронических заболеваний, со слов пациента, не имеет, ранее за медицинской помощью не обращался и не обследовался. У близких родственников в молодом возрасте заболеваний сердечно-сосудистой системы не было.

В общем анализе крови (ОАК) при поступлении: гемоглобин — 151 г/л; эритроциты — $5,1 \times 10^{12}$ /л; тромбоциты — $325,0 \times 10^9$ /л; лейкоциты — $5,6 \times 10^9$ /л; лейкоформула без отклонений от нормы. СОЭ — 6 мм/ч.

Общий анализ мочи (ОАМ) — без патологии.

Биохимический анализ крови при поступлении: сахар крови — 4,2 ммоль/л; мочевины — 6,0 ммоль/л; билирубин — 14 мкмоль/л; АЛТ — 0,4 ммоль/л; АСТ — 0,2 ммоль/л; фибриноген — 4000 мг/л; креатинин — 0,04 ммоль/л; серомукоид — 0,15 ЕД;

Учитывая ситуацию с пандемией COVID-19, с целью исключения новой коронавирусной инфекции проводилась ПЦР-диагностика и мультиспиральная компьютерная томография. Результат ПЦР теста на коронавирус (COVID-19): отрицательный. КТ- признаков воспалительной патологии со стороны органов грудной клетки не выявлено. КТ- признаки кардиомегалии. В нижних отделах легких застойные интерстициальные изменения.

На ЭКГ от 01.12.2020 г. зарегистрирован синусовый ритм с ЧСС — 100 в мин. Нормальное положение электрической оси сердца. В области передне-боковой и нижней стенки миокарда левого желудочка определялись изменения по зубцу Т (з. Т (-) в V4-V6, изоэлектричные з.Т в II, III, AVL, AVF).

Учитывая результаты ЭКГ, жалобы пациента на дискомфорт в левой половине грудной клетки с целью исключения повреждения кардиомиоцитов были проведены соответствующие исследования. Качественный метод оценки тропонина-Т был отрицательным, МВ фракция креатинфосфокиназы (МВ-КФК) находилась в пределах нормальных величин.

При проведении ультразвукового исследования (УЗИ) органов брюшной полости выявлены признаки умеренной гепатомегалии, хронического панкреатита. Свободной жидкости в брюшной полости не определялось.

Холтеровское мониторирование ЭКГ от 03.12.2020 г.: ЧСС min –76 в мин., max — 125 в мин., ритм синусовый с тенденцией к тахикардии в течение суток. Зафиксированы частые одиночные желудочковые экстрасистолы, временами по типу бигеминии, общее количество 1050 в сутки, более 30 в час. Ишемических изменений сегмента ST не отмечалось.

ЭХО-КГ от 01.12.2020 г.: Аорта–3,3 см, ЛП–4,3 см, КДРЛЖ –7,2 см, КСРЛЖ — 6,2 см, ФВ — 29% (Тейнхольц), диффузный гипокинез стенок ЛЖ. ПЖ — 4,3 см, ПП — 6,1х5,0 см.

Допплер ЭХО-КГ: створки митрального клапана тонкие, подвижные, МР II–III степени, трикуспидальный клапан без особенностей, ТР I–II степени, СДЛА — 31 мм рт. ст.

ЦДС вен нижних конечностей от 02.12.2020 г.: Патологии вен нижних конечностей не выявлено.

На основании жалоб, анамнеза, данных объективно-го обследования, результатов инструментальной диагностики был выставлен клинический диагноз: Дилатационная кардиомиопатия. Митральная недостаточность II–II степени. Трикуспидальная недостаточность I–II степени. Незначительная легочная гипертензия. Хроническая сердечная недостаточность со сниженной ФВ (29%), стадия II Б, ФК III.

Пациенту назначено лечение для коррекции сердечной недостаточности (конкор, зокардис, диувер, верошпирон, дигоксин).

С целью контроля динамики течения заболевания и эффективности лечебных мероприятий через 10 дней проведена повторная ЭХО-КГ. Полученные результаты не отличались от данных, полученных при поступлении больного.

В дальнейшем пациент был направлен на консультацию к кардиохирургу для согласования дальнейшей

тактики ведения и лечения. Кардиохирургом выявлены показания для трансплантации сердца. Пациент был проинформирован о необходимости данного хирургического лечения, а также разъяснены и возможные последствия операции. Посоветовавшись с близкими родственниками, принял решение отказаться от трансплантации, написав письменный отказ. Была продолжена консервативная терапия, направленная на коррекцию хронической сердечной недостаточности.

На фоне проводимого лечения состояние пациента улучшилось: уменьшились отеки, одышка. Пациент был выписан спустя 14 дней стационарного лечения.

Для того, чтобы обеспечить необходимый контроль за течением патологического процесса и коррекции проводимой терапии, больной был взят на диспансерный учет.

Учитывая тяжесть течения заболевания, которое привело к ухудшению состояния здоровья и качества его жизни, больной Г. был направлен врачебной комиссией на медико-социальную экспертизу, где ему была установлена II группа инвалидности.

Однако, в марте следующего года, при прохождении очередной диспансеризации, у пациента Г. было выявлено увеличение толерантности к физической нагрузке.

При проведении ЭХО-КГ (11.03.2021 г.) были получены следующие показатели: значительно улучшилась сократимость ЛЖ, ФВ увеличилась до 56%, отмечалось уменьшение размеров полости ЛЖ (КДР ЛЖ 6,0 см), ПЖ стал 3,6 см, ЛП — 4,0 см, митральная (МР) и трикуспидальная регургитации (ТР) уменьшились до I ст., СДЛА 25 мм рт. ст.

Результаты ЭХО-КГ от 18.08.2021 г.: ФВ — 56%, КДР ЛЖ — 5,6 см, ПЖ — 3,1 см, ЛП — 4,0 см, СДЛА — 23 мм рт. ст., МР 0–I степени, ТР 0–I степени.

Учитывая сложность дифференциальной диагностики заболевания, положительную динамику на ЭХО-КГ, с целью верификации диагноза пациенту была рекомендована МРТ сердца с контрастированием, но по техническим причинам исследование не было проведено.

Обсуждение

В данном случае, вероятно, пациент перенес вирусный миокардит, поскольку стандартная терапия сердечной недостаточности привела к хорошим результатам, как по клиническим проявлениям, так и по параметрам внутрисердечной гемодинамики. Одним из факторов, свидетельствующих в пользу этого диагноза, является

перенесенная ОРВИ за 3–4 недели до появления симптомов сердечной недостаточности.

Диагноз не был первоначально выставлен правильно, возможно и по причине малоинформативной лабораторной картины — недостаточно критериев воспалительного характера в процессе повреждения миокарда, отсутствия изменений в лабораторных исследованиях, характерных для инфекционного заболевания: лейкоформула без отклонений от нормы, острофазовые показатели оставались в пределах нормальных величин.

Анализируя вышеописанную клиническую ситуацию, наблюдая за уменьшением симптомов сердечной недостаточности на фоне значительного увеличения фракции выброса левого желудочка, отмечая положительную динамику со стороны размеров полостей камер сердца, можно сделать вывод о том, что генетически обусловленной ДКМП, при которой в миокарде формируется необратимый прогрессирующий фиброз, в данном случае не было.

С.Н. Felker с соавторами, основываясь на критериях Dallas, по результатам биопсии у взрослых установили,

что в случае впервые возникшего синдрома дилатации полостей сердца в 9–16% наблюдений подтверждался классический миокардит.

В реальной клинической практике миокардит часто не выставляют в дифференциально-диагностический ряд.

В сомнительных случаях, при малой информативности лабораторных показателей, проведение ЭХО-КГ в динамике заболевания может внести существенный вклад на конечный результат диагностического поиска, от которого во многом зависит выбор дальнейшей тактики ведения и лечения пациента.

При возникновении и длительном сохранении признаков сердечной недостаточности, особенно у лиц молодого возраста, отсутствии явных этиологических факторов для формирования этого осложнения, не следует ограничиваться малыми рамками диагностического поиска, а в полном объеме необходимо продолжать реализацию всех доступных лабораторных и инструментальных методов обследования необходимых для проведения дифференциальной диагностики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hänselmann A. Dilated cardiomyopathies and non-compaction cardiomyopathy // A. Hänselmann, C. Veltmann, J. Bauersachs et al., *Herz.*, 45(3), 2020. p. 212–220.
2. Vkhorev P.G. Cardiomyopathies and Related Changes in Contractility of Human Heart Muscle // P.G. Vkhorev, N.N. Vkhoreva, *Int J Mol Sci.*, 31; 19(8), 2018. p. 2234.
3. Вайханская Т.Г. Генетические факторы риска дилатационной кардиомиопатии // Т.Г. Вайханская, Л.Н. Сивицкая, О.Д. Левданский [и др.], *Российский кардиологический журнал*, № 26 (10), с. 63–78.
4. Абдуллаев Т.А. Функциональные показатели легких у больных дилатационной кардиомиопатией, осложненной легочной гипертензией // Т.А. Абдуллаев, Я.Р. Ахматов, Б.У. Марданов [и др.], *Рациональная фармакотерапия в кардиологии*, № 12 (5), 2016. с. 542–546.
5. Finocchiaro G. The electrocardiogram in the diagnosis and management of patients with dilated cardiomyopathy // G. Finocchiaro, M. Merlo, N. Sheikh et al., *Eur J Heart Fail.*, 22(7), 2020. p. 1097–1107.
6. Porcari A. Current diagnostic strategies for dilated cardiomyopathy: a comparison of imaging techniques // A. Porcari, G.D. Angelis, S. Romani et al., *Expert Rev Cardiovasc Ther.*, 17(1), 2019. p. 53–63.
7. Pinamonti B. Role of Cardiac Imaging: Echocardiography // B. Pinamonti, E. Abate, A.D. Luca et al., *Dilated Cardiomyopathy: From Genetics to Clinical Management [Internet]*, Chapter 7, 2019. p. 83–111.
8. Коган Е.А. Биопсия миокарда в дифференциальной нозологической диагностике синдрома ДКМП: клинико-морфологическое исследование // Е.А. Коган, О.В. Благова, *Клиническая и экспериментальная хирургия*, № 1, 2014. с. 42–53.

© Сайгина Оксана Александровна (ya.saigina2014@yandex.ru), Нормайкин Владислав Игоревич (normaikin13@mail.ru),
Чегодаева Людмила Викторовна (Chegodaeva20@rambler.ru), Куркина Надежда Викторовна (nadya.kurckina@yandex.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ НАБЛЮДЕНИЯ УВЕАЛЬНОЙ МЕЛАНОМЫ НА ПРОТЯЖЕНИИ 12 ЛЕТ

CLINICAL CASE OF OBSERVATION OF UVEAL MELANOMA FOR TWELVE YEARS

**I. Salakhutdinov
E. Tsyganova
A. Denisenko**

Summary. The article presents a clinical case of a 56-year-old female patient who was diagnosed with T4NXM1 choroidal melanoma of the right eye and refused treatment for 12 years. The examination revealed destruction of the lower wall of the right orbit with invasion into the right maxillary sinus, numerous solid nodules in the lungs. In order to partially relieve the pain syndrome and prevent massive bleeding from the primary tumor, exenteration of the right orbit was performed under general anesthesia. The patient refused any recommendations for further urgent treatment. The vital prognosis of the patient is poor.

Keywords: uveal melanoma, diagnosis, treatment, orbital exenteration, metastasis.

Салахутдинов Ильдар Маратович

Аспирант, ФГБОУ ВО «Приволжский
исследовательский медицинский университет»
Минздрава России, г. Нижний Новгород
salahutdinov97@mail.ru

Цыганова Елена Владимировна

ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский
медицинский университет», г. Нижний Новгород
S5305@yandex.ru

Денисенко Аркадий Николаевич

К.м.н., главный врач, ГБУЗ Нижегородской области
«Городская больница № 35, г. Нижний Новгород»
arkdenisenko@yandex.ru

Аннотация. В статье представлен клинический случай пациентки 56 лет, наблюдавшейся с диагнозом меланома хориоидеи правого глаза T4NXM1 и отказывавшейся от лечения в течение 12 лет. По данным обследования выявлена деструкция нижней стенки правой орбиты с прорастанием в правую верхнечелюстную пазуху, многочисленные солидные узлы в легких. С целью частичного купирования болевого синдрома и профилактики массивного кровотечения из первичной опухоли была выполнена экзентерация правой орбиты под общей анестезией. От любых рекомендаций дальнейшего срочного лечения пациентка отказалась. Витальный прогноз пациентки плохой.

Ключевые слова: увеальная меланома, диагностика, лечение, экзентерация орбиты, метастазирование.

Введение

Меланома хориоидеи составляет 85% от всех внутриглазных новообразований [1]. В России заболеваемость увеальной меланомой (по обращению в различных регионах) колеблется от 6,23 до 8 человек на 1 млн. взрослого населения [2]. Увеальная меланома, наиболее распространенная из внутриглазных злокачественных новообразований, характеризуется агрессивным ростом с возможностью метастатического поражения различных органов и систем, плохим витальным прогнозом, что определяет необходимость пожизненного диспансерного наблюдения пациентов [3].

На настоящий момент все методы лечения увеальной меланомы можно разделить на две группы: органосохранные и ликвидационные [4]. Тактика лечения зависит от таких факторов, как размеры опухоли, стадия роста новообразования, локализация опухолевого процесса, наличие отдаленных метастазов, возраст больного и наличие сопутствующих тяжелых соматических патологий

пациента, из-за которых может быть противопоказано оперативное вмешательство, а также его согласие на лечение. По данным ряда исследователей, после органосохранного лечения 5 лет переживают 91,8–93% больных, 10 лет — 89%, а после энуклеации 5 лет живут 81,5–85% больных, 10 лет — всего 77,7%.

В большинстве случаев, при возможности, лечение определяется в пользу органосохранного лечения. Однако, в настоящее время одной из проблем офтальмоонкологии является необходимость направления пациентов для органосохранного лечения в медицинские учреждения федерального уровня, доступными из которых для Нижегородской области являются центры Москвы и Санкт-Петербурга. Несмотря на тяжесть заболевания, плохой прогноз и необходимость срочного решения, при данных ограничениях определенная категория людей после вынесения диагноза внутриглазной опухоли и необходимости лечения в вышеуказанных городах отказываются от него или пропадают на длительное время из-под наблюдения врача, что определяет их

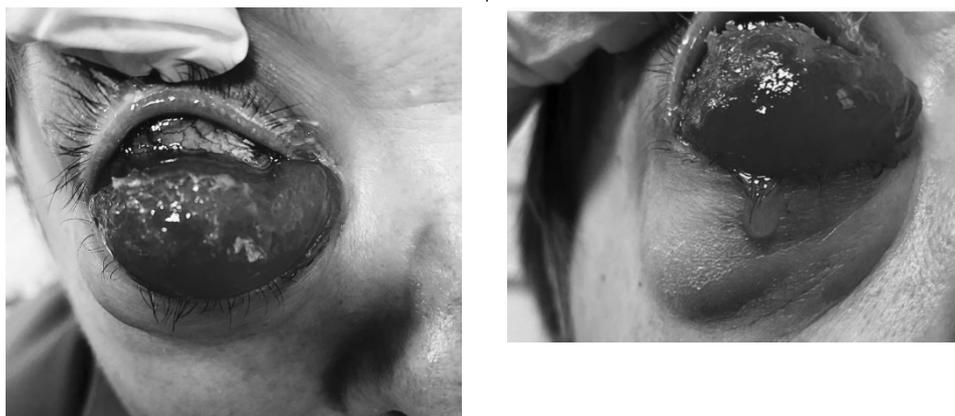


Рис. 1. Наружный осмотр пациентки 3., 56 лет

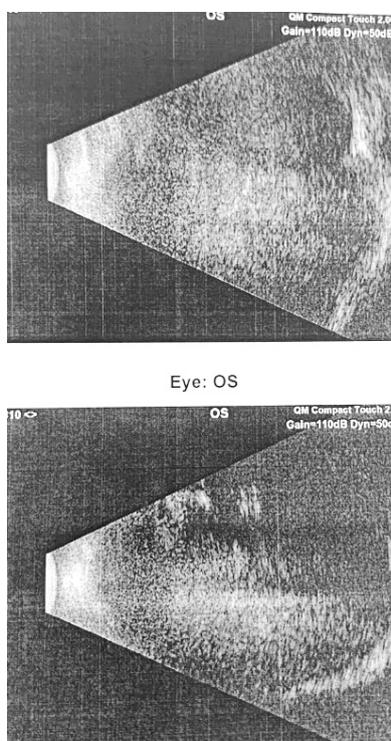


Рис. 2. Ультразвуковое исследование орбиты пациентки 3., 56 лет

вита́льный прогноз наихудшим образом. Также имеют значение в случаях отказа от лечения такие факторы как психологическое состояние пациента, явление дисморфофобии при необходимости энуклеации, страх операции и другие состояния.

Цель исследования

Анализ качества жизни у пациентов, отказавшихся от своевременного радикального лечения меланомы хориоидеи, на примере клинического случая.

Материалы и методы

Представлен клинический случай пациентки, которая наблюдалась с диагнозом «меланома цилиарного тела» в течение 12 лет и отказывалась от любого из возможных видов лечения. Пациентка 3., 56 лет, обратилась в приемный покой ГБУЗ НО «Городская больница № 35 Советского района» г. Нижний Новгород в ноябре 2020 года с жалобами на боль, объемное образование правого глаза и обильное отделяемое слизисто-серозного характера. Согласно анамнезу, пациентка по данному заболеванию

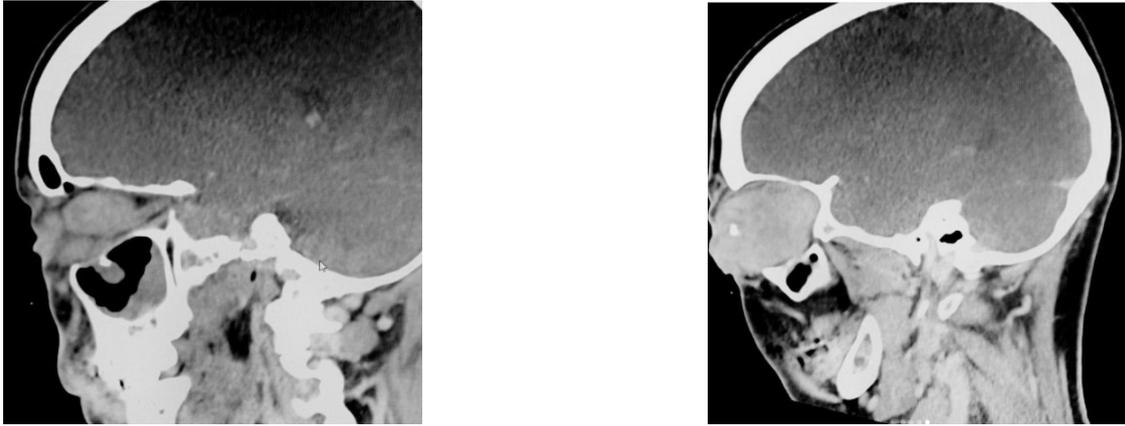


Рис. 3. КТ головного мозга с внутривенным контрастированием у пациентки 3., 56 лет

наблюдалась более 12 лет. Новообразование хориоидеи было впервые выявлено в 2008 году и пациентка была проконсультирована в НИИ Глазных болезней им. Гельмгольца. Ввиду больших размеров опухоли уже тогда была предложена энуклеация глазного яблока. Пациентка от оперативного вмешательства отказалась.

На момент госпитализации: Vis OD = 0, Vis OS = 0,5 с sph +1,0 D = 1,0. ВГД: правого глаза — невозможно определить из-за смещения глазного яблока, левого глаза — N. Глаз в целом в деталях не просматривается, смещен книзу и кнутри, неподвижен. Глазная щель не смыкается, веки утолщены, деформированы, между веками ущемлено новообразование, выраженный хемоз конъюнктивы по нижнему краю орбиты (рис. 1).

При поступлении было выполнено ультразвуковое исследование орбиты (рис. 2), а в дальнейшем, ввиду размеров и прорастания опухоли за пределы глазного яблока, предложена экзентерация орбиты. Несмотря на явный косметический дефект и периодические сильные боли, помимо большого риска скорого летального исхода, пациентка выражала сомнение в необходимости операции.

По данным компьютерной томографии (КТ) со стороны ЛОР-органов наблюдается деструкция нижней стенки орбиты с прорастанием в правую верхнечелюстную пазуху.

По данным КТ органов грудной клетки и головного мозга с внутривенным контрастированием от 29.10.2020 г. выявлены многочисленные солидные узлы в легких, размерами справа до 20x17 мм, слева по междолевой плевре до 11x22,5 мм. Определяется увеличение корневых лимфатических узлов справа до 27x21 мм, слева до 27x18 мм. В охваченных отделах брюшной полости определяются единичные гиподен-

сные очаги. В 5 сегменте печени до 35,5x28 мм. В сравнении с DICOM от 23.07.2019 — увеличение количества и размеров очагов в легких.

Определяется образование правого глазного яблока размерами до 30,5x42,0x44 мм (при предыдущем исследовании — 22x20x25 мм), образование минимально несколько неоднородно накапливает контрастное вещество с вовлечением в процесс всех глазодвигательных мышц, выходящее за пределы орбиты (кпереди), верхняя стенка правой орбиты истончена, местами не визуализируется (рис. 3). Зрительный нерв справа отчетливо не визуализируется. Значительно всесторонне выходящее за пределы орбиты, с прорастанием в гайморову пазуху, экзофтальм.

На момент осмотра терапевтом были жалобы на тошноту, слабость. На основании жалоб на боли, объемное образование, обильное отделяемое правого глаза, данных анамнеза, был выставлен диагноз: Новообразование хориоидеи неясного характера правого глаза.

В данной ситуации с паллиативной целью, а также для профилактики дальнейшего роста опухоли и массивного кровотечения из опухоли было принято решение о проведении экзентерации правого глаза под общим наркозом.

По данным гистологического исследования: глазное яблоко деформировано и разрушено инфильтративно-растущей опухолью — эпителиоидно клеточной меланомой с большим количеством пигмента с очагами некроза, с переходом на прилегающие мягкие ткани и кожу. Стадия опухолевого процесса определена как T4NXM1.

Спустя сутки после операции состояние пациентки значительно ухудшилось: появилась лихорадка до фе-

брильных цифр без катаральных явлений, слабость. Изолирована 30.11.20 в связи со слабо-положительным анализом на Ig M. От любых рекомендаций дальнейшего срочного лечения пациентка отказалась.

Обсуждение

Прорастание меланомы хориоидеи за пределы глазного яблока традиционно оценивается как неблагоприятный прогностический признак, значимо ухудшающий витальный прогноз пациента [5]. Лечение таких пациентов зачастую сопряжено с проведением энуклеации, а случаи органосохраняющего лечения редки и ассоциированы с ограниченным прорастанием опухоли в виде единичных узелков.

В представленном клиническом случае более подходящим способом оперативного лечения была экзентерация. Основным показанием к удалению содержимого глазницы было прорастание меланомы в граничащую с орбитой верхнечелюстную пазуху, разрушение костных

структур с одномоментной инфильтрацией ее компонентов. Решение вопроса об одномоментной экзентерации основывалось на данных МРТ с контрастированием, КТ в костном режиме (степень распространения злокачественного новообразования в глазнице), клинической симптоматике и интраоперационного характера местного роста злокачественного новообразования [6]. Данные последующего гистологического заключения являлись подтверждением правильности выбранной тактики.

Заключение

Представленный клинический случай ещё раз подчеркивает важность своевременного и полноценного осмотра пациентов в рамках диспансеризации в амбулаторно-поликлинической практике, необходимость проведения правильной дифференциальной диагностики с использованием современной аппаратуры. Помимо вышеуказанных факторов, одним из основных аспектов успешного лечения является умение врача убедить пациента в необходимости и неотложности лечения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Павлюченко К.П., Мухина Е.В., Олейник Т.В. и др. Анализ частоты метастазирования меланомы хориоидеи // Вестник неотложной и восстановительной хирургии. — 2020. — Т. 5(2). — С. 130–137.
2. Бровкина А.Ф. Офтальмоонкология. Руководство для врачей. — М.: Медицина, 2002. — С. 268.
3. Панова И.Е., Мочалова А.С., Клевакина Ю.С. Сравнительная оценка качества жизни пациентов с меланомой хориоидеи при различных вариантах лечения // Опухоли головы и шеи. — 2012. — № 2. — С. 67–70.
4. Саакян С.В., Амирян А.Г., Миронова И.С. Сравнительный анализ качества жизни больных увеальной меланомой после энуклеации // Точка зрения. Восток-Запад. — 2015. — № 1. — С. 257.
5. Амирян А.Г., Пантелеева О.Г., Майбогин А.М. и др. Меланома хориоидеи, симулирующая опухоль зрительного нерва: клинический случай // Альманах клинической медицины. — 2018. — Т. 46. — № 4. — С. 384–389. doi: 10.18786/2072-0505-2018-46-4-384-389
6. Лазарев А.Ю., Хусаинов М.Р. Злокачественные опухоли орбиты, тактика хирургического лечения и оценка результатов // Поволжский онкологический вестник. — 2018. — Т. 10(4). — С. 13–17.

© Салахутдинов Ильдар Маратович (salahutdinov97@mail.ru),

Цыганова Елена Владимировна (S5305@yandex.ru), Денисенко Аркадий Николаевич (arkdenisenko@yandex.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

НАШИ АВТОРЫ OUR AUTHORS

Achmedyanov D. — Bashkir State University, Ufa

Aghev T. — Dagestan State Medical University
agaev1993@mail.ru

Akhmetov V. — Doctor of technical sciences, professor,
National Research Moscow State University of Civil
Engineering
vadim.akhmetov@gmail.com

Alimirzoev A. — Assistant, FBGOU VO "Dagestan State
Medical University, Ministry of Health of the Russian
Federation
alimirzoev89@mail.ru

Alimirzoev F. — Candidate of Medical Sciences, Associate
Professor, FBGOU VO "Dagestan State Medical University,
Ministry of Health of the Russian Federation
alimirzoyev1976@mail.ru

Anikin S. — Candidate of Medical Sciences, Associate
Professor, Institute "Medical Academy named after S.I.
Georgievsky" (a structural subdivision of the Federal State
Autonomous Educational Institution of Higher Education
"KFU named after V.I. Vernadsky)

Bagataeva P. — Candidate of Medical Sciences, Assistant,
Dagestan State Medical University" Ministry of Health of
the Russian Federation
Bagatayeva@mail.ru

Bayramalieva G. — Dagestan State Medical University
bairamalieva.gula@mail.ru

Bekmirzayeva P. — Dagestan State Medical University
bekmirsaeva1999@mail.ru

Beslekoev U. — Doctor of Medical Sciences, North
Ossetian State Medical Academy of the Ministry of Health
of the Russian Federation

Bigaeva U. — Assistant, FBGOU VO "Dagestan State
Medical University, Ministry of Health of the Russian
Federation
bigaeva75@mail.ru

Blyagoz S. — ITMO University
sofa.2101@mail.ru

Botashev R. — Associate Professor, Karachay-Cherkess
State University named after U.D. Aliyev, Karachayevsk
botashevruslan@mail.ru

Charnetskiy R. — Kerch State Marine Technological
University

Chegodaeva L. — Candidate of Medical Sciences,
Associate Professor, Mordovia N.P. Ogarev State University,
Saransk
Chegodaeva20@rambler.ru

Chubarov F. — Candidate of Engineering Sciences,
Russian agrarian University – Moscow state agricultural
Academy named after K.A. Timiryazev
fedor1966chub@yandex.ru

Dalgatova A. — Ph.D., assistant, Dagestan State Medical
University
asera.dalgatova@mail.ru

Danilko K. — PhD, Associate Professor, Senior Researcher,
Bashkir State Medical University of the Ministry of Health of
the Russian Federation

Denezhkina A. — Birsky Branch of Bashkir State University
ann.den0104@yandex.ru

Denisenko A. — Candidate of medical sciences, Chief
Medical Officer City Hospital №35 Sovietsky district, Nizhny
Novgorod
arkdenisenko@yandex.ru

Denisyuk A. — Engineer, physicist, independent photo
and video artist, co-owner of the company THN Studio
Corp
thisnight@thisnight.ru

Diamond Carrillo Joseth Moises — Postgraduate
student, Financial University
diamondjmd@yandex.ru

Dolmatov R. — Peter the Great St. Petersburg Polytechnic
University
d_roman.kst@mail.ru

Dumchenko N. — State Research Center for Virology and
Biotechnology "Vector" of Rospotrebnadzor, Koltsovo,
Novosibirsk Region
dumchenko@vector.nsc.ru

Dumchenko N. — State Research Center for Virology and Biotechnology "Vector" of Rospotrebnadzor, Koltsovo, Novosibirsk Region
dumchenco@vector.nsc.ru

Gabitova A. — Bashkir State University, Ufa
abigabi@yandex.ru

Gadiullin A. — PhD, Associate Professor, Bashkir State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation

Gasanova A. — Dagestan State Medical University
gasanova85@mail.ru

Gerasimova L. — MD, Professor, Bashkir State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation

Golikov A. — Senior Lecturer, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bauman Moscow State Technical University»
gas@bmstu.ru

Golodkov Yu. — PhD, Associate Professor of the Irkutsk National Research Technical University
yrg27@mail.ru

Golub A. — PhD, Associate Professor, Bashkir State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation

Hutiev C. — Doctor of Medical Sciences, Professor, North Ossetian State Medical Academy of the Ministry of Health of the Russian Federation
tsarokh@mail.ru

Ishanov S. — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Immanuel Kant Baltic Federal University
sishanov@kantiana.ru

Karavashkin L. — Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
karavashkin.la@edu.spbstu.ru

Karlash A. — Candidate of medical Sciences, Docent, Kursk state medical University

Kashchenko N. — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Immanuel Kant Baltic Federal University
nkashchenko@kantiana.ru

Kazakova U. — Siberian Federal University
umnika33@gmail.com

Khaibullina R. — MD, Associate Professor, Bashkir State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation
rasimadiana@mail.ru

Khudenko V. — Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Immanuel Kant Baltic Federal University
VKHudenko@kantiana.ru

Khudiakov D. — Ph.D., Associate Professor, Novosibirsk State Technical University (NSTU)
khud@mail.ru

Kolesnikov A. — Irkutsk National Research Technical University
alexei1171@yandex.ru

Kurkina N. — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Mordovia N.P. Ogarev State University, Saransk
nadya.kurckina@yandex.ru

Lavrentiev M. — A.I. Herzen Russian State Pedagogical University
goauld1982@mail.ru

Lenshina N. — Kursk state medical University

Levchenko E. — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Kursk State Medical University
levchenkov@kursksmu.net

Lopatina N. — Postgraduate student, Bashkir State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation

Lukin K. — Candidate of Technical Sciences, General Director of JSC "Supertel", St. Petersburg
ki@supertel.ru

Makarov D. — Leading specialist of JSC Lengiprotrans St. Petersburg
dmitrey301@mail.ru

Makukha L. — Senior lecturer, Siberian Federal University
makuha_lv@mail.ru

Malko S. — Kerch State Marine Technological University
sergmalko@mail.ru

Maximova P. — Institute "Medical Academy named after S.I. Georgievsky" (a structural subdivision of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "KFU named after V.I. Vernadsky)
pmaksq@mail.ru

Medvedev B. — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
medvedev_bm@spbstu.ru

Meleshkin K. — Postgraduate student, Novosibirsk State Technical University (NSTU)
kmeleshkin@mail.ru

Minkailova S. — Associate Professor, Dagestan State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation
minkailova76@mail.ru

Molodyakov S. — Doctor of technical Sciences, Professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
molodyakov_sa@spbstu.ru

Molodyakov S. — Doctor of Technical Sciences, Professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
molodyakov_sa@spbstu.ru

Molodyakov S. — Doctor of technical Sciences, Professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
samolodyakov@mail.ru

Monastyrev V. — Graduate student, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
vit34-95@mail.ru

Mukhina S. — Kursk State Medical University
muxina.sofya@bk.ru

Nechaeva E. — State Research Center for Virology and Biotechnology "Vector" of Rospotrebnadzor, Koltsovo, Novosibirsk Region
nechaeva@vector.nsc.ru

Nechaeva E. — State Research Center for Virology and Biotechnology "Vector" of Rospotrebnadzor, Koltsovo, Novosibirsk Region
nechaeva@vector.nsc.ru

Nikitin A. — Candidate of Pedagogic Sciences, Director, State Autonomous professional educational institution «Kaluga technical College»
anikitin74@yandex.ru

Normaykin V. — Mordovia N.P. Ogarev State University, Saransk
normaikin13@mail.ru

Nurudinova B. — Dagestan State Medical University
nurudinova_b@mail.ru

Pliev S. — Graduate student, North Ossetian State Medical Academy of the Ministry of Health of the Russian Federation
plionbg@yandex.ru

Radaeva I. — State Research Center for Virology and Biotechnology "Vector" of Rospotrebnadzor, Koltsovo, Novosibirsk Region
radaeva@vector.nsc.ru

Romanova B. — Siberian Federal University
rb20122000@mail.ru

Roshchin Yu. — Psychiatrist, Chief physician of the Kursk Clinical Psychiatric Hospital named after the Holy Great Martyr and Healer Panteleimon
kpbkursk@yandex.ru

Rudenko M. — PhD, Professor of the East Siberian Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia
rudenko@inbox.ru

Rumyantseva Z. — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Institute "Medical Academy named after S.I. Georgievsky" (a structural subdivision of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "KFU named after V.I. Vernadsky)
zoyarum@inbox.ru

Sagdeev A. — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Federal State Budget-Financed Educational Institution of Higher Education The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications
brother-aks@yandex.ru

Saigina O. — Mordovia N.P. Ogarev State University, Saransk
ya.saigina2014@yandex.ru

Salakhutdinov I. — PhD Student, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Privolzhsky Research Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation, Nizhny Novgorod
salahutdinov97@mail.ru

Samoylova T. — Birsk Branch of Bashkir State University
tanya.samoylova09@gmail.com

Savkin D. — Docent, Immanuel Kant Baltic Federal University
DSavkin@kantiana.ru

Semenova A. — Kerch State Marine Technological University
selivan_anna@mail.ru

Shamov I. — Associate Professor, Dagestan State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation
shamov.ilyas@mail.ru

Shangina O. — Doctor of Biological Sciences, Professor, Bashkir State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation

Shkrigunov A. — Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University
shkrigunov.ae@edu.spbstu.ru

Shmelev N. — Candidate of biological sciences, associate professor, Birsk Branch of Bashkir State University
reptil11@yandex.ru

Shtennikov D. — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, ITMO University

Sidorov A. — Senior lecturer, Siberian Federal University
asidorov@sfu-kras.ru

Sizov A. — Candidate of Engineering Sciences, OJSC Kaluga turbine works, Designer Department
axelxd@yandex.ru

Smirnov S. — Post-graduate student, Russian Technology University MIREA (Moscow); Head of project management department, PJSC "Vimpelcom" (Moscow)
smirnov.s.p1@edu.mirea.ru

Sorokin A. — PhD, Associate Professor, Bashkir State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation

Staheev I. — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Federal State Budget-Financed Educational Institution of Higher Education The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications
kisasig@yandex.ru

Stalnov A. — Independent Researcher
stalnov@gmail.com

Sulima A. — Doctor of Medical Sciences, Professor, Institute "Medical Academy named after S.I. Georgievsky" (a structural subdivision of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "KFU named after V.I. Vernadsky)

Taran V. — Candidate of cultural studies (ICT), Head of the Laboratory of computer design and applied informatics «SPLASH», All-Russian Institute of scientific and technical information RAS
allscience@lenta.ru

Titova O. — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Federal State Budget-Financed Educational Institution of Higher Education The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications
olga1110.spb@mail.ru

Tokova S. — St. Rev., Karachay-Cherkess State University named after U.D. Aliyev, Karachayevsk
shezhanna_tokova@mail.ru

Tsyganova E. — Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Privolzhsky Research Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation, Nizhny Novgorod
S5305@yandex.ru

Turkovsky P. — Postgraduate student, A.I. Herzen Russian State Pedagogical University; Chairman of the Methodological Association of the Natural Science cycle of GBOU Secondary School No. 8 of the Frunzensky district of St. Petersburg
turkowsky@mail.ru

Valeeva G. — Postgraduate student, Bashkir State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation

Zhurbenko V. — Kursk state medical University
prepvermed@mail.ru

Zubkov E. — Senior lecturer, Immanuel Kant Baltic Federal University
evgenyzubkov@mail.ru

Требования к оформлению статей, направляемых для публикации в журнале



Для публикации научных работ в выпусках серий научно-практического журнала «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики» принимаются статьи на русском языке. Статья должна соответствовать научным требованиям и общему направлению серии журнала, быть интересной достаточно широкому кругу российской и зарубежной научной общественности.

Материал, предлагаемый для публикации, должен быть оригинальным, не опубликованным ранее в других печатных изданиях, написан в контексте современной научной литературы, и содержать очевидный элемент создания нового знания. Представленные статьи проходят проверку в программе «Антиплагиат».

За точность воспроизведения дат, имен, цитат, формул, цифр несет ответственность автор.

Редакционная коллегия оста вляет за собой право на редактирование статей без изменения научного содержания авторского варианта.

Научно-практический журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики» проводит независимое (внутреннее) рецензирование.

Правила оформления текста.

- ◆ Текст статьи набирается через 1,5 интервала в текстовом редакторе Word для Windows с расширением “.doc”, или “.rtf”, шрифт 14 Times New Roman.
- ◆ Перед заглавием статьи указывается шифр согласно универсальной десятичной классификации (УДК).
- ◆ Рисунки и таблицы в статью не вставляются, а даются отдельными файлами.
- ◆ Единицы измерения в статье следует выражать в Международной системе единиц (СИ).
- ◆ Все таблицы в тексте должны иметь названия и сквозную нумерацию. Сокращения слов в таблицах не допускаются.
- ◆ Литературные источники, использованные в статье, должны быть представлены общим списком в ее конце. Ссылки на упомянутую литературу в тексте обязательны и даются в квадратных скобках. Нумерация источников идет в последовательности упоминания в тексте.
- ◆ Литература 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).

