

№ 9 (87) ▪ 2019
Часть 1 ▪ Сентябрь

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ЖУРНАЛ**

INTERNATIONAL RESEARCH JOURNAL

**ISSN 2303-9868 PRINT
ISSN 2227-6017 ONLINE**

Екатеринбург
2019



Периодический теоретический и научно-практический журнал.
Выходит 12 раз в год.
Учредитель журнала: Соколова М.В.
Главный редактор: Меньшаков А.И.
Адрес издателя и редакции: 620137, г. Екатеринбург, ул.
Академическая, д. 11, корп. А, оф. 4.
Электронная почта: editors@research-journal.org
Сайт: www.research-journal.org
16+

**№ 9 (87) 2019
Часть 1
Сентябрь**

Дата выхода 16.09.2019
Подписано в печать 11.09.2019
Тираж 200 экз.
Цена: бесплатно.
Заказ 295118.
Отпечатано с готового оригинал-макета.
Отпечатано в типографии "А-принт".
620049, г. Екатеринбург, пер. Лобачевского, д. 1.

Журнал имеет свободный доступ, это означает, что статьи можно читать, загружать, копировать, распространять, печатать и ссылаться на их полные тексты с указанием авторства без каких-либо ограничений. Тип лицензии CC поддерживаемый журналом: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0). Актуальная информация об индексации журнала в библиографических базах данных <https://research-journal.org/indexing/>.

Номер свидетельства о регистрации в Федеральной Службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций: **ПН № ФС 77 – 51217.**

Члены редколлегии:

Филологические науки:

Растягаев А.В. д-р филол. наук, Московский Городской Университет (Москва, Россия);
Сложеникина Ю.В. д-р филол. наук, Московский Городской Университет (Москва, Россия);
Штрекер Н.Ю. к.филол.н., Калужский Государственный Университет имени К.Э. Циолковского (Калуга, Россия);
Вербицкая О.М. к.филол.н., Иркутский Государственный Университет (Иркутск, Россия).

Технические науки:

Пачурин Г.В. д-р техн. наук, проф., Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (Нижегород, Россия);
Федорова Е.А. д-р техн. наук, проф., Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (Нижегород, Россия);
Герасимова Л.Г. д-р техн. наук, Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева (Апатиты, Россия);
Курасов В.С. д-р техн. наук, проф., Кубанский государственный аграрный университет (Краснодар, Россия);
Оськин С.В. д-р техн. наук, проф. Кубанский государственный аграрный университет (Краснодар, Россия).

Педагогические науки:

Куликовская И.Э. д-р пед. наук, Южный федеральный университет (Ростов-на-Дону, Россия);
Сайкина Е.Г. д-р пед. наук, Российский государственный педагогический университет имени А.И. Герцена (Санкт-Петербург, Россия);
Лукьянова М.И. д-р пед. наук, Ульяновский государственный педагогический университет им. И.Н. Ульянова (Ульяновск, Россия);
Ходакова Н.П. д-р пед. наук, проф., Московский городской педагогический университет (Москва, Россия).

Психологические науки:

Розенова М.И. д-р психол. наук, проф., Московский государственный психолого-педагогический университет (Москва, Россия);
Ивков Н.Н. д-р психол. наук, Российская академия образования (Москва, Россия);
Каменская В.Г. д-р психол. наук, к. биол. наук, Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина (Елец, Россия).

Физико-математические науки:

Шамолин М.В. д-р физ.-мат. наук, МГУ им. М. В. Ломоносова (Москва, Россия);
Глезер А.М. д-р физ.-мат. наук, Государственный Научный Центр ЦНИИчермет им. И.П. Бардина (Москва, Россия);
Свиштунов Ю.А. д-р физ.-мат. наук, проф., Санкт-Петербургский государственный университет (Санкт-Петербург, Россия).

Географические науки:

Умывакин В.М. д-р геогр. наук, к.техн.н. проф., Военный авиационный инженерный университет (Воронеж, Россия);
Брылев В.А. д-р геогр. наук, проф., Волгоградский государственный социально-педагогический университет (Волгоград, Россия);
Огуреева Г.Н. д-р геогр. наук, проф., МГУ имени М.В. Ломоносова (Москва, Россия).

Биологические науки:

Буланый Ю.П. д-р биол. наук, Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского (Саратов, Россия);
Аникин В.В., д-р биол. наук, проф., Саратовский государственный университет им. Н.Г.Чернышевского (Саратов, Россия);
Еськов Е.К. д-р биол. наук, проф., Российский государственный аграрный заочный университет (Балашиха, Россия);
Шеуджен А.Х. д-р биол. наук, проф., Кубанский государственный аграрный университет (Краснодар, Россия);
Ларионов М.В. д-р биол. наук, профессор, Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского (Саратов, Россия).

Архитектура:

Янковская Ю.С. д-р архитектуры, проф., Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (Санкт-Петербург, Россия).

Ветеринарные науки:

Алиев А.С. д-р ветеринар. наук, проф., Санкт-Петербургская государственная академия ветеринарной медицины (Санкт-Петербург, Россия);
Татарникова Н.А. д-р ветеринар. наук, проф., Пермская государственная сельскохозяйственная академия имени академика Д.Н. Прянишникова (Пермь, Россия).

Медицинские науки:

Никольский В.И. д-р мед. наук, проф., Пензенский государственный университет (Пенза, Россия);
Ураков А.Л. д-р мед. наук, Ижевская Государственная Медицинская Академия (Ижевск, Россия).

Исторические науки:

Меерович М.Г. д-р ист. наук, к. архитектуры, проф., Иркутский национальный исследовательский технический университет (Иркутск, Россия);
Бакулин В.И. д-р ист. наук, проф., Вятский государственный университет (Киров, Россия);
Бердинских В.А. д-р ист. наук, Вятский государственный гуманитарный университет (Киров, Россия);
Лёвочкина Н.А. к.ист.наук, к.экон.н. ОмГУ им. Ф.М. Достоевского (Омск, Россия).

Культурология:

Куценков П.А. д-р культурологии, к.искусствоведения, Институт востоковедения РАН (Москва, Россия).

Искусствоведение:

Куценков П.А. д-р культурологии, к.искусствоведения, Институт востоковедения РАН (Москва, Россия).

Философские науки:

Петров М.А. д-р филос. наук, Института философии РАН (Москва, Россия);
Бессонов А.В. д-р филос. наук, проф., Институт философии и права СО РАН (Новосибирск, Россия);
Цыганков П.А. д-р филос. наук., МГУ имени М.В. Ломоносова (Москва, Россия);
Лойко О.Т. д-р филос. наук, Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Томск, Россия).

Юридические науки:

Костенко Р.В. д-р юрид. наук, проф., Кубанский государственный аграрный университет (Краснодар, Россия);
Мазуренко А.П. д-р юрид. наук, Северо-Кавказский федеральный университет г. Пятигорске (Пятигорск, Россия);
Мещерекова О.М. д-р юрид. наук, Всероссийская академия внешней торговли (Москва, Россия);
Ерғашев Е.Р. д-р юрид. наук, проф., Уральский государственный юридический университет (Екатеринбург, Россия).

Сельскохозяйственные науки:

Важов В.М. д-р с.-х. наук, проф., Алтайский государственный гуманитарно-педагогический университет им. В.М. Шукшина (Бийск, Россия);
Раков А.Ю. д-р с.-х. наук, Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр (Михайловск, Россия);
Комлацкий В.И. д-р с.-х. наук, проф., Кубанский государственный аграрный университет (Краснодар, Россия);
Никитин В.В. д-р с.-х. наук, Белгородский научно-исследовательский институт сельского хозяйства (Белгород, Россия);
Наумкин В.П. д-р с.-х. наук, проф., Орловский государственный аграрный университет.

Социологические науки:

Замараева З.П. д-р социол. наук, проф., Пермский государственный национальный исследовательский университет (Пермь, Россия);
Солодова Г.С. д-р социол. наук, проф., Институт философии и права СО РАН (Новосибирск, Россия);
Кораблева Г.Б. д-р социол. наук, Уральский Федеральный Университет (Екатеринбург, Россия).

Химические науки:

Абдиев К.Ж. д-р хим. наук, проф., Казахстанско-Британский технический университет (Алма-Аты, Казахстан);
Мельдешов А. д-р хим. наук, Казахстанско-Британский технический университет (Алма-Аты, Казахстан);
Скачилова С.Я. д-р хим. наук, Всероссийский Научный Центр По Безопасности Биологически Активных Веществ (Купавна Старая, Россия).

Науки о Земле:

Горяинов П.М. д-р геол.-минерал. наук, проф., Геологический институт Кольского научного центра Российской академии наук (Апатиты, Россия).

Экономические науки:

Бурда А.Г. д-р экон. наук, проф., Кубанский Государственный Аграрный Университет (Краснодар, Россия);
Лёвочкина Н.А. д-р экон. наук, к.ист.н., ОмГУ им. Ф.М. Достоевского (Омск, Россия);
Ламоттке М.Н. к.экон.н., Нижегородский институт управления (Нижний Новгород, Россия);
Акбулаев Н. к.экон.н., Азербайджанский государственный экономический университет (Баку, Азербайджан);
Кулиев О. к.экон.н., Азербайджанский государственный экономический университет (Баку, Азербайджан).

Политические науки:

Завершинский К.Ф. д-р полит. наук, проф. Санкт-Петербургский государственный университет (Санкт-Петербург, Россия).

Фармацевтические науки:

Тринеева О.В. к.фарм.н., Воронежский государственный университет (Воронеж, Россия);
Кайшева Н.Ш. д-р фарм. наук, Волгоградский государственный медицинский университет (Волгоград, Россия);
Ерофеева Л.Н. д-р фарм. наук, проф., Курский государственный медицинский университет (Курс, Россия);
Папанов С.И. д-р фарм. наук, Медицинский университет (Пловдив, Болгария);
Петкова Е.Г. д-р фарм. наук, Медицинский университет (Пловдив, Болгария);
Скачилова С.Я. д-р хим. наук, Всероссийский Научный Центр По Безопасности Биологически Активных Веществ (Купавна Старая, Россия);
Ураков А.Л., д-р мед. наук, Государственная Медицинская Академия (Ижевск, Россия).

ОГЛАВЛЕНИЕ

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHYSICS AND MATHEMATICS

Родзина О.Н., Родзина Л.С. АНАЛИЗ ЛАНДШАФТА ОПТИМИЗИРУЕМЫХ ФУНКЦИЙ ПРИ ПРИНЯТИИ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ РЕШЕНИЙ	6
--	---

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING

Балашенко Н.С. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ПРИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОЖАРА В ПОМЕЩЕНИИ	10
Проничев А.П., Виткова Л.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ КИБЕР-ФИЗИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРИМЕТРА	14
Гардашева Л.А., Гаджиева Т.А. ОБЗОР И АНАЛИЗ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ И ЛЕЧЕНИЯ РАКА СОВРЕМЕННЫМИ ИНФОРМАЦИОННЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ.....	20
Джафарли М.К. АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЭЛЕКТРОННО-УПРАВЛЯЕМОЙ ФОРСУНКИ, РАЗРАБОТАННОЙ ДЛЯ ДВИГАТЕЛЯ С НЕПОСРЕДСТВЕННЫМ ВПРЫСКОМ БЕНЗИНА И ФОРКАМЕРНО-ФАКЕЛЬНЫМ ЗАЖИГАНИЕМ	30
Курочкин И.Н., Ильина М.Е. ПРИМЕНЕНИЕ ОТХОДОВ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ОГНЕСТОЙКОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ.....	36
Нгуен Минь Хонг, Фам Туан Тхань, Ву Хыу Тхик ПОВЫШЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА СЛЕДЯЩЕГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С СИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ НА ОСНОВЕ АДАПТИВНОГО МОДАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ С УЧЕТОМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОРРЕКЦИИ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК	40
Зыков А.В. ВЛИЯНИЕ ЖИДКИХ КОНСЕРВАНТОВ НА СОХРАНЕНИЕ ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ В КОРМАХ ИЗ ТРАВ	52
Владимиров В.М., Реушев М.Ю., Никитин С.Л., Давлетшин Н.Н. СКАНЕР ДЛЯ БЕЗКОНТАКТНОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ МАТЕРИАЛОВ В ТГц ДИАПАЗОНЕ	56
Торлова А.С., Виткалова И.А., Пикалов Е.С. ВЛИЯНИЕ КОЛИЧЕСТВА НАПОЛНИТЕЛЯ НА СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ КЕРАМИЧЕСКИХ И ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ.....	62
Тюрин А.И., Родаев В.В., Разливалова С.С., Васюков В.М. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЯ НА УПРАВЛЕНИЕ МОРФОЛОГИЕЙ И ДИАМЕТРОМ НАНОВОЛОКОН АЦЕТИЛАЦЕТОНАТ ЦИРКОНИЯ/ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛ.....	67

МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ / MEDICINE

Виноградова М.В., Гутникова Т. С. СРАВНЕНИЕ ЧАСТОТЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОЧАГОВОЙ ДЕМИНЕРАЛИЗАЦИИ ЭМАЛИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВРЕМЕНИ ЛЕЧЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЪЕМНОЙ И НЕСЪЕМНОЙ ОРТОДОНТИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ.....	74
Самчук П.М., Розалиева Ю.Ю. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАРУШЕНИЯ ЛАКТАЦИИ ПО УРОВНЮ ГОРМОНОВ ПЛАЦЕНТЫ ПОСЛЕ ЭКСТРАКОРПОРАЛЬНОГО ОПЛОДОТВОРЕНИЯ	79
Самчук П.М., Розалиева Ю.Ю. ТЕЧЕНИЯ БЕРЕМЕННОСТИ И РОДОВ У ПЕРВОРОДЯЩИХ ПОДРОСТКОВ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ.....	85
Евсеев А.Б. ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СТЕВИИ В ФУНКЦИОНАЛЬНОМ ПИТАНИИ ПРИ САХАРНОМ ДИАБЕТЕ 2-ГО ТИПА	90
Малев А.Л., Захарова А.Н., Калиберденко В.Б., Кузнецов Э.С. КОГНИТИВНЫЕ РАССТРОЙСТВА ПАЦИЕНТОВ С САХАРНЫМ ДИАБЕТОМ 1 И 2 ТИПА	93

Матханова Л.М., Матханов Р.М. ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЛУЧЕВАЯ ДИАГНОСТИКА СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ РЕСПУБЛИКАНСКОЙ БОЛЬНИЦЫ ИМЕНИ СЕМАШКО Н.А. В РЕСПУБЛИКЕ БУРЯТИЯ.....	97
---	----

НАУКИ О ЗЕМЛЕ / SCIENCE ABOUT THE EARTH

Усанов С.В., Мельник В.В., Усанова А.В. СНИЖЕНИЕ ОБВОДНЕННОСТИ ПРИБОРТОВОГО МАССИВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ПРОЧИСТКИ ЗАКРЫТОГО ТРУБЧАТОГО ДРЕНАЖА	103
---	-----

Рогожинский Р.А., Литвин В.Т., Зиновьев А.М., Рощин П.В. РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ КИСЛОТНОГО СОСТАВА АФИ ПРОЛОНГИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛИМИКТОВЫХ КОЛЛЕКТОРОВ	110
--	-----

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ / BIOLOGY

Симоненко С.В., Мануйлов Б.М., Сидорова Е.В. ОПТИМАЛЬНЫЙ МЕТОД СУШКИ КОМБИНИРОВАННОГО МОЛОКА	116
---	-----

Волнин А.А., Мишуров А.В. ВЛИЯНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО ФАКТОРА НА ПИЩЕВАРЕНИЕ И ОБМЕН ВЕЩЕСТВ ОВЕЦ	122
--	-----

Карнаухов Г.И. БИОЦЕНОЗ РЕКИ ПСЕЗУАПСЕ (ЧЕРНОМОРСКОЕ ПОБЕРЕЖЬЕ)	129
--	-----

Титов И.Е., Иванов В.В., Спиридонов С.И. ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ОЦЕНКИ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ РАСТЕНИЕВОДСТВА НА РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЛЯХ	134
---	-----

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.87.9.001>**АНАЛИЗ ЛАНДШАФТА ОПТИМИЗИРУЕМЫХ ФУНКЦИЙ ПРИ ПРИНЯТИИ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ РЕШЕНИЙ**

Научная статья

Родзина О.Н.^{1,*}, Родзина Л.С.²¹ ORCID: 0000-0002-8032-2362;² ORCID: 0000-0002-4968-1922;^{1,2} Южный федеральный университет, Таганрог, Россия

* Корреспондирующий автор (srodzin[at]yandex.ru)

Аннотация

В статье сформулирован принцип поиска оптимальных информационно-управляющих решений метаэвристическими алгоритмами. Метаэвристика представляет собой итерационную процедуру, использующую рандомизацию и элементы самообучения, интенсификацию и диверсификацию поиска, адаптивные механизмы управления, конструктивные эвристики и методы локального поиска. Это перспективный подход к решению многих оптимизационных проблем. Предложена программа на псевдокоде, иллюстрирующая поиск решений метаэвристическими алгоритмами. Рассматривается общая модель ландшафта оптимизируемой функции. Определяется расстояние между решениями. Для анализа ландшафта применяются различные меры: изменение среднего расстояния между множеством однородно распределенных решений и множеством локальных оптимальных решений; энтропия; амплитуда; корреляция.

Ключевые слова: метаэвристический алгоритм, принятие решений, оптимизация, ландшафт, энтропия.

ANALYSIS OF LANDSCAPE OF OPTIMIZABLE FUNCTIONS WHEN MAKING DECISIONS RELATED TO DATA MANAGEMENT

Research article

Rodzina O.N.^{1,*}, Rodzina L.S.²¹ ORCID: 0000-0002-8032-2362;² ORCID: 0000-0002-4968-1922;^{1,2} South Federal University, Taganrog, Russia

* Corresponding author (srodzin[at]yandex.ru)

Abstract

The article states the principle of searching for the most efficient data management solutions by metaheuristic algorithms. Metaheuristics is an iterative procedure that uses randomization and self-learning elements, intensification and diversification of searches, adaptive control mechanisms, constructive heuristics, and local search methods. It is a very promising approach to solving many optimization problems. A pseudo-code program that illustrates the search for solutions by metaheuristic algorithms is proposed. General landscape model of the optimized function is considered. The distance between the solutions is determined. Various measures are used to analyze the landscape: Changing the average distance between the set of uniformly distributed solutions and the set of locally optimal solutions; entropy; amplitude; correlation.

Keywords: metaheuristic algorithm, decision making, optimization, landscape, entropy.

Введение

Задач поиска оптимальных решений в условиях различных ограничений бесчисленное множество. Каждый процесс в науке и технике, экономике и бизнесе имеет потенциал для оптимизации и может быть сформулирован как оптимизационная задача. Оптимизация состоит в минимизации времени, стоимости, риска или максимизация прибыли, качества, эффективности. Большинство реальных задач оптимизации сложны, их трудно точно решить в течение разумного времени. Основной альтернативой для решения этих задач являются приближенные алгоритмы. Наиболее общим классом приближенных алгоритмов, применимых к разнообразным оптимизационным задачам являются метаэвристические алгоритмы [1]. Они могут быть адаптированы, чтобы решить многие проблемы оптимизации в таких областях как логистика, биоинформатика, автоматизация проектирования, сети и телекоммуникации, логистика, интеллектуальный анализ данных, финансы, бизнес и т.д.

В настоящее время, значительное число разработанных и применяемых на практике метаэвристик принадлежат к недетерминированным алгоритмам [2], [3]. Это обусловлено их более высокими показателями эффективности. К тому же, постановки оптимизационных задач зачастую содержат данные, которые имеют определенные погрешности, что окончательно делает значительные вычислительные затраты для нахождения точного решения неоправданными.

В статье с единых позиций представлен анализ ландшафта оптимизируемых функций при принятии информационно-управляющих решений.

Принцип поиска решений метаэвристическими алгоритмами

Метаэвристика представляет собой итерационную процедуру, использующую рандомизацию и элементы самообучения, интенсификацию и диверсификацию поиска, адаптивные механизмы управления, конструктивные эвристики и методы локального поиска. Идея метаэвристических алгоритмов основана на предположении, что целевая функция решаемой задачи имеет много локальных экстремумов, а просмотр всех допустимых решений невозможен,

несмотря на конечность их числа. В такой ситуации нужно сосредоточить поиск в наиболее перспективных частях допустимой области. Таким образом, задача сводится к выявлению таких областей и быстрому их просмотру. Каждая из метаэвристик решает эту проблему по-своему [4].

Алгоритм состоит в многократном применении процедуры поиска альтернативных решений в некоторой окрестности и замены текущего решения на альтернативное решение. Для создания альтернативных решений используется текущее решение s . Множество альтернативных решений $C(s)$, как правило, получают путем локальных преобразований решения s . На этапе замены текущего решения s новым решением s^* выбор осуществляется из множества альтернативных решений $C(s)$. Этот итерационный процесс повторяется многократно до выполнения заданного критерия останова.

Ниже приводится программа на псевдокоде, иллюстрирующая поиск решений метаэвристическими алгоритмами.

Input: Инициализация начального решения s_0 .

$t:=0$;

Repeat

Создание альтернативных решений $C(s_t)$ путем применения определенных операторов в некоторой окрестности решения s_t ;

Замена решения s_t на лучшее решение s_{t+1} из множества $C(s_t)$;

$t:=t+1$;

Until Проверка условия останова;

Output: Найдено лучшее решение.

Анализ ландшафта оптимизируемых функций

Определим пространство поиска решений через ориентированный граф $G = (S, E)$, где множество вершин S соответствует множеству кодируемых решений задачи, а множество ребер E соответствует множеству операторов перемещения, используемых для генерации новых решений. Вершины s_i и s_j являются соседними и связаны ребром, если решение s_j может быть получено из решения s_i с использованием оператора перемещения.

Ландшафт L функции оптимизации определяется как кортеж (G, f) , где граф G представляет собой пространство поиска, а f – оптимизируемую функцию [5]. Двух или трехмерный ландшафт можно представить с использованием географических терминов (пики, овраги, плато и др.), а метаэвристический алгоритм – как траекторию поиска, например, пика [6].

Предлагается более общая NK -модель ландшафта. Она классифицирует функции пригодности ландшафтов в зависимости от двух параметров N и K . Параметр N определяет размерность задачи, а параметр K – степень влияния переменных на оптимизируемую функцию пригодности.

Для анализа ландшафта оптимизируемой функции введем понятие расстояния в графе G , представляющего пространство поиска [8]. Это позволит определять пространственную структуру ландшафта и может оказаться полезным для разработки поисковых механизмов, таких как диверсификация и интенсификация процедуры поиска оптимума. Определим расстояние $d(s_i, s_j)$ между решениями s_i и s_j на графе G как длину самого короткого пути, т.е. минимальное количество применений оператора перемещения для перехода из s_i в s_j . Расстояние должно обладать следующими свойствами [9]:

- $d(x, y) = 0$, если и только если $x = y$;
- $d(x, y) = d(y, x)$;
- $d(x, y) + d(y, z) \geq d(x, z)$.

Отметим, что для некоторых задач оптимизации вычисление расстояния между решениями может оказаться NP -полной проблемой или же иметь оценку сложности высокого полиномиального порядка [10], [11], [12]. Ландшафт характеризуется различными свойствами: числом локальных оптимумов, их распределением, неровностью, дисперсией и др. Большинство из этих свойств основаны на статистике и являются глобальными или локальными характеристиками ландшафта.

Глобальные характеристики дают информацию о структуре ландшафта в целом, используя все пространство поиска. Однако целью оптимизации является поиск «хороших» решений, которые, обычно, представляют собой малую часть пространства поиска. Поэтому глобальных характеристик для исследования ландшафта недостаточно.

В целом, глобальные и локальные характеристики должны дополнять друг друга. Поэтому для анализа ландшафта, как в пространстве решений G , так и функций f предлагается применять две различные характеристики: меру распределения локальных решений для оценки топологии пространства и корреляционную меру для анализа неровностей ландшафта, оценки соотношения между качеством решений и относительными расстояниями между ними.

Для множества полученных метаэвристических решений P определим среднее расстояние $dmm(P)$ и нормированное среднее расстояние $Dmm(P)$:

$$dmm(P) = \frac{\sum_{s \in P} \sum_{t \in P, t \neq s} dist(s, t)}{|P|(|P| - 1)}, \quad Dmm(P) = \frac{dmm(P)}{diam(S)}, \quad diam(P) = \max_{s, t \in P} dist(s, t).$$

Здесь $diam(S)$ – диаметр множества решений S , равный максимальному расстоянию между решениями.

Нормированное среднее расстояние характеризует концентрацию множества решений P в пространстве поиска. Небольшое расстояние указывает на то, что решения группируются в малой области пространства поиска. Величина $\Delta_{Dmm} = (Dmm(U) - Dmm(O))/Dmm(U)$ представляет собой изменение среднего расстояния между множеством однородно распределенных решений U и множеством локальных оптимальных решений. При этом мощность множества O в зависимости от сложности метаэвристического алгоритма выбирается на интервале $10^3 \leq O \leq 10^4$.

Энтропия позволяет измерять разнообразие множества решений в пространстве поиска [13]. Величина $\Delta_{ent} = ent(U) - ent(O)/ent(U)$ представляет изменение энтропии между начальными решениями U и конечным множеством локальных оптимумов O , полученных после выполнения метаэвристического алгоритма. Энтропия дает информацию о разбросе, а не о зернистости решений. Хотя решения, сконцентрированные в нескольких областях, и решения, сконцентрированные в одной области, могут иметь одинаковую небольшую энтропию [14].

Для анализа распределения решений в пространстве функции f может использоваться амплитуда. Амплитуда – это величина относительной разности между лучшим и худшим значением функции f в некотором множестве решений P :

$$Amp(P) = \frac{|P|(\max_{s \in P} f(s) - \min_{s \in P} f(s))}{\sum_{s \in P} f(s)}.$$

Относительное изменение амплитуды Δ_{Amp} определяется соотношением между начальными решениями U и конечным множеством локальных оптимальных решений O по формуле:

$$\Delta_{Amp} = \frac{Amp(U) - Amp(o)}{Amp(U)}.$$

Корреляционная мера позволяет оценить гладкость ландшафта и корреляцию между качеством решения и его расстоянием до глобального оптимума. Ландшафт оценивается как негладкий, если он содержит много локальных оптимальных решений и характеризуется низкой корреляцией между соседними решениями. В качестве корреляционной меры можно использовать такие показатели как длина склона у пика функции, автокорреляционная функция и др. В частности, средняя длина склона у пика $Lmm(P)$ для множества решений P определяется как

$$Lmm(P) = \frac{\sum_{p \in P} l(p)}{|P|},$$

где $l(p)$ – длина пути до пика оптимизируемой функции, начиная с некоторого решения $p \in P$. Величина $Lmm(P)$ дает некоторую информацию о гладкости ландшафта. При гладком ландшафте количество локальных оптимумов небольшое и длина пути по склону до оптимума больше, нежели при большом количестве пиков.

С другой стороны, целевые функции некоторых задач оптимизации характеризуются наличием обширного плато, преодолеть которое метаэвристический алгоритм подчас не в состоянии. Пусть имеется решение s в пространстве поиска S , v – некоторое значение критерия f . Обозначим через $N(s)$, подмножество точек s' в окрестности решения s . Пусть X является подмножеством $N(s)$, которое состоит из решений $s'' \in X$ таких, что $f(s'') = v$. X представляет собой плато, тогда и только тогда, когда $|X| \geq 2$. Если ландшафт функции включает несколько плато, то целевой функции оптимизации f недостаточно, чтобы различить подмножества $N(s)$ окрестностей текущей точки s . Чтобы отделить одно плато от другого необходимо использовать дополнительную информацию. Либо изменить целевую функцию.

В целом анализ ландшафта, являясь интересным и ценным ресурсом, имеет определенные ограничения: использование некоторых из перечисленных мер требует данные, которые трудно получить, например, значение глобального оптимума, количество локальных оптимумов, определение расстояния.

Заключение

С единых позиций рассмотрены метаэвристические алгоритмы, принципы их организации, а также свойства ландшафта оптимизируемых функций. Метаэвристические алгоритмы не гарантируют нахождение глобального оптимума. Многие из них основаны на процедурах, содержащих элементы стохастической оптимизации со случайными переменными. Если множество допустимых решений велико, то метаэвристические алгоритмы зачастую позволяют найти близкие к оптимальным решения с меньшими вычислительными затратами, нежели многие итерационные или простые эвристические алгоритмы. Это перспективный подход к решению многих оптимизационных проблем.

Финансирование

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-01-00412-а.

Конфликт интересов

Не указан.

Funding

The study was carried out with the financial support of the Russian Federal Property Fund in the framework of scientific project No. 19-01-00412-a.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Bischl B. Algorithm Selection Based on Exploratory Landscape Analysis and Cost-Sensitive Learning / B. Bischl, O. Mersmann, H. Trautmann, M. Preuss // Proc. of the 14th Annual Conf. on Genetic and Evolutionary Computation (GECCO). – 2012. – P. 313 – 320.
2. Rodzin S.I. Effectiveness evaluation of memetic and biogeography algorithms using benchmark and trans computational tasks of combinatorial optimization / S.I. Rodzin, O.N. Rodzina // Proc. of the First Int. Scientific Conf. “Intelligent Information Technologies for Industry” (ITI'16). – 2016. vol. 1. Advances in Intelligent Systems and Computing 450. – P. 463–475.

3. Rodzin S. Smart Dispatching and Metaheuristic Swarm Flow Algorithm / S. Rodzin // *Computer and Systems Sciences Intern.* – 2014. – N. 1. – P. 109–115.
4. Hanster C. Exploratory Landscape Analysis for Everyone / C. Hanster, P. Kerschke // *Proc. of the 19th Annual Conf. on Genetic and Evolutionary Computation (GECCO)*. – 2017. – Companion. ACM. doi:10.1145/3067695.3082477.
5. Kerschke P. Feature-Based Landscape Analysis of Continuous and Constrained Optimization Problems [Electronic resource] / P. Kerschke // R-package version 1.7. – 2017. URL <https://github.com/kerschke/flacco>. (accessed: 23.07.2019)
6. Kerschke P. Cell Mapping Techniques for Exploratory Landscape Analysis / P. Kerschke, M. Preuss, C. Hernández, O. Schutze, J.Q. Sun, C. Grimme, G. Rudolph, B. Bischl, H. Trautmann // *EVOLVE - A Bridge between Probability, Set Oriented Numerics, and Evolutionary Computation*. – 2014. – P. 115 – 131.
7. Malan K.M. Quantifying Ruggedness of Continuous Landscapes using Entropy / K.M. Malan, A.P. Engelbrecht // *Proc. of the IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*. – 2009. – P. 1440 – 1447.
8. Rodzin S. New computational models for big data and optimization / S. Rodzin, O. Rodzina // *Proc. of the 9th Int. Conf. on Application of Information and Communication Technologies (AICT'2015)*. – 2015. – P. 3–7.
9. Bozhenyuk A. Hybrid Ant Fuzzy Algorithm for MRI Images Segmentation / A. Bozhenyuk, S. El-Khatib, Ja. Kacprzyk, M. Knyazeva, S. Rodzin // *Lecture Notes in Computer Science*. – 2019. – vol. 11509. P. 127–137.
10. Mersmann O. Exploratory Landscape Analysis / O. Mersmann, B. Bischl, H. Trautmann, M. Preuss, C. Weihs, G. Rudolph // *Proc. of the 13th Annual Conf. on Genetic and Evolutionary Computation (GECCO)*. – 2011. – P. 829 – 836.
11. Muller C.L. Global Characterization of the CEC 2005 Fitness Landscapes using Fitness-Distance Analysis / C.L. Muller, I.F. Sbalzarini // *Applications of Evolutionary Computation*. – 2011. – P. 294 – 303. doi:10.1007/978-3-642-20525-5_30.
12. Munoz M.A. Exploratory Landscape Analysis of Continuous Space Optimization Problems using Information Content / M.A. Munoz, M. Kirley, S.K. Halgamuge // *IEEE Trans. on Evolutionary Computation*. – 2015. – P. 74 – 87. doi:10.1109/TEVC.2014. 2302006.
13. Rodzin S.I. Metaheuristics memes and biogeography for trans computational combinatorial optimization problems / S.I. Rodzin, O.N. Rodzina // *Proc. of the 6th IEEE Int. Conf. on Cloud System and Big Data Engineering (Confluence'2016). AI and Soft Computing*. – 2016. – P. 1–5.
14. Shirakawa S. Bag of Local Landscape Features for Fitness Landscape Analysis / S. Shirakawa, T. Nagao // *Soft Computing*. – 2016. – N. 20(10). – P. 3787 – 3802.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.87.9.002>ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ПРИ ИДЕНТИФИКАЦИИ
ПОЖАРА В ПОМЕЩЕНИИ

Научная статья

Балашенко Н.С. *

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

* Корреспондирующий автор (balashenko.nikita[at]bk.ru)

Аннотация

В настоящей работе рассматривается возможность использования обобщенного критерия оптимальности с целью осуществления поддержки принятия решений при развитии пожара в помещении, что позволит более эффективно бороться с уже развившимся пожаром. Статья состоит из двух частей. В первой части приведено описание методологической базы исследования, во второй – применение рассмотренной методики для заданного момента времени развития пожара, моделирование которого осуществлено на базе дифференциальной модели.

Ключевые слова: опасные факторы пожара, принятие решений в условиях определенности, обобщенный критерий оптимальности.

MULTI-CRITERIAL OPTIMIZATION METHODS IN INDOOR FIRE IDENTIFICATION

Research article

Balashenko N.S. *

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

* Corresponding author (balashenko.nikita[at]bk.ru)

Abstract

In this paper, we consider the possibility of the use of a generalized criterion of optimality in order to support decision-making during the development of a fire in a premise, which will more effectively deal with an already developed fire. The article consists of two parts. The first part describes the research methodological base, and the second describes the application of the considered methodology for a given point in time of fire development, the modeling of which is based on a differential model.

Keywords: hazardous fire factors, decision-making under conditions of certainty, generalized optimality criterion.

Введение

Проблема пожарной опасности является одной из основных проблем в России. Стоит отметить, что немаловажное значение имеет повышение эффективности борьбы с уже развившимися пожарами. Для этого необходимо иметь как можно более достоверную и непротиворечивую информацию о динамике развития пожара, подтвержденную с помощью математических методов. Для достижения этой цели можно использовать интеллектуальные датчики, которые смогут обрабатывать поступающую информацию о количественных значениях измеряемых опасных факторов пожара и на основе этих данных осуществлять оценку степени пожарной опасности в помещении. Так как в качестве факторов пожара рассматриваются физические величины, то задача оценки опасности пожара является задачей принятия решений в условиях определенности.

Методы и принципы исследования

Для демонстрации применения методов многокритериальной оптимизации при оценке степени пожарной опасности обстановки осуществлено моделирование развития пожара в административном помещении на основе дифференциальной модели развития пожара [5] с использованием программного комплекса *Fire Dynamics Simulator (FDS)*. Геометрия помещения [3], параметры горения [2], [4] и начальные условия моделирования заданы в графическом интерфейсе *PyroSim* для *FDS*.

Таким образом, в данной многокритериальной задаче рассматриваются два множества – множество критериев f и множество альтернатив X . Множество X образуют комнаты административного помещения $x_i, i = \overline{1,6}$. В качестве критериев $f_j, j = \overline{1,4}$ выступают следующие физические величины:

- а) температура, °C;
- б) оптическая плотность;
- в) концентрация углекислого газа $CO_2, \text{кг/м}^3$;
- г) концентрация угарного газа $CO, \text{кг/м}^3$.

На рисунке 1 представлены условные обозначения комнат помещения, в пределах которого осуществляется моделирование пожара.



Рис.1 – Условные обозначения комнат

В процессе моделирования осуществлено измерение величины каждого из элементов множества критериев f для всех альтернатив $x_i, x \in X$.

Следующим шагом является построение множества Парето-оптимальных решений. На формуле (1) представлен обобщенный критерий оптимальности φ [1, С. 60-64], который представляет свертку множества критериев:

$$\varphi(X) = \left[\sum_{j=1}^m c_j f_j^p(X) \right]^{\frac{1}{p}}, w_j \geq 0, \sum_{j=1}^m w_j = 1, \quad (1)$$

где c_j – весовые коэффициенты, $j = \overline{1, m}$. В данной формуле также используется коэффициент $p \in (-\infty; +\infty)$. При различных значениях p можно вывести различные частные формы критерия (1). Например, при $p = 1$ критерий (1) можно представить в виде (2):

$$\varphi(X) = \sum_{j=1}^m c_j f_j(X), \quad (2)$$

В данной работе рассматривается именно этот критерий оптимальности, называющийся аддитивной сверткой критериев. Таким образом, главной задачей при оценке степени пожарной опасности является максимизация критерия (2):

$$\varphi(X) \Rightarrow \max. \quad (3)$$

Для осуществления свертывания критериев f_j в φ необходимо определить весовые коэффициенты $c_j, j = \overline{1, m}$. Например, с использованием алгоритма, предложенного в методе анализа иерархий Т. Саати [1, С. 84-87], [6], в основе которого лежит обратнo-симметричная положительная согласованная матрица парных сравнений:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_m \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_m \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_m/w_1 & w_m/w_2 & \dots & w_m/w_m \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Элементы a_{ij} удовлетворяют следующим условиям:

- 1) если $a_{ij} = \alpha$, то $a_{ji} = 1/\alpha, \alpha \neq 0$;
- 2) $a_{ii} = 1, \forall i = \overline{1, m}$;
- 3) $a_{ij}a_{jk} = \frac{w_i w_j}{w_j w_k} = \frac{w_i}{w_k} = a_{ik}$.

Для определения весовых коэффициентов c_j используется следующий алгоритм:

$$\begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} & c_1 \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} & c_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & 1 & c_m \end{bmatrix}, c_j = \prod_{j=1}^m a_{ij}, j = \overline{1, m}. \quad (5)$$

Основные результаты

Данные, полученные в результате моделирования пожара для заданного момента времени, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные задачи

	Температура, °C	Оптическая плотность	Углекислый газ, кг/м³	Угарный газ, кг/м³
1	206,3	1,54	0,086	0,0041
2	131,7	1,65	0,078	0,0037
3	222,5	0,62	0,038	0,0018
4	129,3	0,85	0,042	0,002
5	344,5	1,23	0,087	0,0041
6	366,6	1,16	0,085	0,004

Необходимо применить операцию нормирования к исходным данным, согласно формуле (6):

$$f_i^{norm} = \frac{f_i - f_i^{min}}{f_i^{max} - f_i^{min}}, \quad (6)$$

В таблице 2 представлен результат выполнения данной операции для исходных данных.

Таблица 2 – Нормализованные значения исходных данных

	f_1	f_2	f_3	f_4
1	0,324	0,893	0,98	1
2	0,01	1	0,816	0,826
3	0,393	0	0	0
4	0	0,223	0,082	0,087
5	0,907	0,592	1	1
6	1	0,524	0,959	0,957

Таблица 3 отражает матрицу парных сравнений для элементов множества критериев, а также результат осуществления данного попарного сравнения – нормализованный вектор приоритетов (НВП), сумма элементов которого равна 1.

Таблица 3 – Определение приоритетов критериев

	f_1	f_2	f_3	f_4	Ср. геом.	НВП
f_1	1	0,333	0,25	0,25	0,38	0,08
f_2	3	1	0,5	0,5	0,931	0,195
f_3	4	2	1	1	1,682	0,353
f_4	5	2	1	1	1,778	0,373
Сумма	12	5,333	2,75	2,75	4,69	1

Данные результаты можно считать согласованными [6, С. 25], так как отношение согласованности меньше 10%.

$$L_{max} = 3,996$$

$$IC = 0,001$$

$$OC = 0,2\%$$

Ниже представлены значения обобщенного критерия для каждой из альтернатив

$$\varphi(x_1) = 0,919; \varphi(x_2) = 0,792; \varphi(x_3) = 0,031; \varphi(x_4) = 0,105;$$

$$\varphi(x_5) = 0,914; \varphi(x_6) = 0,878.$$

Заключение

Учитывая задачу (3), наибольшую опасность представляет ситуация в первой, пятой и шестой комнатах помещения, а значит борьбу с пожаром следует начать именно с этих комнат. Действительно, значения третьего и четвертого критериев, имеющих наиболее высокие значения весовых коэффициентов, в данных альтернативах достигают самых больших значений. Остальные критерии для данных альтернатив также принимают не самые низкие значения. Стоит отметить, что наименьшую опасность представляют третья и четвертая комнаты, в них обобщенный критерий принимает минимальные значения. Это обусловлено низкими значениями величин опасных факторов пожара в данных комнатах.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Болотин И. В. Системный анализ, оптимизация и принятие решений / Болотин И. В. Практикум: учебное пособие // Под ред. В. Н. Козлова. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – 111 с.
2. Карькин И.Н. Библиотека реакций и поверхностей горения в Pyrosim / Карькин И.Н.. – Екатеринбург: Ситис, 2016. – 27с.
3. Контарь Н.А. Примеры построения расчетных моделей для решения различных задач пожарной безопасности зданий и сооружений / Контарь Н.А. Карькин И.Н. – Екатеринбург: Ситис, 2016. – 220с.
4. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: Учебное пособие / Кошмаров Ю.А. – М.: Академия ГПС МВД России, 2000. – 118 с.
5. Применение полевого метода математического моделирования пожаров в помещениях: Методические рекомендации. – М.: ВНИИПО, 2003. – 35 с.
6. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Саати Т. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.
7. Тарakanов Д.В. Метод многокритериального ранжирования вариантов управления тушением пожаров в зданиях / Тараканов Д.В., Смирнов В.А., Семенов А.О. // Технологии техносферной безопасности. – 2016, Вып. №6(70), 72-75с.
8. Тараканов Д.В. Многокритериальная модель управления пожарно-спасательными подразделениями / Тараканов Д.В. // Технологии техносферной безопасности. – 2017, Вып. №4(74), 148-154с.
9. Храпский С. Ф. Прогнозирование опасных факторов пожара: конспект лекций / С. Ф. Храпский. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2012 – 80 с.: ил.
10. Черноруцкий И.Г. Методы принятия решений. – СПб.: БХВ-Петербург, 2012. – 318 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Bolotin I.V. Sistemnyj analiz, optimizaciya i prinyatie reshenij [System analysis, optimization and decision making] / Bolotin I.V. // Praktikum: uchebnoe posobie [Workshop: study guide] / Ed. V.N. Kozlov. – SPb.: Publishing house of the Polytechnic University, 2010. – 111 p.
2. Karkin I.N. Biblioteka reakcij i poverhnostej gorenija v Pyrosim [Library of reactions and combustion surfaces in Pyrosim] / Karkin I.N. – Yekaterinburg: Citis, 2016. – 27 p.
3. Kontar N.A. Primery postroeniya raschetnyh modelej dlya resheniya razlichnyh zadach pozharnoj bezopasnosti zdaniy i sooruzhenij [Examples of constructing design models for solving various fire safety problems of buildings and structures] / Kontar N.A. Karkin I.N. – Yekaterinburg: Citis, 2016. – 220p.
4. Koshmarov Yu.A. Prognozirovanie opasnyh faktorov pozhara v pomeshchenii: Uchebnoe posobie [Predicting Indoor Fire Hazards: A Training Manual] / Koshmarov Yu.A. – M.: Academy of State Fire Service of the Ministry of Internal Affairs of Russia, 2000. – 118 p.
5. Primenenie polevogo metoda matematicheskogo modelirovaniya pozharov v pomeshcheniyah: Metodicheskie rekomendacii [Application of the field method of mathematical modeling of fires in rooms: Methodological recommendations]. – M.: VNIPO, 2003. – 35 p.
6. Saati T. Prinyatie reshenij. Metod analiza ierarhij [Decision Making. Hierarchy Analysis Method] / Saati T. – M.: Radio and communications, 1993. – 278 p.
7. Tarakanov D.V. Metod mnogokriterial'nogo ranzhirovaniya variantov upravleniya tusheniem pozharov v zdaniyah [Method of multicriteria ranking of fire extinguishing control options in buildings] / Tarakanov D.V., Smirnov V.A., Semenov A.O. // Technosphere safety technologies. – 2016, vol. No. 6 (70), 72-75 p.
8. Tarakanov D.V. Mnogokriterial'naya model' upravleniya pozharo-spasatel'nymi podrazdeleniyami [Multicriteria model for managing fire and rescue units] / Tarakanov D.V. // Technosphere Safety Technologies. – 2017, Iss. No. 4 (74), 148-154p.
9. Khrapsky S. F. Prognozirovanie opasnyh faktorov pozhara: konspekt lekcij [Prediction of dangerous fire factors: lecture notes] / S. F. Khrapsky. – Omsk: Publishing House of OmSTU, 2012 – 80 pp., Ill.
10. Chernorutsky I.G. Metody prinyatiya reshenij [Decision Making Methods] / Chernorutsky I.G. – SPb.: BHV-Petersburg, 2012. – 318 p.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.87.9.003>

МОДЕЛИРОВАНИЕ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ КИБЕР-ФИЗИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРИМЕТРА

Научная статья

Проничев А.П.¹, Виткова Л.А.^{2,*}

¹ ORCID: 0000-0002-8641-9587;

² ORCID: 0000-0002-4945-6151;

^{1, 2} Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук,
Санкт-Петербург, Россия

* Корреспондирующий автор (vitkova[at]comsec.spb.ru)

Аннотация

В статье рассматриваются существующие базовые средства разработки мультиагентных систем и предлагается архитектура киберфизической системы безопасности. При этом, основной целью моделируемой системы является повышение уровня защищенности помещения со сложной планировкой. Система ориентирована на реализацию в программно-аппаратной среде и включает три функциональных уровня: агрегирования, периферийный и сбора данных. В рамках эксперимента описан программный прототип интеллектуального агента мультиагентной системы для мониторинга помещений.

Ключевые слова: мультиагентные системы, киберфизические системы безопасности, интеллектуальный агент, информационная безопасность.

MODELING OF MULTIAGENT SYSTEM OF CYBER-PHYSICAL DEVICES FOR SOLVING PROBLEM MANAGEMENT AND SECURITY CONTROL PROBLEMS

Research article

Pronichev A.P.¹, Vitkova L.A.^{2,*}

¹ ORCID: 0000-0002-8641-9587;

² ORCID: 0000-0002-4945-6151;

^{1, 2} St. Petersburg Institute of Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

* Corresponding author (vitkova[at]comsec.spb.ru)

Abstract

The paper considers the existing basic tools for developing multiagent systems and offers the architecture of a cyber-physical security system. The main goal of the simulated system is to increase the level of security in the premises with a complex layout. The system is focused on implementation in a hardware-software environment and includes three functional levels: aggregation, peripheral, and data collection. A software prototype of an intelligent agent of a multiagent system for monitoring a premise is described as part of the experiment.

Keywords: multiagent systems, cyber-physical security systems, intelligent agent, information security.

Введение

В настоящее время наблюдается тенденция к развитию децентрализованных систем с использованием интеллектуальных агентов. Для организации сложных систем охраны периметра используют концепции киберфизических систем безопасности (КСБ), основанных на архитектуре мультиагентного взаимодействия. Больше внимания уделяется вопросам безопасности предприятий и прогнозируются следующие тенденции при разработке систем безопасности:

- 1) Интеграция мобильных агентов с другими средствами защиты, такими как датчики, различные механизмы, средства анализа состояния защиты;
- 2) Переход на интеллектуальные децентрализованные модули принятия решения представляющим из себя мультиагентную систему (МАС).

Использование таких систем может позволить эффективнее контролировать ситуацию, избегая проблем с отказоустойчивостью системы. Перспективным направлением считается внедрение особенностей самоорганизации и адаптивности в КСБ, присущих МАС, интеллектуальное поведение которых характеризуется отсутствием централизованной системы управления.

Преимущества использования мультиагентных систем [1]:

- 1) МАС, как интеллектуальные системы нового уровня, способны решать сложные проблемы;
- 2) Позволяют снизить затраты ресурсов и повысить эффективность их использования;
- 3) В мультиагентных системах сложные задачи могут решаться путем достижения компромиссов;
- 4) Гибкость таких систем позволяет решать проблемы в реальном времени, реагируя на события в окружающей среде;
- 5) МАС позволяют снизить уровень зависимости от отдельных субъектов в принятии решении;
- 6) Любая система МАС является масштабируемой платформой, где при росте сложности решаемых задач не требуется увеличение штата персонала.

В статье рассматривается концептуальный подход к архитектуре мультиагентной системы кибер-физических устройств для решения проблем управления и контроля безопасности периметра. Этот подход позволит одновременно использовать существующие информационные системы с внедрением дополнительных стационарных и мобильных

агентов киберфизической системы для совместного управления и решения возникающих проблем. Статья построена следующим образом: обзор посвящен наиболее популярным базовым средствам разработки, при помощи которых может быть реализована мультиагентная система, а также исследованиям, посвященным КСБ и МАС. В третьем разделе описывается архитектура системы, в четвертом показаны результаты эксперимента, в рамках которого разрабатывался программный прототип интеллектуального агента для мониторинга помещений. В заключительном разделе обсуждаются будущие перспективы и задачи.

Обзор существующих разработок в области МАС

В работах [2], [3] проводится расширенный анализ существующих разработок в области МАС-приложений, среди которых наиболее востребованными считаются сферы управления производством, логистики, энергетики и аэрокосмической отрасли. В то же время большинство разработок остаются на стадии прототипов. Исследования по-прежнему ведутся на уровне научных институтов и организаций. Хотя в 1998 году были выпущены стандарты FIPA [4], целью которых была организация связи между агентами, отправка и получение понятных сообщений. Вскоре появились различные базовые средства разработки мультиагентных систем.

Препроцессор и высокопроизводительный шаблонизатор JADE основан на языке программирования Java. Имеет обширную справочную документацию, совместим со стандартами FIPA [5]. В работе [6] представлена обобщенная архитектура МАС для поддержки жизненного цикла авиационного газотурбинного двигателя разработанная с применением JADE.

В [7] для разработки методов рационального архитектурного проектирования мультиагентных систем используется Python Agent DEvelopment framework (PADE) – фреймворк, использующий стандарт FIPA-ACL, позволяющий разрабатывать ПО в Python.

В [8] рассматривается проблема коммуникации и структурированного обмена информацией с поставщиками. С этой целью авторами в [8] предлагается подход, основанный на использовании МАС, а в качестве средства автоматизации и облегчения процесса устойчивого выбора поставщиков и распределения заказов используется Open Agent Architecture (OAA). Это фреймворк, предназначенный для интеграции разнородных программных агентов в распределенной среде. OAA полезен для построения сложных систем, имеющих множество разнородных компонентов, если в этих системах важны гибкость и расширяемость [9].

PANGEA – фреймворк, ориентированный на развитие виртуальной организации агентов [10], [11]. PANGEA представляет ряд преимуществ по сравнению с другими фреймворками, в частности предоставляет агентов, инкапсулирующих элементарную функциональность, такую как доступ к данным, службам. PANGEA включает агентов, которые управляют безопасностью на системном уровне [12]. Поддерживает стандарты FIPA [13].

В качестве обобщения можно сделать вывод о том, что традиционные объектно-ориентированные подходы программирования нашли отражение в построении таких систем. Агенты являются частью механизмов и философии, используемых объектов. Данный подход получил отражение в системах, используемых для поддержки объектно-ориентированных систем [14].

Будучи сложной парадигмой мультиагентные системы также требуют и создания онтологий, которые позволят формально определить типы, свойства и отношения между интеллектуальными агентами. Несколько базовых средств разработки появились в онтологиях, например есть дополнительные библиотеки для языка веб-онтологий (OWL) [15].

В [16] предложена методика проектирования защищенных встроенных устройств на примере системы охраны периметра. Авторы предлагают поиск наилучших комбинаций компонентов защиты на основе решения оптимизационной задачи. Такая методика может быть в дальнейшем адаптирована под задачи защиты помещений. В [17] авторы рассматривают возможность разработки архитектуры параллельной обработки больших данных для мониторинга безопасности сетей Интернета вещей, однако авторы ставили перед собой цель защитить информацию в IoT сети от нарушителя.

Анализ работ показал, что на сегодняшний день многие известные базовые средства разработки мультиагентных систем позволяют моделировать КСБ для защиты помещений. Однако исследовательских проектов, ориентированных на такие разработки, не проводилось.

Архитектура системы

Рассмотрим общую архитектуру мультиагентной системы киберфизических устройств для решения проблем управления и контроля безопасности периметра (рис.1).



Рис. 1 – Архитектура мультиагентной системы киберфизических устройств

1. Уровень агрегации включает в себя технические системы защиты периметра, которые ранее были установлены в помещении, например системы контроля управления доступом, структурированные кабельные системы. Мультиагентная система киберфизических устройств наследует на уровне агрегации политики безопасности, разрешительные системы доступа в помещения, требования к визуализации событий безопасности. На уровне узла агрегации определяется целевая функция системы в целом.

2. Уровень периферии в архитектуре системы КСБ для защиты помещения отвечает за функции жизнеобеспечения интеллектуальных, мобильных агентов в целом. Сюда входят устройства сетей передачи данных и др. По сути, элементы данного уровня не нацелены на поиск нарушителя в помещении, но они отвечают за безопасность системы в целом.

3. Уровень сбора данных в архитектуре мультиагентной системы киберфизических устройств, обеспечивающей защиту помещений, содержит два типа агентов: (1) стационарные; (2) мобильные. Каждый агент на уровне сбора данных может пассивным членом системы и активным. Устройство может собирать информацию и передавать, а может запрашивать сведения у пассивных агентов и обрабатывать. Такая сегментация позволяет распределить нагрузку в децентрализованной системе в зависимости от аппаратной мощности устройства.

В отличие от существующих решений, предлагаемая архитектура основана на разработке специализированной системы мониторинга помещения. Для реализации подхода предполагается разработка мультиагентной системы мобильных устройств, способных к построению модели окружающей среды, преобразованию ее в цифровой вид, и корреляции полученных данных как от одного агента, так и суммарных в системе, для обнаружения аномалий (подозрительной активности) и выявления нарушителей.

Эксперимент

В рамках данного исследования был проведен эксперимент, в котором имитировалась работа интеллектуальных агентов на компьютерах малой мощности, с использованием модульной структуры программной части для ее универсальности и доступности для использования на других устройствах. Цель эксперимента: показать возможность работы интеллектуального агента в условиях поступления большого количества запросов от устройств. А также получение среднего времени обслуживания в разрабатываемой архитектуре мультиагентной системы киберфизических устройств.

Эксперимент проводился в условиях подключения всех агентов к одной локальной сети, при этом мобильные интеллектуальные агенты использовали Wi-Fi подключение.

Для реализации интеллектуального агента использовался:

- микрокомпьютер Raspberry pi 3, как аппаратная платформа;
- Java, ввиду кроссплатформенности языка программирования;
- реляционная база H2, для хранения данных;
- ОС Raspbian на дистрибутиве Linux

Данное решение отличается низкой стоимостью интеллектуального агента, простотой настройки.

Методика. При проведении эксперимента использовался прототип интеллектуального агента, в котором был заложен алгоритм генерации данных о помещении с дополнительной нагрузкой на систему. (Агент А)

В качестве дополнительной нагрузки была выбрана генерация массива с последующим делением каждого элемента на случайно подобранный делитель. Таким образом было заменено движение агента для исключения дополнительных факторов влияния на эксперимент

Идентичный агенту А был задействован интеллектуальный агент для тестирования возможности получения данных на реально работающей системе и получении среднего времени обслуживания. (Агент Б)

В рамках эксперимента данный агент создавал свою цифровую модель помещения на основе полученных данных (рис.2).

Интенсивность потока с данного агента составляла ~0,01 запроса/мс.

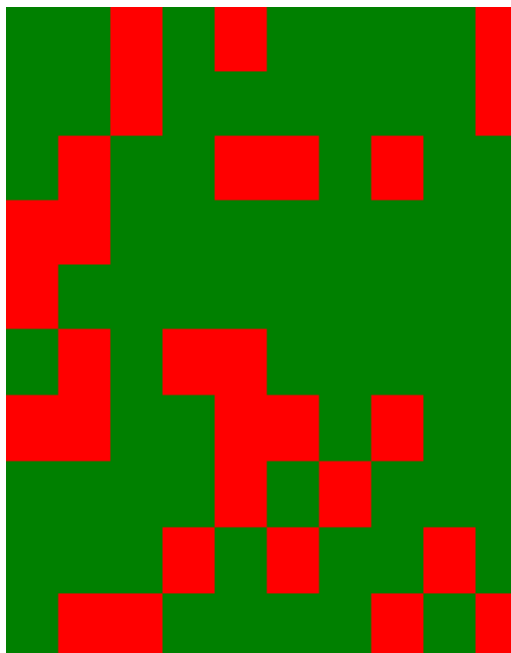


Рис. 2 – визуальное отображение цифровой модели карты местности

Дополнительно были задействованы 2 стационарных агента (Агенты B_1 и B_2), нагружающие интеллектуального мобильного запросами данных, на каждый из которых мобильный агент формировал ответ. (рис.3).

Интенсивность формирования запросов ~ 3 запроса/мс. на каждом из агентов.

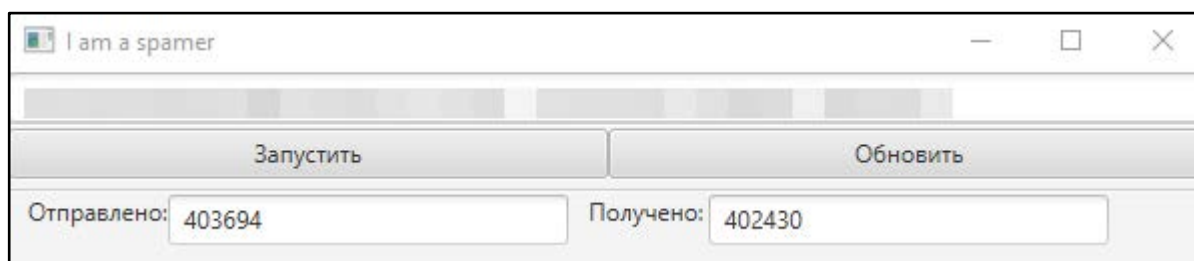


Рис. 3 – Интерфейс агента, нагружающего систему

Согласно закону Литтла [18] долгосрочное среднее количество L заявок в стационарной системе равно долгосрочной средней интенсивности λ входного потока, умноженной на среднее время W пребывания заявки в системе. Алгебраически,

$$L = \lambda W \quad (1)$$

Другими словами, задача эксперимента выявить среднее время пребывания заявки в общей мультиагентной системе.

Замер времени пребывания заявки в системе проводился агентом Б. Временем ответа на запрос считалось время с момента отправки запроса до момента получения ответа на этот запрос. Время отправки записывалось в реляционную базу данных на агенте Б с ID соответствующим пакету запроса, время ответа заносилось в соответствующую строку в отдельное поле. Разница данных отправки и ответа считалась временем обслуживания заявки в системе.

При анализе данных были получены результаты по трем показателям, характеризующим взаимодействие между агентами для получения среднего времени обслуживания.

W – среднее время обслуживания (мс.)

λ – интенсивность потока на агенте А (запросов/мс.)

В первом случае участвовали агенты А и Б где W составило менее 1 мс. при общем количестве ~ 30000 запросов от агента Б к агенту А, $\lambda \sim 0,01$ запроса/мс.

В втором случае был добавлен агент B_1 для дополнительной нагрузки на агенте А и увеличения λ до ~ 3 запроса/мс. W от агента А к агенту Б составило менее 1 мс. при общем количестве ~ 30000 запросов от Б к А.

Для проведения третьего взаимодействия дополнительно был задействован агент B_1 , который увеличил λ до ~ 6 запроса/мс. При этом W от агента А к агенту Б составило менее 1 мс. при общем количестве ~ 30000 запросов от Б к А.

Согласно полученным данным среднее количество заявок в системе на данном этапе ее разработки равно интенсивности запросов в системе.

Проведенный эксперимент также демонстрирует возможность программной реализации системы и взаимодействия между интеллектуальными агентами, используя стационарные и мобильные агенты, с возможностью обмена информации между ними. В рамках эксперимента показана теоретическая возможность построения киберфизической системы, подобной биологическим аналогиям, но имеющая свою логику, необходимую для

достижения цели.

Обсуждение и выводы

В работе была разработана и проанализирована архитектура построения мультиагентной системы для решения проблем управления и контроля безопасности периметра. Был описан пример мобильного интеллектуального агента, необходимого для дальнейшей реализации описанного теоретического подхода контроля за помещениями.

В дальнейших исследованиях планируется:

- разработка предложенного подхода и архитектуры;
- модернизация элементов взаимодействия интеллектуального агента с окружающей средой;
- внедрение в систему алгоритмов навигации
- рассмотрение вопросов кооперации агентов для решения локальных задач, возникающие при кооперации проблемы использования общих ресурсов и ролей.
- Рассмотрения вопросов внутренней безопасности (защиты от DDoS атак, выявление агентов-злоумышленников и др.)

Финансирование

Работа выполнена при частичной поддержке бюджетной темы № 0060-2019-0010.

Конфликт интересов

Не указан.

Funding

This work was partially supported within the budget work No. 0060-2019-0010.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Городецкий В.И. Современное состояние и перспективы промышленных применений многоагентных систем / Городецкий В.И., Бухвалов О.Л., Скобелев П.О. // Управление большими системами: сборник трудов. – 2017. – №66. – С. 97–157.
2. Загитова А. И. Система поддержки жизненного цикла сложного технического объекта на основе агентных технологий / Загитова А. И., Кондратьева Н. В., Валеев С. С. // Вестник УГАТУ. – 2018. – Т. 22. – №. 2 (80). – С. 113–121
3. Рындин Н.А. Рационализация архитектурного проектирования мультиагентных систем на основе многовариантной интеграции / Рындин Н.А., Сапегин С.В. // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2018. – Т. 14. – №. 6. – С. 33–37
4. Найданов Д.Г. Онтологии в мультиагентных системах / Найданов Д.Г., Шеин Р.Е. // В сборнике: XII всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014 Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. 2014. С. 9044–9049.
5. Десницкий В.А. Комбинированная методика проектирования защищенных встроенных устройств на примере системы охраны периметра / Десницкий В.А., Чечулин А.А., Котенко И.В., и др. // Труды СПИИРАН. 2016. Вып. 5(48). С.5–31.
6. Котенко И.В. Архитектура системы параллельной обработки больших данных для мониторинга безопасности сетей Интернета вещей. / Котенко И.В., Саенко И.Б., Кушнеревич А.Г. // Труды СПИИРАН. 2018. Вып. 4(59). С.5–30.
7. Leitao P. Recent Developments and Future Trends of Industrial Agents / Leitao P., Vrba P. // Proc. of «Holonc and Multi-Agent Sys-tems for Manufacturing» (HoloMAS-2011), Vol. 6867 of the se-ries Lecture Notes in Computer Science. Springer Verlag, 2011–2012. – P. 15–28.
8. Müller J. Application Impact of Multiagent Sys-tems and Technologies: A Survey / Müller J., Fisher K. // In «Agent-Oriented Soft-ware Engineering» book series. – Springer, 2013. – P. 1–26.
9. O'Brien P.D. FIPA—Towards a standard for software agents. BT Technol / O'Brien P.D., Nicol R.C. J. 1998, 16, 51–59.
10. Bellifemine F. JADE—A FIPA-compliant agent framework. In Proceedings of the PAAM / Bellifemine F., Poggi A., Rimassa G. London, UK, 30 April 1999; Volume 99, p. 33.
11. Cheyer A., Martin D. The open agent architecture. Auton. Agents Multi-Agent Syst / Cheyer A., Martin D. 2001, 4, 143–148.
12. Ghadimi P. A multi-agent systems approach for sustainable supplier selection and order allocation in a partnership supply chain / Ghadimi P., Toosi F. G., Heavey C. //European Journal of Operational Research. – 2018. – Т. 269. – №. 1. – С. 286–301
13. Zato C. PANGAEA: A new platform for developing virtual organizations of agents / Zato C., Villarrubia G., Sánchez A., and others. Int. J. Artif. Intell. 2013, 11, 93–102
14. Villarrubia G. Ambient agents: embedded agents for remote control and monitoring using the PANGAEA platform / Villarrubia G., De Paz J.F., Bajo J. and others. Sensors 2014, 14, 13955–13979
15. Briones A.G. Review of the Main Security Problems with Multi-Agent Systems used in E-commerce Applications / Briones A.G., Chamoso P., Barriuso A. ADCAI Adv. Distrib. Comput. Artif. Intell. J. 2016, 5, 55–61
16. Sánchez A. A gateway protocol based on FIPA-ACL for the new agent platform PANGAEA. In Trends in Practical Applications of Agents and Multiagent Systems / Sánchez A., Villarrubia G., Zato C. and others. Springer: Berlin, Germany, 2013; pp. 41–51
17. Al-Azawi R.K. Comparing Agent—Oriented Programming Versus Object-Oriented Programming / Al-Azawi R.K., Ayesh A. In Proceedings of the ICIT 2013 The 6th International Conference on Information Technology, Amman, Jordan, 8–10 May 2013; pp. 24–29.
18. Leon-Garcia A. Probability, statistics, and random processes for electrical engineering / Leon-Garcia A. – 2017.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Gorodetsky V.I. Sovremennoye sostoyaniye i perspektivy industrial'nykh primeneniyy mnogoagentnykh sistem [Current State and Prospects of Industrial Applications of multiagent Systems] / Gorodetsky V.I., Bukhvalov O.L., Skobelev P.O. // Upravleniye bol'shimi sistemami: sbornik trudov [Management of large systems: proceedings]. – 2017. – No. 66. – P. 97–157. [in Russian]
2. Zagitova A. I. Sistema podderzhki zhiznennogo tsikla slozhnogo tekhnicheskogo ob'yekta na osnove agentnykh tekhnologiy [Life Support System for Complex Technical Facility Based on Agent Technologies] / Zagitova A. I., Kondratyev N. V., Valeev S. S. // Vestnik UGATU [Vestnik USATU]. – 2018. – V. 22. – No. 2 (80). – P. 113-121 [in Russian]
3. Ryndin N.A. Ratsionalizatsiya arkhitekturnogo proyektirovaniya mul'tiagentnykh sistem na osnove mnogovariantnoy integratsii [Rationalization of Architectural Design of Multiagent Systems Based on Multivariate Integration] / Ryndin N.A., Sapegin S.V. // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of the Voronezh State Technical University]. – 2018. – V. 14. – No. 6. – P. 33-37 [in Russian]
4. Naydanov D.G. Ontologii v mul'tiagentnykh sistemakh [Ontologies in Multiagent Systems] / Naydanov D.G., Shein R.E. // V sbornike: XII vserossiyskoye soveshchaniye po problemam upravleniya VSPU-2014 Institut problem upravleniya im. V.A. Trapeznikova RAN [Collection: XII All-Russian Meeting on Management Problems of VSPU-2014 V.A. Trapeznikov RAS]. – 2014. – P. 9044-9049. [in Russian]
5. Desnitsky V.A. Kombinirovannaya metodika proyektirovaniya zashchishchennykh vstroyennykh ustroystv na primere sistemy okhrany perimetra [Combined Design Technique for Protected Embedded Devices Using xample of Perimeter Security System] / Desnitsky V.A., Chechulin A.A., Kotenko I.V. and others// Trudy SPIIRAN [Transactions of SPIIRAS]. – 2016. – Issue. 5 (48). – P.5-31. [in Russian]
6. Kotenko I.V. Arkhitektura sistemy parallel'noy obrabotki bol'shikh dannykh dlya monitoringa bezopasnosti setey Interneta veshchey [Architecture of Large Data Parallel Processing System for Monitoring Security of Internet of Things] / Kotenko I.V., Saenko I.B., Kushnerevich A.G. // Trudy SPIIRAN [Proceedings of SPIIRAS]. – 2018. – Issue. 4 (59). – P. 5-30. [in Russian]
7. Leitao P. Recent Developments and Future Trends of Industrial Agents / Leitao P., Vrba P. // Proc. of «Holonc and Multi-Agent Sys-tems for Manufacturing» (HoloMAS-2011), Vol. 6867 of the se-ries Lecture Notes in Computer Science. Springer Verlag, 2011–2012. – P. 15–28.
8. Müller J. Application Impact of Multiagent Sys-tems and Technologies: A Survey / Müller J., Fisher K. // In «Agent-Oriented Soft-ware Engineering» book series. – Springer, 2013. – P. 1–26.
9. O'Brien P.D. FIPA—Towards a standard for software agents. BT Technol / O'Brien P.D., Nicol R.C. J. 1998, 16, 51–59.
10. Bellifemine F. JADE—A FIPA-compliant agent framework. In Proceedings of the PAAM / Bellifemine F., Poggi A., Rimassa G. London, UK, 30 April 1999; Volume 99, p. 33.
11. Cheyer A., Martin D. The open agent architecture. Auton. Agents Multi-Agent Syst / Cheyer A., Martin D. 2001, 4, 143–148.
12. Ghadimi P. A multi-agent systems approach for sustainable supplier selection and order allocation in a partnership supply chain / Ghadimi P., Toosi F. G., Heavey C. //European Journal of Operational Research. – 2018. – Vol. 269. – №. 1. – P. 286-301
13. Zato C. PANGAEA: A new platform for developing virtual organizations of agents / Zato C., Villarrubia G., Sánchez A., and others. Int. J. Artif. Intell. 2013, 11, 93–102
14. Villarrubia G. Ambient agents: embedded agents for remote control and monitoring using the PANGAEA platform / Villarrubia G., De Paz J.F., Bajo J. and others. Sensors 2014, 14, 13955–13979
15. Briones A.G. Review of the Main Security Problems with Multi-Agent Systems used in E-commerce Applications / Briones A.G., Chamoso P., Barriuso A. ADCAIJ Adv. Distrib. Comput. Artif. Intell. J. 2016, 5, 55–61
16. Sánchez A. A gateway protocol based on FIPA-ACL for the new agent platform PANGAEA. In Trends in Practical Applications of Agents and Multiagent Systems / Sánchez A., Villarrubia G., Zato C. and others. Springer: Berlin, Germany, 2013; pp. 41–51
17. Al-Azawi R.K. Comparing Agent—Oriented Programming Versus Object-Oriented Programming / Al-Azawi R.K., Ayesh A. In Proceedings of the ICIT 2013 The 6th International Conference on Information Technology, Amman, Jordan, 8–10 May 2013; pp. 24–29.
18. Leon-Garcia A. Probability, statistics, and random processes for electrical engineering / Leon-Garcia A. – 2017.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.87.9.004>**ОБЗОР И АНАЛИЗ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ И ЛЕЧЕНИЯ РАКА СОВРЕМЕННЫМИ ИНФОРМАЦИОННЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ.**

Обзор

Гардашева Л.А.¹, Гаджиева Т.А.²*^{1,2} Азербайджанский Государственный Университет Нефти и Промышленности, Баку, Азербайджан

* Корреспондирующий автор (Taranahaciyeva[at]yandex.ru)

Аннотация

Известно, что нет ничего важнее человеческой жизни. Медицина, в переводе с латинского «искусство исцеления», стражем стоит на охране нашего здоровья. В существующих условиях роста информации, охватывающей всё более широкие сферы человеческой деятельности, она нуждается в помощи систем, связанных с поддержкой принятия решений (СППР), которые направлены на повышение точности, оперативности лечения и сведением к минимуму врачебных ошибок. Своевременное выявление и правильная диагностика онкологических заболеваний, играет жизненно важную роль в спасении человеческой жизни. Большинство медицинских заключений вынужденно основывается на принятии экстренных решений, опирающихся только на опыт врача, так как ограниченность во времени не даёт возможности прибегнуть к помощи компетентных экспертов, а также поиску литературы и к необходимым другим расширенным исследованиям. В ситуациях требующих сложного аналитического рассмотрения роль СППР незаменима. Система обрабатывает данные, предоставленные врачом, и выдаёт оптимальный результат, при этом не заменяет врача, а выступает в роли оперативного, компетентного эксперта, консультанта в конкретной области.

Ключевые слова. Онкологические заболевания, Нечёткая логика, Искусственный интеллект, Экспертная система, Базы знаний.

OVERVIEW AND ANALYSIS OF METHODS FOR DIAGNOSING AND TREATMENT OF CANCER BY MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES

Review

Gardasheva L.A.¹, Gadzhieva T.A.²*^{1,2} Azerbaijan State University of Oil and Industry, Baku, Azerbaijan

* Corresponding author (Taranahaciyeva[at]yandex.ru)

Abstract

It is known that there is nothing more important than human life. Medicine, is translated from Latin as “the art of healing”, protects our health. In the current conditions for the growth of information flows, covering more and more spheres of human activity, it needs the help of systems related to decision support (DSS), which are aimed at improving the accuracy, efficiency of treatment and minimizing medical errors. Timely detection and correct diagnosis of cancer, plays a vital role in saving human lives. Most medical reports are compelled to make emergency decisions based only on the experience of the doctor, as time constraints make it impossible to resort to the help of competent experts, as well as to the search for literature and other necessary advanced studies. In situations requiring complex analytical considerations, the role of DSSs is indispensable. The system processes the data provided by the doctor and gives the optimal result, while not replacing the doctor, but acts as an operational, competent expert, consultant in a specific area.

Keywords: Oncological diseases, Fuzzy logic, Artificial intelligence, Expert system, Knowledge bases.

Введение

«Рак» является самым пугающим словом, самым страшным диагнозом, который ассоциируется с обречённостью, со смертным приговором. Это жестокий бич человечества, который не жалеет ни взрослых, ни детей. В основе развития этой болезни лежит повреждение структуры ДНК, нарушение процессов регуляции тканевого роста. Так же как и всё в природе, клетки нашего тела постоянно растут, делятся и умирают, подчиняясь чётким жизненным законам. Произошедший сбой в этой системе, приводит к тому, что ранее послушная всем командам организма своя же клетка, начинает неконтролируемо размножаться, образуя опухоль. Её потомки, которым передаётся это же свойство, ведут себя ещё более агрессивно, распространяясь потоком крови или лимфы в другие части тела, образуя метастазы, а также посылают здоровым клеткам ошибочные сигналы к делению и росту. [1]. Опухоль – это патологический процесс мутации ткани, изменения генетического аппарата клеток, приводящий к нарушению функции их формирования, роста, к изменению размера и формы. Данный термин обычно применяется по отношению к аномальному разрастанию ткани, к любым новообразованиям. Их можно классифицировать на две большие группы, как доброкачественные и злокачественные опухоли. Доброкачественные опухоли – это новообразования, которые частично сохраняют структуру ткани, из которой происходят и её специфические функции. В большинстве случаев растут медленно, постепенно сдавливая прилежащие структуры и ткани, но никогда не проникают в них и, как правило, хорошо поддаются хирургическому лечению и редко рецидивируют. [2]. В отличие от доброкачественной, злокачественные опухоли – это новообразование, возникающее из-за бесконтрольно делящихся клеток, которые каскадом расходятся от первичного очага в соседние ткани (инвазия) и приводят в дальнейшем к метастазированию в другие органы. Доброкачественные опухоли не дают метастаза, но часто происходит перерождение их в злокачественные. Раздел медицины изучающий опухоли, их возникновения, развития, методы профилактики, диагностики и лечения называется онкологией. Онкологические заболевания могут затрагивать все органы. Единой

общепринятой теории, объясняющей причины возникновения этой болезни, у учёных пока не существует. Основные гипотезы её развития связывают с определёнными обстоятельствами, наиболее часто предвещающими его появление. К ним относятся: возраст; использование гормональных препаратов; очаги инфекции; травмы; наличие в анамнезе случая рака; воздействие радиации; загрязнение окружающей среды; лишний вес; курение; злоупотребление алкоголем; сахарный диабет; работа по графику с ночными сменами. К сожалению, не всегда удаётся предупредить онкологические заболевания и риск их развития, поэтому они имеют высокий показатель смертности. [3]. Болезнь на ранней стадии, как правило, имеет невыраженные клинические проявления и неспецифические симптомы. Спасение человеческой жизни зависит от своевременного обнаружения заболевания и постановки точного диагноза. [4].

История развития рака

Рак имеет долгую и сложную историю. Это заболевание является одним из самых древних болезней. Археологические исследования показали, что раком болели ещё неандертальцы, даже динозавры, а также они были обнаружены у мумий древнего Египта. Самая ранняя запись случая рака датируется примерно в 1600 г. д. н. э., в папирусе Эдвина Смита, в одном из старейших образцов древней медицинской литературы, который является частью древнего египетского учебника по хирургии и медицине. В ней описаны восемь опухолей молочной железы, которые были фактически удалены прижиганием. Впервые термин «рак» был введён Гиппократом при обсуждении опухолей (карцинома, карциноз, краб, рак), из-за внешнего сходства испорченных клеток с крабом. Он развил, так называемую гуморальную теорию в медицине. Она полагает, что Вселенная создана из четырёх основных элементов: из земли, воздуха, огня и воды. Что же касается человеческого тела, то в нём эти элементы принимают форму четырёх «жидкостей»: крови, чёрной желчи, жёлтой желчи и слизи (флегмы). Причина этой болезни – избыток или недостаток в их соотношении. Гуморальная теория упоминается также и в трудах Аристотеля. Единственным способом лечения рака, в те времена, было хирургическое удаление поверхностных опухолей, если это было возможно. Заглянуть глубже в суть происходящих явлений стало возможным лишь только с появлением микроскопа, что дало серьезные сдвиги в развитии онкологии. [5]. На сегодняшний день, по всему миру, ведутся колоссальные работы по изучению опухолей. Классическая триада лечения заболевания: хирургия, лучевая и химиотерапия дополнились всё более совершенными методиками. Современная онкология имеет в распоряжении широкий арсенал средств и методов, для лечения рака, предупреждения его возникновения и развития, для спасения человеческой жизни, а в безнадежных случаях – максимального продления и избавления от болезненных, симптомов.

Актуальность проблемы

В связи с широкой распространённостью онкологических заболеваний, особенно важным является выявление рака на ранней стадии, когда возможно полное исцеление больного и возвращение его к полноценной жизни. По данным Международного агентства по исследованию рака GLOBOCAN, в 2012 году было зарегистрировано 14,1 миллион случаев рака и 8,2 миллиона смертей. Рак является второй из основных причин смертности в мире, после сердечнососудистых заболеваний. [6]. В 2015 году от онкологических болезней умерли 8,8 миллиона человек. Рак становится причиной почти каждой шестой смерти в мире. По мнению Всемирной Организации Здравоохранения, заболеваемость раком, в ближайшие 20 лет возрастёт на 70%. По количеству онкобольных в мире, лидирующее место занимает Дания [7]. Государственный Статистический Комитет также сообщает, что в Азербайджане на каждые 100 тысяч человек приходится свыше 400 больных со злокачественной опухолью. Большинство из них женщины. Проведённые статистические данные показали, что в нашей стране наблюдается увеличение числа больных с диагнозом – рак. [8]. Довольно неблагоприятная статистика. Многие специалисты считают, что через несколько лет, злокачественные новообразования станут основной причиной смертности по всему миру, оставив далеко позади сердечнососудистые заболевания. Самое страшное то, что заболеваемость раком растёт, а выживаемость не увеличивается. В большинстве случаев, это связано с поздним обнаружением болезни, так как успех в выздоровлении зависит от ранней диагностики бессимптомного рака. Проблему с ростом числа онкобольных должна решать не только медицина, но и все науки, которые могут содействовать в борьбе с этим жестоким недугом. Наша работа, как раз, направлена на оказание помощи онкологам в постановке точного диагноза на ранней стадии и возможно спасение чьей-то жизни.

Исследовательские работы

Как указано выше, современная онкология имеет в распоряжении широкий арсенал средств и методов, для лечения рака. Учёные, по всему миру, усиленно работают в этом направлении, как в онкологии, так и в других научных областях. Стоит отметить диссертационную работу кандидата технических наук Юго-западного Государственного университета России, Бабкова А.С. на тему «Интеллектуальная система поддержки принятия решений скрининг-диагностики рака желудка, на основе комбинированных классификационных правил». Научный труд посвящён решению задач, связанных с повышением качества скрининг-диагностики рака желудка, основанной на нечётких диагностических комбинированных, классификационных правилах, что позволяет по результатам общего анализа крови и анамнеза определять людей с высоким риском заболевания и составить соответствующие рекомендации. Для решения поставленной задачи использовались методы теории синтеза биотехнических систем системного анализа, статистической обработки экспериментальных данных, теории нечётких множеств, экспертного оценивания, группового учёта аргументов, математического моделирования. [9]. Зайченко Ю.П. и Мурга Н.А., Украина, в статье «Применение систем на нечёткой логике к задаче медицинской диагностики», проводят исследование по возможности применения нечётких нейронных сетей для определения раковых образований в гинекологии. Производят исследование возможностей нечёткой нейронной сети Такаки-Сугено-Канга для решения данной задачи, а так же оцениваются возможности уменьшения количества тестов, необходимых для процесса диагностирования. [10]. В 2015 году Столярчук А. С. (Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Россия) в работе «Проектирование модели принятия решения на базе нечёткой логики» рассмотрел проблему проектирования модели принятия решений на базе нечёткой логики с использованием алгоритма Мамдани и средств языка Python (Питон). Целью разрабатываемой системы является создание модели автоматического дозатора для

проведения химиотерапии. [11]. Применение алгоритма Мамдани находит место и в изданной «Международным журналом компьютерных приложений» (Нью-Йорк, США), в августе 2016 года, статье «Разработка поддержки принятия нечёткой логики для лечения рака молочной железы», авторами которой являются Собхи С.М и Хебр И.М.. Известно, что важное значение имеет автоматическая диагностика рака молочной железы. Эта статья направлена на описание интеллектуальной процедуры, метода и медицинской модели, которая основана на нечёткой логике. Авторы считают, что использование нейронных сетей в нечётких системах помогают изучать правила, которые принимают входные и выходные данные и кластеризовать их по группам. [12]. В Санкт-Петербургском Государственном Электротехническом университете, Ахмедом М.А. Абувда, была выполнена работа под названием «Система поддержки принятия решений врача-бактериолога клинично-диагностической лаборатории стационара». В ней использована методология системного подхода, математическое моделирование, нечёткая логика, CASE-технология, элементы математической статистики, методы экспертных оценок, теория управления биологическими и медицинскими системами, разработана СППР. Программно-алгоритмическое обеспечение системы поддержки принятия решений, позволяет автоматизировать процесс контроля и регистрации, обеспечивает своевременное выявление патологий, а также повышает эффективность принятия соответствующих действий. [13]. «Выбор нечёткой логики, как нового надежного инструмента для определения сигнатур молекулярного уровня при раке молочной железы», так называется научный труд, написанный 2015 году Кемповски-Хамон Т., Вале К., Лакруа-Трики М., Хеджази Л., Трой Л., Ламарр С., Лабурдет Д., Роджер Л., Хенди Л.М., Даленк Ф., Филлерон Т., Фавр Ж., Франсуа Ж.М., Ле-Ланн М.В. и Леберре В.А., Париж, Франция. Целью этого исследования была разработка нового метода отбора генов, основанного на алгоритме выбора и классификации нечёткой логики, а также проверка сигнатур генов, полученных у больных с раком молочной железы. Этот метод, основанный на алгоритмах искусственного интеллекта, был успешно применён к классификации молекулярных классов рака молочной железы, позволяющей классифицировать гистологическую стадию и улучшить прогноз пациентов. [14]. По итогам, опубликованного 2016 году, статьи Тчера Ф. и Алхарби А. «Нечёткая реляционная модель и генетические алгоритмы раннего обнаружения и диагностики рака молочной железы в Саудовской Аравии», показали, что нечёткий генетический подход очень эффективен в ранней диагностике, а также снижает высокую стоимость лечения болезни. [15]. Турецкий журнал «Электротехники и компьютерных наук» 2013 году опубликовал статью Ыылмаз А.и Аян К. «Анализ риска рака с помощью нечёткой логики и состояние работоспособности модели». В исследовании были пилотно использованы 3 типа рака: молочной железы, лёгкого и толстой кишки, предложены модели нечёткой логики, путём модификации метода Мамдани. [16]. В том же журнале, авторами Келеш А. и Келеш А., в статье «Экстрагирование нечётких правил для диагностики рака молочной железы», были проведены разработки по извлечению нечётких правил для изучения диагностирования заболевания. В процессе были с использованы технологии искусственного интеллекта, так называемый инструмент нейро-нечёткой классификации «NEFClass». Исследование показало, что применение этих методов для корректировки сложных медицинских моделей, повышает точность при постановке диагноза и оценке результатов после лечения, по сравнению с обычными статистическими анализами. [17]. В «Международном журнале компьютерной и информационной инженерии» от 2013 года, опубликована статья «Сравнение Мамдани и Сугено Нечётких Интерференционных систем для риска развития рака молочной железы», авторами которой являются Шлейг А.А., Иссаил М. Э., Триполи, Ливия. Работа излагает основную разницу между системами Мамдани и Сугено, проводя сравнительный анализ. Оба типами дали одинаковые эксплуатационные характеристики, хотя Сугено имеет преимущество, так как может интегрироваться с нейронными сетями, генетическим алгоритмом и другими оптимизациями, что делает её эффективно-адаптированной. [18]. Целью статьи Сатото К.И., Нурхяйти О.Д., Иснанто Р.Р., Индонезия, «Распознавание образов для обнаружения термограммы рака молочной железы. Изображения, основанные на методе нечёткой логики», было нахождение наиболее точного метода для повышения эффективности грудных термограмм. Отчётливо проявляющиеся яркости, на изображении определённого сегмента тела, указывают на высокую излучаемую тепловую энергию и высокую биоактивность. Проведённые сравнительные исследования между распознаванием образов изображений термограмм, на основе субтрактивных кластеров с изображением и без него, показали эффективность применения нечётких интерференционных систем. [19]. Более поздняя статья, 2017 года, Аташи А., Назери Н., Аббаси Э., Дорри С. и Алиджани М., Тегеран, Иран, «Оценка риска рака молочной железы с использованием адаптивной нейро-нечёткой системы вывода (ANFIS) и алгоритма субтрактивной кластеризации». В исследовании использовалась модель для обнаружения рака груди, основанная на преимуществах нейронной сети и нечётких правилах при принятии решений. В итоге было заключено, что модель может значительно облегчить диагностическое моделирование и целесообразно применение её в обнаружении рака молочной железы. [20]. Использование (ANFIS) также нашло место в статье «Информационный поиск и адаптивная система нейро-нечёткого вывода для диагностики рака молочной железы» авторов Ашраф М., Ли К., Хуанг К., Канберра, Австралия. Экспериментальный результат показал точность в 98,23% у диагностируемых больных. Авторы подчеркивают способность предлагаемого алгоритма эффективным методом в прогнозировании и обеспечении необходимого лечения. [21]. В журнале «Естественные и технические науки» от 2017 года опубликована статья Абдулаевой З.И. под названием «Информационная модель для диагностики критических заболеваний», Казань, Россия. Она описывает основные пути совершенствования процессов медицинской диагностики, с точки зрения развития информационных моделей заболеваний, на примере заболевания рака предстательной железы. В качестве опорного метода распознавания стадий заболевания выступает матричный агрегатный вычислитель (МAB), а также рассматривается вариант перехода от классической математической статистики к нечётко-логической интерпретации данных медицинской статистики. [22]. В 2017 году, в Великобритании, Джеймс В., Катто Ф., Бертон Д.Л., Чен М., Кеннет М.Ф. и Фредди Ц.Х., в работе «Искусственный интеллект, в прогнозировании рака мочевого пузыря», провели сравнение нейро-нечёткого моделирования и искусственного интеллекта. Исследования показали, что использование искусственной нейронной сети, даёт высокие показатели точности в прогнозировании рака мочевого пузыря. [23]. Английские учёные Шеффилдского университета Мейсем Ф.А., Дерек А.Л. и Махфуф М., в статье «Обзор

мониторинга и контроля использования нечёткой логики в медицине», дают оценку методам нечёткого контроля и анализа биомедицинских данных в ряде отраслей медицины, и тем самым доказывают эффективность применения нечёткой логики в этой науке. [24]. В Бостоне, США, 15 апреля 2017 года увидела свет книга автора Гринса Р. «Поддержка клинических решений», второе издание. Она содержит обновлённое и прагматичное представление о методологических процессах и соображениях в реализации медицинских решений, а также рассматривает передовые технологии и архитектуры, стандарты и совместные действия, необходимые для широкомасштабного принятия клинических решений. [25]. В журнале «Врач и информационные технологии» напечатана статья кандидата технических наук Гусева А.В. и доктора медицинских наук, профессора Зарубина Т.В. под названием «Поддержка принятия врачебных решений в медицинских информационных системах медицинской организации» от 2017 года. В ней авторы рассматривают программную реализацию справочников и алгоритмов работы с ними, их полноту, достоверность и актуальность состояния. Ещё одной важной особенностью является то, что выполнение врачебных назначений через СППВР поддерживается в медицинских информационных системах не только в условиях стационара, но и на амбулаторно-поликлиническом этапе – при назначении лекарственной терапии и выписке рецептов. [26]. Каешко А.И. и Моргунов Е.А., в 2016 году, в работе «Принципы построения клинической системы поддержки принятия решений, на основе технологии OSTIS», рассматривают основные цели клинических СППР и их принципиальную структуру, а также предлагают подходы к созданию клинической системы, с использованием баз знаний на основе технологии OSTIS. [27]. Сотрудники факультета инженерных технологий, Аль-Бальского Прикладного университета, Иордания, Аль-Касасбех Р.Т. и Алшамасин М., в 2015 году, выпустили статью «Биоинженерия для прогнозирования и ранней предонкологической диагностики заболеваний желудка на основе энергетических характеристик биоактивных точек с нечёткой логикой». В ней содержится информация о решении проблемы с ранней диагностикой заболевания желудка, с использованием методов построения правил нечётких решений и обработки информации, в зависимости от энергии реакции биологически-активных точек (точек акупунктуры). [28]. В 2016 году, доктором технических наук, профессором кафедры Системного анализа и управления Евразийского национального университета им. Гумилева Л.Н., Астана, Казахстан, Оразбаевым Б.Б. была проведена исследовательская работа под названием «Экспертные системы для медицинской диагностики с применением методов теории нечётких множеств». Разработанная в ней, структура и описание функциональных блоков экспертной системы показали, что применение методов теории нечётких множеств и нечётких выводов позволяют повысить надёжность и адекватность экспертных систем при проведении диагностики болезни. [29]. Использование, в создании СППР, нечёткой логики встречается, также в статье Австрийского учёного, Адраснига К.П. «Теория нечётких множеств и нечёткой логики в медицине». В работе описано, применение этих методов для решения сложных медицинских задач. Разработанные экспертные системы и базы знаний повышают точность при постановке диагноза и в выборе оптимального лечения в режиме реального времени. [30]. «Обзор по применению нечёткой логики в медицинской диагностике», - так называется статья Индийских исследователей Прасаа В., Лакшми Н., Нифия М., Бхаратан Н., Ниита Н.П., изданная в 2013 году. В ней представлено несколько приложений по использованию нечёткой логики в поддержке принятия решений в медицине, основанных на исследовании нечёткого контроля и мониторинга медицинских технологий, а также обеспечения средствами для инкапсуляции субъективного решения в алгоритме, подпадающем для компьютерной реализации. [31]. Научная группа из США, в соавторстве с сотрудником Гарвардской медицинской школы и Института изучения рака Медицинского центра Бет-Изрэйель, профессором Бек Э., сообщили, что разработанная ими самообучающаяся компьютерная программа, способная распознавать речь и изображения. После ввода в неё сотни слайдов, на которых специалисты отмечали области рака груди и нормальных клеток, она смогла создать вычислительную модель для классификации раковых клеток и может стать существенным подспорьем для онкологов-диагностов. Свою разработку учёные представили на Международном симпозиуме по биомедицинской визуализации (International Symposium of Biomedical Imaging) в 2016 году. [32]. Также в России была создана цифровая система поддержки принятия врачебных решений при морфологической диагностике опухолей под названием «Помощник по патологии» (Pathology Assistant). Одними из её создателей были: руководитель Департамента патоморфологической лаборатории, профессор больницы специальной хирургии Нью-Йорка, США (Hospital for Special Surgery NY, USA), Клейн М.Дж. и заведующий патологоанатомическим отделением Российской Детской Клинической больницы, кандидат медицинских наук Рогожин Д.В.. Система анализирует данные пациента и составляет полный дифференциально-диагностический ряд возможных онкологических заболеваний, на основании которых ставится окончательный диагноз. Анализ проводится на основе клинических данных пациента и характеристик опухоли. Презентация разработки состоялась на проходящем, 27 мая 2016 года, XIII Европейском конгрессе цифровой патологии в Берлине, Германия, где было предложено использование искусственного интеллекта для повышения точности диагностики рака груди. [33]. Применение искусственного интеллекта предлагалось группой исследователей под руководством Феруччи Д., создавших суперкомпьютер Watson фирмы IBM. 22 ноября 2017 года, в отеле Хилтон, Баку прошёл Watson саммит по когнитивным технологиям. Компания IBM собрала разнообразные аналитические модули и построила систему, которая может справляться с огромным количеством данных, обрабатывая их с высокой скоростью. Эта система работает как с цифровой, так и с текстовой информацией на различных языках. Она понимает человеческий язык, эмоции и с ней возможно говорить. Watson в целом – это большой набор пакетов программного обеспечения, использующих самые разнообразные алгоритмы. Часть этих пакетов доступна в облаке, а часть – предназначена для местного развертывания. При обработке информации устанавливаются связи и корреляции между самыми разными данными, событиями, фактами и явлениями. Одна из главных задач системы — выявление связей, которые незаметны простому глазу и которые не могут быть выявлены обычным способом, либо сделать это сложно стандартными методами. Испытания Watson в медицине дали очень хорошие результаты. С высокой точностью были опознаны и выявлены раковые клетки. [34]. Идея использования искусственного интеллекта в диагностике рака груди и мозга по образцам тканей разработана также фирмой Google. GoogLeNet показал высокую точность в распознавании этой

болезни. Но, как отметили исследователи, искусственный интеллект не может заменить врачей. Его роль может заключаться в обнаружении и выдаче точных размеров опухоли. [35]. «Искусственный интеллект оказался способен опознать симптомы рака кожи по фотографии, с такой же точностью, как специалисты-онкологи», – к такому выводу пришли в 2017 году, группа учёных из Стэндфордского университета под руководством Эстева А., в США. Они показали программе 129450 фотографий кожи с проявлениями рака с описаниями, изображенного на них типами опухоли. Хотя компьютерная программа не может дать окончательный диагноз, но испытания, детально описанные в журнале «Nature», показали высокую точность наравне со специалистами-онкологами. [36]. Группа учёных Анагноуту Т. и Ремзис М. из Греции, а также Ликуринос М. и Джаван Б. Австрии, совместно провели разработки, которые нашли своё отражение в статье «Искусственные нейронные сети для принятия решений в урологической онкологии». Она посвящена описанию методологии искусственной нейронной сети и указывает различия между искусственным интеллектом и традиционными статистическими моделями с точки зрения обслуживания пациентов. Данные получены от реальных пациентов отражают попытки добиться более точной диагностики и прогноза, при раке предстательной железы, который является хорошим примером для поддержки и принятия решений в повседневной практике. Авторы считают, что искусственный интеллект, является лёгким инструментом, который использует современные данные и имеет гибкий способ «обучения», может обеспечить лучшую поддержку принятия решений в онкологии. [37]. Разработанная, Адеронке А.К., Афолаби Б.С., Бернард И.А., Исиок Дж.У. и Оминии А., в отделе Компьютерных наук и инженерии, университета Иле-Ифе, Нигерия, «Система поддержки и принятия решений для гистопатологических диагностик заболевания молочной железы у женщин», основана на полученных экспертных знаниях. Для реализации системы было использовано 150 образцов ретроспективных случаев, был проведён анализ маммографических изображений с использованием таблиц решений для представления всех параметров и возможностей, а также было создано около 41 правило, основанных на массах и поражениях. [38]. Широкое применение получила основанная, в университете Рочестера (Нью-Йорк), профессором Папье А., СППР «VisualDx». Она представляет собой базу рецензируемых фотографий и диаграмм состояний кожи, так как обладает крупнейшей в мире библиотекой медицинских изображений (более 100 000 изображений), а также включает в себя поиск лекарств и способов лечения. [39]. Значимым примером, также может, является система «OncoFinder», разработанная группой учёных, Буздин А., Борисов Н., Жу Ч., Жаворонков А., Москалев А., Щепинов М., Кантор Ч., при поддержке университета Летбридж, Канада, в 2015 году. Это программа анализа внутриклеточных сигнальных путей и подбора наиболее адекватных типов терапии и терапевтических препаратов при различных типах рака. Алгоритм может считывать и обрабатывать большой объём внутриклеточных сигналов, определяющие основные процессы, происходящие в клетке. Анализируя полученные данные, программа даёт характеристику активации сигнальных путей и сравнивает их с нормой. Результаты анализа позволяют выявить на молекулярном уровне причины, приведшие к образованию опухоли, и подобрать наилучший способ лечения. [40]. Привлекает внимание так же, созданная в США ещё в 2008 году, успешно используемая по сей день и постоянно обновляющаяся система IndiGO, основанная на модели Archimedes. Она обеспечивает обработку данных клинической, физиологической природы и сведений об управлении процессом лечения и формирует индивидуализированные протоколы диагностики и лечения с учётом факторов риска, истории болезни, сведений о полученном лечении и биомаркерах. На основе информации, считываемой с электронной карты, система также может прогнозировать риск таких событий, как сердечный приступ, диабетический криз, инсульт и т.д., так как ставит пациента в центр процесса принятия решений. [41]. В своей статье Штайнер М. (США), «Решение. Рак: использование искусственных нейронов сетей в диагностике и лечении рака» от 2017 года, описывает преимущества в распознавании рака искусственными нейронными сетями, которые считает более эффективными, чем статистические подходы, особенно для больших наборов данных. Одна из возможностей ИНС в том, что она может способствовать созданию индивидуальных планов лечения. [42]. Литвин А.А. и Литвин В.А., из Белорусского государственного университета, отмечают, особую важность обеспечения компьютерной поддержки принятия решений в области медицины, из-за растущей информационной нагрузки. СППР предлагают следующие компьютеризированные процедуры: сбор, обработка, анализ данных, математическое моделирование, разработка альтернатив и выбор оптимального метода диагностики и лечения. Наиболее эффективным, по их мнению, являются использование технологий искусственного интеллекта в сложных клинических случаях. [43]. В работе Егорова А.А. «Модели и методы принятия решений хирургом» была разработана интеллектуальная информационная система поддержки принятия решений с применением приложений и концепций объектно-ориентированного программирования, а также модуль для хранения тематических карт больных. Для уточнения результатов полученных на основе бинарной логистической регрессии и вероятностных нейронных сетей использовалась теорема Байеса. [44]. В 2010 году, заведующий кафедрой компьютерных технологий и информационной безопасности Кубанского государственного технологического университета, доктор технических наук Симанков В.С., провёл работу под названием «Системный подход к разработке медицинских систем поддержки принятия решений». На основе системного подхода, предложил многоэтапный алгоритмический процесс, создания медицинских систем поддержки принятия решений. Была построена модель разработки медицинской СППР в виде IDEFO-диаграммы, структурная модель СППР применительно к идентификации степени тяжести состояния больных, модель процесса принятия решений в виде цикла из последовательных процедур. Для создания СППР, предложил интеграцию статистических пакетов и баз данных. [45]. В проведённой, в Воронежской государственной медицинской академии, диссертационной работе Устиновое Е.Ю. под названием «Инновационные технологии в управлении качеством медицинской помощи больным со злокачественными новообразованиями», была затронута проблема постановки правильного диагноза на ранних стадиях рака. Для решения поставленных задач, в работе, использованы СППР, приложения системного анализа, теории управления, принципы, а также основные положения теории вероятности и математической статистики. [46]. В Центре общественного здоровья «Бери», Тель-Авив, Израиль, командой исследователей Фьюкс Дж., Геллер Я., Инбар М., Топилский М., была разработана компьютерная система поддержки принятия клинических решений для раннего выявления рака «CaDet». Были собраны клинические и эпидемиологические данные, связанные

с ранним выявлением рака и факторами риска, и включены в базу данных вместе с эвристическими правилами. Индивидуальные данные пациентов, полученные с помощью опроса, вводятся в систему, где генерируется отчёт о состоянии здоровья больного, с помощью системы подсчёта баллов, которая отражает степень риска, а также некоторые предварительные результаты клинического опыта, накопленного в его использовании. Авторы считают, что этот подход может быть полезен для улучшения оценки риска рака и скрининга в учреждениях первичной медико-санитарной помощи. [47]. В августе, 2010 года Карамихай М., Блидару А., Северин И. и Балан Х. из Бухарестского Политехнического университета (Румыния), в статье «Оценка риска рака молочной железы с использованием нечёткой логики», представили набор нечётких правил, с помощью которых могут быть обработаны соответствующие данные рака молочной железы. Авторы считают, что система, основанная на применении нечёткой логики в прогнозировании болезни, даёт качественный, сопоставимый с мнениями экспертов диагноз. [48]. «Система поддержки принятия решений при раке молочной железы», разработанная исследователями Салех А.А.Э., Баракат Ш.И. и Авад А.А.И., была основана на клинической практике Онкологического Центра Университета Мансура, Египет, в 2011 году. Она использует метод логического вывода Мамдани и прикладное моделирование в MATLAB R2009b, как инструмента нечёткой логики. Конструкция системы основана на функции принадлежности, входных переменных, выходных переменных и базе правил. Главной задачей ставится направление врачей на стратификацию риска рака молочной железы и сведения к минимуму индивидуальных вариаций при выборе оптимального лечения для конкретного случая. [49]. В ноябре 2012 года в журнале «Биомедицинская инженерия» была опубликована статья под названием «Нечёткий метод предварительной диагностики рака молочной железы из анализа тонкоигльного аспирата», авторами которой являются учёные из кафедры вычислительной техники и биомедицинской инженерии Федерального университета Риу-Гранди-ду-Норти, Бразилия, Цизилио Г., Лейте С. и Дория-Нето А. В ней представлен метод, оказывающий помощь в диагностике рака молочной железы на основе анализа дескрипторов, извлечённых из мазков массы груди, полученных с помощью тонкоигльного аспирата. Метод включает в себя функции нечёткой логики, совместно с теледиагностической средой. [50]. Мухич И. в своей статье «Нечёткий анализ рака молочной железы с использованием нечётких с-средств и распознавания образов» Босния и Герцеговина от 2015 года, предложил подход к диагностике рака молочной железы, который использует алгоритм нечётких с-средств и методов распознавания образов. Это трёхшаговая модель, включающая классификацию входных данных, данные обучения и данные испытаний. Метод позволяет, клинические случаи, группировать на два кластера: один с доброкачественными, а другой со злокачественными опухолями. В распознавании образов все входные тестовые данные присваиваются одному из кластеров, полученных в процессе классификации нечётких с-средств. [51]. Методы нечёткой логики используются также в статье Сория Д., Гарибальди Дж.М., Грин А.Р., Пауэ Д.Г., Нолан С.К., Леметр С, Болл Г.Р. и Эллис И.О. «Система нечёткой классификации на основе квантификаторов для пациентов с раком молочной железы», Ноттингем, Великобритания, 2013 год. Известны семь различных клинических фенотипов (групп) с использованием иммуно-гистохимического анализа и ряда различных методов кластеризации. Цель исследования состояла в использовании нечётких методологий для создания легко-интерпретируемого набора правил классификации, способных поместить пациентов в одну из указанных групп. Алгоритм, на основе нечётких количественных подмножеств объединяется с процедурой назначения классов. Затем этот подход применяется к охарактеризованному набору данных по раку молочной железы, состоящему из десяти белковых маркеров для более 1000 пациентов, чтобы уточнить, ранее идентифицированные группы и представить клиницистам лингвистический набор правил. [52]. Миранда Г.Х. и Фелипе Дж.С. из кафедры вычислительной техники университета Сан-Паулу в Бразилии, в статье «Компьютерная диагностическая система, основанная на нечёткой логике, для категорий рака молочной железы», полагают, что нечёткая логика может уменьшить трудности, с которыми сталкиваются вычислительные системы для представления и моделирования рассуждений, принятых в процессе анализа. Применение нечёткой логики для улучшения представления функций, связанных с описанием изображения, делают его семантически более согласованным. Разработан компьютерный диагностический инструмент для автоматической классификации BI-RADS повреждений молочной железы. Пользователь предоставляет такие параметры, как контур, форма и плотность, а система даёт представление о классификации. Значения злокачественности определяются для каждого дескриптора изображения в соответствии со стандартом BI-RADS. Например, при анализе контура метод учитывает сопоставление признаков и лингвистических переменных. Затем создаётся система нечёткого вывода. Генерация функций принадлежности выполняется по алгоритму Fuzzy Omega, который основан на статистическом анализе набора данных. Применение определений и лингвистических правил к числовым моделям, может привести к более тесной связи между специалистом и компьютерной системой, что приведёт к более эффективным и надёжным результатам. [53]. Группа американских учёных под руководством Кун П. из Калифорнийского исследовательского института Скриппс в Ла-Хойе, в 2012 году разработали диагностическую систему обнаружения раковых клеток в анализе крови. Она позволяет отслеживать, предсказывать и оценивать прогрессирование болезни, в том числе и метастазирование, которая по точности диагностики сопоставима с биопсией опухоли. Система, названная HD-СТС, с помощью цифрового микроскопа и программы обработки изображений анализирует образец крови, отделяя потенциально злокачественные клетки от эритроцитов и лейкоцитов, кроме этого, обеспечивает высококачественное изображение опухолевых клеток и их агрегатов в высоком разрешении. [54]. В «Международном журнале прикладных и фундаментальных исследований», Российской Академии Естествознания, в 2015 году, была опубликована статья под названием «Формирование и применение опросника для автоматизированной системы поддержки принятия диагностических решений, превентивной медицины скрининга рака желудка», автором которой является Артёменко М.В.. Цель работы, разработка формализованного метода диагностики возможности возникновения и, или наличия онкологических заболеваний желудка при скрининге, на основе анализа результатов, ответов на вопросы, отражающих социальный статус, наличие текущих и перенесённых заболеваний, образ жизни обследуемого. Для решения поставленной задачи использовалась методология системного анализа, синтез нечётких логических правил и математического моделирования, при анализе

различных рекомендаций, предложенных в доступных информационных источниках и консультациях с экспертами. [55]. Результат совместной работы специалистов кафедры компьютерных медицинских систем, Национального исследовательского ядерного университета МИФИ и специалистов кафедры урологии Московского медико-стоматологического университета России, Никитаев В.Г., Проничев А.Н., Прилепская В.А., Ковылина М.В., Пушкарь Д.Ю., был опубликован в статье «Компьютерные системы поддержки принятия решений в диагностике рака предстательной железы». Учёные разработали компьютерную систему поддержки принятия диагностических решений, основанную на экспертных знаниях и технологиях дистанционных консультаций с применением роботизированных микроскопов и виртуальных микроскопических препаратов. Постановка диагноза происходит путём серии сравнений изображения, исследуемого под микроскопом препарата, с изображениями из базы знаний, соответствующих заданному набору признаков. В ходе сравнений оценивается степень идентичности исследуемого изображения с изображениями при различных диагнозах. В конечном итоге определяется диагноз, основанный на результатах этих сравнений [56].

Заключение

В результате обзора исследований в области поддержки принятия решений в онкологии можно сделать следующие выводы. В эпоху лавинообразного возрастания объёмов информации, повышения требований к здравоохранению, изменения характера болезней, увеличивается и требования к информационным системам. Успех и эффективность диагностики и лечения онкологических заболеваний, в большой степени зависит от оперативности принятия решений. В связи с этим, очень важным является, получение медицинской СППР максимально достоверных решений. Применение нечёткой логики позволяет повысить надёжность и адекватность экспертных систем при диагностировании заболевания. Анализируя возможности работы этих систем можно сказать, что нечёткая логика является качественным вычислительным инструментом, представляющим собой метод, делающий точным то, что является неточным, в частности, в мире медицины. Современные интеллектуальные информационные системы, способные перестраиваться и самообучаться по мере функционирования, собирают воедино разработанные приёмы и методы, разделы распознавания образов и состояний, формирование понятий и базы знаний, идентификации и оптимизации при неполной информации.

Проведённый обзор и анализ в области применения различных методов диагностики и лечения рака современными информационными технологиями, основанными на нечёткой логике, подтверждают актуальность и значимость этих исследований, снижающих уровень смертности и увеличивающих шансы на выздоровления больных.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Блохин Н.Н. Клиническая онкология/ Блохин Н.Н., Петерсон Б.Б. Москва, Россия, 1979.
2. Сидорова И.С. Миома матки. Современные проблемы этиологии, патогенеза, диагностики и лечения/ Сидорова И.С. Санкт-Петербург, Россия, 2003.
3. Черенков В.Г. Клиническая онкология / Черенков В.Г. Москва, Россия, 2010.
4. Черноусов Ф.А. Хирургические болезни / Черноусов Ф.А. ГЭОТАР-МЕДИА, 2010.
5. Введенский Б.А. Большая Советская Энциклопедия / Введенский Б.А. 1955.
6. Ferlay J. GLOBOCAN 2012 v1.0, Cancer Incidence and Mortality Worldwide: IARC Cancer Base / Ferlay J., Soerjomataram I., Ervik M. and others. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer. 2013.
7. Plummer M. Global burden of cancers attributable to infections in 2012: a synthetic analysis / Plummer M., de Martel C., Vignat J., and others. 2016.
8. [Electronic resource] URL: <http://ru.echo.az/?p=6696> (accessed: 06.08.2019)
9. Бабков А.С. Интеллектуальная система поддержки принятия решений скрининг-диагностики рака желудка на основе комбинированных классификационных правил/ Бабков А.С. Курск, Россия, 2014.
10. [Electronic resource] URL: <http://it-visnyk/kpi.ua> (accessed: 06.08.2019)
11. Электронное научное издание /Ученые заметки ТОГУ/ 2015, Том 6, № 4.
12. [Electronic resource] URL: <https://www.ijcaonline.org/archives/volume147/number1/25614-2016910585>. (accessed: 06.08.2019)
13. Абдувда Ахмед М.А. Модель оценки внутрибольничной инфекции для автоматизированной системы BakLab/ Абдувда Ахмед М.А., Садыкова Е.В. Санкт-Петербург, Россия, 2016.
14. [Electronic resource] URL: <http://doi.org/10.1186/s12920-015-0077-1>. BMC Medical Genomics, 2015. (accessed: 06.08.2019)
15. [Electronic resource] URL: <http://www.pmf.ni.ac.rs/filomat/>. (accessed: 06.08.2019)
16. [Electronic resource] URL: <http://journals.tubitak.gov.tr/elektrik/>. World Academy of Science, Engineering and Technology. (accessed: 06.08.2019)
17. Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, 21:1495–1503, 2013, doi:10.3906/elk-1012-938
18. International Journal of Computer and Information Engineering Vol:7, No:10, 2013.
19. IJCS Vol. 2, ISSue 3, September 2011.
20. Multidisciplinary Cancer Investigation April 2017, Volume1, Issue2 Original Article.
21. [Electronic resource] URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5711189/>. (accessed: 06.08.2019)
22. Естественные и технические науки. Абдулаева З.И. №64-1, 20.04.2017.
23. [Electronic resource] URL: Clincancerres.aacrjournals.org. 2017. (accessed: 06.08.2019)

24. [Electronic resource] URL: www.elsevier.com/locate/artmed.Artificial Intelligence in Medicine 21.2011(accessed: 06.08.2019)
25. Greenes R. A. Clinical decision support: the road ahead / R. A. Greenes. — Boston: Elsevier.
26. Гусев А.В. Поддержка принятия врачебных решений в медицинских информационных системах медицинской организации/ Гусев А.В., Зарубин Т.В. 2017.
27. Каешко А.И. Принципы построения клинической системы поддержки принятия решений, на основе технологии OSTIS/ Каешко А.И., Моргунов Е.А. Минск, Беларусь, 2016.
28. Аль-Касасбех Р.Т., Алшамасин М. Биоинженерия для прогнозирования и ранней предонкологической диагностики заболеваний желудка на основе энергетических характеристик биоактивных точек с нечеткой логикой/ Аль-Касасбех Р.Т., Алшамасин М. Аль-Бальский Прикладной университет, факультет инженерных технологий Иордании 2015.
29. [Electronic resource] URL: <http://itportal.ru/science/tech/ekspertnye-sistemy-dlya-meditsinsko/>.(accessed: 06.08.2019)
30. Адраснига К.П. Теория нечётких множеств и нечёткой логики в медицине/ Адраснига К.П. Отдел медицинских компьютерных наук, сектор по медицинским экспертным системам, Вена, Австрия.
31. International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 4, Issue 4, April-2013, ISSN 2229-5518.
32. [Electronic resource] URL: <https://news.rambler.ru/science/33963405-iskusstvennyy-intellekt-diagnostiruet-rak-grudis-tochnostyu-92/>.(accessed: 06.08.2019)
33. [Electronic resource] URL: <http://iihr.ru/i-news/iskusstvennyij-intellekt-povyisit-tochnost-diagnostiki-raka/>.(accessed: 06.08.2019)
34. [Electronic resource] URL: <https://infocity.az/2017/10/22-watson-summit-2017/>.(accessed: 06.08.2019)
35. [Electronic resource] URL: <http://korallest.ru/news/google-razrabotal-iskusstvennyij-intellekt-dlya-diagnostiki-raka.html>.
36. [Electronic resource] URL: <http://www.nature.com/nature/journal/vaop/ncurrent/full/nature21056/html/>.(accessed: 06.08.2019)
37. Анагноуту Т. Искусственные нейронные сети для принятия решений в урологической онкологии/ Анагноуту Т., Ремзис М., Ликуринас М., 2016.
38. Адеронке А. Система поддержки и принятия решений для гистопатологических диагностика заболеваний молочной железы у женщин/ Адеронке А. Кайоде, Бабаджид С. Афолаби, Бернард И. Ахигбе Абуджа, Нигерия, 2011.
39. [Electronic resource] URL: <https://itunes.apple.com/us/app/visualdx/id348177521?mt=8>(accessed: 06.08.2019)
40. [Electronic resource] URL: <http://www.ras.ru/digest/shownews.aspx?id=4f5658c3-f16e-4546-9b79-cf2ead18423>.(accessed: 06.08.2019)
41. [Electronic resource] URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3994847/>.(accessed: 06.08.2019)
42. [Electronic resource] URL: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.(accessed: 06.08.2019)
43. Литвин А.А. Системы поддержки принятия решений в хирургии/ Литвин А.А., Литвин В.А. Минск, Беларусь. 2018.
44. Егоров А.А. Модели и методы принятия решений хирургом/ Егоров А.А. Сургут, Россия, 2011.
45. Симанков В.С. Системный подход к разработке медицинских систем поддержки принятия решений / Симанков В.С. Кубань, Россия, 2010.
46. Устинова Е.Ю. Инновационные технологии в управлении качеством медицинской помощи больным со злокачественными новообразованиями/ Устинова Е.Ю. Воронеж, Россия, 2010.
47. [Electronic resource] URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9892994>. (accessed: 06.08.2019)
48. Карамихай М. Оценка риска рака молочной железы с использованием нечёткой логики / Карамихай М., Блудару А., Северин И. материалы международной конференции по прикладной информатике, Бухарест, Румыния, 2010.
49. Салех А.А.Э. Нечёткие системы поддержки принятия решений на примере рака молочной железы/ Салех А.А.Э., Баракат Ш.И., Авад А.А.И., Мансура, Египет, 2011.
50. Цизилио Г. Нечёткий метод предварительной диагностики рака молочной железы из анализа тонкоигльного аспирата/ Цизилио Г., Лейте С., Дориа-Нето А. Риу-Гранди-ду-Норти, Бразилия, 2012.
51. Мухич И. Нечёткий анализ рака молочной железы с использованием нечётких с-средств и распознавания образов/ Мухич И. Босния и Герцеговина, 2015.
52. Сория Д. Система нечёткой классификации на основе квантификаторов для пациентов с раком молочной железы/ Сория Д., Гарибальди Дж.М., Грин А.Р., и др. Ноттингем, Великобритания, 2013.
53. Миранда Г.Х. Компьютерная диагностическая система, основанная на нечёткой логике для категорий рака молочной железы/ Миранда Г.Х., Фелипе Дж.С. Сан-Паулу, Бразилия, 2015.
54. Scripps research scientists demonstrate effective new 'biopsy in a blood test' to detect cancer - EurekAlert!, 02.02.2012.
55. [Electronic resource] URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=7703>. (accessed: 06.08.2019)
56. [Electronic resource] URL: <https://ecuro.ru/article/kompyuternye-sistemy-podderzhki-prinyatiya-reshenii-v-diagnostike-raka-predstatelnoi-zhelezy>. (accessed: 06.08.2019)

Список литературы на английском языке / References in English

1. Blokhin N.N. / Klinicheskaya onkologiya [Clinical Oncology] / Blokhin N.N., Peterson B.B. Moscow, Russia, 1979. [in Russian]
2. Sidorova I.S. Mioma matki. Sovremennyye problemy etiologii, patogeneza, diagnostiki i lecheniya [Uterine fibroids. Modern problems of etiology, pathogenesis, diagnosis and treatment] / Sidorova I.S. St. Petersburg, Russia, 2003. [in Russian]
3. Cherenkov V.G. Klinicheskaya onkologiya [Clinical Oncology] / Cherenkov V.G. Moscow, Russia, 2010. [in Russian]
4. Chernousov F.A. Hirurgicheskie bolezni [Surgical diseases] / Chernousov F.A. GEOTAR-MEDIA, 2010. [in Russian]

5. Vvedensky B.A. Bol'shaya Sovetskaya Enciklopediya [Great Soviet Encyclopedia] / Vvedensky B.A. 1955. [in Russian]
6. Ferlay J.GLOBOCAN 2012 v1.0, Cancer Incidence and Mortality Worldwide: IARC Cancer Base / Ferlay J., Soerjomataram I.,Ervik M., and others. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer. 2013.
7. Plummer M. Global burden of cancers attributable to infections in 2012: a synthetic analysis / Plummer M., de Martel C., Vignat J. and others. 2016.
8. [Electronic resource] URL: <http://ru.echo.az/?P=6696> (accessed: 06.08.2019)
9. Babkov A.S. Intellektual'naya sistema podderzhki prinyatiya resheniy skринing-dagnostiki raka zheludka na osnove kombinirovannykh klassifikatsionnykh pravil [Intelligent decision support system for the screening diagnosis of gastric cancer based on combined classification rules] / Babkov A.S. Kursk, Russia, 2014. [in Russian]
10. [Electronic resource] URL: <http://it-visnyk/kpi.ua> (accessed: 06.08.2019)
11. Electronic scientific publication / Uchenyye zametki TOGU [Scientific notes of the Pacific National University] / 2015, Volume 6, No. 4. [in Russian]
12. [Electronic resource] URL: <https://www.ijcaonline.org/archives/volume147/number1/25614-2016910585> (accessed: 06.08.2019)
13. Abduvda Ahmed M.A. Model' otsenki vnutribol'nichnoy infektsii dlya avtomatizirovannoy sistemy BakLab [Model for Evaluating Nosocomial Infection for BakLab Automated System] / Abduvda Ahmed M.A., Sadykova E.V. St. Petersburg, Russia, 2016. [in Russian]
14. [Electronic resource] URL: <http://doi.org/10.1186/s12920-015-0077-1>. BMC Medical Genomics, 2015. (accessed: 06.08.2019)
15. [Electronic resource] URL: <http://www.pmf.ni.ac.rs/filomat> (accessed: 06.08.2019)
16. [Electronic resource] URL: <http://journals.tubitak.gov.tr/elektrik/> World Academy of Science, Engineering and Technology. (accessed: 06.08.2019)
17. Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, 21:1495–1503, 2013, doi:10.3906/elk-1012-938
18. International Journal of Computer and Information Engineering Vol: 7, No: 10, 2013.
19. IJCSt Vol. 2, ISSue 3, September 2011.
20. Multidisciplinary Cancer Investigation April 2017, Volume1, Issue2 Original Article.
21. [Electronic resource] URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5711189> (accessed: 06.08.2019)
22. Yestestvennyye i tekhnicheskiye nauki. Abdulaeva Z.I. [Natural and technical sciences. Abdulaeva Z.I.] No. 64-1, 04/20/2017. [In Russian]
23. [Electronic resource] URL: <http://clincancerres.aacrjournals.org>. 2017. (accessed: 06.08.2019)
24. [Electronic resource] URL: <http://www.elsevier.com/locate/artmed> Artificial Intelligence in Medicine 2011.21 (accessed: 06.08.2019)
25. Greenes R. A. Clinical decision support: the road ahead / R. A. Greenes. – Boston: Elsevier.
26. Gusev A.V. Podderzhka prinyatiya vrachebnykh resheniy v meditsinskikh informatsionnykh sistemakh meditsinskoy organizatsii [Support for Adoption of Medical Decisions in Medical Information Systems of Medical Organization] / Gusev A.V., Zarubin T.V. 2017. [in Russian]
27. Kaeshko A.I. / Printsipy postroyeniya klinicheskoy sistemy podderzhki prinyatiya resheniy, na osnove tekhnologii OSTIS [Principles of Building Clinical Decision Support System Based on OSTIS Technology]/ Kaeshko A.I., Morgunov E.A. Minsk, Belarus, 2016. [In Russian]
28. Al-Kasasbeh R.T. Bioinzheneriya dlya prognozirovaniya i ranney prednozologicheskoy diagnostiki zabolevaniy zheludka na osnove energeticheskikh kharakteristik bioaktivnykh toчек s nechotkoy logikoy [Bioengineering for Predicting and Early Prednological Diagnosis of Stomach Diseases Based on Energy Characteristics of Bioactive Points with Fuzzy Logic] / Al-Kasasbeh R.T., Alshamasin M. //Al-Balki Applied University, Faculty of Engineering Technology, Jordan, 2015. [in Russian]
29. [Electronic resource] URL: <http://itportal.ru/science/tech/ekspertnye-sistemy-dlya-meditsinsko> (accessed: 06.08.2019)
30. Adrasniga K.P. Teoriya nechotkikh mnozhestv i nechotkoy logiki v meditsine [Theory of Fuzzy Sets and Fuzzy Logic in Medicine] / Adrasniga K.P. // Department of Medical Computer Science, Medical Expert Systems Sector, Vienna, Austria. [in Russian]
31. International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 4, Issue 4, April-2013, ISSN 2229-5518.
32. [Electronic resource] URL: <https://news.rambler.ru/science/33963405-iskusstvennyy-intellekt-diagnostiruet-rak-grudi-s-tochnostyu-92> (accessed: 06.08.2019)
33. [Electronic resource] URL: <http://iihr.ru/i-news/iskusstvennyy-intellekt-povyisit-tochnost-diagnostiki-raka> (accessed: 06.08.2019)
34. [Electronic resource] URL: <https://infocity.az/2017/10/22-watson-summit-2017> (accessed: 06.08.2019)
35. [Electronic resource] URL: <http://korallest.ru/news/google-razrabotal-iskusstvennyy-intellekt-dlya-diagnostiki-raka.html> (accessed: 06.08.2019)
36. [Electronic resource] URL: <http://www.nature.com/nature/journal/vaop/ncurrent/full/nature21056/html> (accessed: 06.08.2019)
37. Anagnautu T. Iskusstvennyye neyronnyye seti dlya prinyatiya resheniy v urologicheskoy onkologii [Artificial neural networks for decision-making in urological oncology] / Anagnautu T., Remzis M., Likurinas M. and others 2016. [in Russian]
38. Aderonke A. Kayode. Sistema podderzhki i prinyatiya resheniy dlya gistopatologicheskikh diagnostika zabolevaniy molochnoy zhelezy u zhenshchin [Support and decision-making system for histopathological diagnosis of breast diseases in women] / Aderonke A. Kayode, Babajid S. Afolabi, Bernard I. Ahigbe and others. Abuja, Nigeria, 2011. [in Russian]
39. [Electronic resource] URL: <https://itunes.apple.com/us/app/visualdx/id348177521?mt=8> (accessed: 06.08.2019)
40. [Electronic resource] URL: <http://www.ras.ru/digest/showdnews.aspx?id=4f5658c3-f16e-4546-9b79-cf2ead18423> (accessed: 06.08.2019)

41. [Electronic resource] URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3994847> (accessed: 06.08.2019)
42. [Electronic resource] URL: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0> (accessed: 06.08.2019)
43. Litvin A.A. Sistemy podderzhki prinyatiya resheniy v khirurgii [Decision Support Systems in Surgery] / Litvin A.A., Litvin V.A. Minsk, Belarus. 2018. [in Russian]
44. Egorov A.A. Modeli i metody prinyatiya resheniy khirurgom [Models and decision-making methods by a surgeon] / Egorov A.A. Surgut, Russia, 2011. [in Russian]
45. Simankov V.S. Sistemnyy podkhod k razrabotke meditsinskikh sistem podderzhki prinyatiya resheniy [Systematic approach to the development of medical decision support systems] / Simankov V.S. Kuban, Russia, 2010. [in Russian]
46. Ustinova E.Yu. Innovatsionnyye tekhnologii v upravlenii kachestvom meditsinskoy pomoshchi bol'nym so zlokachestvennymi novoobrazovaniyami [Innovative Technologies in Managing Quality of Medical Care for Patients with Malignant Neoplasms] / Ustinova E.Yu. Voronezh, Russia, 2010. [in Russian]
47. [Electronic resource] URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9892994>
48. Karamihai M. Otsenka riska raka molochnoy zhelezy s ispol'zovaniyem nechotkoy logiki [Risk assessment of breast cancer using fuzzy logic] / Karamihai M., Blidaru A., Severin I. // Materialy mezhdunarodnoy konferentsii po prikladnoy informatike [Proceedings of the International Conference on Applied Informatics], Bucharest, Romania, 2010. [in Russian]
49. Salekh A.A.E. Nechotkiye sistemy podderzhki prinyatiya resheniy na primere raka molochnoy zhelezy [Fuzzy decision support systems for breast cancer] / Salekh A.A.E., Barakat Sh.I., Avad A.A.I., Mansour, Egypt, 2011. [in Russian]
50. Cisilio G. Nechotkiy metod predvaritel'noy diagnostiki raka molochnoy zhelezy iz analiza tonkoiglnogo aspirata [Fuzzy method for preliminary diagnosis of breast cancer from the analysis of fine-needle aspirate] / Cisilio G., Leite S., Doria-Neto A. Rio Grande do Norte, Brazil, 2012. [in Russian]
51. Mukhich I. Nechotkiy analiz raka molochnoy zhelezy s ispol'zovaniyem nechotkikh c-sredstv i raspoznavaniya obrazov [Fuzzy analysis of breast cancer using fuzzy c-means and pattern recognition] / Mukhich I. Bosnia and Herzegovina, 2015. [in Russian]
52. Soria D. Sistema nechotkoy klassifikatsii na osnove kvantifikatorov dlya patsiyentov s rakom molochnoy zhelezy [Fuzzy classification system based on quantifiers for patients with breast cancer] / Soria D., Garibaldi J.M., Green A.R. and others, Nottingham, UK, 2013. [in Russian]
53. Miranda G.Kh. Komp'yuternaya diagnosticheskaya sistema, osnovannaya na nechotkoy logike dlya kategoriya raka molochnoy zhelezy [Computer diagnostic system based on fuzzy logic for categories of breast cancer] / Miranda G.Kh., Felipe J.S. São Paulo, Brazil, 2015. [in Russian]
54. Scripps research scientists demonstrate effective new 'biopsy in a blood test' to detect cancer - EurekAlert !, 02.02.2012.
55. [Electronic resource] URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=7703> (accessed: 06.08.2019)
56. [Electronic resource] URL: <https://ecuro.ru/article/kompyuternye-sistemy-podderzhki-prinyatiya-reshenii-v-diagnostike-raka-predstatelnoi-zhelezy> (accessed: 06.08.2019)

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.87.9.005>**АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЭЛЕКТРОННО-УПРАВЛЯЕМОЙ ФОРСУНКИ, РАЗРАБОТАННОЙ ДЛЯ ДВИГАТЕЛЯ С НЕПОСРЕДСТВЕННЫМ ВПРЫСКОМ БЕНЗИНА И ФОРКАМЕРНО-ФАКЕЛЬНЫМ ЗАЖИГАНИЕМ**

Научная статья

Джафарли М.К. *

ORCID: 0000-0001-6942-8863,

Азербайджанский Технический Университет, Баку, Азербайджан

* Корреспондирующий автор (mkceferli[at]gmail.com)

Аннотация

В статье рассмотрен перечень требований, предъявляемых к системе впрыска, предназначенной для работы в составе двигателя с предложенным нами новым рабочим процессом с непосредственным впрыском бензина и форкамерно-факельным зажиганием. Рассмотрен принцип работы и проанализированы конструктивные особенности разработанной новой конструкции электронно-управляемой форсунки с пьезоэлектрическим актуатором, которая удовлетворяет поставленным требованиям. В результате проведенного анализа установлено, что до практической реализации и экспериментального исследования новой конструкции форсунки, необходима оптимизация ее некоторых конструктивных параметров с использованием расчетных экспериментов.

Ключевые слова: двигатель с непосредственным впрыском бензина, система впрыска бензина с аккумулятором давления, электронно-управляемая форсунка.

ANALYSIS OF CONSTRUCTION FEATURES OF ELECTRONICALLY-CONTROLLED NOZZLE DESIGNED FOR GASOLINE DIRECT INJECTION ENGINE OF AND PRE-TORCH IGNITION

Research article

Jafarli M.K. *

ORCID: 0000-0001-6942-8863,

Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan

* Corresponding author (mkceferli[at]gmail.com)

Abstract

The article discusses the list of requirements for an injection system designed to operate as part of an engine with a new workflow and direct injection of gasoline and a pre-torch ignition. The principle of operation is considered and the design features of the developed new design of an electronically-controlled nozzle with a piezoelectric actuator, which satisfies the set requirements, are analyzed. As a result of the analysis, it was found that prior to the practical implementation and experimental study of the new nozzle design, it is necessary to optimize some of its design parameters with the help of computational experiments.

Keywords: gasoline direct injection engine, gasoline injection system with pressure accumulator, electronically-controlled nozzle.

Введение

В настоящее время, как к экологическим, так и к технико-экономическим показателям автомобильных двигателей предъявляются все более жесткие требования [1], [2], [3, С. 260]. Удовлетворение этим требованиям является одним из актуальных проблем транспортной энергетики. Известно что, показатели двигателей в значительной степени зависят от особенностей рабочих процессов в цилиндре [1], [2]. Поэтому, для удовлетворения этим требованиям на кафедре “Автомобильная техника” Азербайджанского Технического Университета (АзТУ) на уровне изобретения предложен новый рабочий процесс двигателя с непосредственным впрыском бензина в цилиндр и с форкамерно-факельным воспламенением расслоенного рабочего заряда [4].

Постановка задачи

Предложенный рабочий процесс предъявляет следующие специфичные и повышенные требования к разрабатываемой системе впрыска [5], [6]:

- система впрыска топлива должна иметь возможность осуществлять впрыск двух независимых доз топлива, с самостоятельным регулированием моментов начала впрыска и количеств каждой из доз;
- доза запальной части топлива должна иметь очень малые значения, вплоть до $5...6 \text{ мм}^3$;
- система впрыска топлива должна обладать очень высоким быстродействием и способностью регулирования количества впрыскиваемых доз в широких пределах;
- топливо должно впрыскиваться в виде узкого конуса с углом конусности не более $12...20^\circ$;
- система впрыска топлива должна иметь возможность регулирования давления впрыска бензина в зависимости от скоростного и нагрузочного режима работы двигателя;
- впрыскивающий клапан форсунки должен имеет ход не менее $0,25...0,30 \text{ мм}$.

Существующие системы впрыска двигателя с непосредственным впрыском бензина в цилиндр не полностью удовлетворяют этим требованиям двигателя с форкамерно-факельным воспламенением. Поэтому, в работе [7] рассмотрена задача разработки новой системы впрыска для двигателя с предложенным рабочим процессом. Отмечено, что с точки зрения угла конусности и хода клапана наиболее подходящей для системы впрыска данного двигателя

является клапанная форсунка. Но эта форсунка предусмотрена для работы в составе механических систем впрыска бензина и такие системы впрыска не удовлетворяют другим предъявляемым требованиям. А в настоящее время широко распространенные электронно-управляемые системы впрыска с аккумулятором давления и их электронно-управляемые форсунки удовлетворяют всем другим требованиям, кроме требований, связанных с углом конусности и хода впрыскивающего клапана. Поэтому, в двигателе с предложенным рабочим процессом должна применяться электронно-управляемая система впрыска с аккумулятором давления совместно с электронно-управляемой форсункой, имеющей новую конструкцию, разработанную на основе сопловой части клапанной форсунки. Впоследствии, в работе [5] предложена новая конструкция электронно-управляемой форсунки с пьезоэлектрическим актюатором, удовлетворяющая поставленным требованиям. В настоящей работе приведен анализ конструкции и рассмотрены конструктивные особенности предложенной электронно-управляемой форсунки.

Решение задачи

Схема широко распространенной электронно-управляемой системы впрыска бензина с аккумулятором давления, предусмотренная для применения в двигателе с предложенным новым рабочим процессом, представлена на рис. 1.

Разработанная электронно-управляемая форсунка (рис. 2.) содержит входной канал, соединяющий полость управляющего клапана с помощью трубопровода высокого давления с полостью аккумулятора давления, управляющий клапан, соединяющий камеру управления с полостью управляющего клапана, пьезо-актюатор привода управляющего клапана, соединительный канал, сообщающий камеру управления с полостью клапанно-соплового распылителя и впрыскивающий клапан, открывающийся под действием давления топлива и осуществляющий непосредственно впрыск топлива в цилиндр двигателя.

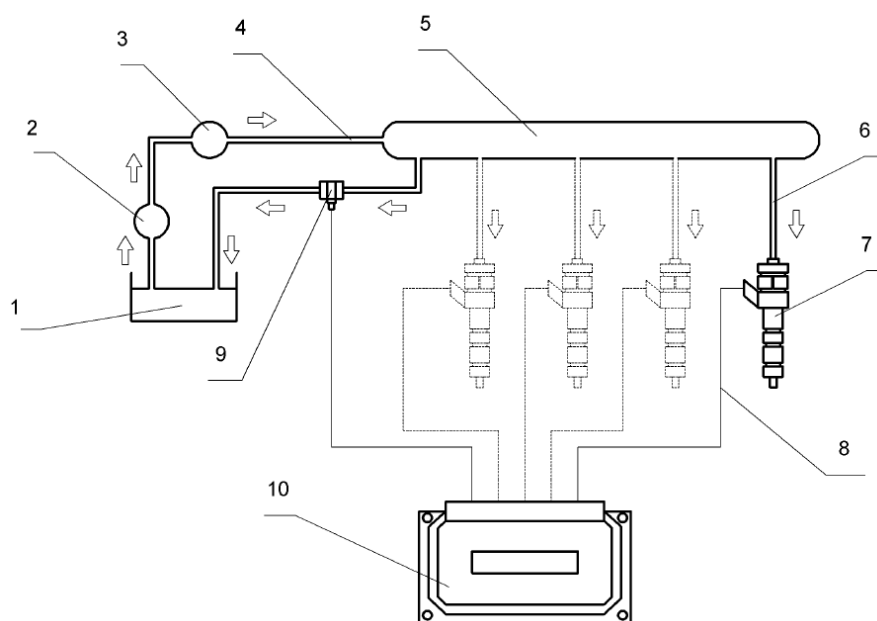


Рис. 1 – Схема электронно-управляемой системы впрыска бензина с аккумулятором давления:

1 – топливный бак, 2 – топливный насос низкого давления, 3 – топливный насос высокого давления, 4 – входной трубопровод высокого давления топливного аккумулятора, 5 – топливный аккумулятор (аккумулятор давления), 6 – выходной трубопровод высокого давления топливного аккумулятора, 7 – электронно-управляемая форсунка, 8 – электрический провод управления, 9 – электронно-управляемый клапан регулирования давления в полости аккумулятора, 10 – электронный блок управления

Форсунка работает следующим образом. Топливо, проходя через трубопровод высокого давления, из аккумулятора давления с помощью входного канала поступает в полость объема управляющего клапана и при закрытом положении управляющего клапана топливо в полости управляющего клапана находится под давлением аккумулятора. Под действием давления топлива в полости управляющего клапана и силы упругости пружины конус клапана прижимается к седлу, закрывая путь топлива в камеру управления. В полостях камеры управления и клапанно-соплового распылителя, а также в соединительном канале топливо находится под остаточным давлением, оставшимся от предыдущего цикла впрыска. Это остаточное давление меньше давления открытия впрыскивающего клапана. Поэтому в состоянии покоя впрыскивающий клапан остается в закрытом положении.

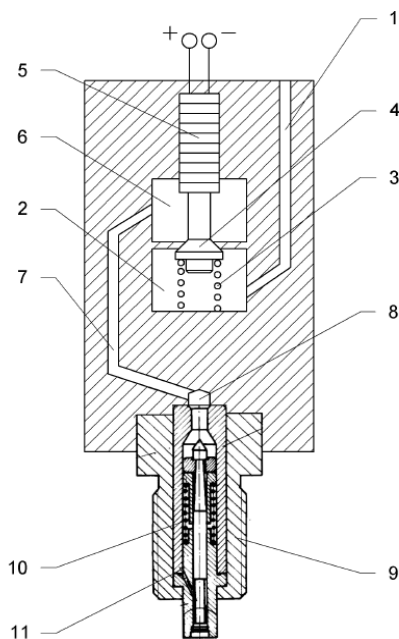


Рис. 2 – Принципиальная схема разработанной электронно-управляемой форсунки [5]:

1 – входной канал, 2 – полость управляющего клапана, 3 – пружина управляющего клапана, 4 – управляющий клапан, 5 – пакет пьезоэлементов, 6 – камера управления, 7 – соединительный канал, 8 – полость клапанно-сопловой распылителя, 9 – сопловая часть клапанной форсунки, 10 – пружина впрыскивающего клапана, 11 – впрыскивающий клапан

При поступлении управляющего напряжения от блока электронного управления пакет пьезоэлементов расширяется и воздействует на управляющий клапан. В результате, управляющий клапан открывается и освобождает путь высокому давлению топлива в камеру управления. Топливо под высоким давлением из камеры управления через соединительный канал поступает в полость клапанно-сопловой распылителя и давление в этой полости повышается. При повышении давления в полости выше давления открытия впрыскивающего клапана, последний открывается и происходит впрыск топлива.

С прекращением управляющего электрического импульса управляющий клапан под действием пружины возвращается в исходное – закрытое состояние, прекращая поступление топлива в камеру управления. В результате этого, а также продолжения истечения топлива из полости клапанно-сопловой распылителя в цилиндр, давление топлива в полости клапанно-сопловой распылителя падает. Давление падает также и в сообщающихся с этой полостью соединительном канале и полости управления. При понижении давления в полости клапанно-сопловой распылителя ниже давления закрытия впрыскивающего клапана, последний закрывается и впрыск топлива прекращается. В полостях управления и клапанно-сопловой распылителя, а также в канале управления устанавливается некоторое остаточное давление, ниже давления открытия впрыскивающего клапана.

Как было отмечено, новый рабочий процесс двигателя предъявляет к системе впрыска, в том числе и форсунке повышенные требования, в том числе и по обеспечению многоэтапного впрыска. А многоэтапный впрыск требует большего быстродействия форсунки [8, С.70], [9, С.93], что, в свою очередь, зависит от реализованной схемы электрогидравлической системы управления [10, С.192], [11, С.26]. Поэтому, в качестве управляющего элемента в разработанной форсунке применяется пьезопривод, так как, пьезопривод позволяет примерно в 2-3 раза повысить быстродействие клапана по сравнению с электромагнитным приводом [12, С.10], [13, С.65], [14].

Очевидно, максимальное быстродействие пьезо-управляемой форсунки может быть достигнуто при непосредственном воздействии пьезо-актюатора на иглу или впрыскивающий клапан форсунки [15]. Однако такое конструктивное решение неприемлемо для конструкции примененного впрыскивающего клапана. Так как, впрыскивающий клапан имеет диаметр в 2,2 мм и для достижения достаточного проходного сечения ход клапана должен составлять 0,25...0,30 мм, что значительно меньше хода пьезо-актюатора, составляющего всего 0,08 мм. Для решения этой проблемы применен метод электрогидравлического управления – пьезо-актюатор воздействует на промежуточный управляющий клапан, имеющий значительный диаметр (8 мм), который при малом ходе актюатора обеспечивает достаточное проходное сечение для топлива, подаваемого к впрыскивающему клапану, а впрыскивающий клапан под действием давления подаваемого топлива открывается на свой максимальных ход. Однако включение в конструкцию дополнительного управляющего клапана и, следовательно, дополнительных полостей и соединительного канала между полостями может отрицательно повлиять на быстродействие форсунки и возможность впрыска малых доз топлива. Поэтому, возникает необходимость в расчетном исследовании быстродействия работы форсунки и возможности впрыска малых доз методом математического моделирования.

Одним из основных факторов, влияющих на характеристики впрыска, является проходное сечение управляющего клапана. Так, управляющий клапан должен иметь по возможности большее проходное сечение при малом его ходе, чтоб не оказывать дросселирующего действия на проходящее топливо и способствовать более полной передаче давления из аккумулятора в полость впрыскивающего клапана. Кроме того, для осуществления процесса впрыска с возможно меньшими колебаниями давления, полости управления и впрыскивающего клапана должны быть размещены по возможности ближе и соединены каналом с возможно большим диаметром и меньшей длиной. Однако

ограниченные размеры и жесткие условия компоновки форсунки не позволяют осуществить все эти требования в полной мере и приходится принимать компромиссные решения. При этом основным критерием является приемлемая характеристика впрыска, при возможно более равномерных давлениях и без значительных скачков давления впрыска, а также возможность впрыска малых доз вплоть до $5...6 \text{ мм}^3/\text{цикл}$. Поэтому, необходима оптимизация некоторых конструктивных параметров, таких как, объемы полостей, диаметры и длины каналов и др. с использованием расчетных экспериментов.

Известно, что в электронно-управляемых системах впрыска с аккумулятором давления управление цикловой дозой впрыскиваемого топлива осуществляется изменением продолжительности управляющего электрического импульса, поступающего на актуатор, а также изменением давления топлива в аккумуляторе [16, С.568], [17, С.123], [18, С.45]. Поэтому, возникает необходимость в расчетном исследовании также и влияния давления топлива в аккумуляторе на быстродействие работы форсунки при разных значениях продолжительности управляющего импульса методом математического моделирования.

Как отмечалось, важным требованием к системе впрыска двигателя является возможность осуществления многоэтапного впрыска, в котором, во втором этапе предназначено впрыскивание малых доз топлива. Следует отметить, что в традиционных системах впрыска топлива, а также в электронно-управляемых системах впрыска с аккумулятором давления, впрыскивание малых доз топлива является проблематичным [3, С.260-261], [19, С.25]. Таким образом, до практической реализации новой конструкции форсунки, следует оценить также ее работоспособность на режимах малых цикловых подач топлива методом математического моделирования.

Выводы

Таким образом, в результате проведенного анализа установлено, что до практической реализации новой конструкции форсунки необходимо проведение следующих расчетных исследований методом математического моделирования:

- исследование быстродействия работы форсунки;
- исследование возможности впрыска малых доз;
- исследование влияния конструктивных параметров на быстродействие работы форсунки и на процесс топливоподачи для оптимизации некоторых конструктивных параметров;
- исследование влияния давления топлива в аккумуляторе на быстродействие работы форсунки, а также на возможность впрыска малых цикловых доз топлива.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Гаврилов В.В. Физическое моделирование развития топливной струи – основа повышения качества смесеобразования и сгорания в дизеле / В.В. Гаврилов // Известия ТПУ. Томск. – 2003. Т. 306. № 6. – С. 77-81.
2. Беляева Е.В. Пути совершенствования рабочего процесса в двигателях внутреннего сгорания / Е.В. Беляева, М.Ю. Орлов, Д.А. Угланов // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва (Национального Исследовательского Университета). – 2007. – № 2 (13). – С. 34-41.
3. Крохотин Ю.М. Топливная система VORONEZH RAIL / Ю.М. Крохотин / Сборник научных трудов по материалам Международной конференции Двигатель-2007, посвященной 100-летию школы двигателестроения МГТУ им. Н.Э. Баумана. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2007. – С. 260-265.
4. Евразийский Патент № 023968, МПК F02B 19/10; F02B 17/00. Форкамерный двигатель с непосредственным впрыском топлива в цилиндр и принудительным зажиганием / Керимов З.Х., Мамедзаде Х.Ш., Джафарли М.К.; патентовладелец Керимов З.Х. - Номер заявки 201400220; заявл. 17.12.13; опубл. 29.07.16, Бюллетень Евразийского патентного ведомства № 7'2016. – С. 659-660.
5. Керимов З.Х. Разработка новой конструкции электронно-управляемой форсунки для двигателя с непосредственным впрыском бензина и форкамерно-факельным зажиганием / З.Х. Керимов, М.К. Джафарли // Известия высших технических учебных заведений Азербайджана. АГУНП. – Баку. – 2017. – Том 19, № 3 (107). – С. 63–71.
6. Керимов З.Х. Особенности рабочих процессов двигателей с непосредственным впрыском бензина и расслоенным зарядом и пути их дальнейшего развития / З.Х. Керимов, М.К. Джафарли // Научные труды Азербайджанской Государственной Морской Академии. – Баку. – 2016 – № 1. – pp. 93-102.
7. Керимов З.Х. Системы впрыска бензина с аккумулятором давления и проблемы их применения в форкамерно-факельном двигателе с новым рабочим процессом / З.Х. Керимов, М.К. Джафарли // Азербайджанский Технический Университет. Ученые записки. Технические науки. АзТУ. – Баку. – 2016. – № 4. Том 1. – С. 68–74.
8. Пойда А.Н. Выбор материала для пьезоэлектрического привода управляющего клапана электрогидравлической форсунки автотракторного дизеля / А.Н. Пойда, Д.Г. Сивых, Д.А. Капустин // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Випуск № 107. Том 2. – Харків: 2011. – С. 69-76.
9. Каюков С.С. Анализ возможности улучшения характеристик быстродействия ЭГФ для системы Common Rail / С.С. Каюков, Р.Э. Галлямов, А.В. Белоусов // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва (Национального Исследовательского Университета). – 2015. Т.14, № 2. – С. 93-96.
10. Прохоренко А.А. Выбор основных конструктивных параметров электрогидравлической форсунки дизеля / А.А. Прохоренко, Д.В. Мешков, Д.Е. Самойленко // Авиационно-космическая техника и технология. № 10 (87). – 2011. – С. 192-196.

11. Ермаков В.В. Повышение быстродействия электромагнитной форсунки / В.В. Ермаков, С.А. Пионтковская // Международный научный журнал «Символ науки». – Уфа. – № 12. – 2015. – С. 25-29.
12. Прохоренко А.А. Математическая модель процесса топливоподачи системой Common Rail с пьезоэлектрической форсункой / А.А. Прохоренко, Д.Е. Самойленко, Д.В. Мешков // Вісті Автомобільно-дорожного інституту: науково-виробничий збірник. – АДІ ДонНТУ. – Горлівка, 2009. – № 1 (8). – С. 6-12.
13. Иващенко Н.А. Методика расчета быстродействующего привода управляющего клапана топливоподающей аппаратуры / Н.А. Иващенко, Л.В. Грехов, Чжао Цзяньхуэй // Двигатели внутреннего сгорания. Научно-технический журнал. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2012. – № 1. – С. 65-69.
14. Куклиновский В.В. Пьезоэлектрический привод топливных форсунок микропроцессорных систем управления автомобильными дизельными двигателями: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03: защищена 12.11.09 / Куклиновский Виктор Владимирович. – М., 2009. – 24 с.
15. Врублевский А.Н. К обоснованию выбора управляющего устройства форсунки дизеля / А.Н. Врублевский, А.И. Воронков, А.В. Денисов // Вісник Харківського національного автомобільно-дорожного університету. – Харків: ХНАДУ, 2005. – Вип. 30. – С. 133-135.
16. Автомобильный справочник: Пер. с англ. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ЗАО «КЖИ «За рулем», 2004. – 992 с.
17. Грехов Л.В. Топливная аппаратура и системы управления дизелей: Учебник для вузов / Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко, В.А. Марков. – М.: Легион-Автодата, 2004. – 344 с.
18. Филатов А.В. Управление процессом впрыска топлива в дизельных двигателях / А.В. Филатов // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета: Научный рецензируемый журнал. – Омск: ФГБОУ ВПО «СибАДИ». – № 1 (29). – 2013. – С. 39-47.
19. Бирюк В.В. Непосредственный впрыск топлива многоигольной форсункой в камеру сгорания ДВС с использованием CAE/CAD-систем / В.В. Бирюк, С.С. Каюков, А.А. Горшкалѐв и др. // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королѐва (Национального Исследовательского Университета). – 2013. № 3-1 (41). С. 25-28.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Gavrilov V.V. Fizicheskoe modelirovanie razvitiya toplivnoj strui – osnova povysheniya kachestva smeseobrazovaniya i sgoraniya v dizele [Physical simulation of the fuel spray development as a basis of improvement of mixture formation and combustion in the diesel] / V.V. Gavrilov // Izvestiya Tomskogo Politehnicheskogo Universiteta [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University]. Tomsk. – 2003. vol. 306. № 6. – pp. 77-81. [in Russian]
2. Belyaeva E.V. Puti sovershenstvovaniya rabocheho processa v dvigatel'jah vnutrennego sgoraniya [The ways of improvement of operating process in internal combustion engines] / E.V. Belyaeva, M.Y. Orlov, D.A. Uglanov // Vestnik Samarskogo Gosudarstvennogo Ajerokosmicheskogo Universiteta im. akademika S.P. Koroljova (Nacional'nogo Issledovatel'skogo Universiteta) [Bulletin of the Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolev (National Research University)]. – 2007. – № 2 (13). – pp. 34-41. [in Russian]
3. Krokhotin Yu.M. Toplivnaja sistema VORONEZH RAIL [Fuel system VORONEZH RAIL] / Yu.M. Krokhotin / Sbornik nauchnyh trudov po materialam Mezhdunarodnoj konferencii Dvigatel'-2007, posvjashhennoj 100-letiju shkoly dvigatelestroenija MGTU im. N.Je. Bauman. [Collection of scientific papers on the International Conference Engine-2007, dedicated to the 100th anniversary of the engine building school of MSTU named after Bauman]. – M.: MSTU named after Bauman. – 2007. – pp. 260-265. [in Russian]
4. Eurasian Patent № 023968, MPK F02B 19/10; F02B 17/00. Forkamernyj dvigatel' s neposredstvennym vpryskom topliva v cilindr i prinuditel'nym zazhiganiem [Pre-chamber spark ignition engine with direct fuel injection into the cylinder] / Kerimov Z.Kh., Mammedzade Kh.Sh., Jafarli M.K.; the patentee Kerimov Z.Kh. - Application number 201400220; appl. 12/17/13; publ. 07.29.16, Bulletin of the Eurasian Patent Organization № 7'2016. - p. 659-660. [in Russian]
5. Kerimov Z.Kh. Razrabotka novoj konstrukcii jelektronno-upravljaemoj forsunki dlja dvigatelja s neposredstvennym vpryskom benzina i forkamerno-fakel'nym zazhiganiem [Elaboration of new construction of the electronic controlled injector for the direct petrol injection and pre chamber-torch ignition engine] / Z.Kh. Kerimov, M.K. Jafarli // Izvestija vysshih tehniceskikh uchebnyh zavedenij Azerbajdzhana [Transactions of Azerbaijan Institutes of Technology]. AGUNP. – Baku. – 2017. – vol. 19, № 3 (107). – pp. 63-71. [in Russian]
6. Kerimov Z.Kh. Osobennosti rabochih processov dvigatelej s neposredstvennym vpryskom benzina i rassloennym zarjadam i puti ih dal'nejshego razvitiya [The features of the working processes of the direct petrol injection and stratified charge engines and their further development ways] / Z.Kh. Kerimov, M.K. Jafarli // Nauchnye trudy Azerbajdzhanskoj Gosudarstvennoj Morskoj Akademii [Proceedings of Azerbaijan State Marine Academy]. – Baku. – 2016 – № 1. – pp. 93-102. [in Russian]
7. Kerimov Z.Kh. Sistemy vpryska benzina s akkumuljatorom davlenija i problemy ih primenenija v forkamerno-fakel'nom dvigatele s novym rabochim processom [The pressure accumulator petrol injection system and problems of their application in the pre chamber engines with new working process] / Z.Kh. Kerimov, M.K. Jafarli // Azerbajdzhanskij Tehniceskij Universitet. Uchenye zapiski. Tehniceskie nauki [Azerbaijan Technical University. Scientists works. Technical science.] AzTU. – Baku. – 2016. – № 4, vol. 1, pp. 68-74. [in Russian]
8. Pojda A.N. Vybora materiala dlja p'ezoelektricheskogo privoda upravljajushhego klapanja jelektrogidravlicheskoj forsunki avtotraktornogo dizelja [The choice of material for the piezoelectric actuator of the control valve of the electro-hydraulic injector of autotractor diesel engine] / A.N. Pojda, D.G. Sivikh, D.A. Kapustin // Visnik Harkivs'kogo Nacional'nogo Tehnichnogo Universitetu sil'skogo gospodarstva imeni Petra Vasilenka [Bulletin of Kharkiv State Technical university of Agriculture name Peter Vasilenko]. – № 107. Vol. 2. – Kharkov: 2011. – pp. 69-76. [in Russian]
9. Kayukov S.S. Analiz vozmozhnosti uluchsheniya harakteristik bystrodejstvija JeGF dlja sistemy Common Rail [Analysis of the possibility of improving performance characteristics of a electro-hydraulic injector for the common rail system] / S.S. Kayukov, R.E. Gallyamov, A.V. Belousov // Vestnik Samarskogo Gosudarstvennogo Ajerokosmicheskogo

Universiteta im. akademika S.P. Koroljova (Nacional'nogo Issledovatel'skogo Universiteta) [Bulletin of the Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolev (National Research University)]. – 2015. vol.14, № 2. – pp. 93-96. [in Russian]

10. Prochorenko A.A. Vybor osnovnykh konstruktivnykh parametrov jelektrogidravlicheskoj forsunki dizelja [A choice of a main construction parameters in electro-hydraulic injector of a diesel engine] / A.A. Prochorenko, D.V. Meshkov, D.E. Samojlenko // Aviacionno-kosmicheskaja tehnika i tehnologija [Aerospace technic and technology]. № 10 (87). – 2011. – pp. 192-196. [in Russian]

11. Ermakov V.V. Povyshenie bystrodejstvija jelektromagnitnoj forsunki [Increasing the rapidity of the electromagnetic injector] / V.V. Ermakov, S.A. Piontkovskaya // Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal «Simvol nauki» [International scientific journal “symbol of science”]. – Ufa. – № 12. – 2015. – pp. 25-29. [in Russian]

12. Prochorenko A.A. Matematicheskaja model' processa toplivopodachi sistemoj Common Rail s p'ezoelektricheskoj forsunkoj [Mathematical model of the fuel feed process by the system of Common Rail with the piezoelectric injector] / A.A. Prochorenko, D.E. Samojlenko, D.V. Meshkov // Visti Avtomobil'no-dorozhn'ogo institutu: naukovovo-virobnichij zbirnik [Bulletin of the Automobile and highway institute: scientific and production collection]. – ADI DonNTU. – Gorlivka, 2009. – № 1 (8). – pp. 6-12. [in Russian]

13. İvaschenko N.A. Metodika rascheta bystrodejstvujushhego privoda upravljajushhego klapana toplivopodajushhej apparatury [The method of calculating for high-speed actuator of control valve for fuel injection system] / N.A. İvaschenko, L.V. Grekhov, Zhao Jianhui // Dvigateli vnutrennego sgoranija. Nauchno-tehnicheskij zhurnal [Internal combustion engines. Scientific and technical journal]. – Kharkov: National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute». – 2012. – № 1. – pp. 65-69. [in Russian]

14. Kuklinovsky V.V. P'ezoelektricheskij privod toplivnykh forsunok mikroprocessornykh sistem upravlenija avtomobil'nyimi dizel'nyimi dvigateljami [The piezoelectric drive of fuel injectors of microprocessor control systems for automotive diesel engines]: dis. ... of PhD in Engineering: 05.09.03: defense of the thesis 12.11.09 / Kuklinovsky Viktor Vladimirovich. – M., 2009. – 24 p. [in Russian]

15. Vrublevskiy A.N. K obosnovaniju vybora upravljajushhego ustrojstva forsunki dizelja [Justification of the choice of the control device of a diesel engine injector] / A.N. Vrublevskiy, A.İ. Voronkov, A.V. Denisov // Visnik Harkivs'kogo Nacional'nogo Avtomobil'no-dorozhn'ogo Universiteta [Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University]. – Kharkov: Kharkiv National Automobile and Highway University, 2005. – Issue 30. – pp. 133–135. [in Russian]

16. Avtomobil'nyj spravocnik: Perevod s anglijskogo [Automobile handbook: Translation from English]. – 2nd ed., Revised and supplemented. – Moscow: «Behind the wheel», 2004. – 992 p. [in Russian]

17. Grekhov L.V. Toplivnaja apparatura i sistemy upravlenija dizelej: Uchebnik dlja vuzov [Fuel equipment and control systems of diesel engines: A textbook for universities] / L.V. Grekhov, N.A. Ivashchenko, V.A. Markov. Legion-Avtodata [Legion-Avtodata publ.] – Moscow, 2005. 344 p. [in Russian]

18. Filatov A.V. Upravlenie processom vpryska topliva v dizel'nyh dvigateljah [Control of the fuel injection process in diesel engines] / A.V. Filatov // Vestnik Sibirskogo Gosudarstvennogo Avtomobil'no-dorozhnogo Universiteta: Nauchnyj recenziruemyj zhurnal [Bulletin of Siberian Automobile and Highway University: the scientific reviewed journal]. – Omsk: «Siberian Automobile and Highway university». – № 1 (29). – 2013. – pp. 39-47. [in Russian]

19. Biryuk V.V. Neposredstvennyj vprysk topliva mnogoigol'noj forsunkoj v kameru sgoranija DVS s ispol'zovaniem CAE/CAD-sistem [Direct fuel injection by a multi-needle nozzle into the combustion chamber of ICE using CAE / CAD systems] / V.V. Biryuk, S.S. Kayukov, A.A. Gorshkalev and others // Vestnik Samarskogo Gosudarstvennogo Ajerokosmicheskogo Universiteta im. akademika S.P. Koroljova (Nacional'nogo Issledovatel'skogo Universiteta) [Bulletin of the Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolev (National Research University)]. – 2013. № 3-1 (41). pp. 25-28. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.87.9.006>**ПРИМЕНЕНИЕ ОТХОДОВ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ОГНЕСТОЙКОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ**

Научная статья

Курочкин И.Н.^{1,*}, Ильина М.Е.²¹ ORCID: 0000-0002-0405-2225;^{1,2} Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых, Владимир, Россия

* Корреспондирующий автор (ivan33vl[at]yandex.ru)

Аннотация

Представлены результаты разработки полимерного огнестойкого покрытия, содержащего отходы гальванического производства, для огне- и антикоррозионной защиты бетонных и металлических поверхностей различных строительных конструкций. Покрытие разработано на основе эпоксидной диановой смолы, отвердителя полиэтиленполиамины, модификатора полиметилфенилсилоксана, пигмента и антипиреновой добавки на основе отхода гальванического производства – гальванического шлама. Использование полиметилфенилсилоксана улучшает термостойкие свойства полученного покрытия и снижает его влагопоглощение, а использование в качестве антипиреновой добавки гальванического шлама в количестве 10-50 мас.ч. придает отвержденному покрытию огнестойкие свойства. Исследования показали, что применение данной композиции позволяет получить сравнительно недорогое, но достаточно эффективное полимерное покрытие с хорошими физико-механическими и огнестойкими свойствами.

Ключевые слова: полимерное защитное покрытие, эпоксидная диановая смола, полиметилфенилсилоксан, антипиреновая добавка, гальванический шлам, огнестойкость.

APPLICATION OF WASTES OF ELECTRODEPOSITION FOR THE INCREASE OF FIRE RESISTANCE OF POLYMERIC PROTECTIVE COATINGS

Research article

Kurochkin I.N.^{1,*}, Ilina M.E.²¹ ORCID: 0000-0002-0405-2225;^{1,2} Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia

* Corresponding author (ivan33vl[at]yandex.ru)

Abstract

The results of the development of a polymer fire-resistant coating containing electrodeposition waste for fire and corrosion protection of concrete and metal surfaces of various building structures are presented. The coating is developed on the basis of epoxy Dianova resin, hardener, polyethylene polyamine, polymethylphenylsiloxane modifier, pigment and flame retardant based on electrodeposition waste – galvanic sludge. The use of polymethylphenylsiloxane improves the heat-resistant properties of the resulting coating and reduces its moisture absorption, while the use of galvanic sludge as a flame retardant in the amount of 10-50 pts. wt. gives cured coating flame retardant properties. Studies show that the use of this composition allows obtaining a relatively inexpensive, but quite effective polymer coating with good physico-mechanical and flame retardant properties.

Keywords: polymer protective coating, epoxy diane resin, polymethylphenylsiloxane, flame retardant, galvanic sludge, fire resistance.

Введение

В настоящее время широкое распространение получили полимерные покрытия для защиты наружных бетонных и металлических поверхностей строительных конструкций от воздействия неблагоприятных природных факторов. Их применение обусловлено хорошей механической прочностью, адгезией, низким влагопоглощением, стойкостью к агрессивным средам. В то же время, существенным недостатком полимерных покрытий является их низкая стойкость к термической деструкции и горючесть. Для снижения горючести и усиления эффекта самозатухания полимерных покрытий в их состав вводят антипиреновые добавки, в роли которых могут выступать различные органические и неорганические соединения (трехокись сурьмы, аммонийные соли фосфорной и серной кислоты, бром-, хлор- и фосфорорганические соединения, гидроксиды металлов и т.д.). Применение антипиренов значительно затрудняет воспламенение полимерных покрытий, снижает скорость распространения огня, способствует самозатуханию. Основным недостатком антипиренов является их высокая стоимость. В данной работе рассматривается возможность использования в качестве антипиреновой добавки для полимерного покрытия отхода машиностроительного производства – гальванического шлама. Цель работы – исследование огнезащитных и физико-механических свойств полимерного покрытия, разработанного на основе эпоксидной диановой смолы, полиметилфенилсилоксана и антипиреновой добавки гальванического шлама.

Для получения защитного покрытия была использована эпоксидная диановая смола марки ЭД-20, с содержанием эпоксидных групп 20-22.5 %. В качестве отвердителя смолы использовался полиэтиленполиамин (ТУ–6-02-594-85). В качестве антипиреновой добавки был использован гальванический шлам, образующийся при реагентной очистке сточных вод гальванического производства. В состав гальванического шлама входят гидроксиды металлов: Zn(OH)₂, Cu(OH)₂, Ni(OH)₂, Fe(OH)₃, Ca(OH)₂, оксиды CaO, SiO₂. Гальванический шлам перед использованием просушивался при T=130⁰ С и подвергался тонкому помолу на шаровой мельнице. Полученный тонкодисперсный порошок имел

степень перетира не более 40 мкм (по ГОСТ 6589-74). Гальванический шлам был проанализирован на спектрофлуориметре «Спектроскан МАКС - G». Элементный состав гальваношлама представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Элементный состав гальваношлама

Элемент (в составе оксида или гидроксида)	Количество, %
Ca	32,84
Zn	10,96
Fe	6,84
Cr	4,91
Cu	1,68
Ni	1,35
Mn	0,22
Sr	0,06
Co	0,01
Ti	0,005
V	0,002
Si, O, H	остальное

В качестве модификатора применялся полиметилфенилсилоксан (ГОСТ 15866-70). В качестве пигмента использовался диоксид титана марки Р-02 (ГОСТ 9808-84). В настоящее время, гальванический шлам, в силу отсутствия эффективных технологий и технических решений его переработки, продолжает накапливаться на территориях машиностроительных предприятий. В зависимости от состава и способа химической очистки [1] он относится к отходам 2-3 класса опасности [2], [3], поэтому он представляет потенциальную опасность для окружающей среды и здоровья населения. Так как приоритетным направлением в обеспечении экологически безопасного обращения с отходами является сокращение объемов техногенных промышленных отходов, через их вовлечение в повторное использование в качестве вторичного сырья, использование гальваношлама в качестве многофункциональной полезной добавки способствует решению этой задачи. Так, известно использование гальваношлама в производстве керамических строительных изделий, в качестве пигмента-наполнителя в лакокрасочных покрытиях [9], [10], в рецептурах бетонных смесей и бетонов [11] и т.д. В данной работе предлагается использовать гальваношлам в качестве антипиреновой добавки. Анализ состава гальванического шлама показал, что наибольшее содержание в гальваношламе имеют гидроксиды цинка, железа, хрома и оксид кальция. В случае резкого воздействия больших температур (например, при пожаре) гидроксиды металлов, содержащиеся в гальваношламе, разлагаются на оксиды металлов и воду, при этом реакция разложения является эндотермической, что приводит к охлаждению полимерной структуры покрытия до температуры ниже точки воспламенения. Образовавшиеся водяные пары способствуют разбавлению горючих газов, выделяющихся при горении полимера, ослаблению действия кислорода и уменьшению скорости горения. Содержащийся в гальваническом шламе оксид кальция в виде инертного тонкодисперсного порошка, создает теплоизолирующий слой, способствующий прекращению горения воспламененных участков полимерного покрытия. Известно, что модификация полимерных композиций полиорганосилоксанами и, в частности, полиметилфенилсилоксаном, позволяет улучшить термостойкость полимерного покрытия и устойчивость к ультрафиолету [12], [13]. При этом полученные покрытия показывают и хорошую устойчивость к атмосферной влаге, за счет гидрофобного эффекта, возникающего в результате такой модификации. В нашем случае, в состав защитной композиции вводилось 30 мас.ч. полиметилфенилсилоксана, при этом обеспечивалось равномерное распределение гальванического шлама по всему объему композиции, что способствовало вводу максимального количества гальванического шлама (до 50 мас.ч.) в состав композиции, а нанесение защитного покрытия на рабочую поверхность не вызывало технологических трудностей. Результаты измерений технических параметров покрытия, содержащего 100 мас.ч. смолы ЭД-20, 10 мас. ч. отвердителя полиэтиленполиамин, 30 мас.ч. полиметилфенилсилоксана, 2 мас.ч. пигмента диоксида титана (образец без антипирена – гальваношлама) и образцов защитного покрытия того же состава, но дополнительно содержащих 10, 25 и 50 мас.ч. гальванического шлама в качестве антипиреновой добавки, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Технические параметры образцов защитных покрытий

Параметры измерений	Образец покрытия без антипиреновой добавки – гальваношлама	Образцы покрытия с добавкой гальваношлама (мас.ч.)		
		10	25	50
Прочность на изгиб, МПа	65	70	66	64
Время горения после прекращения воздействия пламени, с	Сгорает полностью	15	11	5
Влагопоглощение, %	0,46	0,45	0,47	0,49
Удельная ударная вязкость, кПа*м	7,52	7,68	7,91	8,12

Заключение

Таким образом, введение в состав защитного покрытия антипиреновой добавки – гальванического шлама, приводит к резкому снижению времени горения образцов, после прекращения воздействия пламени, что говорит о том, что разработанное покрытие на основе данного состава является самозатухающим, при этом не происходит ухудшения других важных технических характеристик защитного покрытия. Таким образом, использование гальваношлама в качестве антипиреновой добавки в количестве 10-50 мас.ч. позволяет значительно улучшить огнестойкие свойства защитного покрытия на основе эпоксидной диановой смолы и полиметилфенилсилоксана, при этом происходит безопасная утилизация техногенного промышленного отхода и удешевление стоимости защитной композиции.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Пикалов Е.С. Процессы и аппараты защиты окружающей среды. Механические и физические методы защиты очистки промышленных выбросов в атмосферу и гидросферу: учебное пособие / Пикалов Е.С. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2015 – 79 с.
2. Пикалов Е.С. Процессы и аппараты защиты окружающей среды. Физико-химические методы защиты очистки промышленных выбросов в атмосферу и гидросферу: учебное пособие / Пикалов Е.С. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2016 – 87 с.
3. Селиванов О.Г. Оценка экологической опасности полимерных строительных покрытий, наполненных гальваническим шламом / Селиванов О.Г., Чухланов В.Ю., Селиванова Н.В. и др. // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т.15. № 3(6). С.1956-1960.
4. Левицкий И.А. Комплексное исследование осадков сточных вод гальванических производств для использования в промышленности строительных материалов / Левицкий И. А., Павлокевич Ю. Г., Богдан Е.О., Кичайло О.В. // Экология промышленного производства. 2012. №2. С. 36-43.
5. Виткалова И.А. Использование отходов, содержащих тяжелые металлы, для получения кислотоупорной керамики с эффектом самоглазурования / Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С. и др. // Экология промышленного производства. 2018. № 2(102). С. 2-6.
6. Наумов В.И. Утилизация шламов гальванических производств / Наумов В.И., Наумов Ю.И., Галкин А.Л., Сазонтьева Т.В. // Гальванотехника и обработка поверхности. 2009. № 3. С.41-47.
7. Сухарникова М.А., Пикалов Е.С. Исследование возможности производства керамического кирпича на основе малопластичной глины с добавлением гальванического шлама. Успехи современного естествознания / Сухарникова М.А., Пикалов Е.С. 2015. №10. С. 44-47.
8. Маркова А.А. Комплексная утилизация отходов Владимирской области в производстве высокопрочной строительной керамики из местной малопластичной глины / Маркова А.А., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г. // Экология промышленного производства. 2016. №3. С.14-17.
9. Чухланов В.Ю. Новые лакокрасочные материалы на основе модифицированных пипериленистирольных связующих с использованием гальваношлама в качестве наполнителя / Чухланов В.Ю., Усачева Ю.В., Селиванов О.Г. // Лакокрасочные материалы и их применение. 2012. №12. С. 52-55.
10. Ладыгина О.В. Исследование антикоррозионных свойств малотоксичных пигментов – ферритов на основе гальваношламов и содержащих их грунтовок / Ладыгина О.В., Макаров В.М., Индейкин Е.А., Тархунов Н.А. // Лакокрасочные материалы и их применение. 2000. № 4. С. 26-28.
11. Генцер И. В. Влияние гальванических осадков на свойства бетонных смесей и бетонов / Генцер И. В. // Изв. вузов. Строительство и архитектура. 1996. №7. С. 67-70.
12. Чухланов В.Ю. Модификация полиорганосилоксаном связующего на основе полиуретана / Чухланов В.Ю., Селиванов О.Г. // Пластические массы. 2013. № 9. С. 8-10.
13. Чухланов В.Ю. Диэлектрические свойства герметизирующей композиции на основе эпоксидиановой смолы, модифицированной полиметилфенилсилоксаном, в сантиметровом свч-радиодиапазоне / Чухланов В.Ю., Селиванов О.Г. // Клеи. Герметики. Технологии. 2015 № 3. С. 6-11

Список литературы на английском языке / References in English

1. Pikalov E.S. Processy i apparaty zashchity okruzhayushchej sredy. Mekhanicheskie i fizicheskie metody zashchity ochistki promyshlennyh vybrosov v atmosferu i gidrosferu: uchebnoe posobie. [Environmental protection processes and devices. Mechanical and physical methods of protection of industrial emissions into the atmosphere and hydrosphere purification: tutorial] / Pikalov E.S. – Vladimir: publishing house VIGU, 2015 – 79 p.
2. Pikalov E.S. Processy i apparaty zashchity okruzhayushchej sredy. Fiziko-himicheskie metody zashchity ochistki promyshlennyh vybrosov v atmosferu i gidrosferu: uchebnoe posobie [Environmental protection processes and devices. Physico-chemical methods of protection of industrial emissions into the atmosphere and hydrosphere: tutorial] / Pikalov E.S. – Vladimir: publishing house VIGU, 2016 – 87 p.
3. Selivanov O.G. Ocenka ekologicheskoy opasnosti polimernyh stroitel'nyh pokrytij, napolnennyh gal'vanicheskim shlamom [Assessment of environmental hazard of the polymer building coating, filled with electroplating sludge] / Selivanov O.G., CHuhlanov V.YU., Selivanova N.V. and others. // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk [Proceedings of the Samara scientific center of the Russian Academy of Sciences] 2013. T.15. № 3(6). p.1956-1960.
4. Levickij I.A. Kompleksnoe issledovanie osadkov stochnyh vod gal'vanicheskikh proizvodstv dlya ispol'zovaniya v promyshlennosti stroitel'nyh materialov [Comprehensive study of waste water sediments of electroplating industries for use in

the construction materials industry] / Levickij I. A., Pavlyukevich YU. G., Bogdan E.O. and others // *Ekologiya promyshlennogo proizvodstva* [Ecology of industrial production]. 2012. №2. p. 36-43.

5. Vitkalova I.A. Ispol'zovanie othodov, sodержashchih tyazhelye metally, dlya polucheniya kislotoupornoj keramiki s efektom samoglazurovaniya [The use of waste containing heavy metals to produce acid-resistant ceramics with the effect of self-glazing] / Vitkalova I.A., Torlova A.S., Pikalov E.S. and others. // *Ekologiya promyshlennogo proizvodstva* [Ecology of industrial production]. 2018. № 2(102). p. 2-6.

6. Naumov V.I. Utilizaciya shlamov gal'vanicheskikh proizvodstv [Disposal of sludge electroplating plants] / Naumov V.I., Naumov YU.I., Galkin A.L. and others // *Gal'vanotekhnika i obrabotka poverhnosti* [Electroplating and surface treatment]. 2009. № 3. p.41-47.

7. Suharnikova M.A. Issledovanie vozmozhnosti proizvodstva keramicheskogo kirpicha na osnove maloplastichnoj gliny s dobavleniem gal'vanicheskogo shlama [Investigation of the possibility of production of ceramic bricks on the basis of low-plastic clay with the addition of galvanic sludge. Successes of modern natural science] / Suharnikova M.A., Pikalov E.S. // *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Successes of modern natural science]. 2015. №10. p. 44-47.

8. Markova A.A. Kompleksnaya utilizaciya othodov Vladimirskoj oblasti v proizvodstve vysokoprochnoj stroitel'noj keramiki iz mestnoj maloplastichnoj gliny [Complex utilization of wastes of Vladimir region in production of high-strength building ceramics from local low-plastic clay] / Markova A.A., Pikalov E.S., Selivanov O.G. and others.// *Ekologiya promyshlennogo proizvodstva* [Ecology of industrial production]. 2016. №3. p.14-17.

9. CHuhlanov V.YU. Novye lakokrasochnye materialy na osnove modifitsirovannykh piperilenstirol'nyh svyazuyushchih s ispol'zovaniem gal'vanoshlama v kachestve napolnitelya [New coating materials based on modified styrene binder piperylene using galvanostate as filler] / CHuhlanov V.YU., Usacheva YU.V., Selivanov O.G. and others.// *Lakokrasochnye materialy i ih primenenie* [Paint and varnish materials and their application]. 2012. №12. p. 52-55.

10. Ladygina O.V. Issledovanie antikorrozionnykh svoystv malotoksichnykh pigmentov – ferritov na osnove gal'vanoshlamov i sodержashchih ih gruntovok [Study of corrosion properties of low-toxic pigments – ferrites based on galvanostatic containing primers] / Ladygina O.V., Makarov V.M., Indejkin E.A. and others // *Lakokrasochnye materialy i ih primenenie* [Paint and varnish materials and their application]. 2000. № 4. p. 26-28.

11. Gencer I. V. Vliyanie gal'vanicheskikh osadkov na svoystva betonnykh smesey i betonov [Influence of galvanic precipitation on the properties of concrete mixtures and concretes] / CHuhlanov V.YU., Usacheva YU.V., Selivanov O.G. and others. // *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arhitektura* [News universities. Construction and architecture]. 1996. №7. p. 67-70.

12. CHuhlanov V.YU. Modifikaciya poliorganosiloksanom svyazuyushchego na osnove poliuretana [Modification polyorganosiloxane binder based on polyurethane] / CHuhlanov V.YU., Selivanov O.G. // *Plasticheskie massy* [Plastic mass]. 2013. № 9. p. 8-10.

13. CHuhlanov V.YU. Dielektricheskie svoystva germetiziruyushchej kompozicii na osnove epoksidianovoj smoly, modifitsirovannoj polimetilfenilsiloksanom, v santimetrovom svch-radiodapazone [Dielectric properties of sealing composition based on epoxy resin modified by polymethylphenylsiloxane in centimeter microwave radio] / CHuhlanov V.YU., Selivanov O.G. // *Klei. Germetiki. Tekhnologii* [Glues. Sealants. Technologies]. 2015 № 3. p. 6-11

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.87.9.007>**ПОВЫШЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА СЛЕДЯЩЕГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С СИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ НА ОСНОВЕ АДАПТИВНОГО МОДАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ С УЧЕТОМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОРРЕКЦИИ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК**

Научная статья

Нгуен Минь Хонг^{1,*}, Фам Туан Тхань², Ву Хыу Тхик³^{1,2} Технический университет им. Ле Куи Дона, Ханой, Вьетнам;³ Ханойский промышленный университет, Ханой, Вьетнам

* Корреспондирующий автор (nguyenhaihong2007[at]yahoo.com.vn)

Аннотация

В статье представлен метод повышения показателей качества следящего электропривода на основе синхронного двигателя с постоянными магнитами используя адаптивное модальное управление с учетом использования коррекции статических характеристик. Указанный электропривод широко применяется в различных областях техники, например, в приводе исполнительных органов роботов, в мобильных устройствах, в промышленных и военных оборудовании, где требуются простота конструкция, низкая энергопотребность. Выполнено моделирование системы в среде Matlab-Simulink. Полученные результаты показали, что при применении представленного метода, обеспечена точность слежения системы, подвергающейся влиянию нелинейных факторов.

Ключевые слова: следящий электропривод, коррекция статических характеристик, адаптивное модальное управление.

IMPROVEMENT OF QUALITY INDICATORS OF THE AC SERVO DRIVE WITH SYNCHRONOUS MOTOR BASED ON ADAPTIVE MODAL CONTROL CONSIDERING CORRECTION OF STATIC CHARACTERISTICS

Research article

Nguyen Minh Hong^{1,*}, Pham Tuan Thanh², Vu Huu Thich³^{1,2} Le Quy Don Technical University, Ha Noi, Viet Nam;³ Hanoi University of Industry, Ha Noi, Viet Nam

* Corresponding author (nguyenhaihong2007[at]yahoo.com.vn)

Abstract

The paper presents the method for improving the quality indicators of a servo drive based on a permanent magnet synchronous motor using adaptive modal control considering the use of static characteristics correction. The specified servo drive is widely used in various fields of technology, for example, in the drive of executive bodies of robots, in mobile devices, in industrial and military equipment, where simplicity of construction and low energy consumption are required. The system was simulated in the Matlab-Simulink environment. The results showed that when applying the presented method, the tracking accuracy of the system subjected to the influence of nonlinear factors can be ensured.

Keywords: servo drive, correction of static characteristics, adaptive modal control.

1. Введение

Качество следящего электропривода, в частности позиционного следящего электропривода (ПСЭП), зависит от выбора исполнительных органов и методов управления. В ПСЭП малой мощности часто применяли двигатель постоянного тока с коллектором и двигатель асинхронный двухфазного тока. В настоящее время использование синхронного двигателя с постоянными магнитами (ДСсПМ) стало перспективной тенденцией, так как он обладает достоинством двух вышеуказанных двигателей [6], [7].

В ПСЭП управление ДСсПМ осуществляется различными методами, такими как дискретное управление [7], [8], непрерывное управление [11], частотное управление [2], [10], векторное управление [2], [11]. Среди вышеперечисленных методов векторное управление обеспечивает наиболее высокое качество [11]. Однако, в системах малой мощности применение векторного управления оказывается менее подходящим из-за сложной структуры и большего объема расчёта микроконтроллера. Поэтому в системах малой мощности применяется метод коррекции статических характеристик, сущность которого заключается в том, что напряжение U_d , в разнице от метода векторного управления – создаётся из регулятора тока Ri_d , образуется путём косвенного вычисления из напряжения U_q и некоторого параметра двигателя, зависящего от конкретного алгоритма расчёта. В сравнении с классическим векторным управлением, метод коррекции статических характеристик даёт не меньшее качество при достаточно простой структуре системы.

Другая проблема, рассматриваемая в статье, заключается в том, что в системе позиционного следящего электропривода малой мощности всегда присутствует коробка передач, что приводит к сложности конструкции механической части. Вследствие сильной нелинейности (зазор зубчатых колёс, коэффициент упругости, момент трения) точность слежения системы значительно уменьшается. Анализ опубликованных исследований показывает, что для преодоления указанной проблемы при обеспечении простоты структуры управления для систем малой мощности, предпочтительным является использование адаптивного модального управления. Согласно проведённому исследованию [6], адаптивное управление электромеханическими системами наилучшим образом осуществляется по контуру скорости, где плотно находятся источники возмущения, вызывающие погрешности слежения. Затем синтез

регулятора положения следует выполнять с использованием методов стандартных функций для достижения требуемой точности управления для всей системы.

2. Алгоритм коррекции статических характеристик системы управления

Алгоритм коррекции статических характеристик системы построен на основе известные системы уравнений, описывающей ДСсПМ [3], [9] (в системе уравнений векторные величины обозначены без подчёркивания):

$$\begin{cases}
 T_y \frac{du_\alpha}{dt} + u_\alpha = k_y [u_d \cos(\varphi - \varphi_0) - u_q \sin(\varphi - \varphi_0)]; & (a) \\
 T_y \frac{du_\beta}{dt} + u_\beta = k_y [u_d \sin(\varphi - \varphi_0) + u_q \cos(\varphi - \varphi_0)]; & (b) \\
 T_\phi \frac{di_\alpha}{dt} + i_\alpha = \frac{1}{R} (u_\alpha + C_e \omega \sin \varphi); & (c) \\
 T_\phi \frac{di_\beta}{dt} + i_\beta = \frac{1}{R} (u_\beta - C_e \omega \cos \varphi); & (d) \\
 M = C_m (i_\beta \cos \varphi - i_\alpha \sin \varphi); & (e) \\
 J_1 \frac{d\omega}{dt} = M - M_c; & (f) \\
 \begin{cases}
 u_s = u_\alpha + ju_\beta = u_m e^{j\omega t}; & u_m = u_d + ju_q \\
 i_s = i_\alpha + ji_\beta = i_m e^{j\omega t}; & i_m = i_d + ji_q
 \end{cases}
 \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases}
 u_s = u_\alpha + ju_\beta = u_m e^{j\omega t}; & u_m = u_d + ju_q \\
 i_s = i_\alpha + ji_\beta = i_m e^{j\omega t}; & i_m = i_d + ji_q
 \end{cases} \quad (2)$$

где $u_d, u_q, u_\alpha, u_\beta$: соответственно, проекции вектора напряжения статора u_s на оси системы координат dq и системы координат $\alpha\beta$; i_α, i_β - проекции вектора тока статора i_s на оси и системы координат $\alpha\beta$; $u_m; i_m$ - комплексные амплитуды векторов напряжения тока статора в системе координат dq; k_y - коэффициент усиления усилителя мощности; φ - угловое положение ротора двигателя; φ_0 - начальный настраиваемый угол датчика положения ротора; C_e, C_m - соответственно, коэффициент противоэлектродвижущей силы и коэффициент момента двигателя, T_ϕ и T_y - соответственно, электромагнитная и электронная постоянные времени двигателя; J_1 - момент инерции; M - крутящий момент двигателя; M_c - момент сопротивления; R - фазовое сопротивление; ω - угловая скорость двигателя.

Подставляя (1a), (1b) и затем (1c), (1d) в (2), мы получили соотношение для вычисления тока i_m и его составляющего по оси d. При заданном условии $i_d = 0$ найден закон управления с учетом использования коррекции статических характеристик, имеющий следующий вид:

$$u_d = -\frac{1}{\cos \Delta\varphi_\Sigma} \left(u_q \sin \Delta\varphi_\Sigma + \frac{C_e \omega \sin \Delta\varphi_\phi}{k_y \cos \Delta\varphi_y} \right) \quad (3)$$

где $\Delta\varphi_\Sigma = \varphi_0 + \Delta\varphi_y + \Delta\varphi_\phi$; $\Delta\varphi_y = \arctg(\omega T_y)$, $\Delta\varphi_\phi = \arctg(\omega T_\phi)$

$\omega = p_n \omega$ - скорость вращения магнитного поля двигателя, p_n - число пар полюсов.

3. Модель системы следящего электропривода с учетом конструкции механической части

Модель механической части систем электропривода имеет сложную конструкцию [8] и при их синтезе часто использована двухмассовая модель [6]. Объединяя систему дифференциальных уравнений, описывающую двигатель, с системой уравнений, описывающей механическую часть, которая была применима в работе [3], получаем систему дифференциальных уравнений, описывающую механическую систему:

$$\begin{cases} \frac{d\varphi_2}{dt} = \varpi_2; & \frac{d\varpi_2}{dt} = \frac{i^2 M_{dm}}{J_2 \varpi_{ldm}} M_{21} + F_2(\varpi_2, t); \\ \frac{dM_{21}}{dt} = -\frac{c \varpi_{ldm}}{i^2 M_{dm}} \varpi_2 + \frac{c \varpi_{ldm}}{i^2 M_{dm}} \varpi_1 + F_{dh}(M_{21}, t); \\ \frac{d\varpi_1}{dt} = -\frac{M_{dm}}{J_1 \varpi_{ldm}} M_{21} - \frac{1}{R} \frac{J_1 \varpi_{ldm}}{M_{dm}} \varpi_1 + \frac{k_y}{C_e} \frac{1}{R} \frac{M_{dm}}{J_1 \varpi_{ldm}} u_q + F_1(\varpi_1, t); \end{cases} \quad (4)$$

где M_{21}, M_{dm}, M_c – соответственно упругий момент, номинальный момент двигателей и момент сопротивления; i – передаточное отношение коробки передач; $\varpi_1, \varpi_2, \varphi_1, \varphi_2, J_1, J_2$ – угловые скорости, углы поворота и моменты инерции двигателя и рабочего органа; R – фазовое сопротивление; $F_2(\varpi_2, t); F_{dh}(M_{21}, t); F_1(\varpi_1, t)$ – функции, зависящие от неопределённых, изменяющихся по времени факторов, которые включают в себе зубчатый зазор, упругость и трение в механической части; c – коэффициент упругости; M_{ms1}, M_{ms2} – моменты трения в двигателе и в рабочем механизме, соответственно.

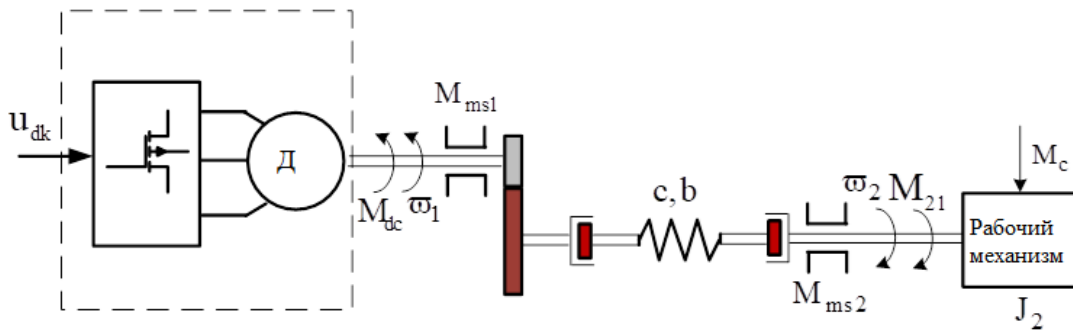


Рис. 1 – Модель механической системы с учетом упругости, зубчатого зазора и трения

4. Построение модального адаптивного звена управления

Согласно [6], модальное адаптивное звено управления предназначено для контура скорости, где плотно находятся источники возмущения, вызывающие погрешности слежения системы.

4.1. Построение наблюдателя состояния

Вектор состояния механической системы может быть написано в следующем виде: $x = [y^T, w^T]^T$, где $y \in \mathbb{R}^p$ –

вектор измеренных переменных состояния, $w \in \mathbb{R}^r$ – вектор неизмеренных переменных состояния. Для достижения простоты структуры модального адаптивного звена управления, будет разработан наблюдатель состояния пониженного порядка. Наблюдаемые величины включают в себя момент упругости, скорость вращения двигателя и скорость рабочего механизма ($\hat{M}_{21}, \hat{\varpi}_1, \hat{\varpi}_2$). Такие величины являются информацией для обновления параметров адаптивного регулятора. Кроме того, наблюдатель состояния должен создавать адаптивные сигналы в соответствии с алгоритмом, выбранным из условий, чтобы в системе, находящейся в процессе оценки состояния, возникает скользящий режим. Входными величинами наблюдателя являются угловое положение рабочего механизма и управляющее напряжение двигателя u_q .

После линейного преобразования системы уравнений (4), механическая система сводится к форме, удовлетворяющей условиям управляемости и наблюдаемости. Система (4) переписана в виде двух уравнений состояния для измеренных переменных состояния и неизмеренных переменных состояния. Затем на основе метода обобщённого модального управления Роппенекера, представленного в [4], для точной оценки неизмеренных факторов (по сравнению с практикой) через матрицу наблюдения L , приводится к модели наблюдателя состояния адаптивный сигнал $z(t)$, имеющий следующий вид:

$$\begin{cases} \dot{v} = (A_{22} - LA_{11})\hat{w} + (A_{21} - LA_{11})y + (B_2 - LB_1)u - z \\ \hat{w} = v + Ly \end{cases} \quad (5)$$

где $v \in \mathbb{R}^r$ – вектор состояния наблюдателя, матрица наблюдения L выбирается на основе динамического процесса наблюдателя; $A_{22}, A_{11}, A_{21}, B_1$ и B_2 – матрицы, выделившиеся из функциональных матриц A и B при описании системы в пространстве состояний [4],

$$\dot{\hat{w}} = A_{21}y + A_{22}w + B_2u + \delta_2(x, t)$$

пусть $u = u_y = u_q$; $y = x_1 = \varphi_2$, $x_2 = \varpi_2$, $x_3 = M_{21}$, $x_4 = \varpi_1$;

Исходя из вышеуказанных уравнений и в соответствии [12], погрешность оценки $e = w - \hat{w}$ имеет следующий вид:

$$e = [e_2 \quad e_3 \quad e_4]^T; e_2 = x_2 - \hat{x}_2; e_3 = x_3 - \hat{x}_3; e_4 = x_4 - \hat{x}_4; \quad (6)$$

$$\dot{e} = (A_{22} - LA_{21})e + \delta_2 - L\delta_1 + z$$

где δ_1, δ_2 – функциональные векторы функций, вызывающие вектор ошибок при выполнении линеаризованного преобразования модели двигателя. Для обеспечения устойчивости наблюдателя состояния использован метод функции Ляпунова. Была выбрана функция Ляпунова $V = 0,5e^T P e$, где P – положительно определённая матрица.

Полная производная функции V с учётом (6) имеет вид: $\dot{V} = -0,5e^T Q e + e^T P \delta_r + e^T P z$

где $\delta_r = \delta_2 - L\delta_1$; Q – положительно определённая диагональная матрица, выбранная в соответствии с размером области сходимости процесса оценки состояния. Для возникновения в системе скользящего режима, происходящего в процессе регулирования наблюдателя при оценке состояния, адаптивный закон управления выбирается следующим образом:

$$z = -hP^{-1}G^T \text{sign} G.e \quad (7)$$

где $G = A_{12}$; h – выбранный расчётный параметр при моделировании или эксперименте. Из приведённого выше анализа имеем систему уравнений, описывающую наблюдатель состояния, в следующем виде:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = -l_1 \hat{x}_2 + \frac{i^2 M_{dm}}{J_2 \varpi_{1dm}} \hat{x}_3 + h h_1 \text{sign}(x_2 - \hat{x}_2); \\ \dot{x}_2 = -(l_2 + T_e^{-1}) \hat{x}_2 + \frac{c \varpi_{1dm}}{i^2 M_{dm}} \hat{x}_4 + h h_2 \text{sign}(x_2 - \hat{x}_2); \\ \dot{x}_3 = -l_3 \hat{x}_2 - \frac{M_{dm}}{J_1 \varpi_{1dm}} \hat{x}_3 - \frac{1}{R} \frac{M_{dm}}{J_1 \varpi_{1dm}} \hat{x}_4 + \frac{k_y}{RC_e} \frac{M_{dm}}{J_1 \varpi_{1dm}} u + h h_3 \text{sign}(x_2 - \hat{x}_2); \\ \hat{x}_2 = v_1 + l_1 x_1; \quad \hat{x}_3 = v_2 + l_2 x_1; \quad \hat{x}_4 = v_3 + l_3 x_1; \end{cases} \quad (8)$$

4.2. Построение структуры системы управления

Задача управления – выбрать закон адаптивного управления $u(t)$ так, чтобы вектор состояния $x(t)$ был стабильным в близости к образному вектору состояния $x_m(t)$, создаваемому из выбранной образной модели. В случае достижения цели наблюдения за состоянием, для устранения вектора ошибки δ , основываясь на методе модального управления, представленном в [4], вводим адаптивный сигнал μ в выражение закона модального управления (6). В результате получили закон адаптивного модельного управления следующего вида:

$$u = K_3 g - K_1 y - K_2 \hat{w} + B_2 \mu \quad (9)$$

где K_1, K_2 – соответствующие блоки модальной матрицы K ; K_3 – постоянная матрица, определённая из отношения между линеаризованной моделью объекта и образной моделью; $g(t)$ – m -мерный вектор заданных воздействий (например, настраиваемый сигнал, программа управления ...); B_2 – матрица, элементы которой зависят от постоянных времени механической части; $y \in R^p$ – вектор измеряемых переменных. Элементы модальной матрицы K , матрицы наблюдения L , вычислительной матрицы H найдены при выборе требуемого характеристического многочлена образной модели и при условиях, обеспечивающих устойчивость системы. Элементы адаптивного сигнала μ отвечают за равномерность элементов вектора z . Для этого использованы фильтры, имеющие маленькую постоянную времени $\tau_i > 0, i = 1, \dots, r$. Тогда $z = \tau \dot{\mu} + \mu$; $\tau = \text{diag}(\tau_1, \dots, \tau_r)$

Структурная схема модального адаптивного звена управления показана на рис. 2.

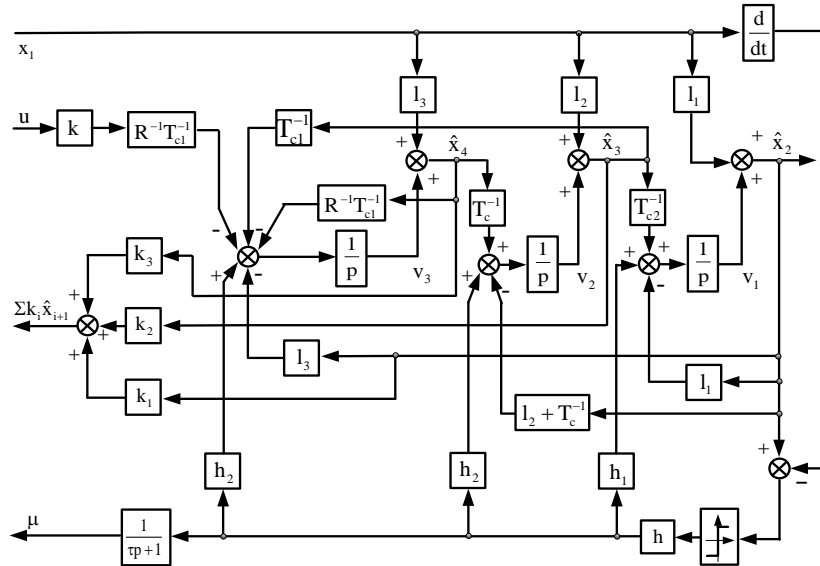


Рис. 2 – Структурная схема адаптивного звена управления

5. Синтез регулятора положения

Предполагая, что построенная выше система адаптивного модального управления для контура скорости удовлетворяет требованию управления, приблизительно можно считать, что наблюдатель состояния независим от системы. На основе структурной схемы двигателя, имеющей вид передаточной функции [5], и с целью устранения статических ошибок, регулятор положения, синтезированный модульным оптимальным методом, является пропорционально-интегральным звеном (ПИ), которое имеет следующие коэффициенты:

$$k_p = \frac{J_2(1 - kk_3)^5 T_m}{172,1 T_m^4 k_\phi kc} = \frac{J_2(1 - kk_3)^5}{172,1 T_m^3 k_\phi kc} ; k_i = \frac{J_2(1 - kk_3)^5}{172,1 T_m^4 k_\phi kc} \quad (10)$$

где: $k = k_y / C_e$ – передаточный коэффициент по скорости; T_m – электромеханическая постоянная времени двигателя, с – коэффициент упругости; k_ϕ – передаточный коэффициент датчика положения.

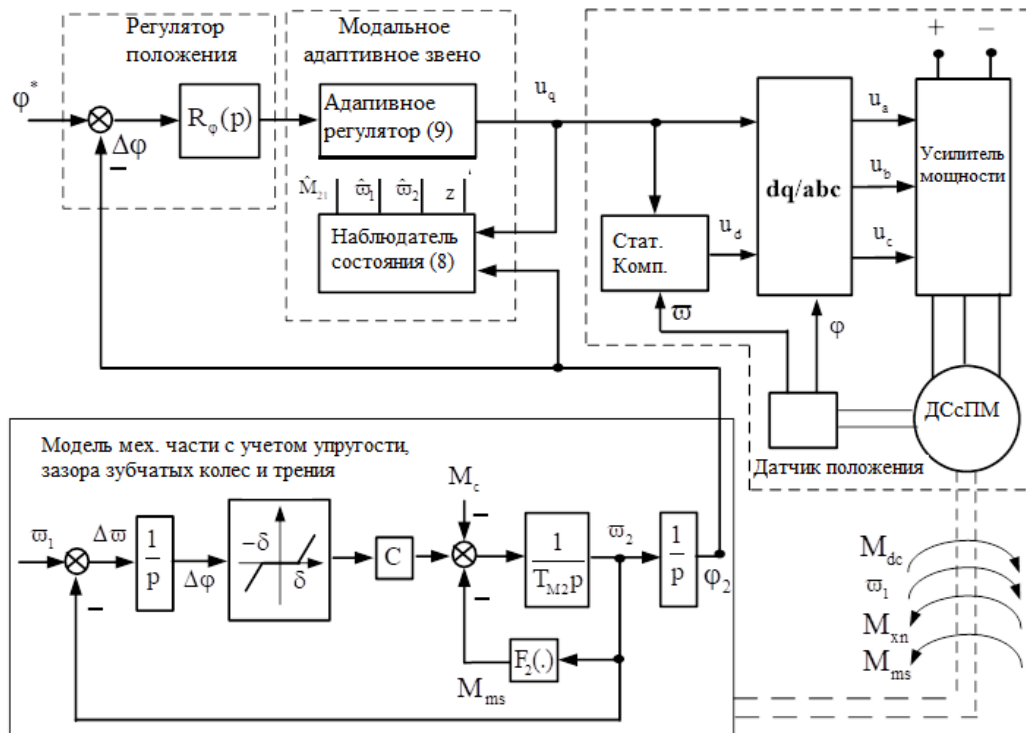


Рис. 3 – Блок-схема следящего электропривода с модальным адаптивным управлением с учетом использования коррекции статических характеристик ДСсПМ

6. Моделирование и оценка результатов

6.1. Параметры моделирования

$R = 5,0$; $U = 12$ В; $n = 2150$ мин⁻¹; Пусковой момент: 0,324 Нм; номинальная мощность $P_{dm} = 18$ Вт; $T_m = 160$ мс; $T_m = 0,07$ мс; $C_m = 0,12$ Нм / А; $C_e = 0,12$ В.сек. / рад; момент инерции: $2,3 \cdot 10^{-4}$ кг.м²; $k_y = 13,5$; $T_y = 0,0001$; $L = 0,0035$; $C_e = 0,12$; $p = 4$; $k_B = 0,00001$; $C_m = 0,12$; $T = 0,0007$; $k_{cd} = 5,0$; $k = 6$; $k_1 = 0,335$; $k_2 = 0,005$; $k_3 = 0,5$; $I_1 = 550$; $I_2 = 50$; $I_3 = 1200$; $h = 5$; $h_1 = 10$; $h_2 = 10$; $h_3 = 3,5$; $T_{c1} = 0,00012$; $T_{c2} = 0,00086$; $T_c = 0,0001$; $t = 0,0001$;

6.2. Схема моделирования

Схема моделирования строится для среды Matlab-Simulink. При этом модели двигателя, регулятора и усилителя построены на основе дифференциальных уравнений, которые широко используются в [2, 7, 9, 10, 11]; построение статического компенсатора осуществлено по алгоритму (3), модальное адаптивное звено построено из выражений (8) и (9).

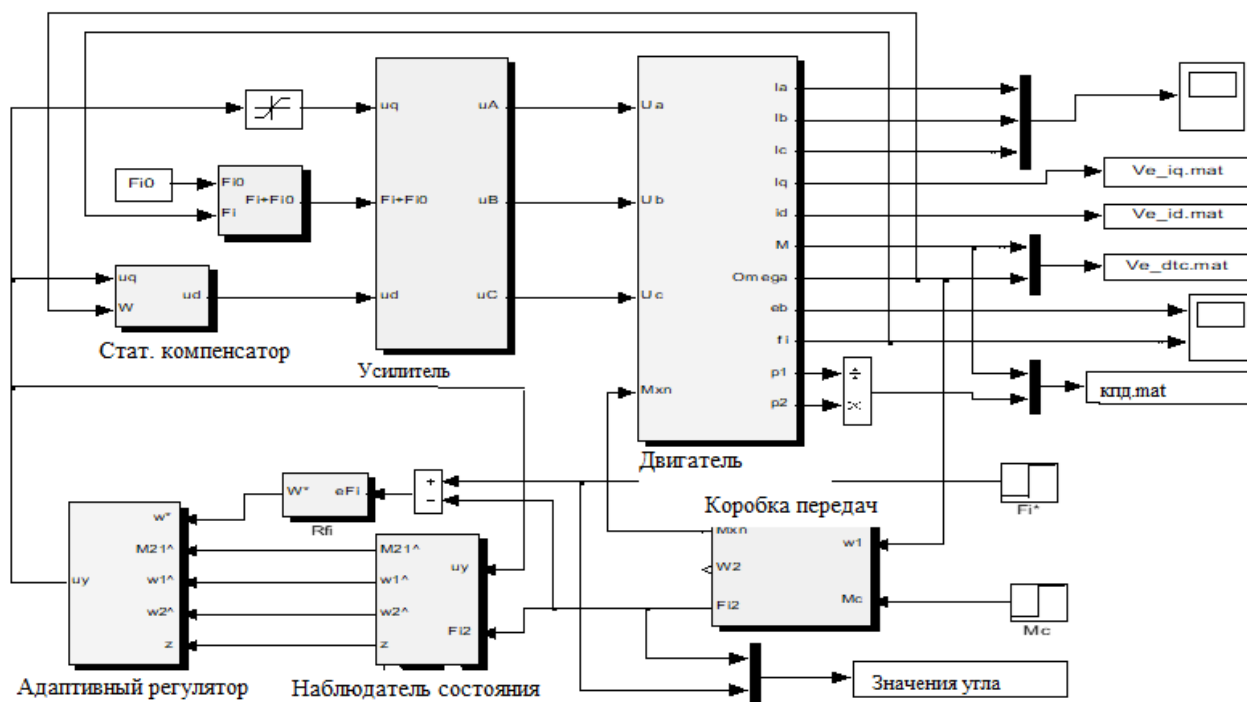
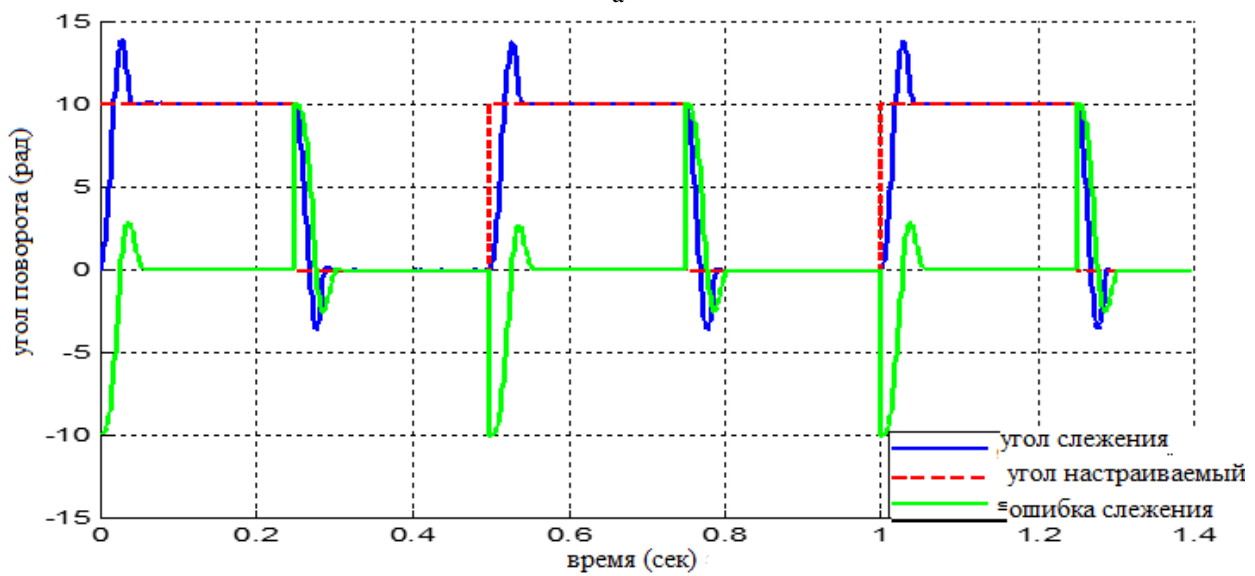
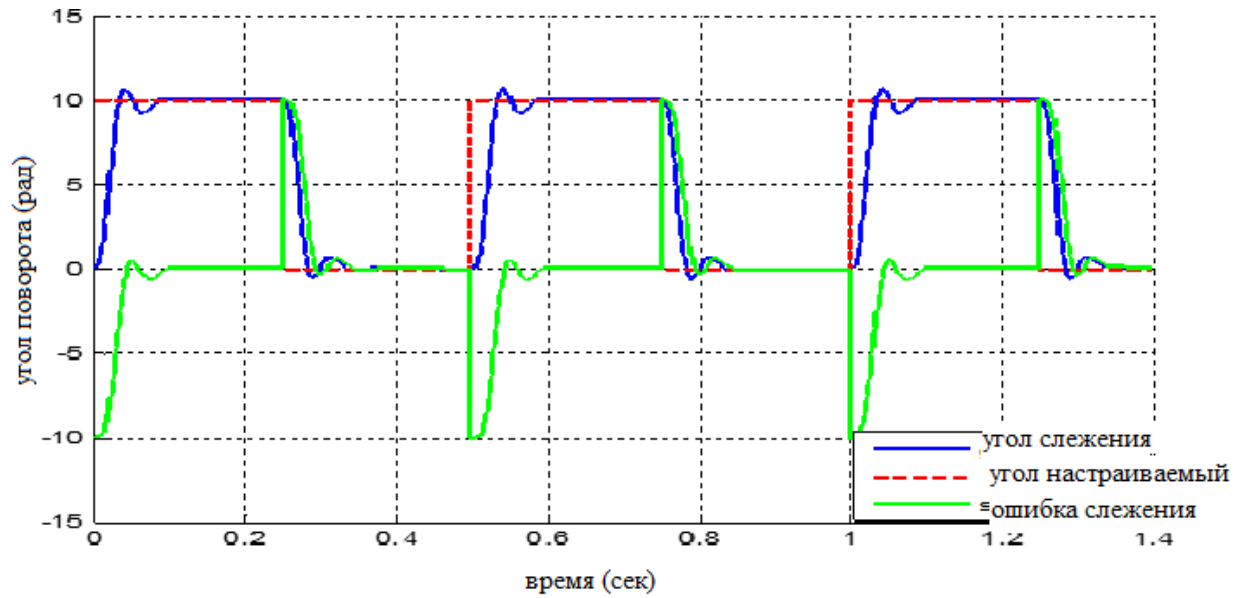
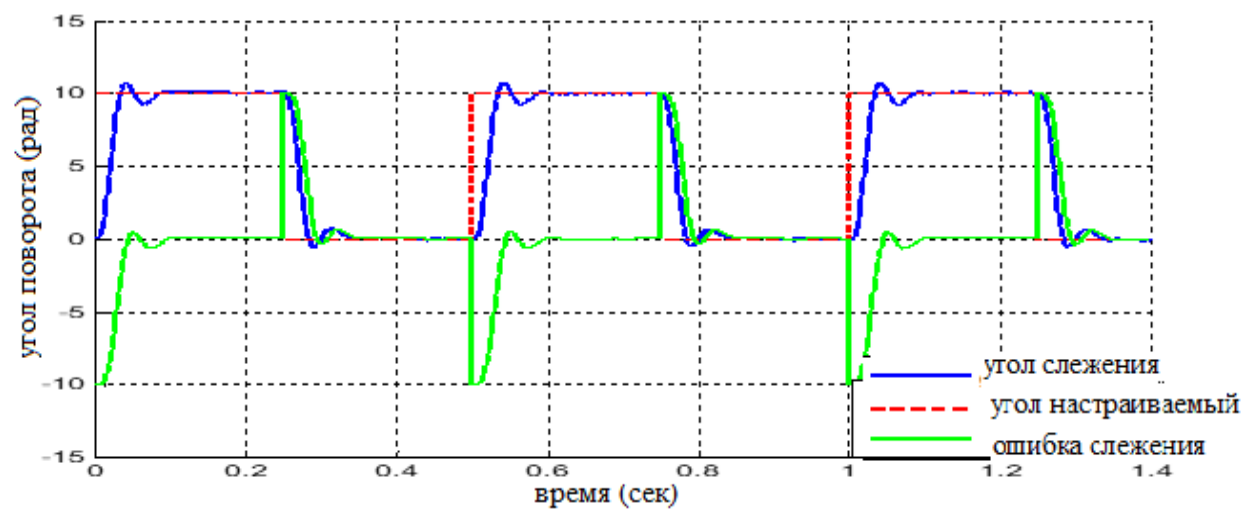


Рис. 4 – Схема моделирования системы в среде Simulink

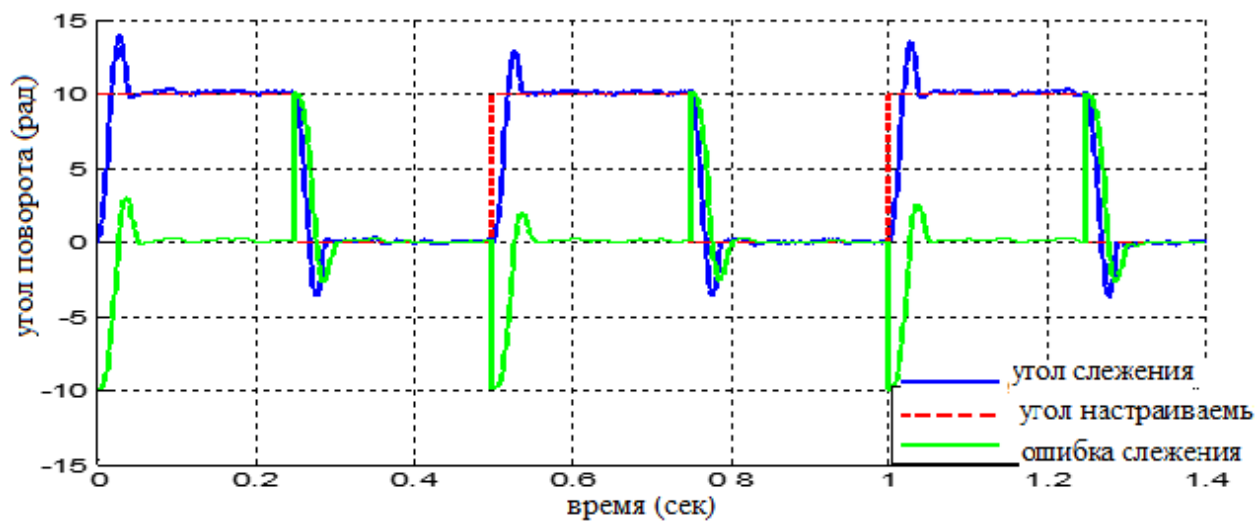
6.3. Результаты моделирования

На рисунках 5, 6, 7, 8 приведены результаты моделирования в двух случаях: с использованием предложенной системы управления (левые графики) и с использованием классического пропорционально-интегрально-дифференцирующего регулятора (графики б) при одинаковых условиях.

Рис. 5 – Значение угла поворота при зазоре зубчатых колёс $\delta = 0,005$ рад

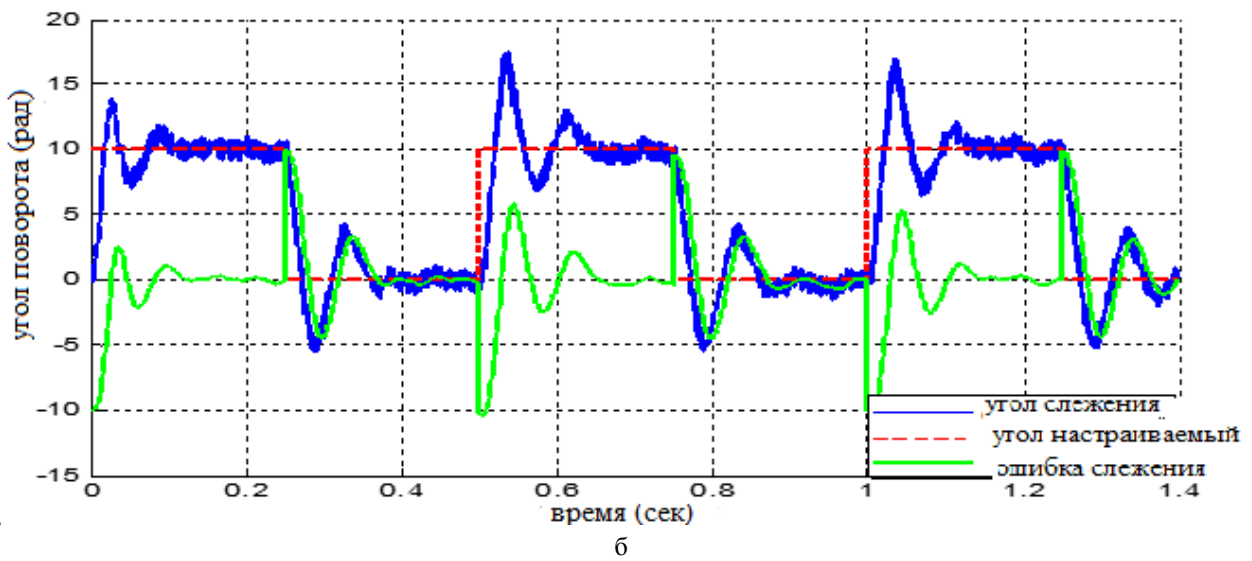
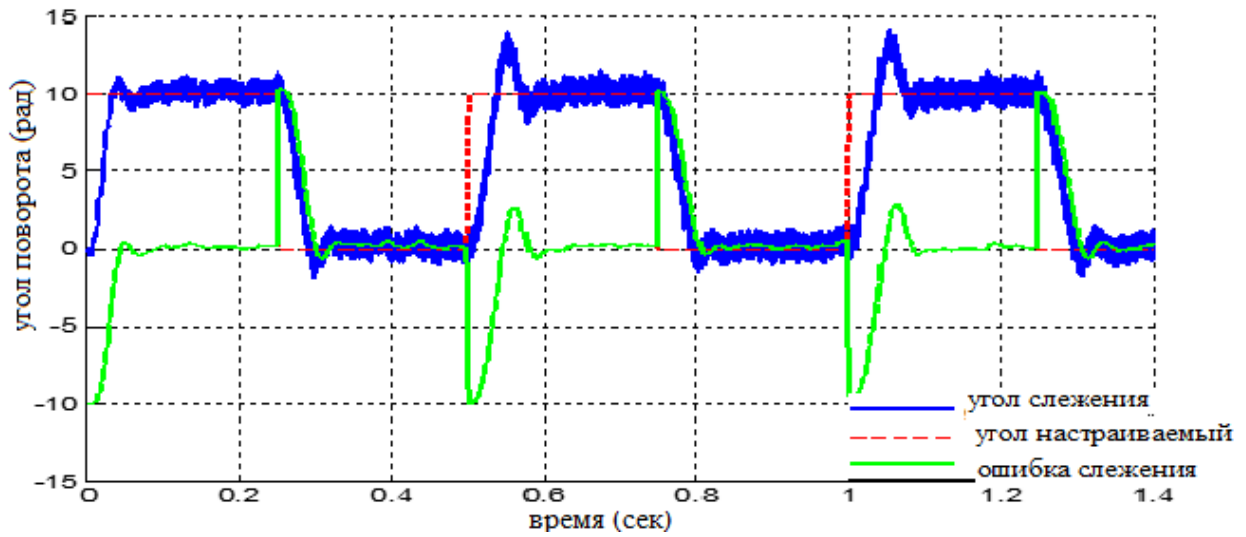


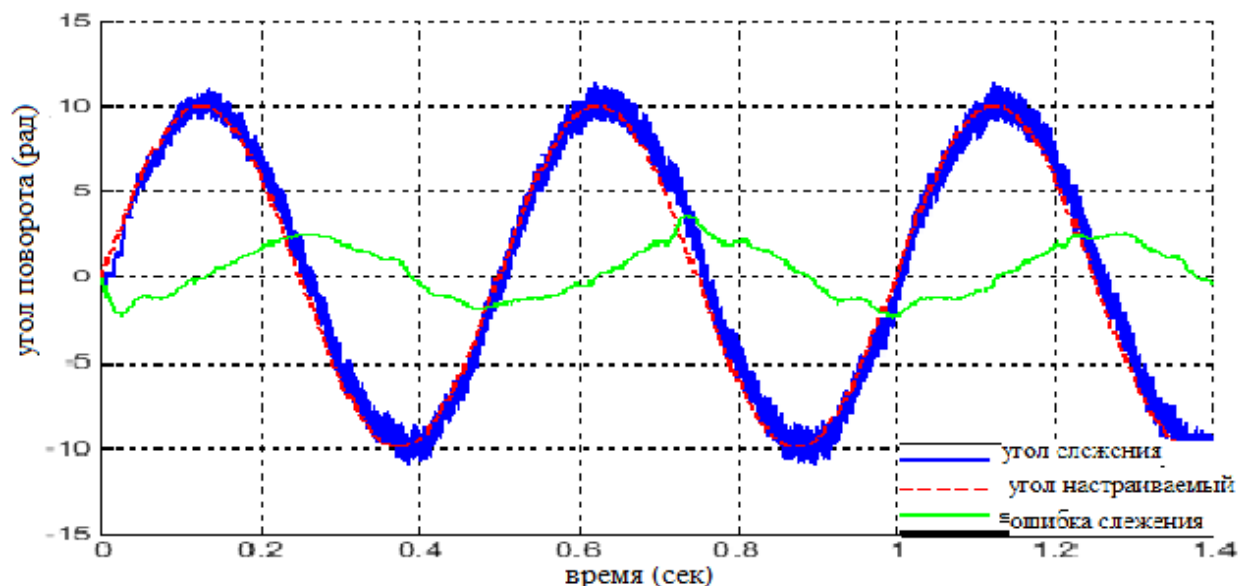
а



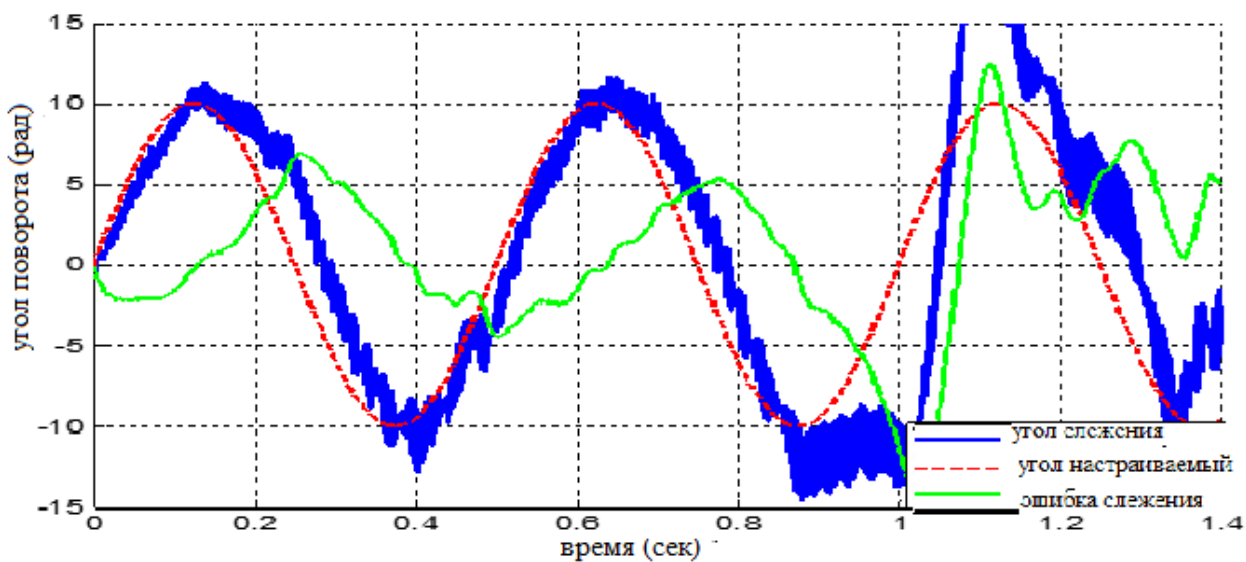
б

Рис. 6 – Значение угла поворота при зазоре зубчатых колёс $\delta = 0,05$ рад

Рис. 7 – Значение угла поворота при зазоре зубчатых колёс $\delta = 0,25$ рад



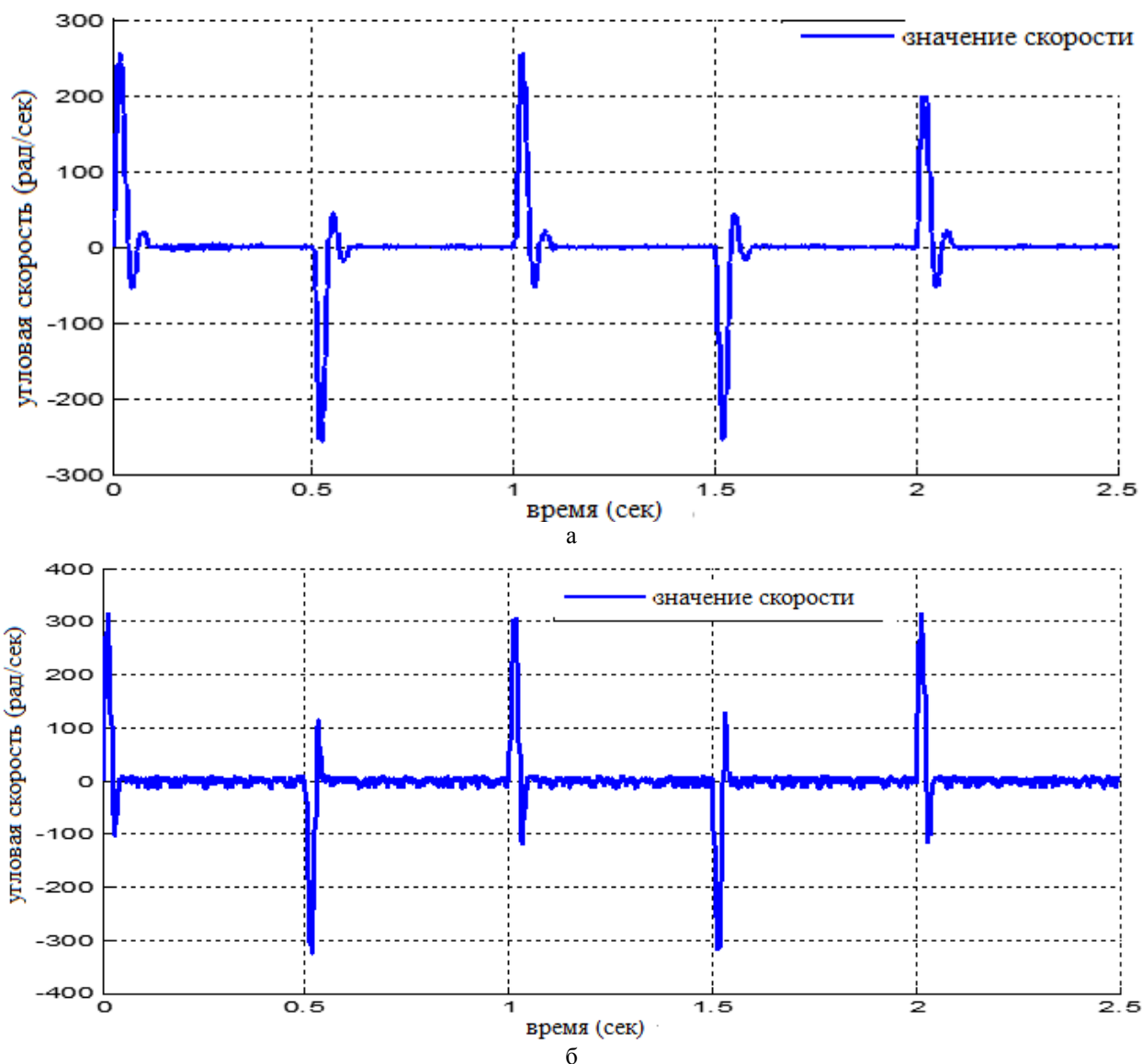
а



б

Рис. 8 – Значение угла поворота при зазоре зубчатых колёс $\delta = 0,25$ рад. и входном синусоидальном сигнале

Графики средней ошибки слежения, приведённые на рисунках 5, 6, 7 и 8 показали, что при малом зазоре зубчатых колёс коробки передач ошибка слежения в статическом режиме приблизительно к нулю, при увеличении указанного зазора до достаточно большого значения точность слежения обеспечивается только в модальной адаптивной системе, а в системе ПИД-регулятора ошибка слежения относительно велика. Анализ полученных результатов показывает, что использование модального адаптивного регулятора с коррекцией статических характеристик обеспечило точность слежения системы, подвергающейся влиянию нелинейных факторов. Модальный адаптивный регулятор способен обнаруживать и погасить упругие колебания, уменьшать влияние нелинейных факторов, значительно повышать динамическое и статическое качество следящей системы.

Рис. 9 – Значение скорости при зазоре зубчатых колес $\delta = 0,05$ рад

Результаты моделирования, приведенные на рисунке 9, показали, что модальная адаптивная система работает более «плавно» по сравнению с обычной ПИД ситемой.

7. Заключение

В статье представлен метод повышения показателей качества следящего электропривода на основе синхронного двигателя с постоянными магнитами используя адаптивное модальное управление с учетом использования коррекции статических характеристик. Результаты моделирования утверждают высокую надёжность алгоритмов управления. Более того, по сравнению с классическим ПИД-регулятором при эквивалентных условиях точность слежения представленной системы всегда обеспечивается, и при случае, когда на систему сильно влияют нелинейные факторы, вызванные структурой механической части.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Ву Хыу Тхик Повышение качества управления системы следящего электропривода на основе синхронного двигателя малой мощности с использованием алгоритма управления коррекции статических характеристик. /Ву Хуй Тхик, Фам Туан Тхань/, Журнал науки и техники, Военно-техническая академия, № 170. – август 2015г., С. 47-53.
2. Нгуен Фунг Хоанг. Управление электроприводом трехфазного переменного тока / Нгуен Фунг Хоанг, Изд. Образования, 1998г.
3. Методы повышения качества электропривода с зазором на основе устойчивого стабильного управления/ диссертация.– 2013г.
4. Нгуен Зоан Фыок Устойчивое оптимальное управление/ Нгуен Зоан Фыок, Фам Суан Минь // Издательство науки и техники – 2010г.
5. Буй Куок Кхань Управление электроприводом/ Буй Куок Кхань, Нгуен Ван Лиен, Фам Куок Хай и др. Изд. Науки и техники, 2010г.

6. Электромеханические системы с адаптивным и модальным управлением / Ю. А. Борцов, Н. Д. Поляхов, В. В. Путов. — Л.: Энергоатомиздат. Ленингр., 1984. — 216 с.
7. Бут Д.А. Бесконтактные электрические машины: Учебное пособие для электромеханик. и электроэнергия. спец. Вузов / Бут Д.А. -Высшая школа, 1990.
8. Овчинников И.Е. Вентильные электрические двигатели и привод на их основе (малая и средняя мощность): курс лекций [текст] / Овчинников И.Е. - СПб.: КОРОНА-Век, 2007, 336с.
9. Самохвалов Д.В. Коррекция статических характеристик электропривода с вентильным двигателем малой мощности и микропроцессорным управлением. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Самохвалов Д.В. Санкт-Петербург, – 2010.
10. Соколовский Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием / Соколовский Г. Г. Учебник. Москва.: 2006.
11. Виноградов А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока / Виноградов А.Б. // ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2008.-298 с.
12. Gang Tao Adaptive Control Design and Analysis / Gang Tao University of Virginia 2003.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Wu Huu Thik Povysheniye kachestva upravleniya sistemy sledyashchego elektroprivoda na osnove sinkhronnogo dvigatelya maloy moshchnosti s ispol'zovaniyem algoritma upravleniya korrektsii staticheskikh kharakteristik [Improving the quality of control of a servo drive system based on a low-power synchronous motor using a control algorithm for correcting static characteristics] / Wu Hui Thik, Fam Tuan Than // Zhurnal nauki i tekhniki, Voenno-tekhnicheskaya akademiya [Journal of Science and Technology, Military Technical Academy] , No. 170. – August 2015, P. 47-53. [in Russian]
2. Nguyen Fung Hoang. Upravleniye elektroprivodom trekhfaznogo peremennogo toka [Control of an electric drive of three-phase alternating current] / Nguyen Fung Hoang. Ed. Education, 1998 [in Russian]
3. Metody povysheniya kachestva elektroprivoda s zazorom na osnove ustoychivogo stabil'nogo upravleniya [Methods of improving the quality of the electric drive with a gap based on sustainable stable management / dissertation]. – 2013. [in Russian]
4. Nguyen Zoan Fyok Ustoychivoye optimal'noye upravleniye/ [Sustainable Optimal Control] / Nguyen Zoan Fyok, Fam Xuan Min // Publishing House of Science and Technology] – 2010. [in Russian]
5. Bui Kuok Khan Upravleniye elektroprivodom [Electric Drive Control] / Bui Kuok Khan, Nguyen Van Lien, Fam Kuok Hai and others // Ed. Science and Technology, 2010 [in Russian]
6. Elektromekhanicheskiye sistemy s adaptivnym i modal'nym upravleniyem [Electromechanical systems with adaptive and modal control] / Yu. A. Bortsov, N.D. Polyakhov, V.V. Putov. – L.: Energoatomizdat. Leningrad, 1984. – 216 p. [in Russian]
7. Booth D.A. Beskontaktnyye elektricheskiye mashiny: Uchebnoye posobiye dlya elektromekhanik. i elektroenergiya. spets. Vuzov [Contactless electric machines: a manual for an electrician. and electricity. specialist. Universities] / Booth D.A. – High School, 1990. [in Russian]
8. Ovchinnikov I.E. Ventil'nyye elektricheskiye dvigateli i privod na ikh osnove (malaya i srednyaya moshchnost'): kurs lektsiy [Valve electric motors and drives based on them (low and medium power): lecture course [text].] / Ovchinnikov I.E. – St. Petersburg: CROWN-Century, 2007, 336 p. [in Russian]
9. Samokhvalov D.V. Korrektsiya staticheskikh kharakteristik elektroprivoda s ventil'nym dvigatelem maloy moshchnosti i mikroprotssessornym upravleniyem [Correction of the static characteristics of an electric drive with a low-power valve motor and microprocessor control] / Samokhvalov D.V. // Abstract of dissertation for the degree of PhD in Engineering. St. Petersburg, - 2010. [in Russian]
10. Sokolovsky G.G. Elektroprivody peremennogo toka s chastotnym regulirovaniyem. Uchebnik [Electric drives of alternating current with frequency regulation. Textbook] / Sokolovsky G.G. Moscow: 2006. [in Russian]
11. Vinogradov A.B. Vektornoye upravleniye elektroprivodami peremennogo toka [Vector control of AC electric drives] / Vinogradov A.B. // GOUVPO "Ivanovo State Power Engineering University named after V.I. Lenin." – Ivanovo, 2008. – 298 p. [in Russian]
12. Gang Tao Adaptive Control Design and Analysis / Gang Tao, University of Virginia 2003.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.87.9.008>

ВЛИЯНИЕ ЖИДКИХ КОНСЕРВАНТОВ НА СОХРАНЕНИЕ ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ В КОРМАХ ИЗ ТРАВ

Научная статья

Зыков А.В. *

ORCID: 0000-0002-3435-7468,

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства - филиал ФНАЦ ВИМ,
Санкт-Петербург, Россия

* Корреспондирующий автор (zav35[at]list.ru)

Аннотация

Основным направлением при разработке технологии заготовки сена повышенной влажности в рулонах является консервирование его химическими препаратами в процессе прессования. Это позволяет заготавливать сено влажностью - 25-30%, сократить время вымывания питательных веществ из растений при неблагоприятных погодных условиях и тем самым уменьшать потери при заготовке и хранении. Теоретические исследования, проведенные в последние годы, и их практические результаты показали, что для снижения механических потерь стебельчатую массу злаковых культур при влажности 25% и выше необходимо прессовать с биологическими и органическими консервантами.

Ключевые слова: проявленная масса; консервант; влажность сена; фунгицидные свойства; пропионовая кислота; питательные вещества; травосмесь.

INFLUENCE OF LIQUID PRESERVATIVE AGENTS ON CONSERVATION OF NUTRIENTS IN FODDER MADE OF HERBS

Research article

Zykov A.V. *

ORCID: 0000-0002-3435-7468,

Institute of Agroengineering and Environmental Problems of Agricultural Production – Branch of the Federal Scientific
Agroengineering Centre All-Russian Research Institute of Agricultural Mechanization of the Russian Academy of Agricultural
Sciences, St. Petersburg, Russia

* Corresponding author (zav35[at]list.ru)

Abstract

The main direction in the development of technology for harvesting hay of high humidity in rolls is the conservation of its chemicals during the pressing process. This allows harvesting hay with a moisture content of 25-30%, as well as reducing the time of washing out nutrients from plants under adverse weather conditions and thereby decreasing losses during harvesting and storage. Theoretical studies conducted in recent years and their practical results show that in order to reduce mechanical losses, the stalk mass of cereal crops at a moisture content of 25% and higher must be pressed with biological and organic preservative agents.

Keywords: dried mass; preservative agent; hay moisture; fungicidal properties; propionic acid; nutrients; grass mixture.

Введение

Заготовка сена полевой сушки - самый старый способ консервирования зеленых кормов растений впрок путем высушивания до влажности не выше 17%. Однако из-за зависимости от условий погоды заготавливаемое в экстремальных условиях Северо-Западного региона в огромном количестве сено имеет *низкое* качество (до 50% его про производства). Очень высоки еще потери питательных веществ как во время его заготовки, так и в период хранения без хранилищ или навесов [1].

Отечественными и зарубежными исследованиями установлено преимущество заготовки прессованного сена с консервантами в сравнении с сеном полевой сушки заготовленных при неблагоприятных условиях [2].

Основным направлением при разработке технологии заготовки сена в рулонах является, консервирование его химическими препаратами в процессе прессования. Это позволит заготавливать сено влажностью - 30-35%, сократить время проявления его в поле и тем самым уменьшать потери в поле и при хранении.

Методы и принципы исследования

На первом этапе исследований определяли консервирующую способность химических препаратов на влажном прессованном сене. Изучаемые препараты в дозе 1,0 и 1,5% от массы сена равномерно распыляли в проявленную массу влажностью 30 и 40%. Затем прессовали в рулоны (в трехкратной повторности). В контрольном варианте сено стандартной влажности и влажное прессованное без консервантов. Рулоны сена укладывали на открытую площадку и хранились в течении 3 месяцев. Первые 10 дней хранения ежедневно измеряли температур сена электронным термощупом. Через 3 месяца рулоны вскрыли и сделали органолептическую оценку по ГОСТ Р 56912-2016 [3], [4].

Результаты измерения температуры прессованного влажного сена приведены в таблице 1. Анализ данных таблицы показывает, что при 30%-ной влажности сена температура его не превышала критическую при использовании чистой пропионовой кислоты в дозе 1,5%, АИВ – 2000 Плюс - при дозе 1,0%. При влажности сена 40% лучшие результаты со всеми испытываемыми консервантами получены при дозе 3,0%, для АИВ – 2000 Плюс.

Результаты органолептической оценки сена на вскрытии рулонов через 3 месяца хранения показали, что при использовании химических препаратов в дозе 0,8% влажное сено покрывается плесенью и гнилью

Таблица 1 – Максимальная температура влажного сена при хранении в рулонах с использованием консервантов, °С

Химический препарат	Доза консерванта, % к массе					
	0,5		1,0		1,5	
	При влажности сена, %					
	30	40	30	40	30	40
Без консерванта (Контроль 1)	54	55	53	56	54	55
Пропионовая кислота	51	54	41	42	35	38
АИВ-2000	38	43	36	36	33	33

Примечание: Контроль 1 – влажное сено без обработки консервантом; контроль 2 – сено влажностью 18%, его максимальная температура 19°C

Пропионовая кислота в дозе 1,0-1,5%, предохраняет от порчи сено с влажностью не выше 30%. АИВ-2000 Плюс используемые в дозе 1,5%, предохраняет сено от плесени и гнили при влажности 30 и 40%. При хранении влажного сена без консерванта оно полностью поражается плесенью и гнилью и не пригодно для скармливания.

На втором этапе исследований проверяли способность ряда консервантов предохранять влажное сено (30-35%) рулонах от самосогревания.

Средняя масса рулона была 340 кг, влажность сена 30%, ботанический состав клеверотимофеечная смесь 40%, разнотравье 60%. Рулоны были сложены в поле на настил из поддонов и укрыты рассыпным сеном, Температуру измеряли с помощью электронных термощупов в течение 30 суток.

В контрольном сене максимальная температура (56°C) отмечена на четвертый день, на 12-й она снизилась до 22 С, при вскрытии рулонов сена обнаружены плесень и гниль. В консервированном сене повышение температуры до максимума наблюдалось также на четвертый день.

При использовании пропионовой кислоты в дозе 1,5% температура на четвертый день повысилась до 40°C, при дозе 2,0% — до 30°C, при использовании АИВ-2000 в дозе 1,8% максимальная температура достигла 30°C, при дозе 2,0% - 35°C. На 12-й день во всех опытных вариантах сено имело температуру окружающей среды (19°C). В рулонах существенной разницы в динамике температур при применении разных доз консервантов не обнаружено очагов плесени и гнили в опытных рулонах не выявлено.

Результаты анализа сена на содержание переваримого протеина и массовой доли сырой клетчатки приготовленного с применением консервантов приведены в таблице 2. При внесении пропионовой кислоты в дозе 1,6- 2,0% содержание протеина в сене возросло с 2,9 до 3,5-3,7%, то есть более чем на одну треть. После 90 суток хранения содержание протеина снизилось незначительно (до 3,1-3,4%). За следующие 3 месяца хранения его содержание в корме практически не изменилось.

На основании проведенных исследований определена зависимость массы трав от влагопоглощательной способности воздуха. Техника для скашивания трав должна выбираться в зависимости от влагопоглощательной способности воздуха и урожайности трав, чтобы обеспечить ускорение проявлявания растений, равномерное их подсыхание, а также снизить затраты труда.

Например, при влагопоглощательной способности воздуха до 0,9 г/м³; и урожайности трав до 60 ц/га рекомендуется косилка Berkut 3200, при урожайности 80-140 ц/га – косилки серии Strige 2100-2800, при большей урожайности - косилка типа SapSun 2400.

Таблица 2 – Содержание переваримого протеина и массовой доли сырой клетчатки во влажном (30%) сене в разные сроки хранения, %

Вариант опыта	Сроки хранения, %					
	Протеин			Массовая доля сырой клетчатки		
	Продолжительность хранения сена, сут					
	0	90	180	0	90	180
Без консерванта (Контроль 2)	3,35	3,30	3,30	34,50	34,50	34,50
Пропионовая кислота	2,90	3,50	3,40	32,50	31,10	30,30
АИВ-2000	3,13	3,40	3,35	33,50	32,80	32,40

Для определений расхода консервантов опыты проводили на разнотравье и клеверотимофеечной смеси сена. Для внесения жидкого консерванта использовали оборудование НВУ-6. Массу рулонов определяли динамометром, с помощью разработанной треноги, расход консервантов - с помощью электронного расходомера жидкости [5], [6].

Оборудование НВУ-6 на пресс-подборщике Krone KR-130: должно обеспечивать подачу консерванта в дозе несколько, большей, чем установленная в лабораторных условиях.

Это обусловлено, во-первых, неравномерностью уплотнению массы в рулонах (k_1), во-вторых, потерей консерванта из-за неполного использования ширины питающего транспортера пресса Krone KR-130 (k_2). Подача консерванта рассчитывается по формуле:

$$Q = k_1 \cdot k_2 \cdot q_{\text{лаб}} \quad (1)$$

где Q – подача консерванта, % от массы сена

k_1 - коэффициент увеличения подачи консерванта из-за неравномерности объемной массы рулонов;

k_2 - коэффициент увеличения подачи консерванта из-за неполного использования ширины питающего транспортера;

$q_{\text{лаб}}$ – доза консерванта, установленная в лабораторных опытах, % от массы сена.

Значение коэффициента k_1 равное 1,18, получили расчетным путем. Значение Коэффициента k_2 приняли равным 1,1, аналогично коэффициенту использования ширины захвата уборочных агрегатов [7], [8].

Доза жидких консервантов, установленная в лабораторных опытах (АИВ-200, пропионовая кислота) при влажности сена 30-35 % составляет 1,25-1,50 % от массы сена. Следовательно, подача консерванта в рулонный пресс, рассчитанная по вышеприведенной формуле, равна:

$$1,18 \cdot 1,1(1,25-1,50) = 1,8-2,0 \text{ \% от массы сена}$$

С целью изучения состояния сена в рулонах определили продолжительность лежки его в поле после обработки консервантами и в штабеле, завершеном рассыпным сеном. Периодически измеряли температуру и влажность корма, а после выпадения осадков - глубину промокания

Установлено, что течение 2-3 суток температура массы в отдельно лежавших рулонах повышается до 35- 38°C. Затем постепенно (2-3 сут) снижается до температуры окружающего воздуха. В рулонах, уложенных, в штабель, температура поднимается до 45 С и снижается медленнее (за 6 сут).

Проведенные исследования показали также, что влажность сена в рулонах постепенно снижается, то есть идет процесс естественной сушки. Так, за 35 суток она снизилась в отдельно лежащих рулонах с 43 до 27%, в штабеле - с 43 до 32%.

Рулоны, лежащие отдельно и в штабеле, покрытые рассыпным сеном, удовлетворительно противостоят выпадающим осадкам. Так, при выпадении 33 мм осадков в течение дня глубина промокания корма составила 50 мм.

При длительном хранении рулонов в поле в ненастную погоду наблюдается плесневение сена в месте контакта с землей на глубину до 100 мм. Поэтому рулоны необходимо убирать с поля и укладывать в штабель на третий-четвертый день после прессования [9], [10].

Технико-экономические показатели определяли по результатам производственной проверки на опытном участке ФГБУ Северо-Западной государственной зональной машиноиспытательной станции. В процессе проверки было заготовлено 4,2 т сена. Урожайность его составила 30 ц/га, влажность 30-35%.

Заключение

Анализ полученных данных показывает, что затраты труда при применении технологического процесса заготовки сена в рулонах с использованием химических консервантов по сравнению традиционной технологией не изменяются. Общая питательность 1 кг корма повысилась с 0,33 до 0,48 корм. ед., или на 43,4%, содержание переваримого протеина - с 3,3 до 3,5 или на 6%. Экономическая эффективность при стоимости 1 т консерванта (АИВ-2000 Плюс) 7500 руб. составила 442,5 руб. на 1 т корма. На экономическую эффективность химического консервирования влажного сена решающее влияние оказывает стоимость консерванта, так как по консервирующей эффективности на влажном сене препараты различаются несущественно.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Попов В. Д. Технологическая модернизация отраслей растениеводства АПК Северо-Западного Федерального округа / В. Д. Попов, Д. А. Максимов, Ю. Л. Морозов и др. – СПб.: СЗНИИМЭСХ Россельхозакадемии, 2014. – 287 с.
2. Валге А. М. Алгоритмические основы выбора состава машинно-тракторного парка для производства сельскохозяйственной продукции в рыночных условиях / А. М. Валге, Э. А. Папушин, Ю. Г. Артемьев и др. // Материалы международного агроэкологического форума. СПб. – 2013. – Т.2. – С. 14-20.
3. Валге А. М. Оптимизация транспортных потоков при заготовке кормов из трав / А. М. Валге, Э. А. Папушин, А.В. Зыков и др. // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2015. – №87. – С. 116 – 122.
4. Попов В. Д. Пути развития кормовой базы в Северо-Западном регионе России / В. Д. Попов, В. М. Могильницкий, А. Н. Перекопский и др. // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2001. – №72. – С. 22 – 27.
5. Проектирование адаптивных технологий заготовки кормов из трав / В. Д. Попов. – СПб: НИПТИМЭСХ НЗ РФ, 1998г. – 108 с.
6. Морозов Ю. Л. Стратегия развития сельхозмашиностроения / Ю. Л. Морозов, А. В. Добринов // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2006. – №78. – С. 18 – 31.
7. Попов В. Д. Мониторинг реализации машинных технологий высокой интенсивности для производства продукции растениеводства / В. Д. Попов, Д. А. Максимов, Ю. Л. Морозов // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2015. – №2. – С. 8 – 12.
8. Зыков А.В. Эффективность применения химических консервантов при заготовке кормов трав, прессованных в рулоны / А.В. Зыков, В.А. Юнин, А.М. Захаров // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2018. – №96. – С. 138 – 145
9. Попов В. Д. Пути развития кормовой базы в Северо-Западном регионе России / В. Д. Попов, В. М. Могильницкий, А. Н. Перекопский и др. // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2001. – №72. – С. 22 – 27.
10. Попов В. Д. Организационно-технологические аспекты эффективности заготовки кормов в хозяйствах Ленинградской области / В. Д. Попов, А. Н. Перекопский, В. Н. Горнак // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2003. – №75. – С. 14 – 21.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Popov V. D. Teknologicheskaya modernizatsiya otraslej rastenievodstva APK Severo-Zapadnogo Federal'nogo okruga [Technological modernization of crop production, agricultural North-West Federal district] / V. D. Popov, D. A. Maksimov, Yu. L. Morozov and others // SPb.: SZNIIME`SX Rossel`hozakademii, 2014. – 287 p. [in Russian]
2. Valge A. M. Algoritmicheskie osnovy` vy`bora sostava mashinno-traktornogo parka dlya proizvodstva sel'skoxozyajstvennoj produkcii v ry`nochny`x usloviyax [Algorithmic bases of selection of the machine-tractor Park of the agricultural production in market conditions] / A. M. Valge, E. A. Papushin, Yu. G. Artem`ev and others // Materialy`mezhdunarodnogo agroekologicheskogo foruma. SPb [Proceedings of the international agroecological forum]. – 2013. – Vol.2. – p. 14-20. [in Russian]
3. Valge A. M. Optimizatsiya transportny`x potokov pri zagotovke kormov iz trav [Optimization of traffic flow when forage from grasses] / A. M. Valge, E. A. Papushin, A. V. Zy`kov and others // Teknologii i texnicheskie sredstva mexanizirovannogo proizvodstva produkcii rastenievodstva i zhivotnovodstva [Technologies and technical means of the mechanized crop production and livestock]. – 2015. – №87. – P. 116 – 122. [in Russian]
4. Popov V. D. Puti razvitiya kormovoj bazy` v Severo-Zapadnom regione Rossii [Ways of development of fodder base in the North-Western region of Russia] / V. D. Popov, V. M. Mogil`niczkij, A. N. Perekopskij and others // Teknologii i texnicheskie sredstva mexanizirovannogo proizvodstva produkcii rastenievodstva i zhivotnovodstva [Technologies and technical means of mechanized production of crop and animal products]. – 2001. – №72. – P. 22 – 27. [in Russian]
5. Proektirovanie adaptivny`x tekhnologij zagotovki kormov iz trav [Design of adaptive technologies of fodder harvesting from herbs] / V. D. Popov. – SPb: NIPTIME`SX NZ RF, 1998. – 108 p. [in Russian]
6. Morozov Yu. L. Strategiya razvitiya sel'xozmashinostroeniya [Development strategy of agricultural machinery] / Yu. L. Morozov, A. V. Dobrinov // Teknologii i texnicheskie sredstva mexanizirovannogo proizvodstva produkcii rastenievodstva i zhivotnovodstva [Technologies and technical means of the mechanized crop production and livestock]. – 2006. – №78. – P. 18 – 31. [in Russian]
7. Popov V. D. Monitoring realizatsii mashinny`x tekhnologij vy`sokoj intensivnosti dlya proizvodstva produkcii rastenievodstva [Monitoring the implementation of machine technology for high intensity of crop production] / V. D. Popov, D. A. Maksimov, Yu. L. Morozov // Vestnik rossijskoj sel'skoxozyajstvennoj nauki [Vestnik of agricultural science]. – 2015. – №2. – P. 8 – 12. [in Russian]
8. Zy`kov A.V. E`ffektivnost` primeneniya ximicheskix konservantov pri zagotovke kormov trav, pressovanny`x v rulony` [The Efficacy of chemical preservatives with fodder grasses, pressed into rolls] / A.V. Zy`kov, V.A. Yunin, A.M. Zaxarov // Teknologii i texnicheskie sredstva mexanizirovannogo proizvodstva produkcii rastenievodstva i zhivotnovodstva. – 2018. – №96. – P. 138 – 145. [in Russian]
9. Popov V. D. Puti razvitiya kormovoj bazy` v Severo-Zapadnom regione Rossii [Ways of development of fodder base in the North-Western region of Russia] / V. D. Popov, V. M. Mogil`niczkij, A. N. Perekopskij and others // Teknologii i texnicheskie sredstva mexanizirovannogo proizvodstva produkcii rastenievodstva i zhivotnovodstva [Technologies and technical means of mechanized production of crop and animal products]. – 2001. – №72. – P. 22 – 27. [in Russian]
10. Popov V. D. Organizacionno-tekhnologicheskie aspekty` e`ffektivnosti zagotovki kormov v xozyajstvax leningradskoj oblasti [Organizational and technological aspects of the efficiency of fodder in the Leningrad region] / V. D. Popov, A. N. Perekopskij, V. N. Gornak // Teknologii i texnicheskie sredstva mexanizirovannogo proizvodstva produkcii rastenievodstva i zhivotnovodstva [Technologies and technical means of mechanized production of crop and livestock products]. – 2003. – №75. – P. 14 – 21. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.87.9.009>**СКАНЕР ДЛЯ БЕЗКОНТАКТНОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ МАТЕРИАЛОВ В ТГц ДИАПАЗОНЕ**

Научная статья

Владимиров В.М.¹, Реушев М.Ю.², Никитин С.Л.^{3,*}, Давлетшин Н.Н.⁴² СФУ, Красноярск, Россия;^{1, 3, 4} ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия

* Корреспондирующий автор (sergkin[at]bk.ru)

Аннотация

В статье приведены результаты разработки модели сканера для проведения дефектоскопии материалов методом неразрушающего контроля в терагерцовом диапазоне (ТГц) электромагнитного спектра. В качестве зондирующего источника излучения использован молекулярный лазер с оптической накачкой с помощью волноводного CO₂ лазера, перестраиваемого в широком диапазоне длин волн от 9.4 мкм до 10.7 мкм. Для автоматизации процесса измерений разработана методика сканирования исследуемых образцов и обработки полученных данных в среде программирования LABVIEW с использованием микроконтроллера ArduinoUNO.

Ключевые слова: дефектоскопия, терагерцовое излучение, CO₂ лазер.

SCANNER FOR NON-CONTACT FAULT DETECTION OF MATERIALS IN THZ RANGE

Research article

Vladimirov V.M.¹, Reushev M.Yu.², Nikitin S.L.^{3,*}, Davletshin N.N.⁴² SFU, Krasnoyarsk, Russia;^{1, 3, 4} Federal Research Centre KSC SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

* Corresponding author (sergkin[at]bk.ru)

Abstract

The article presents the results of the development of a scanner model for fault detection of materials by non-destructive testing in the terahertz range (THz) of the electromagnetic spectrum. A molecular laser with optical pumping using a waveguide CO₂ laser tunable in a wide range of wavelengths from 9.4 μm to 10.7 μm was used as a probing radiation source. To automate the measurement process, the method for scanning the samples under study and processing the obtained data in the LABVIEW programming environment using the ArduinoUNO microcontroller was developed.

Keywords: fault detection, terahertz radiation, CO₂ laser.

Введение

В последнее время, кроме широко используемых методов дефектоскопии, таких как акустических, рентгеновских, оптических находит распространение радиоволновая дефектоскопия, которая с недавнего времени расширена до субмиллиметрового (ТГц) диапазона. В космической промышленности, где важна точность и аккуратность проведения работ по диагностики обшивки летательного аппарата применяются ультразвуковые дефектоскопы [1]. Одной из первых организаций применяющий радиоволновую дефектоскопию стала НАСА [2, С. 279]. К примеру, в НАСА, для обнаружения потенциально опасных дефектов в напыленной изоляционной пене внешнего топливного резервуара космического аппарата используют ТГц излучение [3]. В 2005 году ТГц дефектоскопы были приняты Космическим центром Кеннеди в качестве диагностического инструмента для сканирования термических плиток орбитального аппарата для рейсов шаттла. Помимо осмотра термических плиток на предмет скрытого повреждения, дефектоскопы позволяют точно определить местоположения компонентов под плитками, которые нуждаются во внимании, без дорогостоящего удаления и замены дополнительных плиток [4]. Одним из основных достоинств ТГц дефектоскопов являются их неразрушающее действие [5]. Вследствие того, что ТГц излучение является неионизирующим, процесс сканирования исследуемых образцов является безопасным для пользователя [6]. В последнее время, появилась возможность визуализации ТГц излучения, что позволяет усовершенствовать процессы диагностики и обнаружения дефектов [7].

Целью настоящей работы являлась разработка макета сканера для дефектоскопии материалов радиоволновым методом в ТГц диапазоне.

Экспериментальная установка

Экспериментальная установка состояла из источника ТГц излучения, предметного стола для крепления образцов и устройства регистрации.

В качестве источника ТГц излучения применялся созданный в отделе молекулярной электроники ФИЦ КНЦ СО РАН молекулярный газовый лазер с оптической накачкой излучением перестраиваемого по частоте волноводного CO₂ лазера. Принципиальная схема ТГц лазера и приведена на рисунке 1. В качестве активных сред ТГц лазера использовался метанол и диформетан [8]. Из литературы [9], известно, что применение данных газов позволяет получить лазерное излучение в диапазоне 30 мкм до 800 мкм. Измерение значений длин волн осуществлялось при помощи сканирующего интерферометра Фабри-Перо (TSFPI) и оптоакустического детектора Голея (GC-1P) (все: ООО «Тидекс», г. Санкт-Петербург).

Характеристики детектора Голея приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики детектора Голея.

Рабочий диапазон длин волн, микрон	$0.3 \div 6.5 \text{ \& } 13 \div 8000$
Рекомендуемая регистрируемая мощность, Вт, до	1×10^{-5}
Оптимальная частота модуляции, Гц	15 ± 5
Эквивалентная мощность шума (NEP), Вт/Гц ^{1/2}	1.4×10^{-10}
Оптическая чувствительность, В/Вт	1×10^5
Скорость отклика, мс	30
Обнаружительная способность (D*), см x Гц ^{1/2} /Вт	7.0×10^9

Примечание: Принципиальная схема ТГц лазера приведена на рисунке 1

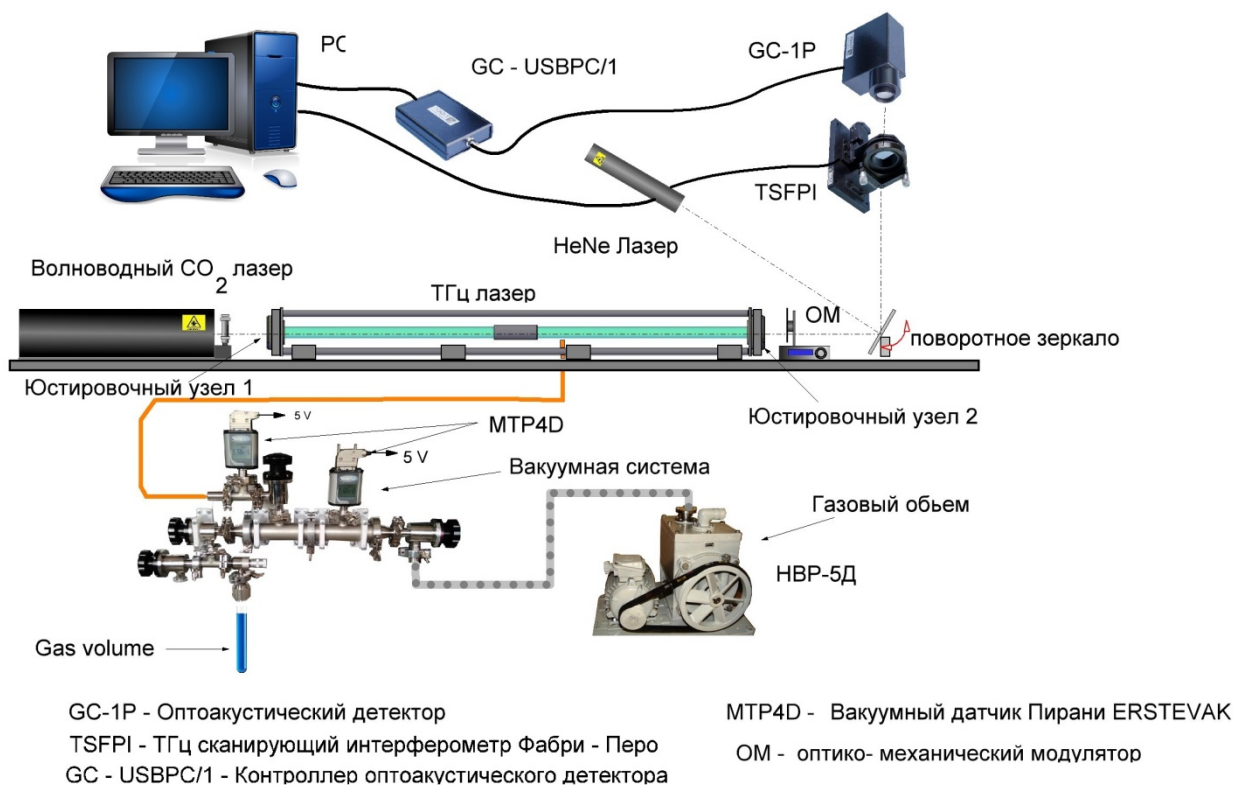


Рис. 1 – Принципиальная схема ТГц лазера

В ходе экспериментов была получена генерация на многих длинах волн (см. таблицу 1). Мощность ТГц излучения на полученных линиях генерации составляла величину порядка 1 мВт.

Таблица 1 –Полученные длины волн ТГц излучения

Активный газ	Длина волны, мкм	Переход накачки
метанол	96	9R10
	110	9P24
	117	9P14
	118	9P36
	151	9R26
	159	9R26
	163	10R38
	170	10R40
дифторметан	122	9R22
	135	9P24
	158	9P20
	184	9R32
	193	9R26
	215	9R34
	235	9R32

Существует два основных способа сканирования объекта. При первом способе сканирующий луч перемещается вдоль объекта, при втором перемещается объект в поле неподвижного луча. За основу была выбрана вторая схема, в которой предметный стол [10] с закрепленным образцом перемещается в плоскости перпендикулярной лучу сигнала. Для процедуры сканирования была разработана схема автоматизации процесса поиска и визуализации дефектов (см. рисунок 2) на базе микроконтроллера ArduinoUNO. К микроконтроллеру подключены шаговые двигатели, для

перемещения предметного стола, детектор Голя, сигнал которого оцифровывается с помощью АЦП микроконтроллера и записывается в массив. Сам Arduino подключен к компьютеру с предустановленным программным обеспечением.

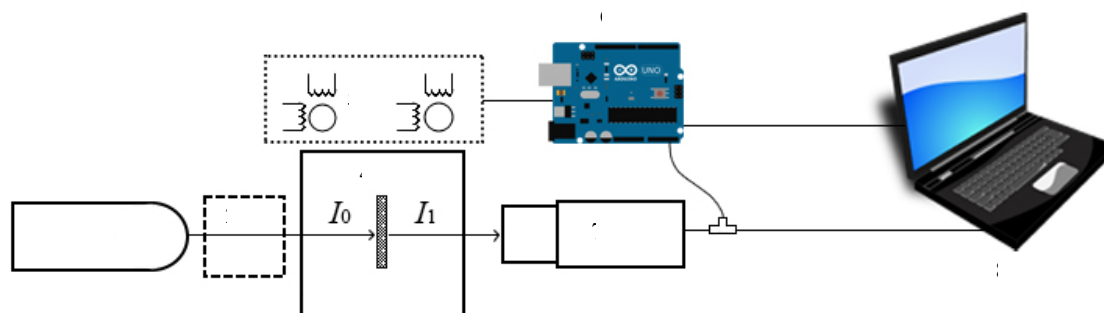


Рис. 2 – Схема экспериментальной установки:

1 – Генератор ТГц сигнала; 2 – Схема фокусировки; 3 – Предметный стол; 4 – Образец; 5 – Система шаговых двигателей; 6 – Микроконтроллер Arduino; 7 – Детектор Голя; 8 – ПК

Для работы с микроконтроллерами Arduino применялось программное обеспечение ArduinoIDE, позволяющее использовать готовые библиотеки для написания программы сканирования и регистрации сигнала. Для разработки ПО для управления микроконтроллером использовалась среда разработки LABVIEW, позволяющая создавать виртуальный прибор для полного контроля процессов (см. рис.3).

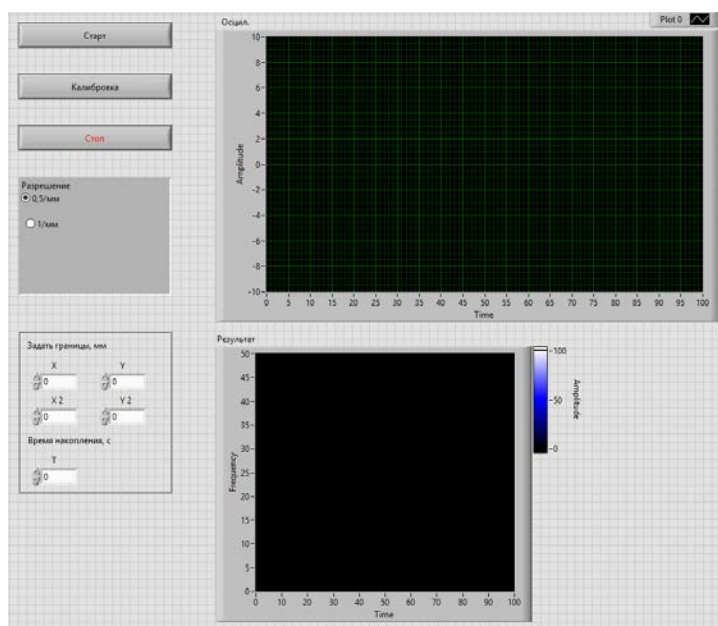


Рис. 3 – Виртуальная приборная панель сканера

Все необходимые пакеты для сопряжения работы микроконтроллераи ПО находятся в открытом доступе. Данное ПО позволяет управлять Arduino в режиме online.

Блок схема алгоритма программы работы модели сканера для проведения дефектоскопии материалов представлена на рисунке 4. Весь процесс работы дефектоскопа можно разделить на несколько этапов.

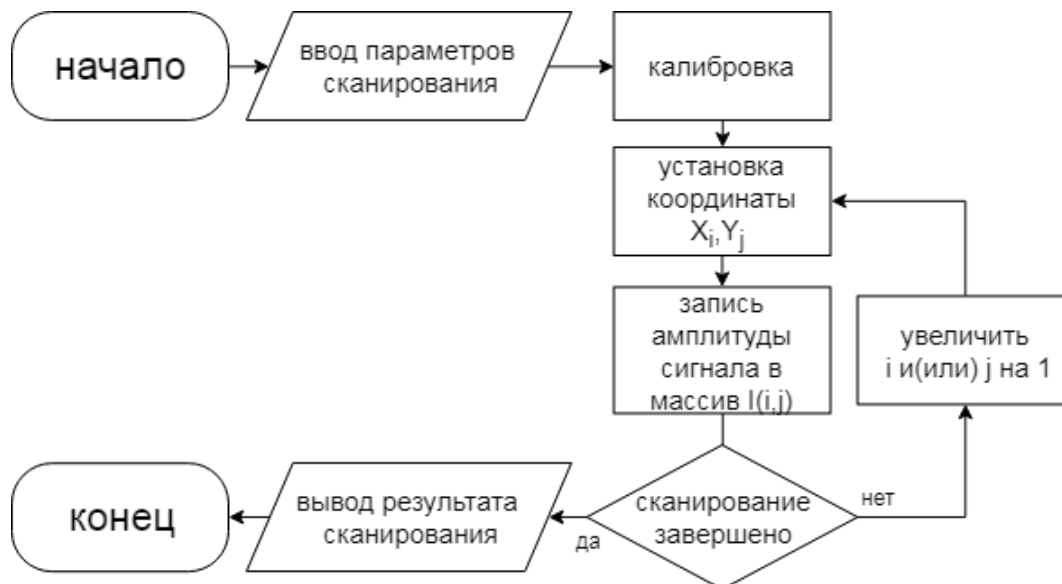


Рис. 4 – Блок-схема алгоритма программы

Первый этап – калибровка. В момент калибровки предметный стол проходит всю область предметного стола с образцом. При этом определяются границы сканирования, разрешение сканера, а также определяется значение амплитуды I_0 терагерцового сигнала в качестве опорного сигнала.

На втором этапе производится установка границ сканирования и необходимое разрешение. Далее программа определяет геометрические размеры области сканирования и точку начала сканирования, устанавливает шаг с учетом заданного разрешения. Таким образом, шаг сканирования это пиксель получаемого изображения. После этого начинается по «пиксельное» сканирование образца (см. рисунок 6).

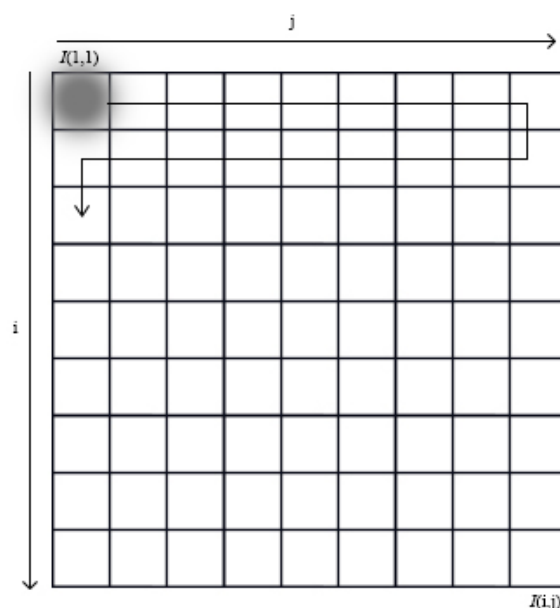


Рис. 6 – Траектория сканирования, а также представление информации о съемке в виде массива

На каждом шаге предметный столик останавливается на t секунд, для накопления детектором сигнала прошедшего через образец на этом участке. В качестве сигнала считываются показания детектора Голея в виде сэмпла. Из сэмпла извлекается амплитуда сигнала I_1 , которая программно усредняется за время накопления t (см. рисунок 7). Однородный образец имеет одно значение I_1 на всех участках. Если имеются дефекты (царапины, сколы, грязь), то значение I_1 меняется в зависимости от формы и глубины этих дефектов.

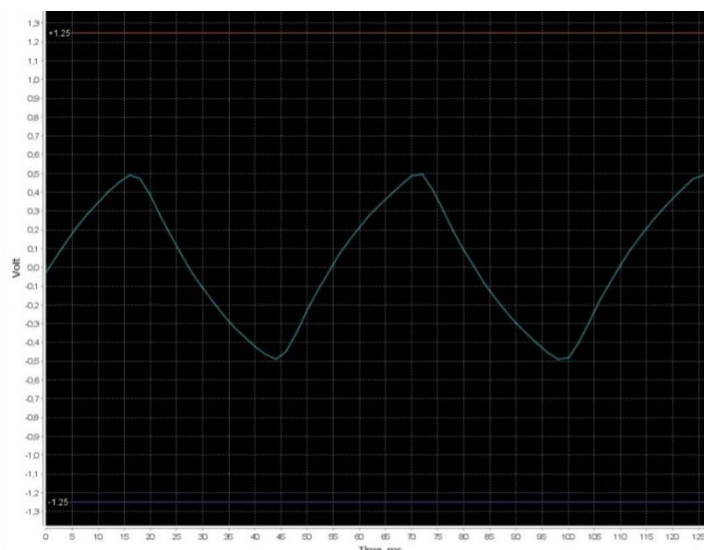


Рис. 7 – Осциллограмма ТГц излучения, снятая детектором Голея

На третьем этапе после того, как образец будет полностью отсканирован, получается массив значений I_1 размером $I(i, j)$, по значениям которого строится изображение с определенным разрешением. Изображение позволяет визуально ознакомиться с результатом сканирования, и локально определить наличие дефектов, после чего можно провести более детальное сканирование, а именно возобновить съемку уже в более высоком разрешении, в месте определения дефекта.

Заключение

Для проведения радиоволновой дефектоскопии был разработан и исследован ТГц лазер с оптической накачкой CO_2 лазером. Излучение ТГц лазера позволяет исследовать дефекты в различных материалах и прежде всего в диэлектрических. В работе предложен метод автоматизации дефектоскопии образцов, которая позволит локально определять дефекты и выводить информацию о них в удобной форме, в том числе в виде изображения.

Результаты работы могут быть полезны при дефектоскопии потенциально опасных дефектов в теплоизоляционных покрытиях космических аппаратов и в других применениях. В дальнейших исследованиях предполагается проведение дефектоскопии различных диэлектрических материалов, накопление базы данных по дефектам для последующего практического применения.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Мурашов В.В. Неразрушающий контроль заготовок и деталей из углерод-углеродного композиционного материала для многоразового космического корабля «Буря» / В.В. Мурашов – Труды ВИАМ – 2013. – С. 152–157.
2. Chen C. H. Ultrasonic and Advanced Methods for Nondestructive Testing and Material Characterization. / C.H. Chen. – World Scientific. – 2007. – P. 665.
3. Roth R. Non-Contact Measurement of Density and Thickness Variation in Dielectric Materials. / R. Roth. – Glenn Research Center. – 2009.
4. Ospald F. Aeronautics composite material inspection with a terahertz time-domain spectroscopy system. / F. Ospald, W. Zouaghi, R. Beigang etc. – SPIE. – 2014. – P. 15.
5. Siegel P.H. Terahertz Technology/ P.H. Siegel – IEEE Transactions on microwave theory and techniques. Vol 50. – 2002. – № 3. – P. 910–917.
6. Rostami. A Terahertz Technology. Fundamentals and Applications / A. Rostami, H. Rasooli, H. Baghban – Lecture Notes in Electrical Engineering – 2010. – P. 256.
7. Chan W. L. Imaging with terahertz radiation. / W. L. Chan, J. Deibel, D. Mittleman. – Rep. Prog. Phys. A 70, 2007. – P. 1325–1379.
8. Xu Li-Hong. Methanol and the Optically Pumped Far-Infrared Laser/ Li-Hong Xu, R. M. Lees, E. C. Vasconcellos – IEEE Journal of Quantum Electronics Vol. 32 – 1996. – № 3. – P. 392–399.
9. Douglas N.G. Millimetre and Submillimetre Wavelength Lasers A Handbook of cw Measuremanets. / N.G. Douglas. – Springer Series in Optics Sciences. – 1989. – № 61. – P. 275.
10. Moyer I. E. CoreXY [Electronic resource]/ I. E Moyer //MIT. – 2012. – URL: <http://corexy.com/corexyr1/index.html> (accessed 22.08.2019).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Murashov V.V. Nerazrushayushchii kontrol zagotovok i detalei iz uglerod-uglerodnogo kompozitsionnogo materiala dlya mnogorazovogo kosmicheskogo korablya «Buran» [Non-destructive Testing of Blanks and Parts Made of Carbon-Carbon Composite Material for the Reusable Spacecraft “Buran”]/ V.V. Murashov - Proceedings of All-Russian Research Institute of Aviation Materials - 2013. - P. 152–157.
2. Chen C. H. Ultrasonic and Advanced Methods for Nondestructive Testing and Material Characterization. / C.H. Chen. – World Scientific. – 2007. – P. 665.

3. Roth R. Non-Contact Measurement of Density and Thickness Variation in Dielectric Materials. / R. Roth. – Glenn Research Center. – 2009.
4. Ospald F. Aeronautics composite material inspection with a terahertz time-domain spectroscopy system. / F. Ospald, W. Zouaghi, R. Beigang etc. – SPIE. – 2014. – P. 15.
5. Siegel P.H. Terahertz Technology/ P.H. Siegel – IEEE Transactions on microwave theory and techniques. Vol 50. – 2002. – № 3. – P. 910–917.
6. Rostami. A Terahertz Technology. Fundamentals and Applications / A. Rostami, H. Rasooli, H. Baghban – Lecture Notes in Electrical Engineering – 2010. – P. 256.
7. Chan W. L. Imaging with terahertz radiation. / W. L. Chan, J. Deibel, D. Mittleman. – Rep. Prog. Phys. A 70, 2007. – P. 1325–1379.
8. Xu Li-Hong. Methanol and the Optically Pumped Far-Infrared Laser/ Li-Hong Xu, R. M. Lees, E. C. Vasconcellos – IEEE Journal of Quantum Electronics Vol. 32 – 1996. – № 3. – P. 392–399.
9. Douglas N.G. Millimetre and Submillimetre Wavelength Lasers A Handbook of cw Measurements. / N.G. Douglas. – Springer Series in Optics Sciences. – 1989. – № 61. – P. 275.
10. Moyer I. E. CoreXY [Electronic resource]/ I. E. Moyer // MIT. – 2012. – URL: <http://corexy.com/corexyr1/index.html> (accessed 22.08.2019).

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.87.9.010>**ВЛИЯНИЕ КОЛИЧЕСТВА НАПОЛНИТЕЛЯ НА СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ КЕРАМИЧЕСКИХ И ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ**

Научная статья

Торлова А.С.¹, Виткалова И.А.², Пикалов Е.С.^{3,*}¹ ORCID: 0000-0002-1622-5584;² ORCID: 0000-0001-9675-6432;³ ORCID: 0000-0001-9380-8014;^{1, 2, 3} Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, Владимир, Россия

* Корреспондирующий автор (evgeniy-pikalov[at]mail.ru)

Аннотация

В данной работе представлены результаты исследования зависимости основных физико-механических свойств полимерного композиционного материала от количества наполнителя в составе сырьевой смеси. Для получения исследуемого композиционного материала в качестве наполнителя применяется бой керамического полнотелого кирпича, а в качестве связующего применяется полистирол, образующийся в результате растворения отходов пенополистирола в четыреххлористом углероде. Результаты исследования позволили определить количество наполнителя, позволяющее наиболее эффективно применять разрабатываемый композиционный материал в производстве изделий для наружной облицовки стен зданий и сооружений.

Ключевые слова: кирпичный бой, пенополистирол, полимерный композиционный материал, облицовочный материал, четыреххлористый углерод.

INFLUENCE OF THE AMOUNT OF FILLER ON THE PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIAL BASED ON CERAMIC AND POLYMERIC WASTE

Research article

Torlova A.S.¹, Vitkalova I.A.², Pikalov E.S.^{3,*}¹ ORCID: 0000-0002-1622-5584;² ORCID: 0000-0001-9675-6432;³ ORCID: 0000-0001-9380-8014;^{1,2,3} Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia

* Corresponding author (evgeniy-pikalov[at]mail.ru)

Abstract

This paper presents the results of the study on the dependence of basic physical and mechanical properties of the polymer composite material on the amount of filler in the composition of raw material mixture. To obtain the composite material under study, ceramic broken brick is used as filler, while polystyrene formed obtained as a result of dissolution of polystyrene waste in carbon tetrachloride is used as a binder. The results of the study enable the determination of the amount of filler that provides the most efficient use of the developed composite material in the manufacture of products for external facing material of buildings and structures.

Keywords: broken brick, polystyrene foam, polymer composite material, facing material, carbon tetrachloride.

Введение

Все виды производства и хозяйственно-бытовая деятельность человека неизбежно связаны с образованием отходов, накопление которых негативно сказывается на окружающей среде и качестве жизни самого человека. В связи с этим актуальными являются разработки методов и технологий по утилизации отходов, которые не только обеспечивают снижение их количества, но и позволяют уменьшить расход первичных природных ресурсов.

Одним из наиболее эффективных направлений переработки отходов является их использование в качестве компонентов для производства строительных материалов и изделий, так как данное направление позволяет утилизировать практически все виды отходов в больших количествах с получением качественной продукции при низкой себестоимости производства.

В свою очередь наиболее перспективным направлением переработки отходов в строительные материалы и изделия является производство композиционных материалов, в т.ч. на полимерном связующем [5], [6], [7]. С одной стороны, это связано с тем, что полимерные композиционные материалы сочетают в себе легкость, прочность, низкое водопоглощение и химическую стойкость, что является преимуществом по сравнению с большинством строительных материалов. С другой стороны, существует возможность применения одних видов отходов в качестве наполнителей, а других видов отходов в качестве связующих, что позволяет проводить их комплексную утилизацию [6], [8], [9].

Авторами данной работы ранее был получен полимерный композиционный материал, в котором наполнителем был кирпичный бой, а связующим являлся полистирол, получаемый в результате растворения отходов пенополистирола в четыреххлористом углероде. Было установлено, что наибольшая прочность на сжатие и наименьшее водопоглощение достигаются при соотношении полистирол : четыреххлористый углерод равном 1 : 1,4, при введении 45-55 мас. % кирпичного боя и формовании образцов при давлении прессования 8 МПа [8].

Целью данной работы являлось исследование зависимостей основных физико-механических свойств разрабатываемого композиционного материала от количества наполнителя и выбор его содержания в составе

сырьевой смеси, обеспечивающего соответствие свойств материала нормативным требованиям, предъявляемым к материалам для наружной облицовки.

Методы и принципы исследования

Для получения наполнителя в данной работе использовался бой рядового керамического кирпича, собранный из различных источников, измельченный до размера частиц не более 0,63 мм и высушенный до постоянной массы. Для получения связующего применяли отходы пенополистирола в виде собранных из различных источников отработанных элементов упаковки для бытовой техники, оборудования и т.п. Отходы пенополистирола также измельчались и высушивались до постоянной массы. Для растворения отходов пенополистирола применяли четыреххлористый углерод чистый по ГОСТ 20288-74.

Образцы разрабатываемого материала получали путем растворения отходов пенополистирола в четыреххлористом углероде с последующим перемешиванием раствора связующего и кирпичного боя до однородной сырьевой массы. Из полученной сырьевой массы при давлении прессования 8 МПа формовали образцы, для которых проводили термообработку при температуре 85-90 °С с выдержкой в течение 45 мин для удаления растворителя [8].

У образцов по стандартным для материалов строительного назначения методикам определяли плотность (ρ , кг/м³), водопоглощение (B , %), открытую ($P_{отк}$, %) и закрытую ($P_{зак}$, %) пористость, прочность на сжатие ($\sigma_{сж}$, МПа) и изгиб ($\sigma_{изг}$, МПа), морозостойкость (M , циклы) и теплопроводность (λ , Вт/(м·°С)).

Основные результаты

В результате проведенных экспериментов было установлено, что плотность и водопоглощение разрабатываемого композиционного материала повышаются с увеличением количества наполнителя в составе сырьевой смеси (см. рисунок 1).

Подобный характер зависимостей связан с тем, что плотность кирпичного боя выше, чем плотность полистирола, и с тем, что с повышением количества кирпичного боя повышается пористость разрабатываемого материала, что подтверждается данными по исследованию зависимости пористости материала от количества наполнителя (см. рисунок 2).

Повышение пористости разрабатываемого материала можно объяснить наличием пустот в частицах кирпичного боя, образованием пор в местах контакта частиц наполнителя и раствора связующего из-за наличия пузырьков воздуха, остающихся на поверхности частиц кирпичного боя при смешивании из-за неидеальной смачиваемости частиц наполнителя раствором связующего, а также образованием открытых пор при удалении растворителя во время термообработки. Как видно из полученных данных, при росте общей и открытой пористости доля закрытых пор понижается, что связано с уменьшением количества полистирола, который выступая в роли связующего не только заполняет часть пор и пустот, но и переводит открытые поры в закрытые.

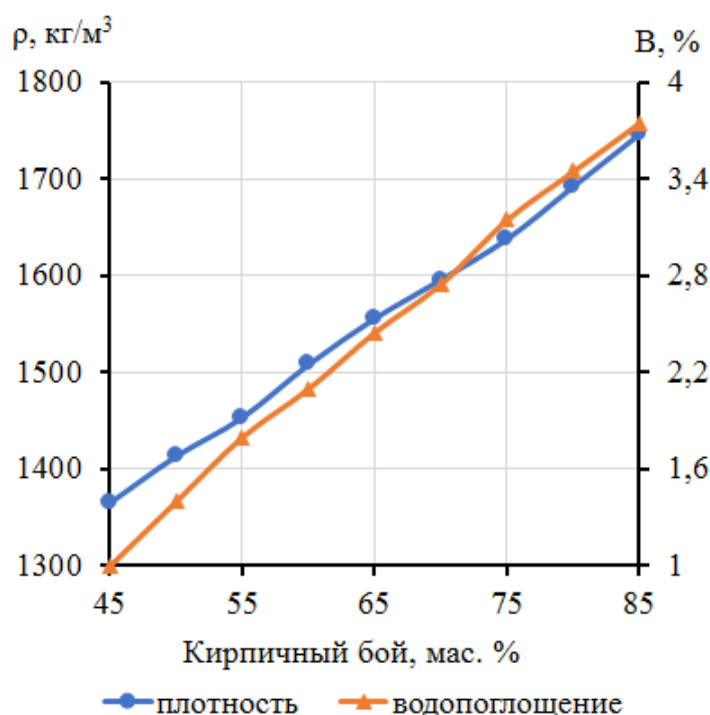


Рис. 1 – Зависимость плотности и водопоглощения от количества наполнителя в сырьевой смеси

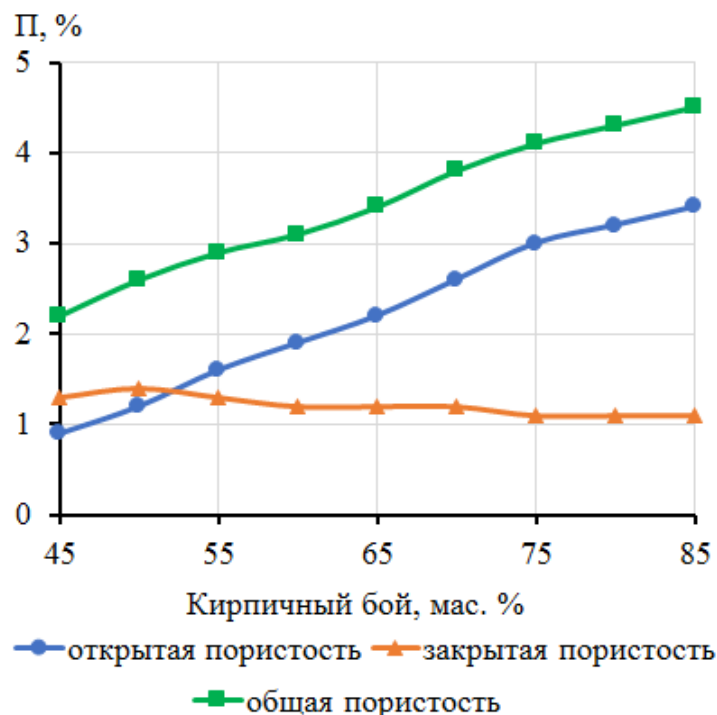


Рис. 2 – Зависимость пористости от количества наполнителя в сырьевой смеси

В результате эксперимента также было установлено, что зависимости прочности на сжатие и прочности на изгиб имеют аналогичный между собой характер и рассматриваемые свойства достигают максимальных значений при содержании наполнителя в количестве 45-55 мас. %. Как было установлено ранее, это связано с тем, что при этих количествах наполнителя полистирол наиболее эффективно выполняет роль связующего [8].

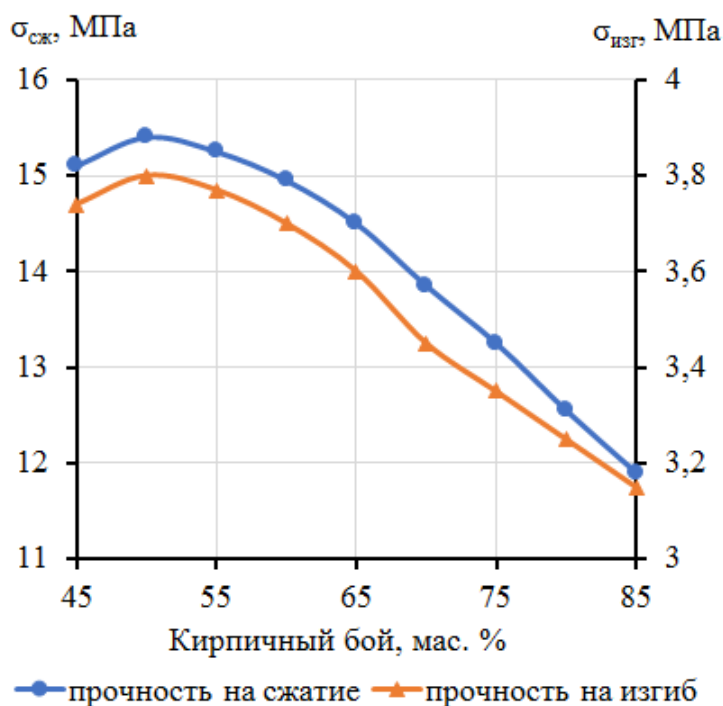


Рис. 3 – Зависимость прочности на сжатие и изгиб от количества наполнителя в сырьевой смеси

Из данных по исследованию морозостойкости и теплопроводности следует, что с увеличением количества наполнителя морозостойкость материала понижается, а теплопроводность растет (см. рисунок 4).

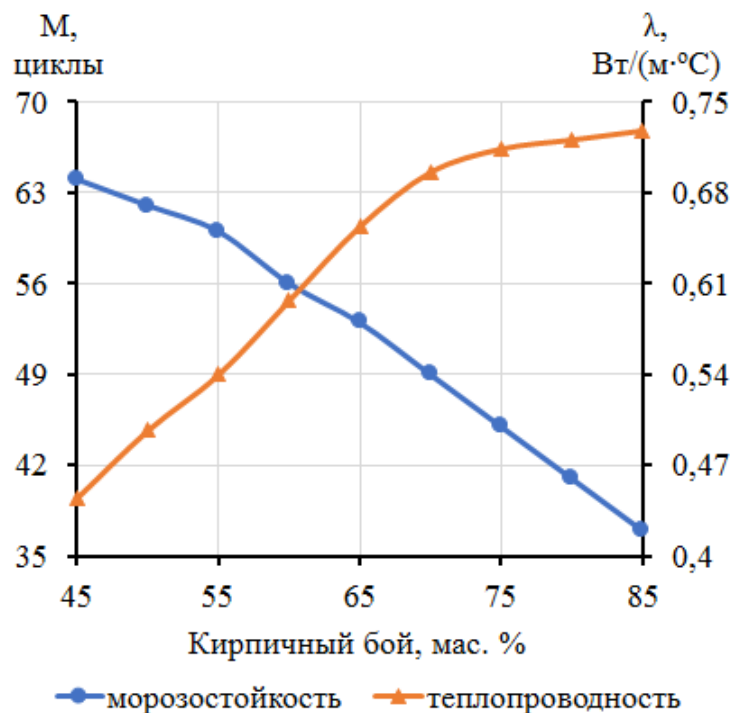


Рис. 4 – Зависимость морозостойкости и теплопроводности от количества наполнителя в сырьевой смеси

Снижение морозостойкости вызвано увеличением водопоглощения, так как эти свойства имеют между собой обратную зависимость. Повышение теплопроводности можно объяснить тем, что повышение пористости незначительно и мало снижает данное свойство, а теплопроводность кирпичного боя ($\approx 0,85$ Вт/(м·°C) [10]) значительно превосходит теплопроводность полистирола ($\approx 0,093$ Вт/(м·°C) [10]).

Обсуждение

Таким образом, максимальная для разрабатываемого состава сырьевой смеси прочность композиционного материала достигается при использовании 50 мас. % кирпичного боя. Стоит учитывать, что при повышении количества наполнителя повышается плотность материала, что повышает массу изделий, повышается теплопроводность, что снижает энергоэффективность материала, и снижается доля закрытой пористости, что снижает морозостойкость. В связи с этим было принято решение вводить в состав сырьевой смеси 50 мас. % кирпичного боя.

Заключение

В результате проведенных экспериментов было установлено, что кирпичный бой в количестве до 50 мас. % повышает прочность на сжатие и долю закрытой пористости разрабатываемого композиционного материала. При более высоком количестве наполнителя наблюдается недостаток связующего, что проявляется в снижении прочности и повышении доли открытой пористости, что в свою очередь приводит к увеличению водопоглощения и снижению морозостойкости.

При выбранном количестве наполнителя в составе сырьевой смеси может быть получен композиционный материал с достаточно высокими значениями прочности и морозостойкости, что позволяет применять его в производстве изделий для наружной облицовки стен зданий и сооружений. Таким образом, применение разработанной сырьевой смеси позволяет комплексно утилизировать два крупнотоннажных отхода с получением качественных изделий строительного назначения.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Чумаченко Н.Г. Промышленные отходы - перспективное сырье для производства строительных материалов / Н.Г. Чумаченко, Е.А. Коренькова // Промышленное и гражданское строительство. – 2014. – № 3. – С. 20–24.
2. Перовская К.А. Применение полимерных отходов для повышения энергоэффективности стеновой керамики / К.А. Перовская, Д.Е. Петрина, Е.С. Пикалов и др. // Экология промышленного производства. – 2019. – №1. – С. 7–11.
3. Газиев У.А. Отходы промышленности в производстве строительных материалов и изделий / У.А. Газиев, Х.А. Акрамов. – Ташкент: ТАСИ, 2003. – 112 с.
4. Сагдеева Г.С. Переработка отходов производства и потребления с использованием их ресурсного потенциала / Г.С. Сагдеева, Г.Р. Патракова // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17. – № 6. – С. 194–198.
5. Сокольская М.К. Связующие для получения современных полимерных композиционных материалов [Электронный ресурс] / М.К. Сокольская, А.С. Колосова, И.А. Виткалова и др. // Фундаментальные исследования. – 2017. – №10-2. – С. 290–295. – URL: <https://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=41827> (дата обращения: 11.08.2019).
6. Шахова В.Н. Современные технологии переработки полимерных отходов и проблемы их использования [Электронный ресурс] / В.Н. Шахова, А.А. Воробьева, И.А. Виткалова и др. // Современные наукоемкие технологии. –

2016. – № 11-2. – С. 320–325. – URL: <https://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=36408> (дата обращения: 11.08.2019).

7. Снежков В.В. Полимерные отходы – в готовые изделия / В.В. Снежков, Г.В. Речиц // Твердые бытовые отходы. – 2011. – №1. – С. 16–19.

8. Торлова А.С. Утилизация керамических и полимерных отходов в производстве облицовочных композиционных материалов / А.С. Торлова, И.А. Виткалова, Е.С. Пикалов и др. // Экология и промышленность России. – 2019. – №7. – С. 36–41.

9. Виткалова И.А. Разработка способа получения облицовочного композиционного материала на основе полимерных и стекольных отходов / И.А. Виткалова, А.С. Торлова, Е.С. Пикалов и др. // Экология промышленного производства. – 2018. – № 3. – С. 2–6.

10. Зеликов В.В. Справочник инженера по отоплению, вентиляции и кондиционированию: Справочник / В.В. Зеликов. – М.: Инфра-Инженерия, 2011. – 624 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Chumachenko N.G. Promyshlennye othody - perspektivnoe syr'e dlya proizvodstva stroitel'nykh materialov [Industrial waste as prospective raw materials for building materials production] / N.G. Chumachenko, E.A. Koren'kova // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and civil engineering]. – 2014. – № 3. – P. 20–24. [in Russian]

2. Perovskaya K.A. Primenenie polimernykh othodov dlya povysheniya energoeffektivnosti stenovoy keramiki [Application of polymer waste for improvement the energy efficiency of wall ceramics] / K.A. Perovskaya, D.E. Petrina, E.S. Pikalov, and others // Ekologiya promyshlennogo proizvodstva [Ecology of industrial production]. – 2019. – №1. – P. 7–11. [in Russian]

3. Gaziev U.A. Othody promyshlennosti v proizvodstve stroitel'nykh materialov i izdelij [Industrial waste in the production of building materials and products] / U.A. Gaziev, H.A. Akramov. – Tashkent: TASI, 2003. – 112 p. [in Russian]

4. Sagdeeva G.S. Pererabotka othodov proizvodstva i potrebleniya s ispol'zovaniem ih resursnogo potentsiala [Processing of production wastes and consumption with the use of their resource potential] / G.S. Sagdeeva, G.R. Patrakova // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta [Bulletin of Kazan technological University]. – 2014. – Vol. 17. – № 6. – P. 194–198. [in Russian]

5. Sokolskaya M.K. Svyazuyushchie dlya polucheniya sovremennykh polimernykh kompozitsionnykh materialov [Binders to obtain the modern polymer composite materials] [Electronic resource] / M.K. Sokolskaya, A.S. Kolosova, I.A. Vitkalova and others // Fundamental'nye issledovaniya [Fundamental research]. – 2017. – №10-2. – P. 290–295. – URL: <https://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=41827> (accessed: 11.08.2019). [in Russian]

6. Shakhova V.N. Sovremennye tekhnologii pererabotki polimernykh othodov i problemy ih ispol'zovaniya [Modern technology of processing of polymer waste and problems of their use] [Electronic resource] / V.N. Shakhova, A.A. Vorob'eva, I.A. Vitkalova and others // Sovremennye naukoemkie tekhnologii [Modern high technology]. – 2016. – № 11-2. – P. 320–325. – URL: <https://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=36408> (accessed: 11.08.2019). [in Russian]

7. Snezhkov V.V. Polimernye othody – v gotovye izdeliya [Polymer wastes into finished products] / V.V. Snezhkov, G.V. Rechic // Tverdye bytovye othody [Solid domestic waste]. – 2011. – №1. – P. 16–19. [in Russian]

8. Torlova A.S. Utilizatsiya keramicheskikh i polimernykh othodov v proizvodstve oblicovочnykh kompozitsionnykh materialov [Recycling of Ceramic and Polymeric Wastes in the Production of Surfacing Composite Materials] / A.S. Torlova, I.A. Vitkalova, E.S. Pikalov and others // Ekologiya i promyshlennost' Rossii [Ecology and Industry of Russia]. – 2019. – №7. – P. 36–41. [in Russian]

9. Vitkalova I.A. Razrabotka sposoba polucheniya oblicovочnogo kompozitsionnogo materiala na osnove polimernykh i stekol'nykh othodov [Development of a method for producing a coating composite material based on polymer and glass waste] / I.A. Vitkalova, A.S. Torlova, E.S. Pikalov and others // Ekologiya promyshlennogo proizvodstva [Ecology of industrial production]. – 2018. – № 3. – P. 2–6. [in Russian]

10. Zelikov V.V. Spravochnik inzhenera po otopeniyu, ventilyacii i kondicionirovaniyu: Spravochnik / V.V. Zelikov. – М.: Инфра-Инженерия, 2011. – 624 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.87.9.011>

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЯ НА УПРАВЛЕНИЕ МОРФОЛОГИЕЙ И ДИАМЕТРОМ НАНОВОЛОКОН АЦЕТИЛАЦЕТОНАТ ЦИРКОНИЯ/ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛ

Научная статья

Тюрин А.И.^{1,*}, Родаев В.В.², Разливалова С.С.³, Васюков В.М.⁴^{1, 2, 3, 4} НИИ «Нанотехнологии и наноматериалы» Тамбовский Государственный Университет имени Г.Р. Державина, Тамбов, Россия

* Корреспондирующий автор (tyurin[at]tsu.tmb.ru)

Аннотация

Методом электроформования раствора, содержащего полиакрилонитрил и ацетилацетонат циркония, были приготовлены композитные волокна и волокна из чистого ZrO_2 со средним диаметром от 290 до 400 нм и от 60 до 75 нм - соответственно. Показана возможность управления структурой и размерами композитных (не отожженных) волокон и волокон из чистого ZrO_2 (полученных после отжига композитных волокон при 800 °C), за счет варьирования параметров электроформования и режимов приготовления раствора.

Ключевые слова: электроспиннинг, керамические нановолокна, диоксид циркония, микроструктура, композиты, фазовый состав.

RESEARCH OF INFLUENCE OF ELECTRIC FORMATION PARAMETERS ON CONTROL OF MORPHOLOGY AND DIAMETER OF NANOFIBERS OF ZIRCONIUM/POLYACRYLONITRILE ACETYLACETONATE

Research article

Tyurin A.I.^{1,*}, Rodaev V.V.², Razlivalova S.S.³, Vasyukov V.M.⁴^{1, 2, 3, 4} Research Institute "Nanotechnology and Nanomaterials" Tambov State University named after G.R. Derzhavina, Tambov, Russia

* Corresponding author (tyurin[at]tsu.tmb.ru)

Abstract

Composite fibers and fibers made of pure ZrO_2 with an average diameter from 290 to 400 nm and from 60 to 75 nm, respectively, were made by electrospinning a solution containing polyacrylonitrile and zirconium acetylacetonate. The possibility of controlling the structure and dimensions of composite (not annealed) fibers and pure ZrO_2 fibers (obtained after annealing composite fibers at 800°C) is shown to be achieved by varying the electroforming parameters and solution preparation modes.

Keywords: electrospinning, ceramic nanofibers, zirconia, microstructure, composites, phase composition.

Введение

В последнее время микро- и нановолокна из различных материалов (полимеры, композиты, керамики и др.) привлекают к себе все большее внимание. Это обусловлено целым рядом характерных для них специфических свойств (высокой площади удельной поверхности, взаимосвязанной пористой структуре, гибкости в функционализации поверхности [1], [2], [3], высоким относительным прочностным свойствам [9], [10], [11] и т.д., которые позволяют рассматривать и применять их для различных приложений (армирования композитов [10], [11], построения гибких каркасов для регенеративной медицины [12], использование в качестве опор, а также элементов контролируемого зародышеобразования и роста функциональных наночастиц [13], [14] и др.).

Среди разнообразных типов волокон наиболее значительный потенциал использования имеют керамические волокна и особенно нановолокна на основе диоксида циркония (ZrO_2). Это обусловлено целым рядом уникальных свойств керамик на основе ZrO_2 - высокая химическая и термическая стойкость, высокая ионная проводимость, полиморфизм [2], фазозависимая каталитическая активность и селективность [3], [4], хорошая биостойкость и биосовместимость, высокие механические свойства (прочность, твердость, модуль Юнга, вязкость разрушения и др.) [15], [16], [17] и др. Нановолокна – с характерным размером диаметра в нанометровом диапазоне оказываются предпочтительнее из-за меньшей массы, более высокой удельной поверхности и более высокими физико-механическими свойствами, по сравнению с объемными образцами и волокнами больших диаметров [18], [19]. Обычно нановолокна из ZrO_2 получают универсальным и относительно недорогим методом электроформования (или электроспиннинга) из растворов и суспензий на основе водорастворимых органических полимеров, таких как поливинилпирролидон [21], [22] и поливиниловый спирт [23]. В качестве прекурсоров ZrO_2 используют соли металла (например, октагидрат оксихлорида циркония, $ZrOCl_2 \cdot 8H_2O$) [24], алкоксиды [23] или нанопорошки диоксида циркония.

Известно, что морфология и средний диаметр получаемых в процессе электроформования волокон определяются группой факторов, среди которых свойства раствора (молекулярный вес полимера, наличие и состав добавок, вязкость, электропроводность, диэлектрическая проницаемость, поверхностное натяжение), параметры процесса (расстояние между кончиком иглы и коллектором, напряжение, приложенное между электродами, объемный расход раствора в единицу времени), а также условия внешней среды (например, такие как температура и влажность). До настоящего времени, много исследований проводилось, посвященных взаимосвязи морфологии и диаметра композитных TiO_2 /ПВП-волокон от условий электроформования. Обычно диаметр композитных волокон сильно зависел от концентрации полимера или изопропоксида титана в растворе и расстояния между иглой и коллектором

[32], [33]. Для композитных $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{PAN}$ волокон значительное влияние на диаметр оказывало массовое соотношение ацетилацетоната алюминия к полиакрилонитрилу в формовальном растворе [26].

Однако, на настоящий момент достаточно мало работ посвящено получению и возможностям управления морфологией и размерами (диаметром) прочных однородных бездефектных нановолокон из ZrO_2 путем электроформования раствора PAN в N,N-диметилформамиде (DMF) с добавкой ацетилацетоната циркония в качестве керамического прекурсора.

Цель данной работы заключалась в выявлении набора параметров электроформования для управления морфологией и диаметром композитных нановолокон ацетилацетонат циркония/полиакрилонитрил и синтезе бездефектных нановолокон из чистого ZrO_2 путем отжига композитных волокон.

Методика эксперимента

Для получения формовального раствора, 1 г PAN ($M_w = 150,000$, Sigma-Aldrich, Co, США) смешивали с 9 г DMF (безводный, хим. ч., ЭКОС-1), с перемешиванием до полного растворения полимера при температуре $T = 50^\circ\text{C}$. После выдержки полимерного раствора при комнатной температуре в течение 15-20 мин, в него добавляли навеску ацетилацетоната циркония (97% чистоты, Sigma-Aldrich, Co, США), составляющую от 10 до 30% от массы PAN (n от 0,1 до 0,3). Стоит отметить, что рабочий диапазон концентраций прекурсора диоксида циркония ограничивался значением $n = 0,32$, при больших концентрациях прекурсор перестает растворяться в формируемом растворе, что подтверждается визуально. Затем формовальный раствор обрабатывали в ультразвуковой ванне в течение 6 мин (при частоте 42 кГц). Электроформование волокон производилось на установке Nanon-01A (MECC CO, Япония). Формовальный раствор выдавливался через металлическую фильеру с внутренним диаметром 0,5 мм.

Для получения оптимальных по морфологии и диаметру композитных волокон варьировали расстояние между наконечником иглы и плоским коллектором L (в интервале от 15 до 23 см), ускоряющее напряжение U (в интервале от 17 до 23 кВ), объемную долю подачи раствора V (от 1,2 до 3,6 мл/ч), а также массовую долю полимера ($n = 0,1; 0,2$ и $0,3$). Волокна собирали на плоском коллекторе в виде нетканых матов. Маты обжигали при одинаковой температуре 800°C в течение 1 ч с использованием двухступенчатого нагрева: нагрев до 500°C со скоростью нагрева $1^\circ\text{C}/\text{мин}$, а затем дальнейший нагрев до целевой температуры со скоростью нагрева $5^\circ\text{C}/\text{мин}$. Низкая скорость нагрева была выбрана для предотвращения разрушения волокна в процессе удаления продуктов разложения керамического предшественника и связующего полимера.

Морфологию волокон исследовали с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) Merlin (Carl Zeiss, Германия). Средний диаметр волокон рассчитывался из анализа СЭМ-изображений по данным не менее 100 измерений индивидуальных волокон. Рентгенофазовый анализ керамических волокон осуществлялся на рентгеновском дифрактометре D2 Phaser (Bruker, США).

Результаты и обсуждение

Исследование морфологии и среднего диаметра композитных волокон при варьировании параметров электроформования (расстояния L и ускоряющего напряжения U) показали, что при значениях $L \leq 15$ см (при любом U из исследованного диапазона), на формируемых композитных волокнах обычно наблюдались дефекты в виде шариков, капель или склеенных волокон (рис. 1а). Дальнейшее увеличение L при напряжении U не ниже 20 кВ приводит к снижению вероятности появления дефектов, которые практически не образуются при значениях $L \geq 21$ см и $U \geq 23$ кВ и формируемые волокна имели цилиндрическую форму с гладкой и ровной поверхностью (рис. 1б). Исследование влияния L и U на диаметр неотожженных композитных волокон показало, что средний диаметр волокон d уменьшается с ростом L и U . Так, при увеличении L от 15 до 21 см и постоянном напряжении $U \geq 21$ кВ d уменьшается от 396 ± 88 нм до 291 ± 33 нм. При этом наиболее однородные и бездефектные волокна с минимальным размером и разбросом по толщине ($d = 291 \pm 33$ нм) были получены при $L = 21$ см и $U = 23$ кВ (см. рис. 1б).

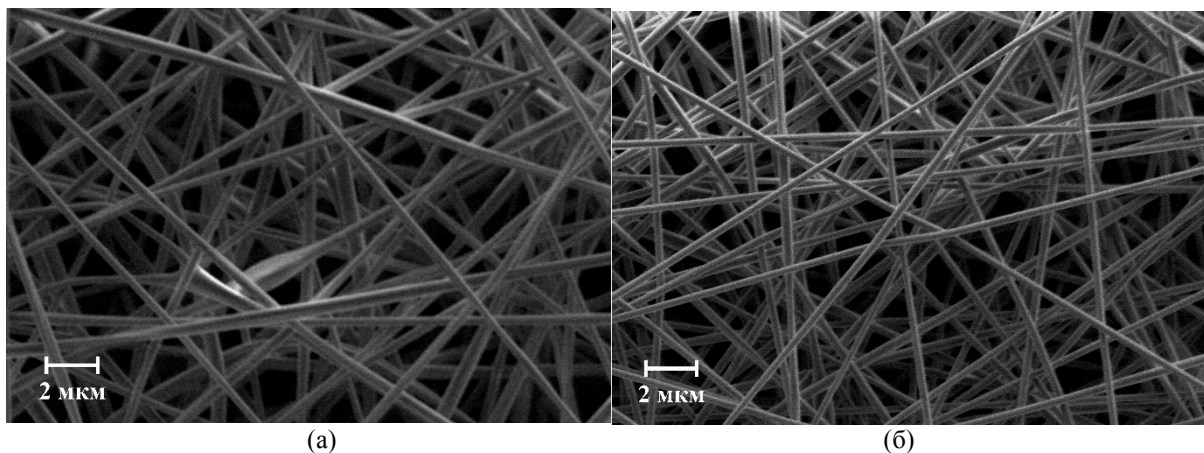


Рис. 1 – СЭМ-изображения композитных нановолокон, полученных электроформованием:
а) $L = 15$ см и $U = 17$ кВ; б) $L = 21$ см и $U = 23$ кВ

Факт уменьшения диаметра волокон с ростом L и U может быть связан с увеличением времени осаждения (за счет роста L) и испарения растворителя, а также большему вытягиванию волокон под действием электрического поля (увеличении U), что согласуется с данными других авторов [32].

Исследование влияния скорости объемного расхода раствора V (в диапазоне до 3,6 мл/ч) показало, при $V < 1$ мл/ч, струя раствора выдавливаемого через фильеру не является стабильной, на форсунке образуются капельки раствора,

которые приводят к увеличению диаметра и дефектообразованию волокон. Значительное увеличение V (до значений $V \geq 2,4$ мл/ч) приводит к увеличению разброса диаметра волокон в достаточно широком диапазоне (от 220 нм до ~ 500 нм) и появлению дефектов в структуре волокна. Наиболее вероятной причиной такого эффекта может являться нестабильность струи, обусловленной высоким объемным расходом раствора, что отмечается также авторами ряда работ (см., например, [34]).

Наиболее оптимальными, с точки зрения качества получаемых волокон (морфологии и наименьшего диаметра волокна) оказались режимы $U = 21-23$ кВ (при $L = 21$ см и $V = 1,2$ мл/ч) и $U = 23$ кВ (при $L = 21$ см и $V = 1,2-1,8$ мл/ч), при этом, для волокон, полученных при $U = 23$ кВ, $L = 21$ см, $V = 1,2$ мл/ч, средний диаметр был наименьшим ($d = 291 \pm 33$ нм).

Исследование влияния концентрации ацетилацетоната циркония в формовальном растворе n на средний диаметр волокон (при найденных наиболее оптимальных значениях L , U и V) показало, что увеличении n вплоть до 30 % оказывает слабое влияние на рост величины d (d увеличивался от 283 ± 32 нм при $n = 0,1$ до 291 ± 33 нм при $n = 0,3$), что можно объяснить увеличением вязкости раствора за счет большей концентрации прекурсора. Более чувствительной к n оказывалась величина d керамических волокон, получаемых после отжига. При этом все керамические волокна (при любом n) имели существенно меньший диаметр, чем композитные, были однородные по диаметру и не содержали видимых дефектов структуры. Уменьшение n (от 0,3 до 0,1) приводило к монотонному снижению d от 75 ± 9 нм до 59 ± 8 нм (рис. 2).

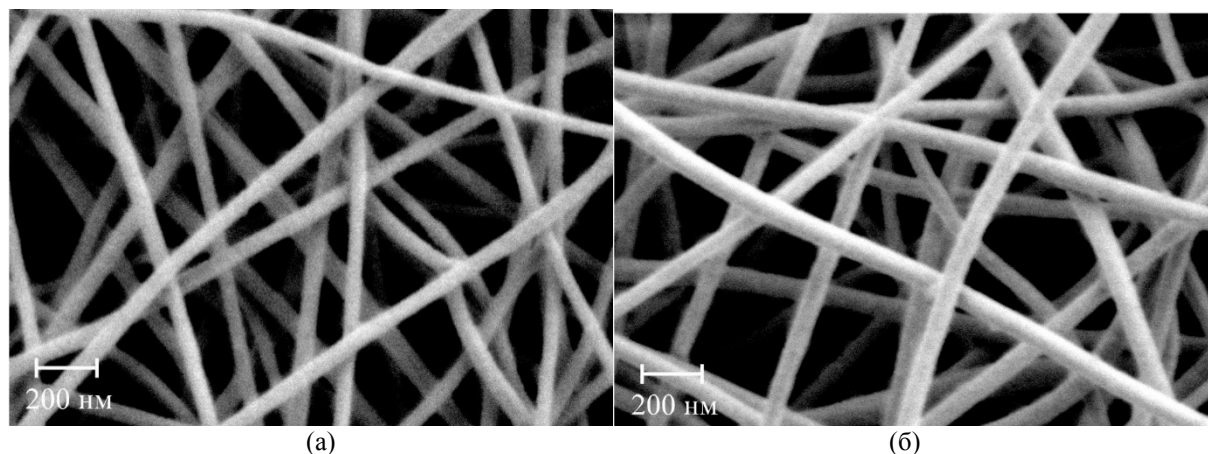


Рис. 2 – СЭМ-изображения керамических нановолокон после отжига:
а) $n = 0,1$; б) $n = 0,3$

Фазовый состав волокон определяли при помощи дифрактометра D2 Phaser (Bruker AXS, Германия). Рентгеновские дифрактограммы снимали в диапазоне углов 2θ от 20° до 80° . В выбранный диапазон попадают характеристические пики фаз диоксида циркония. Для расшифровки дифрактограмм использовали базу PDF-2 Международного центра дифракционных данных. Количественное содержание фаз диоксида циркония в керамике определяли по методу Ритвельда при помощи программного обеспечения TOPAS (Bruker AXS, Германия).

Отсутствие рефлексов на дифрактограмме электроформованных композитных волокон (волокна до термообработки) свидетельствует об рентгеноаморфном состоянии формирующих их ацетилацетоната циркония и полиакрилонитрила (см. рис. 3). После отжига и термического разложения керамического прекурсора на дифрактограмме волокон появляются характеристические пики моноклинной и тетрагональной фаз ZrO_2 (см. рис. 3).

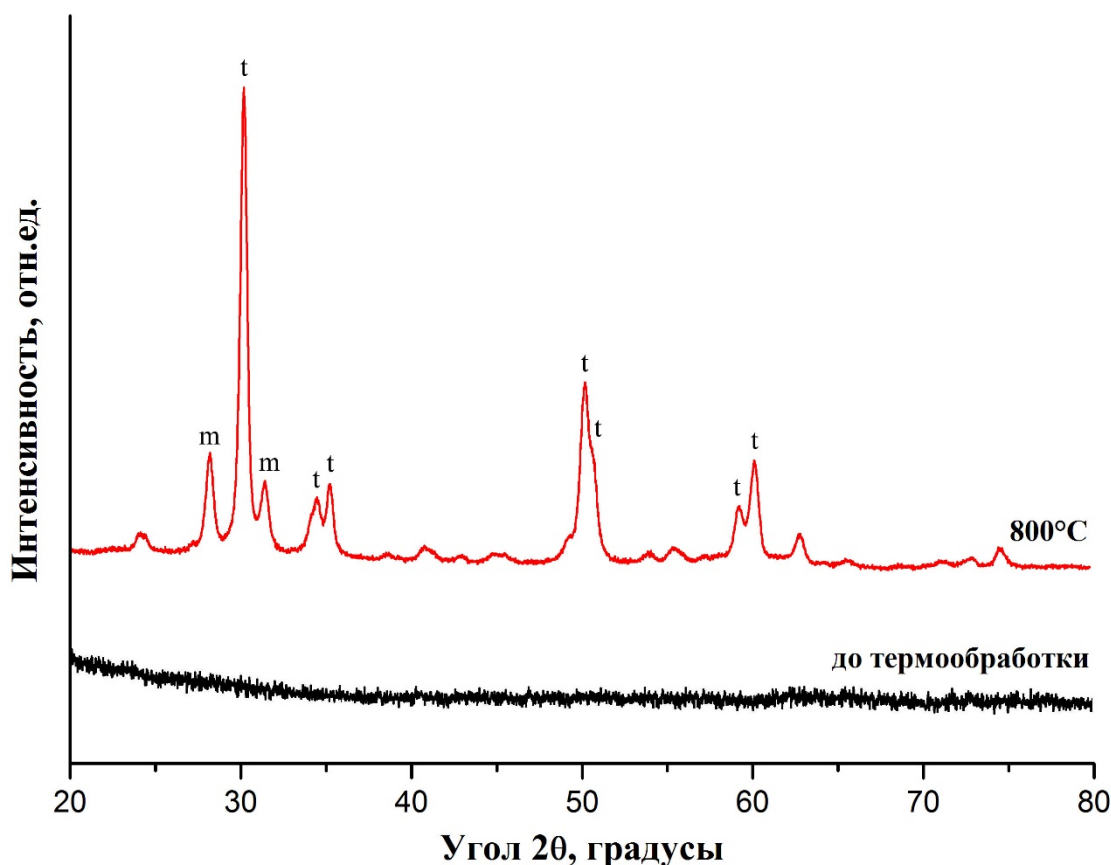


Рис. 3 – Рентгеновские дифрактограммы композитных волокон до термообработки и после отжига при 800 °С;
m – моноклинная фаза ZrO_2 , *t* – тетрагональная фаза ZrO_2

Самые интенсивные рефлексы моноклинной фазы расположены при 28,2° и 31,5°, а тетрагональной – при 30,2°; 34,6°; 35,2°; 50,2°; 50,7°; 59,3° и 60,2° (см. рис. 3). Полученные данные показывают, что термическая обработка приводила к полному удалению полимера и после отжига волокна представляли собой чистый диоксид циркония с содержанием тетрагональной и моноклинной фаз соответственно 67 и 33% (при $n = 0,3$) при среднем размере зерен 21 и 25 нм.

Заключение

Таким образом, в работе методом электроформования раствора, содержащего полиакрилонитрил и ацетилацетонат циркония, были приготовлены композитные нановолокна. Выявлен набор параметров электроформования позволяющих управлять морфологией и диаметром композитных волокон и получать оптимальные по этим значениям бездефектные волокна. В результате отжига были сформированы тонкие ($d = 59 \pm 8$ нм) однородные по диаметру бездефектные волокна из чистого диоксида циркония со средним размером зерен 21 нм (тетрагональная фаза) и 25 нм (моноклинная фаза).

Финансирование

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (проект № 18-29-17047).

Funding

This work was supported with a grant from the Russian Foundation for Basic Research (project No. 18-29-17047).

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Liu Y. Advanced Nanofibrous Materials Manufacture Technology Based on Electrospinning / Liu Y., Wang C. - CRC Press: Boca Raton, Florida, FL, USA, 2019. - 370 p.
2. Chevalier J. The tetragonal-monoclinic transformation in zirconia: lessons learned and future Trends / Chevalier J., Gremillard L., Virkar A. V. // J. Am. Ceram. Soc. – 2009. – V. 92. – P. 1901–1920.
3. Yin L. Preparation and photocatalytic activity of nanoporous zirconia electrospun fiber mats / Yin L., Niu J., Shen Z. and others // Mater. Lett. – 2011. – V. 65. – P. 3131–3133.
4. Ruiz-Rosas R. Methanol decomposition on electrospun zirconia nanofibers / Ruiz-Rosas R., Bedia J., Rosas J. M. and others // Catal. Today. – 2012. – V. 187. - P. 77–87.
5. Koo J. Y. Electrospun yttria-stabilized zirconia nanofibers for low-temperature solid oxide fuel cells / Koo J. Y., Lim Y., Kim Y. B. // Int. J. Hydrogen Energy. – 2017. – V. 42. – P. 15903–15907.
6. Droushiotis N. Characterization of NiO-yttria stabilised zirconia (YSZ) hollow fibres for use as SOFC anodes / Droushiotis N., Doraswami U., Kanawka K. and others // Solid State Ion. – 2009. – V. 180. – P. 1091–1099.

7. Филатов Ю. Н. Электроформование волокнистых материалов (ЭФВ-процесс) / Филатов Ю. Н. // Под ред. В. Н. Кириченко. – М.: ГНЦ РФ НИФХИ им. Л. Я. Карпова. – 2001. – 231 с.
8. Сони́на А. Н. Получение нановолокнистых материалов на основе хитозана методом электроформования (обзор) / Сони́на А. Н., Успенский С. А., Вихорева Г. А. и др. // Хим. волокна. – 2010. – № 6. – С. 11–17.
9. Филатов И. Ю. Электроформование волокнистых материалов на основе полимерных микро-и нановолокон. История, теория, технология, применение / Филатов И. Ю., Филатов Ю. Н., Якушкин М. С. // Вестник МИТХТ. – 2008. – Т. 3. – № 5. – С. 3–18.
10. Guo G. Novel dental composites reinforced with zirconia–silica ceramic nanofibers / Guo G., Fan Y., Zhang J. F. and others // Dent. Mater. – 2012. – V. 28. – P. 360–368.
11. Bódisa E. Silicon nitride-based composites reinforced with zirconia nanofibers / Bódisa E., Molnár K., Mucsi A. and others // Ceram. Int. – 2017. – V. 43. – P. 16811–16818.
12. Gazquez G. C. Flexible yttrium-stabilized zirconia nanofibers offer bioactive cues for osteogenic differentiation of human mesenchymal stromal cells / Gazquez G. C., Chen H., Veldhuis S. A. and others // ACS Nano. – 2016. – V. 10. – P. 5789–5799.
13. Formo E. Functionalization of electrospun ceramic nanofibre membranes with noble-metal nanostructures for catalytic applications / Formo E., Yavuz M. S., Lee E. P. and others // J. Mater. Chem. – 2009. – V. 9. – P. 3878–3882.
14. Lee H. Gold nanoparticle-coated ZrO₂-nanofiber surface as a SERS-active substrate for trace detection of pesticide residue / Lee H., Liao J. D., Sivashanmugan K. // Nanomaterials. – 2018. – V. 8. – P. 402–406.
15. Li J. Y. Hollow fibers of yttria-stabilized zirconia (8YSZ) prepared by calcination of electrospun composite fibers / Li J. Y., Tan Y., Xu F. M. and others // Mater. Lett. – 2008. – V. 62. – P. 2396–2399.
16. Golovin Y. I. The physical and mechanical properties and local deformation micromechanisms in materials with different dependence of hardness on the depth of print / Golovin Y. I., Tyurin A. I., Aslanyan E. G. and others // Physics of the Solid State. – 2017. – V. 59. – N 9. – P. 1803–1811.
17. Golovin Y. I. Local physicomechanical properties of materials for use in calibration of nanoindentation instruments / Golovin Y. I., Tyurin A. I., Aslanyan E. G. and others // Measurement Techniques. – 2016. – V. 59. – N 9. – P. 911–915.
18. Chen C. Q. Size dependence of Young's modulus in ZnO nanowires / Chen C. Q., Shi Y., Zhang Y. S. and others // Phys. Rev. Lett. – 2006. – V. 96. – N 7. – P. 075505(1–4).
19. Yu H. Preparation of continuous alumina nanofibers via electrospinning of PAN/DMF solution / Yu H., Guo J., Zhu S. // Mater. Lett. – 2012. – V. 74. – P. 247–249.
20. Sun W. Fabrication and Characterization of Electrospun Alumina Nanofibre Reinforced Polycarbonate Composites. / Sun W. Queen Mary University. Ph.D. Thesis, London, UK, 2017. – 201 p.
21. Davies E. Phase morphology in electrospun zirconia microfibers / Davies E., Lowe A., Sterns M. and others // J. Am. Ceram. Soc. – 2008. – V. 91. – N 4. – P. 1115–1120.
22. Zhao Y. Studies of electrospinning process of zirconia nanofibers / Zhao Y., Tang Y., Guo Y. and others // Fibers and Polymers. – 2010. – V. 11. – N 8. – P. 1119–1122.
23. Singh S. ZrO₂ fibers obtained from the halide free synthesis of non-beaded PVA/Zr n-propoxide electrospun fibrous composites / Singh S., Singh V., Vijayakumar M. and others // Ceram. Int. – 2013. – V. 39. – P. 1153–1161.
24. Shao C. A novel method for making ZrO₂ nanofibres via an electrospinning technique / Shao C., Guan H., Liu Y. and others // Journal of Crystal Growth. – 2004. – V. 267. – P. 380–384.
25. Tunk T. Fabrication and characterization of boron-doped yttria-stabilized zirconia nanofibers Tunk T., Uslu I. // Polym. Eng. Sci. – 2013. – V. 53. – N 5. – P. 963–969.
26. Angammana C. J. Fundamentals of electrispinning and processing technologies / Angammana C. J., Jayaram S. H. // Particulate Science and Technology: An International Journal. – 2016. – V. 34. – N 1. – P. 72–82.
27. Козлов В. А. Исследование процесса электроформования смесей фторполимеров и свойств получаемых материалов / Козлов В. А., Филатов Ю. Н., Наумова Ю. А. // Вестник МИТХТ. – 2011. – Т. 6. – № 1. – С. 22–25.
28. Петров А. В. Влияние молекулярной массы поли-N-винилпирролидона на получение ультратонких волокон методом электроформования из растворов / Петров А. В., Лукашевич А. Д., Бакеева И. В. и др. // Вестник МИТХТ. – 2011. – Т. 6. – № 3. – С. 34–39.
29. Дмитриев Ю. А. Влияние характеристик прядильного раствора и параметров электроформования на скорость образования и диаметр волокон из хитозана / Дмитриев Ю. А., Шиповская А. Б., Коссович Л. Ю. // Известия вузов (Химия и химическая технология). – 2011. – Т. 54. – Вып. 11. – С. 109–112.
30. Саттарова Д. М. Влияния различных условий на электроспиннинг хитозана и на морфологию образующихся волокон / Саттарова Д. М., Кодирхонов М. Р. // Universum: химия и биология. 2018. – Т. 45. – № 3. – С. 7–13.
31. Прищепенко Д. В. Влияние технологических параметров электроформования на морфологию и плотность нанесения нановолокон хитозана / Прищепенко Д. В., Прокопчук Н. Р., Шашок Ж. С. // Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология. 2016. – № 4. – С. 114–120.
32. Tang Z. S. Effect of polyvinylpyrrolidone and fabrication parameters on electrospun titanium oxide nanofibers diameter / Tang Z. S., Bolong N., Saad I. and others // Science and Engineering. – 2016. – V. 78. – N 12. – P. 19–24.
33. Albetran H. Characterization and optimization of electrospun TiO₂/PVP nanofibers using Taguchi design of experiment method / Albetran H., Dong Y., Low I. M. // J. Asian Cer. Soc. – 2015. – V. 3. – N 3. – P. 292–300.
34. Shahreen L. Effects of electrospinning solution properties on formation of beads in TiO₂ fibers with PdO particles / Shahreen L., Chase G. G. // Journal of Engineered Fibers and Fabrics. – 2015. – V. 10. – N 3. – P. 136–143.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Liu Y. Advanced Nanofibrous Materials Manufacture Technology Based on Electrospinning / Liu Y., Wang C. - CRC Press: Boca Raton, Florida, FL, USA, 2019. - 370 p.
2. Chevalier J. The tetragonal-monoclinic transformation in zirconia: lessons learned and future Trends / Chevalier J., Gremillard L., Virkar A. V. // J. Am. Ceram. Soc. - 2009. - V. 92. - P. 1901-1920.
3. Yin L. Preparation and photocatalytic activity of nanoporous zirconia electrospun fiber mats / Yin L., Niu J., Shen Z. and others // Mater. Lett. - 2011. - V. 65. - P. 3131-3133.
4. Ruiz-Rosas R. Methanol decomposition on electrospun zirconia nanofibers / Ruiz-Rosas R., Bedia J., Rosas J. M. and others // Catal. Today. - 2012. - V. 187. - P. 77-87.
5. Koo J. Y. Electrospun yttria-stabilized zirconia nanofibers for low-temperature solid oxide fuel cells / Koo J. Y., Lim Y., Kim Y. B. // Int. J. Hydrogen Energy. - 2017. - V. 42. - P. 15903-15907.
6. Droushiotis N. Characterization of NiO-yttria stabilised zirconia (YSZ) hollow fibres for use as SOFC anodes / Droushiotis N., Doraswami U., Kanawka K. and others // Solid State Ion. - 2009. - V. 180. - P. 1091-1099.
7. Filatov Yu. N. Elektroformovaniye voloknistykh materialov (EFV-protsess) [Electroforming of fibrous materials (EPI process)] / Filatov Yu. N. // Ed. by V.N. Kirichenko. - M.: SSC RF NIFHI named after L. Ya. Karpova. - 2001. - 231 p. [in Russian]
8. Sonina A. N. Polucheniye nanovoloknistykh materialov na osnove khitozana metodom elektroformovaniya (obzor) [Obtaining nanofibrous materials based on chitosan by electrospinning (review)] / Sonina A. N., Uspensky S. A., Vikhoreva G. A. and others // Khim volokna [Chem. fibers] - 2010. - No. 6. - P. 11-17. [in Russian]
9. Filatov I. Yu. Elektroformovaniye voloknistykh materialov na osnove polimernykh mikro-i nanovolokon. Istoriya, teoriya, tekhnologiya, primeneniye [Electroforming of fibrous materials based on polymer micro and nanofibers. History, theory, technology, application] / Filatov I. Yu., Filatov Yu. N., Yakushkin M.S. // [Vestnik MITT]. - 2008. - V. 3 - No. 5. - P. 3-18. [in Russian]
10. Guo G. Novel dental composites reinforced with zirconia-silica ceramic nanofibers / Guo G., Fan Y., Zhang J. F. and others // Dent. Mater. - 2012. - V. 28. - P. 360-368.
11. Bódisa E. Silicon nitride-based composites reinforced with zirconia nanofibers / Bódisa E., Molnár K., Mucsi A. and others // Ceram. Int. - 2017. - V. 43. - P. 16811-16818.
12. Gazquez G. C. Flexible yttrium-stabilized zirconia nanofibers offer bioactive cues for osteogenic differentiation of human mesenchymal stromal cells / Gazquez G. C., Chen H., Veldhuis S. A. and others // ACS Nano. - 2016. - V. 10. - P. 5789-5799.
13. Formo E. Functionalization of electrospun ceramic nanofibre membranes with noble-metal nanostructures for catalytic applications / Formo E., Yavuz M. S., Lee E. P. and others // J. Mater. Chem. - 2009. - V. 9. - P. 3878-3882.
14. Lee H. Gold nanoparticle-coated ZrO₂-nanofiber surface as a SERS-active substrate for trace detection of pesticide residue / Lee H., Liao J. D., Sivashanmugan K. // Nanomaterials. - 2018. - V. 8. - P. 402-406.
15. Li J. Y. Hollow fibers of yttria-stabilized zirconia (8YSZ) prepared by calcination of electrospun composite fibers / Li J. Y., Tan Y., Xu F. M. and others // Mater. Lett. - 2008. - V. 62. - P. 2396-2399.
16. Golovin Y. I. The physical and mechanical properties and local deformation micromechanisms in materials with different dependence of hardness on the depth of print / Golovin Y. I., Tyurin A. I., Aslanyan E. G. and others // Physics of the Solid State. - 2017. - V. 59. - N 9. - P. 1803-1811.
17. Golovin Y. I. Local physicomechanical properties of materials for use in calibration of nanoindentation instruments / Golovin Y. I., Tyurin A. I., Aslanyan E. G. and others // Measurement Techniques. - 2016. - V. 59. - N 9. - P. 911-915.
18. Chen C. Q. Size dependence of Young's modulus in ZnO nanowires / Chen C. Q., Shi Y., Zhang Y. S. and others // Phys. Rev. Lett. - 2006. - V. 96. - N 7. - P. 075505(1-4).
19. Yu H. Preparation of continuous alumina nanofibers via electrospinning of PAN/DMF solution / Yu H., Guo J., Zhu S. // Mater. Lett. - 2012. - V. 74. - P. 247-249.
20. Sun W. Fabrication and Characterization of Electrospun Alumina Nanofibre Reinforced Polycarbonate Composites. / Sun W. Queen Mary University. Ph.D. Thesis, London, UK, 2017. - 201 p.
21. Davies E. Phase morphology in electrospun zirconia microfibers / Davies E., Lowe A., Sterns M. and others // J. Am. Ceram. Soc. - 2008. - V. 91. - N 4. - P. 1115-1120.
22. Zhao Y. Studies of electrospinning process of zirconia nanofibers / Zhao Y., Tang Y., Guo Y. and others // Fibers and Polymers. - 2010. - V. 11. - N 8. - P. 1119-1122.
23. Singh S. ZrO₂ fibers obtained from the halide free synthesis of non-beaded PVA/Zr n-propoxide electrospun fibrous composites / Singh S., Singh V., Vijayakumar M. and others // Ceram. Int. - 2013. - V. 39. - P. 1153-1161.
24. Shao C. A novel method for making ZrO₂ nanofibres via an electrospinning technique / Shao C., Guan H., Liu Y. and others // Journal of Crystal Growth. - 2004. - V. 267. - P. 380-384.
25. Tunk T. Fabrication and characterization of boron-doped yttria-stabilized zirconia nanofibers Tunk T., Uslu I. // Polym. Eng. Sci. - 2013. - V. 53. - N 5. - P. 963-969.
26. Angammana C. J. Fundamentals of electrispinning and processing technologies / Angammana C. J., Jayaram S. H. // Particulate Science and Technology: An International Journal. - 2016. - V. 34. - N 1. - P. 72-82.
27. Kozlov V. A. Issledovaniye protsessa elektroformovaniya smesey ftorpolimerov i svoystv poluchayemykh materialov [Investigation of the process of electroforming mixtures of fluoropolymers and the properties of the materials obtained] / Kozlov V. A., Filatov Yu. N., Naumova Yu. A. // Vestnik MITHT [Bulletin of Moscow State University of Fine Chemical Technologies] - 2011. - V. 6. - No. 1. - P. 22-25. [in Russian]
28. Petrov A.B. Vliyaniye molekulyarnoy massy poli-N-vinilpirrolidona na polucheniye ul'tratonkikh volokon metodom elektroformovaniya iz rastvorov [Influence of the molecular weight of poly-N-vinylpyrrolidone on the production of ultrafine

fibers by electrospinning from solutions] / Petrov A.B., Lukashevich A.D., Bakeeva I.V. and others // Vestnik MITHT [Bulletin of the Moscow State University of Fine Chemical Technologies.] – 2011. – V. 6. – No. 3. – P. 34-39. [in Russian]

29. Dmitriev Yu. A. Vliyaniye kharakteristik pryadil'nogo rastvora i parametrov elektroformovaniya na skorost' obrazovaniya i diametr volokon iz khitozana [Influence of the characteristics of the spinning solution and the parameters of electrospinning on the rate of formation and diameter of the fibers from chitosan] / Dmitriev Yu. A., Shipovskaya A.B., Kossovich L. Yu. // Izvestiya vuzov (Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya) [News of Universities (Chemistry and Chemical Technology)]. – 2011. – V. 54. – Issue. 11. – P. 109-112. [in Russian]

30. Sattarova D. M. Vliyaniya razlichnykh usloviy na elektrospinning khitozana i na morfologiyu obrazuyushchikhsya volokon [Influence of various conditions on the electrospinning of chitosan and on the morphology of the resulting fibers] / Sattarova D. M., Kodirkhonov M. R. // Universum: khimiya i biologiya [Universum: chemistry and biology]. 2018. – V. 45. – No. 3. – P. 7-13. [in Russian]

31. Prishchepenko D. V. Vliyaniye tekhnologicheskikh parametrov elektroformovaniya na morfologiyu i plotnost' nanoseniya nanovolokon khitozana [Influence of technological parameters of electroforming on the morphology and density of deposition of chitosan nanofibers] / Prishchepenko D. V., Prokopchuk N. R., Shashok Zh. S. // Trudy BGTU. Seriya 2: Khimicheskiye tekhnologii, biotekhnologiya, geoekologiya [Transactions of BSTU. Series 2: Chemical technology, biotechnology, geoecology]. – 2016. – No. 4. – P. 114-120. [in Russian]

32. Tang Z. S. Effect of polyvinylpyrrolidone and fabrication parameters on electrospun titanium oxide nanofibers diameter / Tang Z. S., Bolong N., Saad I. and others // Science and Engineering. – 2016. – V. 78. – N 12. – P. 19-24.

33. Albetran H. Characterization and optimization of electrospun TiO_2 /PVP nanofibers using Taguchi design of experiment method / Albetran H., Dong Y., Low I. M. // J. Asian Cer. Soc. – 2015. – V. 3. – N 3. – P. 292-300.

34. Shahreen L. Effects of electrospinning solution properties on formation of beads in TiO_2 fibers with PdO particles / Shahreen L., Chase G. G. // Journal of Engineered Fibers and Fabrics. – 2015. – V. 10. – N 3. – P. 136-143.

СРАВНЕНИЕ ЧАСТОТЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОЧАГОВОЙ ДЕМИНЕРАЛИЗАЦИИ ЭМАЛИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВРЕМЕНИ ЛЕЧЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЪЕМНОЙ И НЕСЪЕМНОЙ ОРТОДОНТИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ

Научная статья

Виноградова М.В.¹, Гутникова Т. С.^{2,*}

^{1, 2} Первый Московский Государственный Медицинский Университет имени И. М. Сеченова, Москва, Россия

* Корреспондирующий автор (gutymur419[at]gmail.com)

Аннотация

Установлено, что уже на ранних этапах ортодонтического лечения происходят качественные и количественные изменения состава смешанной слюны, а так же изоляция от неё участка эмали, что препятствует реминерализации. Актуальность исследования заключается в недостаточной изученности возникновения кариеса в стадии пятна при ортодонтическом лечении на съемной и несъемной аппаратуре, а так же корреляции деминерализации с временем ношения аппарата. Нами было проведен сравнительный анализ частоты возникновения очаговой деминерализации эмали при ношении съемной и несъемной аппаратуры и определена зависимость процесса от времени лечения. Для исследования были сформированы 5 групп пациентов по виду используемой конструкции и по времени её использования, первая группа не использовала никакие ортодонтические аппараты и являлась контрольной. Наибольшая распространенность кариозного поражения эмали в зоне фиксации аппарата показали несъемные ортодонтические конструкции с длительностью ношения от двух лет и более. Наименьшее поражение эмали наблюдалось при использовании съемных ортодонтических конструкций до полутора лет. Несмотря на различия, при использовании любого из видов ортодонтических конструкций после завершения лечения нами рекомендовано проведение реминерализующей терапии или лечение поверхностного кариеса методом инфильтрации по показаниям.

Ключевые слова: деминерализация, Ортодонтия, съемная ортодонтическая аппаратура, несъемная ортодонтическая аппаратура.

COMPARISON OF THE FREQUENCY OF FOCAL ENAMEL DEMINERALIZATION DEPENDING ON THE TIME OF TREATMENT AND THE USE OF REMOVABLE AND FIXED ORTHODONTIC APPLIANCES

Research article

Vinogradova M.V.¹, Gutnikova T.S.^{2,*}

^{1, 2} I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia

* Corresponding author (gutymur419[at]gmail.com)

Abstract

It is established that qualitative and quantitative changes in the composition of mixed saliva occur in the early stages of orthodontic treatment, while at the same time the isolation of an enameled area takes place, which impedes remineralization. There is a lack of knowledge concerning the occurrence of caries in the spot stage during orthodontic treatment on removable and fixed appliances, as well as the correlation of demineralization with the time of wearing the device. We conducted comparative analysis of the frequency of occurrence of focal demineralization of enamel when wearing removable and fixed appliances and determined its dependence on treatment time. For the study, 5 groups of patients were formed according to the type of appliances used and the time of use, whereas the first group did not use any orthodontic appliances and was a control one. The highest prevalence of carious enamel lesions in the fixation area of the apparatus was detected in the group with fixed orthodontic constructions worn for two years or more. The smallest damage to the enamel was observed in the group with removable orthodontic appliances worn up to a year and a half. Despite the differences, when using any of the types of orthodontic appliances we recommended remineralizing therapy or treatment of superficial caries with the indicated infiltration method after the completion of the treatment.

Keywords: demineralization, orthodontics, removable orthodontic appliances, fixed orthodontic appliances.

Введение

Установлено, что уже на ранних этапах ортодонтического лечения происходят качественные и количественные изменения состава смешанной слюны: увеличивается активность α -амилазы и лактатдегидрогеназы на фоне снижения аланинаминотрансферазы, щелочной фосфатазы и аспартатаминотрансферазы, это свидетельствует об активации анаэробного гликолиза [2], [4]. К тому же, происходит изоляция участка поверхности эмали от смешанной слюны, которая является главной реминерализующей средой полости рта. В совокупности эти изменения являются факторами развития очаговой деминерализации эмали [4].

Так же Т. Э. Д. Шади [9], ссылаясь на Т.А. Сампиева [8] и B.S. Lim et al., [10] отмечает, что ортодонтические аппараты способны нарушать привычный гигиенический статус пациента. В области аппаратуры аккумулируется зубной налет с последующим изменением соотношения микроорганизмов в сторону патогенной флоры [6], [7].

Совокупность факторов приводит к следующему патогенетическому механизму: создание ретенционных пунктов ведет к адгезии и накоплению мягкого зубного налёта. Изменение состава смешанной слюны активирует анаэробные процессы, что в совокупности с микроорганизмами зубных отложений приводит к диффузии кислых продуктов

обмена через межпризменные пространства эмали и диссоциации фосфатов и кальция на её поверхности. К тому же, невозможность реминерализации усугубляет течение процесса. В итоге мы можем наблюдать появление белых пятен и полос, повторяющие контуры брекетов [7].

Актуальность исследования

Процент обнаружения «меловидных» пятен при лечении с использованием несъемной аппаратуры колеблется от 12,6 до 50 % [5].

Несмотря на большое количество исследований, посвященных корреляции использования несъемной и съемной ортодонтической аппаратуры с изменением свойств эмали зуба и возникновением кариеса в стадии пятна – информация в них противоречива.

Цель исследования

Провести сравнительный анализ частоты возникновения кариеса в стадии пятна при использовании съемной и несъемной ортодонтических конструкций, а также выявить корреляцию с длительностью ношения аппаратов и оценить необходимость проведения реминерализующей терапии после завершения аппаратного лечения.

Задачи исследования

1. Систематическое исследование научной литературы по выбранной теме и последующий анализ полученных данных.
2. Сформировать группы пациентов, закончивших лечение в зависимости от вида аппаратуры и продолжительности её использования.
3. Определение гигиенического статуса исследуемых пациентов
4. Определение количества «меловидных» пятен в зонах фиксации ортодонтических аппаратов.

Материалы и методы

1. Для исследования были сформированы 5 групп пациентов. Группа I являлась контрольной – пациенты, не проходившие ортодонтическое лечение ни на съемных, ни на несъемных аппаратах. Группа II включала в себя пациентов, проходивших ортодонтическое лечение на несъемной аппаратуре с продолжительностью ношения до полутора лет. Группа III включала в себя пациентов, проходивших ортодонтическое лечение на несъемной аппаратуре с продолжительностью ношения от двух лет и более. Группа IV включала в себя пациентов, проходивших ортодонтическое лечение с использованием съемной аппаратуры и продолжительностью лечения не более полутора лет. Группа V – пациенты, проходившие ортодонтическое лечение с использованием съемной аппаратуры и продолжительностью лечения от двух лет и более.

2. Было проведено исследование гигиенического статуса пациентов во всех группах с помощью определения индекса эффективности гигиены полости рта (РНР) Podshadley, Haley (1968).

3. Было проведено окрашивание вестибулярной поверхности зубов в зонах фиксации ортодонтической аппаратуры с помощью жидкости для выявления деминерализации эмали.

Результаты и обсуждение

По данным литературы, исследование устойчивости эмали к кариесогенной флоре с помощью проведения ТЭР-теста показало достоверное повышение значений при увеличении продолжительности ортодонтического лечения. Так, резистентность эмали у исследуемых контрольной группы (без использования ортодонтических аппаратов) на протяжении четырех лет наблюдения оценивалась как высокая. Резистентность эмали зубов у детей со съемными аппаратами через 4 года после фиксации составила $5,29 \pm 0,38$ баллов и оценивалась как умеренная устойчивость зубов к кариесу. У детей, использующих несъемную аппаратуру максимальное значение ТЭР-теста через 4 года от начала лечения составило $7,97 \pm 0,43$ балла - в 2,8 раза выше, чем у детей контрольной группы, и в 1,5 раза выше, чем у детей со съемными ортодонтическими аппаратами [1].

Гигиенический статус пациентов во всех группах пациентов был определен с помощью проведения индекса эффективности гигиены полости рта (РНР) Podshadley, Haley (1968). Результаты окрашивания в первой группе пациентов показали хорошие значения гигиены, в среднем - $0,5 \pm 0,2$. Результаты окрашивания в группе съемной ортодонтической аппаратуры показали значения в пределах $1,3 \pm 0,5$, что может объясняться меньшим количеством ретенционных пунктов и возможности проведения индивидуальной гигиены полости рта без съемного аппарата. Пациенты с несъемной ортодонтической конструкцией показали неудовлетворительные показатели уровня гигиены – $1,9 \pm 0,3$. Это может объясняться наличием большого количества ретенционных пунктов, страхом повредить аппаратуру и недостаточным манипуляционным навыком ухода за несъемной аппаратурой.

Окрашивание вестибулярных поверхностей зубов в зоне фиксации съемной или несъемной ортодонтической аппаратуры проводилось с помощью колор-теста, направленного на окрашивание участков зубов с деминерализацией эмали. Результаты контрольной группы показали отсутствие «меловидных» пятен на вестибулярной поверхности эмали или единичные поражения, связанные с недостатком гигиены или трудностями её правильного выполнения при наличии ЗЧА (Рис.1). Группа II т.е. пациенты использовавшие несъемную аппаратуру до полутора лет показали наличие кариеса в стадии пятна в зонах крепления конструкции в 52% случаев при наличии у пациентов стойких гигиенических навыков (Рис. 2). Поражения чаще локализируются в пришеечной зоне нижних фронтальных зубов, в области режущих краев латеральных резцов и клыков верхней челюсти, а так же на вестибулярной поверхности первого моляра. Группа III, включающая в себя пациентов проходивших лечение на несъемной ортодонтической аппаратуре более двух лет, показали наличие кариеса в стадии пятна практически в 95% случаев при наличии стойких гигиенических навыков у пациентов (Рис.3). Локализация поражений схожа с Группой II, но так же наблюдаются поражения пришеечной зоны фронтальных зубов верхней челюсти и вестибулярной поверхности премоляров. Группа IV, в которую входили пациенты, использующие съемные ортодонтические аппараты до полутора лет показали встречаемость кариеса в стадии пятна в зоне фиксации аппарата лишь в около 15% случаев, даже при наличии фактора удовлетворительной и неудовлетворительной гигиены (Рис. 4). Группа V т.е. пациенты, использующие

съемные ортодонтические аппараты более двух лет показали встречаемость кариеса в стадии пятна в зоне фиксации аппарата в около 43% случаев (Рис.5).



Рис. 1 - Результат окрашивания зубов с целью выявления кариеса в стадии пятна у пациента контрольной группы



Рис. 2 – Результат окрашивания зубов с целью выявления кариеса в стадии пятна у пациента группы II



Рис. 3 – Результат окрашивания зубов с целью выявления кариеса в стадии пятна у пациента группы III



Рис. 4 – Результат окрашивания зубов с целью выявления кариеса в стадии пятна у пациента группы IV



Рис. 5 – Результат окрашивания зубов с целью выявления кариеса в стадии пятна у пациента группы V

Заключение

1. Нами была изучена научная литература и исследования по данной теме. Из чего сделан вывод о противоречивости данных и их небольшом количестве относительно возникновения кариозных поражений в стадии пятна в зоне фиксации съемных ортодонтических аппаратов.

2. Для исследования были сформированы 5 групп пациентов по виду используемой конструкции и по времени её использования, первая группа не использовала никакие ортодонтические аппараты и являлась контрольной.

3. Был определен гигиенический статус пациентов с использованием индекса эффективности гигиены полости рта (РНР) Podshadley, Haley (1968). Результаты окрашивания в первой группе пациентов показали хорошие значения гигиены, в среднем - $0,5 \pm 0,2$. Результаты окрашивания в группе съемной ортодонтической аппаратуры показали значения в пределах $1,3 \pm 0,5$. Пациенты с несъемной ортодонтической конструкцией показали неудовлетворительные показатели уровня гигиены – $1,9 \pm 0,3$.

4. Было проведено окрашивание с помощью колор-теста вестибулярных поверхностей зуба в зоне крепления ортодонтических конструкций и выявлен процент распространенности «меловидных» пятен, типичная локализация и корреляция со временем ношения конструкции.

5. При систематическом анализе данных нами был сделан вывод о необходимости подбора врачом-ортодонтом аппаратуры на основании не только конкретной ЗЧА, но и на состояние эмали, уровне индивидуальной гигиены и возможной длительности лечения пациента. Наибольшая распространенность кариозного поражения эмали в зоне фиксации аппарата показали несъемные ортодонтические конструкции с длительностью ношения от двух лет и более. Наименьшее поражение эмали наблюдалось при использовании съемных ортодонтических конструкций до полутора лет. Несмотря на различия, при использовании любого из видов ортодонтических конструкций после завершения лечения нами рекомендовано проведение реминерализующей терапии или лечение поверхностного кариеса метод инфильтрации по показаниям.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Бриль Е.А. Состояние полости рта у детей с зубочелюстными аномалиями и деформациями на этапе ортодонтического лечения: автореф. дис. ... доктор мед / Бриль Е.А. Наук: 14.00.21 - Омск, 2007.
2. Вавилова, В. В. Состояние пародонта при лечении ортодонтическими брекетами из различных материалов : автореф. дис. ... канд. мед. наук : 14.00.21 / Вавилова Виктория Вячеславовна. – М., 2006.
3. Волкова Ю. Профилактика стоматологических заболеваний / Волкова Ю., Евгения Шапиро, Ирина Липовская. – СПб.: ООО «МЕДИ издательство», 2008.
4. Геворкян Т. В. Состояние органов и тканей полости рта при коррекции зубоальвеолярных аномалий и деформаций с использованием стоматологических КАПП : дис. ... канд. мед. наук : 14.01.14 / Геворкян Татьяна Владимировна. – М., 2014.
5. Гущина Н. В. Влияние напряженного состояния твердых тканей зуба на деминерализацию эмали при ортодонтическом лечении с использованием брекет-систем / Н. В. Гущина, В. С. Печенов, Ю. И. Няшин // Новое в стоматологии. – 2000. – № 2.
6. Жанабилов А. А. Микробиоценоз полости рта у ортодонтических пациентов / А. А. Жанабилов, К. С. Мухтарова, С. Т. Тулеутаева [и др.] // МНИЖ. – 2015. – № 1-4(32).
7. Левкович Д. В. Изменение микрофлоры полости рта на ранних стадиях ортодонтического лечения на несъемной аппаратуре : дис. ... канд. мед. наук : 14.01.14 / Левкович Дарья Владимировна. – СПб., 2011.
8. Сампиев А. Т. Эффективность профилактики заболеваний тканей пародонта при ортодонтическом лечении детей и подростков : дис. ... канд. мед. наук : 14.00.21 / Сампиев, Ахмед Таблиханович. – М., 2005.
9. Шади Т. Э. Д. Характеристика частоты и распространенности осложнений, возникающих в процессе ортодонтического лечения несъемными аппаратами в городе Воронеже : дис. ... канд. мед. наук : 14.01.14 / Шади Талал Элиас Даулах. – Воронеж, 2012
10. Lim B. S. Quantitative analysis of adhesion of cariogenic streptococci to orthodontic raw materials / B. S. Lim, S. J. Lee, J. W. Lee and others // Am. J. Orthod. Dentofacial. Orthop. – 2008. – Vol. 133, № 6.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Bril E.A. Sostoyanie polosti rta u detei s zubochelestnyimi anomaliiyami i deformatsiyami na etape ortodonticheskogo lecheniya: avtoref. dis. ... doktor med [State of Oral Cavity in Children with Dentoalveolar Anomalies and Deformities at the Stage of Orthodontic Treatment: Thesis Abstract of MD] / Bril E.A. Nauk: 14.00.21 – Omsk, 2007. [in Russian]
2. Vavilova, V. V. Sostoyanie parodonta pri lechenii ortodonticheskimi breketami iz razlichnykh materialov : avtoref. dis.... kand. med. nauk : 14.00.21 [State of Paradontium in the Treatment with Orthodontic Braces from Various Materials: Thesis Abstract of MD : 14.00.21] / Vavilova Victoria Vyacheslavovna. – M., 2006. [in Russian]
3. Volkova Yu. Profilaktika stomatologicheskikh zabolevaniy [Prevention of Dental Diseases] / Volkova Yu., Evgeniya Shapiro, Irina Lipovskaya. – SPb.: LLC MEDI Publishing House, 2008. [in Russian]
4. Gevorkyan T. V. Sostoyanie organov i tkanei polosti rta pri korrektsii zuboalveolyarnykh anomalii i deformatsii s ispolzovaniem stomatologicheskikh KAPP : dis. ... kand. med. nauk : 14.01.14 [State of Organs and Tissues of the Oral Cavity during the Correction of Dentoalveolar Anomalies and Deformities using Occlusal Slint: Thesis of MD: 01/14/14] / Gevorkyan Tatyana Vladimirovna. – M., 2014. [in Russian]
5. Gushchina N. V. Vliyanie napryazhennogo sostoyaniya tverdykh tkanei zuba na demineralizatsiyu emali pri ortodonticheskom lechenii s ispolzovaniem breket-sistem [Influence of the Stress State of Hard Tooth Tissues on Enamel Demineralization during Orthodontic Treatment using Bracket Systems] / N.V. Gushchina, V.S. Pechenov, Yu. I. Nyashin // Novoye v stomatologii [New in Dentistry]. – 2000. – No. 2. [in Russian]
6. Zhanabilov A. A. Mikrobiotsenoz polosti rta u ortodonticheskikh patsientov [Microbiocenosis of the Oral Cavity in Orthodontic Patients] / A. A. Zhanabilov, K. S. Mukhtarova, S. T. Tuleutaeva [et al.] // ISRM. – 2015. – No. 1-4 (32). [in Russian]
7. Levkovich D. V. Izmenenie mikroflory polosti rta na rannikh stadiyakh ortodonticheskogo lecheniya na nesyemnoi apparature : dis. ... kand. med. nauk : 14.01.14 [Change in the Microflora of the Oral Cavity in the Early Stages of Orthodontic Treatment with Fixed Appliances: Thesis of MD: 01/14/14] / Levkovich Daria Vladimirovna. – SPb., 2011. [in Russian]
8. Sampiev A. T. Effektivnost profilaktiki zabolevaniy tkanei parodonta pri ortodonticheskom lechenii detei i podrostkov : dis. ... kand. med. nauk : 14.00.21 [Effectiveness of the Prevention of Periodontal Tissue Diseases in the Orthodontic Treatment of Children and Adolescents: Thesis of MD: 14.00.21] / Sampiev, Akhmed Tablikhanovich. – M., 2005. [in Russian]
9. Shadi T. E. D. Kharakteristika chastoty i rasprostranennosti oslozhnenii, vznikayushchikh v protsesse ortodonticheskogo lecheniya neyemnymi apparatami v gorode Voronezhe : dis. ... kand. med. nauk : 14.01.14 [Frequency and Prevalence of Complications Arising in the Process of Orthodontic Treatment with Fixed Appliances in the City of Voronezh: Thesis of MD: 01/14/14] / Shadi Talal Elias Dauleh. – Voronezh, 2012. [in Russian]
10. Lim B. S. Quantitative analysis of adhesion of cariogenic streptococci to orthodontic raw materials / B. S. Lim, S. J. Lee, J. W. Lee and others // Am. J. Orthod. Dentofacial. Orthop. – 2008. – Vol. 133, No. 6.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.87.9.013>**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАРУШЕНИЯ ЛАКТАЦИИ ПО УРОВНЮ ГОРМОНОВ ПЛАЦЕНТЫ ПОСЛЕ ЭКСТРАКОРПОРАЛЬНОГО ОПЛОДОТВОРЕНИЯ**

Научная статья

Самчук П.М.^{1,*}, Розалиева Ю.Ю.²¹ ORCID: 0000-0001-7882-8922;² ORCID: 0000-0003-3577-6178;^{1,2} Первый Московский Государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова, Минздрава России, Москва, Россия

* Корреспондирующий автор (dr_samchuk[at]mail.ru)

Аннотация

Проведено изучение возможности прогнозирования нарушения лактации по уровню гормонов плаценты у женщин после ЭКО и ПЭ в зависимости от формы бесплодия, при одноплодной, доношенной беременности. Исследования проведены в трех подгруппах с трубно-перитонеальным, эндокринным и мужским фактором бесплодия, которые сравнивались с самостоятельно наступившей беременностью. Проведена оценка гормональной функции плаценты, выявлена высокая частота компенсированной плацентарной недостаточности в группе ЭКО. В подгруппах отмечалось снижение выработки плацентой гормонов (прогестерон, эстриол, плацентарный лактоген), подготавливающих молочные железы к лактации, что отразилось на снижении нормальной лактации на 5 сутки во всех подгруппах. Делается вывод о связи повышенной частоты нарушения лактации (гипогалактии) в первые две недели после родов со снижением гормональной функции плаценты.

Ключевые слова: гормоны плаценты, нарушения лактации, плацентарная недостаточность, экстракорпоральное оплодотворение.

FORECASTING LACTATION DISTURBANCES BY PLACENTA HORMONE LEVEL AFTER IN VITRO FERTILIZATION

Research article

Samchuk P.M.^{1,*}, Rozalieva Yu.Yu.²¹ ORCID: 0000-0001-7882-8922;² ORCID: 0000-0003-3577-6178;^{1,2} I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Ministry of Health of Russia (Sechenov University), Moscow, Russia

* Corresponding author (dr_samchuk[at]mail.ru)

Abstract

A study was made of the possibility of forecasting lactation disturbances by the level of placental hormones in women after in vitro fertilization (IVF) and embryo transfer (ET) depending on the form of infertility in a single-term, full-term pregnancy. The studies were carried out in three subgroups with tubal-peritoneal, endocrine, and male infertility factors, which were compared with an independent pregnancy. We assessed the hormonal function of the placenta, revealed a high frequency of compensated placental insufficiency in the IVF group. In the subgroups, there was a decrease in the production of placenta hormones (progesterone, estradiol, placental lactogen) preparing the mammary glands for lactation, which was reflected in a decrease of normal lactation by 5 days in all subgroups. It is concluded that the increased incidence of lactation (hypogalactia) in the first two weeks after birth is associated with a decrease in the hormonal function of the placenta.

Keywords: placental hormones, lactation disturbances, placental insufficiency, in vitro fertilization.

Введение

В молочной железе во время беременности, под влиянием гормонов плаценты происходят изменения, влияющих на лактогенез. Эстрогены индуцируют развитие альвеол, под их влиянием увеличивается число железистых протоков их ветвление и отложение в железистой ткани значительного количества жира. Под влиянием прогестерона и плацентарного лактогена, происходит дифференциация млечных протоков и альвеол, увеличивается синтез казеина, лактоглобулина и лактоальбумина. Несмотря на повышение при беременности уровня пролактина, лактация у большинства беременных женщин не происходит, так как на уровне альвеолярных рецепторов ему противодействуют эстрогены и прогестерон. Снижение концентрации эстрогенов и прогестерона в крови после родов в течение 48 часов, стимулирует начало лактации [1, Р. 795-816], [2, С. 123], [3, Р. 432-435]. При физиологическом течении беременности гормоны плаценты завершают маммогенез и становлении секреторной функции молочных желез в предлактационном периоде. При формировании плацентарной недостаточности во время беременности, снижается гормон продуцирующая функция плаценты, которая оказывает отрицательное влияние на изменения как протоков, так и альвеол молочной железы [4, С. 5-15]. Беременность, наступившая в результате экстракорпорального оплодотворения и переноса эмбриона (ЭКО и ПЭ), рассматривается, как один из факторов риска по развитию плацентарной недостаточности, при которой страдает гормон продуцирующая функция плаценты [5, С. 139-141], [6, С. 49-53]. При беременности после ЭКО и ПЭ, частота плацентарной недостаточности наблюдается более чем в 70% случаев, синдром задержки роста плода (СЗРП), как проявление ПН возникает с частотой от 18 до 30% [7, С. 20-24], [8, Р. 340-346], [9, С. 44-48]. Сегодня выявлены прямые клиничко-патогенетические параллели, между степенями тяжести плацентарной недостаточности и выраженностью ранней гипогалактии [10, С. 24], [11, С. 5-12]. При родоразрешении беременных после ЭКО и ПЭ предпочтение отдается оперативному методу, что является тревожным фактом, так как,

частота кесарева сечения (КС) колеблется от 26,5% - до 98,1% случаев, а родоразрешение путем операции кесарева сечения может способствовать угнетению лактационной функции [12, Р. 2878-2886], [13, Р. 377-380]. После планового кесарева сечения отмечаются нарушения эндокринной регуляции лактации, секреции и выделения молока [14, С. 109-112]. В настоящее время недостаточно информации о риске развития нарушений лактационной функции, степени ее тяжести у рожениц, беременность которых наступила после ЭКО и ПЭ. Вышеизложенное указывает на необходимость изучить возможность прогнозирования влияния гормональной функции плаценты при беременности, наступившей после ЭКО и ПЭ в зависимости от формы бесплодия, на особенности становления лактации.

Цель исследования - изучить возможности прогнозирования нарушения лактации по уровню гормонов плаценты у женщин после ЭКО и ПЭ в зависимости от формы бесплодия.

Материалы и методы исследования

Проведена оценка течения беременности, раннего периода лактации у 119 женщин с одноплодной, доношенной беременностью. Все женщины были разделены на 2 клинические группы: I-ю группу (основную) составили женщины (n=72) с одноплодной беременностью, наступившей в результате ЭКО и ПЭ. В свою очередь I-я клиническая группа была разделена на 3 подгруппы в зависимости от этиологического фактора бесплодия. В I₁ подгруппу (n=34) включены беременные с трубно-перитонеальной формой бесплодия, во I₂ подгруппу (n=22) – беременные с эндокринной формой бесплодия, в I₃ подгруппу (n=16) – беременные с мужским фактором бесплодия. Во II-ю группу (контрольную) – вошли женщины (n=47) с одноплодной, самостоятельно наступившей беременностью. Трубно-перитонеальная форма бесплодия характеризовалась нарушением функции и/или строения маточных труб, обусловленное спаечным процессом в области малого таза. Эндокринная форма бесплодия характеризовалась нерегулярной овуляцией и/или ее отсутствием, следствием нарушения функции щитовидной железы, половых гормонов или гипоталамо-гипофизарной регуляции. Мужское бесплодие характеризовалось наличием патологии сперматогенеза. Клиническое обследование включало течение беременности; определение среднесуточного количества молока проводилось на 5-е сутки и оценивалось методом взвешивания новорожденного до и после кормления на электронных весах (ошибка при взвешивании составляла $2,5 \pm 1,0$ гр.); Во время беременности плацента выступает как важный орган эндокринной системы, продуцируя большое количество гормонов. Главным эстрогеном, образующимся в плаценте, является эстриол. Его концентрации составляют до 90% всех эстрогенов, обнаруживаемых в моче беременных женщин. Уровень выведения эстриола возрастает со сроком беременности, варьируя от 2 нг/мл при сроке 16 недель до 35-40 нг/мл к моменту родов. Эстрогены оказывают влияние на кровоток в сосудах матки, увеличивают экспрессию белков, необходимых для синтеза прогестерона и метаболизма стероидов, а также влияют на подготовку молочных желез к лактации. Прогестерон имеет важное значение для прогрессирования беременности, модулирует материнский иммунный ответ и подготовку молочных желез к лактации [15, Р. 50-59]. К гормонам, регулирующим материнский метаболизм, рост плода, подготовку молочных желез относятся плацентарный лактоген и пролактин. Плацентарный лактоген играет роль в поглощении кальция и развитии молочных желез. Показано, что женщины с дефицитом плацентарного лактогена успешно вынашивают беременность, однако у них отмечаются задержка в развитии молочных желез к лактации и компенсаторно-высокие уровни пролактина [16, Р. 504-525]. Для оценки гормонов плаценты и влияния их на подготовку молочных желез к лактации, всем беременным во II и III триместрах проводилось исследование содержания в сыворотке крови эстриола, прогестерона, плацентарного лактогена (ПЛ). Определение уровня данных гормонов проводилось в оптимальные сроки: 16-18 недель, 28-32 недели, 37-38 недель, путем иммунохемилюминесценции на автоматическом анализаторе Architect 2000 (Abbott, США), Immulite 2000 (Siemens, Германия).

Результаты исследования

При анализе показателей обследованных женщин было отмечено, что средний возраст пациенток в исследуемых группах не имел статистически значимых различий и составил $29,3 \pm 2,1$ и $30,2 \pm 1,4$ лет соответственно ($p > 0,05$). При анализе социального статуса пациенток обеих групп, статистические различия также не установлены ($p > 0,05$). Достоверно чаще у пациенток основной группы преобладал “женский фактор” бесплодия, который составил 75% случаев (48,61% - трубно-перитонеальный фактор, 26,39% - эндокринный), мужской фактор составил 25% ($p < 0,05$). У женщин I исследуемой группы частота эндокринной патологии не имела достоверных различий с пациентками II исследуемой группы, и составляла 5,56 % (4 женщины) в I группе и 4,2% (2 женщины), во II группе соответственно ($p > 0,05$). При этом в ходе сравнения исследуемых подгрупп частота эндокринной патологии была значительно выше в I₂ подгруппе (10,5%) по сравнению с I₁ и I₃ подгруппами (2,9% и 5,6% соответственно) ($p < 0,05$). Таким образом, приведенные выше данные указывают на сопоставимость основной и контрольной группы. Для постановки диагноза плацентарной недостаточности основными критериями служили: снижение показателей уровня гормонов плаценты, задержка роста плода, нарушения фето- и маточно- плацентарного кровотока при доплерометрии, наличие признаков внутриутробного страдания плода по данным кардиотокографии, преждевременное “старение” плаценты, маловодие по данным ультразвукового обследования. Исследование уровня прогестерона в I клинической группе позволило выявить следующую динамику: в сроки гестации 16-18 недель отмечалась достоверно высокую концентрацию уровня прогестерона в сравнении со II (144,2 \pm 8,45 нмоль/л) исследуемой группой, достигая значений в I₁ подгруппе - 172,2 \pm 10,72 нмоль/л во I₂ подгруппе 171,1 \pm 9,93 нмоль/л и 168,2 \pm 8,27 нмоль/л в I₃ подгруппе ($p < 0,05$). Это повышение, вероятно, связано с назначением дополнительного микроинизированного прогестерона до 28-32 недель пациенткам группы ЭКО и ПЭ. В сроке беременности 28-32 недели статистически значимых различий уровня гормона прогестерона в группах не отмечалось, однако в 37-38 недель в подгруппе пациенток с эндокринным фактором бесплодия данный показатель был значительно ниже (331,5 \pm 10,64 нмоль/л), относительно II исследуемой группы (385,2 \pm 24,28 нмоль/л) ($p < 0,05$), что можно связать со снижением гормонопродуцирующей функции в подгруппе женщин с эндокринной формой бесплодия и расценить, как фактор риска развития плацентарной недостаточности и задержки в подготовке молочной железы к лактации (см. рисунок 1).

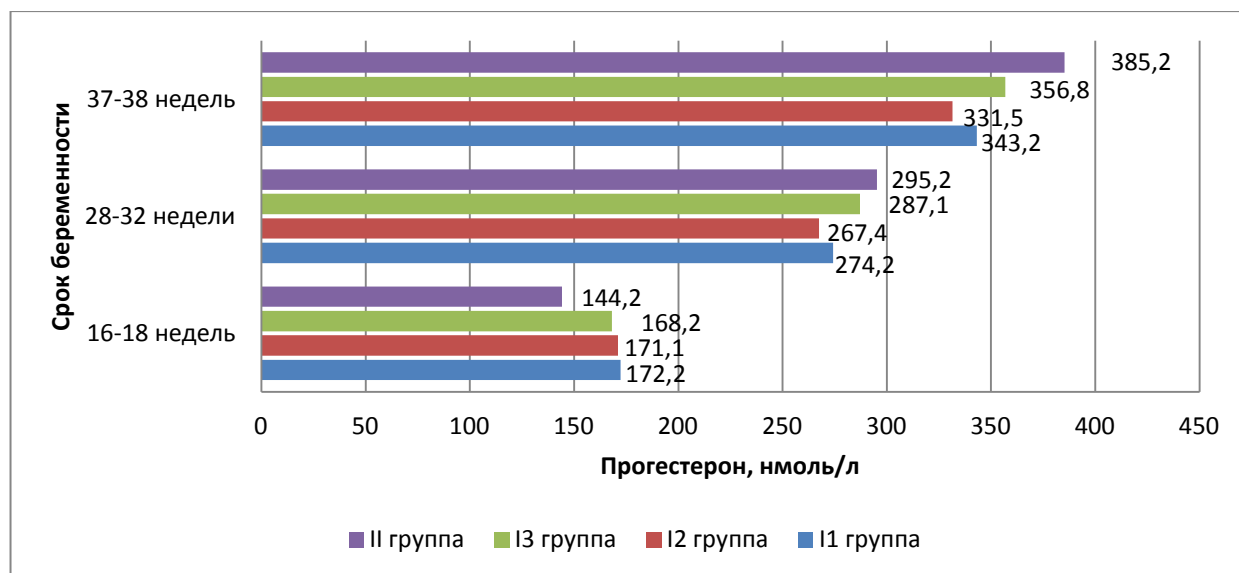


Рис. 1 – Уровень прогестерона у беременных групп сравнения

Уровень эстриола в группе женщин с трубно-перитонеальным фактором бесплодия в сроке 16-18 недель составил $2,87 \pm 1,42$ нг/мл, у женщин с эндокринной формой - $3,36 \pm 1,10$ нг/мл, у беременных с мужским фактором бесплодия уровень эстриола составил - $4,73 \pm 1,37$ нг/мл. Статистически значимые различия по сравнению со II ($6,17 \pm 0,81$ нг/мл) исследуемой группой отмечались в I₁ и I₂ подгруппах ($p < 0,05$). В сроке беременности 28-32 недели статистически значимые различия не отмечены. В течение беременности и в сроке 37-38 недель, уровень эстриола в I исследуемой группе повышался в незначительной степени был достоверно снижен по сравнению со II исследуемой группой ($p < 0,05$). Так в сроке гестации 37-38 недель достоверные различия показателя уровня эстриола отмечались во всех исследуемых подгруппах ($25,21 \pm 0,22$ нг/мл, $23,47 \pm 0,87$ нг/мл и $26,08 \pm 0,29$ нг/мл соответственно) и были ниже в сравнении со II исследуемой группой ($28,91 \pm 0,98$ нг/мл) ($p < 0,05$). Показатели плацентарного лактогена в 28-32 недели беременности в I₁ и I₂ подгруппах составил $6,39 \pm 0,69$ нмоль/л и $6,28 \pm 0,62$ нмоль/л, что являлось достоверно ниже уровня данного гормона во II-й исследуемой группе, где уровень плацентарного лактогена составил $8,85 \pm 0,53$ нмоль/л ($p < 0,05$). Схожая динамика сохранилась и в сроке 37-38 недель беременности, где в I₁ и I₂ подгруппах уровень плацентарного лактогена составил $7,23 \pm 0,59$ нмоль/л и $6,81 \pm 0,52$ нмоль/л, что было достоверно ниже II-й исследуемой группы, где его $9,28 \pm 0,82$ нмоль/л ($p < 0,05$). Полученные результаты указывают на снижение гормонопродуцирующей функции плаценты в группе женщин с ЭКО и ПЭ при разных формах бесплодия. Отмеченное снижение уровней плацентарных гормонов (прогестерона, эстриола, плацентарного лактогена), отвечающих за подготовку молочных желез и становление лактации указывало на высокую вероятность нарушения механизмов маммо- и лактогенеза в предродовом периоде. Комплексная оценка состояния фетоплацентарной системы, выявила высокую частоту ПН, которая составляла 69,4% в I группе пациенток с беременностью после ЭКО и ПЭ, во II группе наблюдалась только компенсированная форма ПН частота которой составили 18,7%, что явилось достоверно значимым различием ($p < 0,05$). Наиболее высокая частота ПН, встречалась в подгруппе с эндокринной формой бесплодия, причем эта тенденция отмечалась на протяжении всей беременности. Плацентарная недостаточность с высокой частотой коррелирует с нарушениями лактационной функции и гипогалактии. Эти нарушения патогенетически связаны со структурно-функциональными изменениями в плодово-плацентарном комплексе и обусловлены дисбалансом нейроэндокринной регуляции [17, Р. 30-36]. Для оценки лактационной функции в раннем послеродовом периоде у рожениц после ЭКО и ПЭ учитывалась форма бесплодия и метод родоразрешения. Прикладывание к груди проводилось в первые 2 часа после родов не зависимо от метода родоразрешения. На всех этапах становления лактации проводилась индивидуальная психологическая поддержка всем женщинам по сохранению грудного вскармливания, а также выполнялся легкий массаж молочных желез, начиная с 3-х суток после каждого кормления, к периоду становления «зрелого» молока. Определение среднесуточного количества молока в группах сравнения проводилось на 5-е сутки к периоду становления «зрелого» молока и оценивалось методом взвешивания новорожденного на электронных весах до и после кормления. Получены следующие результаты: у рожениц с ЭКО и ПЭ после самопроизвольных родов в I₁ и I₂ подгруппах отмечались сниженные объемы молока ($575 \pm 61,2$ и $564 \pm 62,1$ мл, соответственно) по сравнению со II-й клинической группой ($659,1 \pm 54,2$ мл) (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Среднесуточное количество молока и характер лактационной функции у женщин групп сравнения после самопроизвольных родов

Лактационная функция	I группа (n=19)			II группа (n=37)
	I ₁ (n=8)	I ₂ (n=5)	I ₃ (n=6)	
Среднесуточное количество молока, мл (M±σ)	575±61,2*	564±62,1*	606±54,3	659±54,2
Нормальная лактация, абс. (P)	5 (62,75%)	3 (60%) **	4 (66,66%)	34 (91,89%)
Гипогалактия I степени	2 (24,75%) *	-	1 (16,67%)	2 (5,41%)
Гипогалактия II степени	1 (12,5%)	1 (20%) *	1 (16,67%)	1 (2,7%)
Гипогалактия III степени	-	1 (20%)	-	-

Примечание: * – ($p < 0,05$), ** – ($p < 0,001$) статистически значимые различия, выявленные между I₁ или I₂ подгруппой и II-й контрольной группой. Различий между подгруппами группы I не обнаружены

Среднесуточное количество молока в I₂ исследуемой подгруппе у женщин с эндокринным фактором бесплодия на 14%, было снижено по сравнению с контрольной группой. У пациенток после ЭКО и ПЭ, нарушение лактационной функции в виде гипогалактии было отмечено у 36,84% женщин, а в контрольной группе - 8,11% случаев ($p < 0,05$). Полное отсутствие молока (агалактия) у исследуемых пациенток не отмечалась. В I₁ подгруппе у 24,75% женщин, в сравнении со II исследуемой группой (5,41%) отмечалось значительное повышение числа пациенток с гипогалактией I степени ($p < 0,05$), при которой дефицит молока не превышал 25%. Кроме того, в I₂ подгруппе у женщин с эндокринным фактором бесплодия отмечалось значительное повышение доли пациенток с гипогалактией II степени (20%) по сравнению со II исследуемой группой (2,7%), в этой же подгруппе у 1 пациентки отмечалась гипогалактия III степени, при которой дефицит молока достигал 75%. Во второй группе гипогалактия I степени отмечалась в 5,41% случаев, гипогалактия II степени в 2,7% случаев. Гипогалактия III степени во II исследуемой группе не отмечалась. После самостоятельных родов, при выписке из стационара на 5-6-е сутки подавляющее большинство детей находилось только на грудном вскармливании, так во II группе этот показатель составил 91, 89%, в I-й группе данный показатель был равен: в I₁ подгруппе – 60%, в I₂ подгруппе – 44,4%, в I₃ подгруппе – 66,7%, остальные новорожденные находились на частичном грудном и/или искусственном вскармливании. При оценке состояния лактационной функции после оперативных родов у женщин основной группы, во I₂ подгруппе отмечалось значительное снижение показателя лактации (527±65,6) по сравнению со II клинической группой (605,1±49,8). Среднесуточное количество молока в I₂ исследуемой подгруппе у женщин с эндокринным бесплодием было снижено на 15,4% по отношению к группе контроля. В подгруппах I₁ и I₂ (23,53%) и (30%) соответственно, отмечалось значительное снижение нормальной лактации в сравнении со II исследуемой группой - 60% ($p < 0,05$). В группе ЭКО и ПЭ, нарушение лактационной функции в виде гипогалактии 1,2,3 степеней было выявлено у 71,7%, а в контрольной группе – 40%, что явилось достоверным различием ($p < 0,05$). Полное отсутствие молока (агалактия) у исследуемых пациенток отмечалось у 1 (5,88%) женщины в группе пациенток с эндокринным фактором бесплодия. В I₁, I₂ и I₃ подгруппах (26,94%), (23,52%) и (30%) соответственно, в сравнении со II исследуемой группой (20%) отмечалось значительное повышение числа пациенток с гипогалактией I степени ($p < 0,05$). При выписке из стационара на 5-6-е сутки после операции на полном грудном вскармливании находилось 66,7% детей II группы, а в I₁ группе 52% детей, в I₂ подгруппе – 40%, во I₃ подгруппе – 46,7%. При гипогалактии I степени в обеих группах, после выписки из стационара, нормализация лактации происходила до 12-14 суток послеродового периода. Оценивая лактацию на 12-14 сутки после родов, 12(16,7%) детей в группе пациенток после ЭКО и ПЭ находилось на полном искусственном вскармливании, в контрольной 1(2,1%), что явилось достоверно значимым ($p < 0,05$). На частичном грудном, находилось 10(13,9%) детей основной и 3(6,4%) ребенка группы контроля, различий между группами не выявлено ($p > 0,05$). На полном грудном вскармливании находилось 50(69,4%) детей основной и 43(91,5%) в группе контроля соответственно, что явилось достоверно значимым показателем ($p < 0,05$).

Заключение

Оценка гормональной функции плаценты у женщин с одноплодной беременностью после самостоятельно наступившей и беременности после ЭКО и ПЭ в зависимости от формы бесплодия, показала возникновение высокой частоты компенсированной формы плацентарной недостаточности в группе ЭКО и снижение гормон продуцирующей функции плаценты. Отсутствие полноценной первой стадии лактогенеза в дородовом периоде привело к нарушению становления ранней лактации и к повышению частоты гипогалактии после родоразрешения. Снижение уровня гормонов плаценты явилось важным критерием в прогнозировании замедленного становления лактации в первые две недели от момента родов. Исследования показали приоритет самостоятельных родов над оперативными в снижении гипогалактии в группе женщин после ЭКО и ПЭ при различных формах бесплодия. Наиболее значимые нарушения становления лактации отмечаются в подгруппах с эндокринной и трубно-перитонеальной формами бесплодия и женщин родоразрешенных оперативным методом. Гипогалактию у родильниц после ЭКО и ПЭ следует рассматривать, как обратимый процесс, так как после родов процессы лактопоэза регулируются пролактином – гормоном лактации, который по данным многих авторов продуцируется при выполнении основных принципов грудного вскармливания предложенной ВОЗ и физических воздействий на молочные железы после родов [18, Р. 1038-1040], [19, Р. 134-140].

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Kallen C. B. Steroid hormone synthesis in pregnancy / C. B. Kallen // *Obstet Gynecol Clin North Am.* – 2004. – № 31 (4). – P. 795-816.
2. Протопопова Н. В. Физиологические изменения в организме женщины при беременности / Н. В. Протопопова, П. М. Самчук, В. В. Суховская. – Иркутск, 2005. – 123 с.
3. Mandel D. Fat and energy contents of expressed human breast milk in prolonged lactation / D. Mandel, R. Lubetzky, S. Dollberg and others // *Pediatrics.* – 2005. – № 116 (3). – P. 432-435.
4. Тезиков Ю. В. Оптимизация естественного вскармливания: про-филактика нарушений становления лактации при плацентарной недостаточности / Ю. В. Тезиков, И. С. Липатов, Д. В. Печкуров и др. // *Вопросы детской диетологии.* – 2018. – № 16 (5). – С. 5-15.
5. Гмошинская М. В. Факторы, влияющие на лактацию / М. В. Гмошинская // *Вопросы современной педиатрии.* – 2013. – № 12 (2). – С. 139-141.
6. Иакашвили С. Н. Влияние гормонов плаценты на подготовку родовых путей у женщин с беременностью, наступившей после экстракорпорального оплодотворения и трансплантации эмбриона, в зависимости от формы бесплодия / С. Н. Иакашвили, П. М. Самчук // *Вопросы гинекологии, акушерства и перинатологии.* – 2017. – № 16 (4). – С. 49-53.
7. Стрижаков А. Н. Беременность после экстракорпорального оплодотворения: течение, осложнения, исходы / А. Н. Стрижаков, В. М. Здановский, З. М. Мусаев и др. // *Акушерство и гинекология.* – 2001. – № 6. – С. 20-24.
8. Plowden T. C. Disparities in obstetrical outcomes in ART pregnancies compared with natural conceptions / T. C. Plowden, C. M. Novak, C. Y. Spong // *Semin Reprod Med.* – 2013. – № 31. – P. 340-346.
9. Иакашвили С. Н. Ультразвуковая и лабораторная диагностика плацентарной недостаточности у беременных после экстракорпорального оплодотворения в зависимости от формы бесплодия / С. Н. Иакашвили, П. М. Самчук // *Российский вестник акушера-гинеколога.* – 2017. – № 17. – С. 44-48.
10. Приходько А. В. Особенности становления лактации, прогнозирование и коррекция ее нарушений при плацентарной недостаточности: автореф. дис. ... канд. мед. наук : 14.01.01 / Приходько Анастасия Владимировна. – Самара, 2018. – 24 с.
11. Стрижаков А. Н. Стандартизация диагностики и клиническая классификация хронической плацентарной недостаточности / А. Н. Стрижаков, И. С. Липатов, Ю. В. Тезиков, М. А. Шарыпова // *Вопросы гинекологии, акушерства и перинатологии.* – 2014. – № 13 (3). – С. 5-12.
12. Sazonova A. Factors affecting obstetric outcome of singletons born after IVF / A. Sazonova, K. Kallen, A. Thurin-Kjellberg and others // *Hum Reprod.* – 2011. – № 26. – P. 2878-2886.
13. Spong C. Y. Prevention of the first cesarean delivery / C. Y. Spong // *Obstet Gynecol Clin North Am.* – 2015. – № 42. – P. 377-380.
14. Алиева Д. Х. Особенности лактации у родильниц после оперативного родоразрешения на фоне гестоза / Д. Х. Алиева // *Уральский медицинский журнал.* – 2007. – № 1. – С. 109-112.
15. Fowden A. L. Review: Endocrine regulation of placental phenotype / A. L. Fowden, A. J. Forhead, A. N. Sferruzzi-Perri and others // *Placenta.* – 2015. – № 36 (Suppl 1). – P. S50-59.
16. Brooks C. L. Molecular mechanisms of prolactin and its receptor / C. L. Brooks // *Endocr Rev.* – 2012. – № 33. – P. 504-525.
17. Липатов И. С. Прогнозирование и коррекция нарушений лактационной функции с использованием видимого инфра-красного поляризованного света на этапе лактогенеза / И. С. Липатов, Ю. В. Тезиков, М. А. Есартя // *Российский вестник акушера-гинеколога.* – 2008. – № 8 (2). – С. 30-36.
18. Chu J. Y. [The effect of breast massage at different time in the early period after cesarean section] / J. Y. Chu, L. Zhang, Y. J. Zhang and others // *Chin J Prev Med.* – 2017. – № 51 (11). – P. 1038-1040. [In Chinese] DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-9624.2017.11.016
19. Bai Y. K. Psychosocial factors underlying the mother's decision to continue exclusive breastfeeding for 6 months: an elicitation study / Y. K. Bai, S. E. Middlestadt, C. Y. Joanne Peng, A. D. Fly // *J Hum Nutr Diet.* – 2009. – № 22. – P. 134-40.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kallen C. B. Steroid hormone synthesis in pregnancy / C. B. Kallen // *Obstet Gynecol Clin North Am.* – 2004. – № 31 (4). – P. 795-816.
2. Protopopova N. V. Fiziologicheskie izmenenija v organizme zhenshhiny pri beremennosti [Physiological changes in women body during pregnancy] / N. V. Protopopova, P. M. Samchuk, V. V. Suhovskaja. – Irkutsk, 2005. – 122 p. : illustr. [in Russian]
3. Mandel D. Fat and energy contents of expressed human breast milk in prolonged lactation / D. Mandel, R. Lubetzky, S. Dollberg and others // *Pediatrics.* – 2005. – № 116 (3). – P. e432-435.
4. Tezikov Ju. V. Optimizacija estestvennogo vskarmlivanija: pro-filaktika narushenij stanovlenija laktacii pri placentarnoj nedostatochnosti [Optimization of natural feeding: prevention of impairments of lactation formation in placental insufficiency] / Ju. V. Tezikov, I. S. Lipatov, D. V. Pechkurov and others // *Voprosy detskoj dietologii [Pediatric Nutrition].* – 2018. – № 16 (5). – P. 5-15. [in Russian]
5. Gmshinskaja M. V. Faktory, vlijajushhie na laktaciju [Factors Influencing on Lactation] / M. V. Gmshinskaja // *Voprosy sovremennoj pediatrii [Current Pediatrics].* – 2013. – № 12 (2). – P. 139-141.
6. Iakashvili S. N. Vlijanie gormonov placenty na podgotovku rodovyh putej u zhenshhin s beremennost'ju, nastupivshej posle jekstra-korporal'nogo oplodotvorenija i transplantacii jembriona, v zavisimosti ot formy besplodija [Influence of placental hormones on preparation of the birth canal in women with pregnancy after in vitro fertilisation and embryo transfer, depending on the form of infertility] / S. N. Iakashvili, P. M. Samchuk // *Voprosy ginekologii, akusherstva i perinatologii [Gynecology, Obstetrics and Perinatology].* – 2017. – № 16 (4). – P. 49-53. [in Russian]

7. Strizhakov A. N. Beremennost' posle jekstrakorporal'nogo oplodotvorenija: techenie, oslozhnenija, ishody [Pregnancy after in vitro fertilization: course, complications, outcomes] / A. N. Strizhakov, V. M. Zdanovskij, Z. M. Musaev and others // Akusherstvo i ginekologija [Obstetrics and gynecology]. – 2001. – № 6. – P. 20-24. [in Russian]
8. Plowden T. C. Disparities in obstetrical outcomes in ART pregnancies compared with natural conceptions / T. C. Plowden, C. M. Novak, C. Y. Spong // Semin Reprod Med. – 2013. – № 31. – P. 340-346.
9. Iakashvili S. N. Ul'trazvukovaja i laboratornaja diagnostika placentarnoj nedostatochnosti u beremennyh posle jekstrakorporal'nogo oplodotvorenija v zavisimosti ot formy besplodija [Ultrasound and laboratory diagnosis of placental insufficiency in pregnant women after fertilization depending on the type of infertility] / S. N. Iakashvili, P. M. Samchuk // Rossijskij vestnik akushera-ginekologa [Russian Bulletin of Obstetrician-Gynecologist]. – 2017. – № 17. – P. 44-48. [in Russian]
10. Prihod'ko A.V. Osobennosti stanovlenija laktacii, prognozirovanie i korekcija ee narushenij pri placentarnoj nedostatochnosti [Features lactation development, prognosis and correction disturbances in placental insufficiency] : avtoref. dis. ... of PhD in Medicine : 14.01.01 / Prihod'ko Anastasija Vladimirovna Samara. – 2018. – 24 p. [in Russian]
11. Strizhakov A. N. Standartizacija diagnostiki i klinicheskaja klassifikacija hronicheskoi placentarnoi nedostatochnosti [Standardization of diagnosis and clinical classification of chronic placental insufficiency] / A. N. Strizhakov, I. S. Lipatov, Ju. V. Tezиков, M. A. Sharypova // Voprosy ginekologii, akusherstva i perinatologii [Gynecology, Obstetrics and Perinatology]. – 2014. – № 13 (3). – P. 5-12. [in Russian]
12. Sazonova A. Factors affecting obstetric outcome of singletons born after IVF / A. Sazonova, K. Kallen, A. Thurin-Kjellberg and others // Hum Reprod. – 2011. – № 26. – P. 2878-2886.
13. Spong C. Y. Prevention of the first cesarean delivery / C. Y. Spong // Obstet Gynecol Clin North Am. – 2015. – № 42. – P. 377-380.
14. Alieva D. X. Osobennosti laktacii u rodil'nic posle operativnogo rodorazreshenija na fone gestoza [Lactation in puerpera women after operative delivery because gestosis] / D. H. Alieva // Ural'skij medicinskij zhurnal [Ural Medical Journal]. – 2007. – № 1. – P. 109-112. [in Russian]
15. Fowden A. L. Review: Endocrine regulation of placental phenotype / A. L. Fowden, A. J. Forhead, A. N. Sferruzzi-Perri and others // Placenta. – 2015. – № 36 (Suppl 1). – P. S50-59.
16. Brooks C. L. Molecular mechanisms of prolactin and its receptor / C. L. Brooks // Endocr Rev. – 2012. – № 33. – P. 504-525.
17. Lipatov I. S. Prognozirovanie i korekcija narushenij laktacionnoj funkicii s ispol'zovaniem vidimogo infra-krasnogo poljarizovannogo sveta na jetape laktogeneza [Prediction and correction of lactating dysfunction, by using a visible infrared polarized light at the stage of lactogenesis] / I. S. Lipatov, Ju. V. Tezиков, M. A. Esartija // Rossijskij vestnik akushera-ginekologa [Russian Bulletin of Obstetrician-Gynecologist]. – 2008. – № 8 (2). – P. 30-36. [in Russian]
18. Chu J. Y. [The effect of breast massage at different time in the early period after cesarean section] / J. Y. Chu, L. Zhang, Y. J. Zhang and others // Chin J Prev Med. – 2017. – № 51 (11). – P. 1038-1040. [In Chinese] DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-9624.2017.11.016
19. Bai Y. K. Psychosocial factors underlying the mother's decision to continue exclusive breastfeeding for 6 months: an elicitation study / Y. K. Bai, S. E. Middlestadt, C. Y. Joanne Peng, A. D. Fly // J Hum Nutr Diet. – 2009. – № 22. – P. 134-40.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.87.9.014>**ТЕЧЕНИЯ БЕРЕМЕННОСТИ И РОДОВ У ПЕРВОРОДЯЩИХ ПОДРОСТКОВ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

Научная статья

Самчук П.М.^{1,*}, Розалиева Ю.Ю.²¹ ORCID: 0000-0001-7882-8922;² ORCID: 0000-0003-3577-6178;^{1,2} Первый Московский Государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова, Минздрава России, Москва, Россия

* Корреспондирующий автор (dr_samchuk[at]mail.ru)

Аннотация

Беременность и роды у первородящих подростков, является серьезной акушерской проблемой, поскольку число осложнений у них значительно выше, чем у беременных старше 18 лет. В группе подростков отмечается позднее обращение для постановки на учет по беременности, нерегулярное посещение, высокая частота гипохромной анемии. Ведущим осложнением в родах, является слабость родовых сил и дискоординированная родовая деятельность, которые являются показаниями к оперативному родоразрешению в этой группе. Послеродовой период отмечен повышенной частотой гипотонического кровотечения.

Ключевые слова: беременность подростков, осложнения родов, кесарево сечение, аномалии родовой деятельности.

PREGNANCY AND CHILDBIRTH OF PREGNANT TEENAGERS UNDER MODERN CONDITIONS

Research article

Samchuk P.M.^{1,*}, Rozalieva Yu.Yu.²¹ ORCID: 0000-0001-7882-8922;² ORCID: 0000-0003-3577-6178;^{1,2} I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Ministry of Health of Russia (Sechenov University), Moscow, Russia

* Corresponding author (dr_samchuk[at]mail.ru)

Abstract

Pregnancy and childbirth in primiparous adolescents is a serious obstetric problem since the amount of complications is much higher than in pregnant women over 18 years of age. Later appeal for registration for pregnancy, irregular visits, and a high frequency of hypochromic anemia are typical in the group of adolescents. The leading complication in childbirth is the weakness of the labor force and disorganized labor activity, which are indications for surgical delivery in this group. The postpartum period is marked by an increased frequency of hypotonic bleeding.

Keywords: teenage pregnancy, labor complications, cesarean section, anomalies of labor.

Введение

Вынашивание беременности в подростковом возрасте - это серьезное испытание, так как процесс гестации протекает в условиях функциональной незрелости организма, неадекватности адаптационных механизмов и незавершенности психосексуального развития [1, С. 68-74], [2, Р. 781-800], [3, Р. 960]. Существующая в РФ возрастная классификация беременных, включает группу от 15 до 18 лет подростков, созревших для выполнения репродуктивной функции [4, С. 1200]. В последние годы отмечается прогрессирующее ухудшение репродуктивного здоровья подрастающего поколения. Современные подростки имеют низкий уровень физического развития, общесоматического здоровья и высокую распространенность гинекологической патологии. Это связано с ухудшением социально-экономических условий, качества питания, влиянием неблагоприятных факторов окружающей среды, особенностями сексуального поведения подростков. Беременность и роды у женщин, не достигших 18 лет, является серьезной медико-социальной проблемой, поскольку число осложнений у них может быть значительно выше, чем у взрослых рожениц [9, Р. 355-359], [10, С. 80-84], [11, С. 122]. В родах возможно развитие аномалий родовой деятельности, функционально узкого таза, гипоксии плода, кровотечения в послеродовом и послеродовом периодах, инфекционных заболеваний [12, С. 494], [13, С. 816], [14, С. 256]. Согласно данным статистического бюро ООН и рекомендациям ВОЗ, оптимальным возрастом для рождения детей является период 20-35 лет, однако на фоне снижения общих показателей фертильности женщин в мире продолжает расти частота беременностей среди подростков и юных. За год в мире рожают около 15 млн. девушек, а еще 5 млн. вынуждены прибегать к прерыванию беременности.

Цель исследования - изучение особенностей течения беременности и родов в современных условиях у первородящих подростков.

Материалы и методы исследования

Проведено обследование 129 пациенток, наблюдавшихся во время беременности и родоразрешенных в условиях Филиала ГКБ им. В. В. Вересаева ДЗ города Москвы за 2014-2018 годы. Все пациентки были разделены на 2 группы в зависимости от возраста на момент наступления беременности. Первую (основную) группу составили 99 подростков до 18 лет, среди них в возрасте 15 лет отмечено 8(8,1%), в возрасте 16 лет 21(21,2%), и в возрасте 17 лет – 70(70,7%) подростков. Средний возраст первородящих подростков составил 16,63±0,63 года. Вторую группу – сравнения (n = 30)

составили первобеременные женщины в возрасте старше 18 лет. Средний возраст женщин этой группы составил $24,5 \pm 4,6$ лет. Всем пациенткам было проведено клинко-лабораторное обследование регламентированное приказом Минздрава России № 572н от 12 ноября 2012 года «Об утверждении Порядка оказания медицинской помощи по профилю «Акушерство и гинекология (за исключением использования вспомогательных репродуктивных технологий) (с изменениями и дополнениями от 17 января 2014 г., 11 июня 2015 г., 12 января 2016 г.)». При оценке течения настоящей беременности использовалась классификация МКБ-10 (международная классификация болезней 10-го пересмотра). Статистический анализ полученных данных проводился на персональном компьютере с использованием программы STATISTICA 64 bit for Windows, а также статистических функций программы Microsoft Office Excel 2007. Анализ распределения полученных результатов в вариационном ряду оценивали с помощью критерия Колмогорова – Смирнова, а также согласно правилу двух и трех сигм (σ). При сравнении средних значений двух групп не связанных выборок, подчиняющихся закону нормального распределения, использовали t-критерий Стьюдента. Критерий Манна-Уитни применяли, если сравниваемые группы несвязанных выборок не подчинялись закону нормального распределения. Статистически значимыми считали различия в частотах при уровне значимости $p < 0,05$, так как при этом вероятность различия составляла более 95%.

Результаты исследования

Первое обращение в женскую консультацию в сроке до 12 недель беременности среди женщин группы сравнения отмечалось в $50 \pm 9,1\%$ ($n=15$) случаев, что было значительно выше, чем среди подростков - $14,1 \pm 3,5\%$ ($n=14$), $p < 0,001$. Частота первой явки в женскую консультацию в сроке 13-15 недель среди женщин группы сравнения составила $16,7 \pm 6,8\%$ ($n=5$), а среди подростков $18,2 \pm 3,9\%$ ($n=18$); в сроке 16-19 недель в группе сравнения - $16,7 \pm 6,8\%$ ($n=5$), у подростков $14,1 \pm 3,5\%$ ($n=14$); в сроке 20-24 недели для группы сравнения частота первой явки в женскую консультацию составила $13,3 \pm 6,2\%$ ($n=4$), для подростков $23,2 \pm 4,2\%$ ($n=23$), что не имело статистического различия ($p \geq 0,05$). Первая явка в женскую консультацию в сроке после 24 недель в группе сравнения отмечена у одной женщины $3,3 \pm 3,3\%$, в группе первородящих подростков эта частота составила $24,3 \pm 4,3\%$ ($n=24$) случаев ($p < 0,001$). В $6,1 \pm 2,4\%$ ($n=6$) случаев группа подростков не наблюдалась в женской консультации во время беременности, что не было отмечено среди женщин группы сравнения (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Сроки первого обращения в женскую консультацию

Сроки беременности	Группа сравнения ($n=30$)	Подростки первородящие ($n=99$)	p
До 12 недель	$n=15$ $50 \pm 9,1\%$	$n=14$ $14,1 \pm 3,5\%$	$p < 0,001$
12 - 15 недель	$n=5$ $16,7 \pm 6,8\%$	$n=18$ $18,2 \pm 3,9\%$	
16 - 19 недель	$n=5$ $16,7 \pm 6,8\%$	$n=14$ $14,1 \pm 3,5\%$	
20-24 недели	$n=4$ $13,3 \pm 6,2\%$	$n=23$ $23,2 \pm 4,2\%$	
После 24 недель	$n=1$ $3,3 \pm 3,3\%$	$n=24$ $24,3 \pm 4,3\%$	$p < 0,001$

Изучая особенности течения беременности у пациенток разных возрастных групп, мы выявили, что рвота беременных среди подростков встречалась в $30,3 \pm 4,6\%$ ($n=30$), а в группе сравнения в $36,7 \pm 8,7\%$ ($n=11$), что не имело значимого отличия ($p \geq 0,05$). Отеки беременных в группе сравнения встречались в $20 \pm 7,3\%$ ($n=6$), а в группе подростков в $30,3 \pm 4,6\%$ ($n=30$), что не имело значимых различий ($p \geq 0,05$). Преэклампсия с одинаковой частотой встречалась в группе сравнения ($20 \pm 7,3\%$, $n=6$) и подростков $18,2 \pm 3,9\%$ ($n=18$) ($p \geq 0,05$). Гипохромная анемия при беременности значительно реже встречалась в группе сравнения ($30 \pm 8,3\%$, $n=9$), чем в группе подростков ($54,5 \pm 5,0\%$, $n=54$), $p < 0,05$. Полученные показатели согласуются с данными других авторов [19, Р. 188-194], (см. таблицу 2).

Таблица 2 – Осложнения течения беременности в группах

Осложнения течения беременности	Группа сравнения (n=30)	Подростки первородящие (n=99)	p
Тошнота на ранних сроках	n=11 36,7±8,7%	n=54 54,5±5,0%	
Рвота беременных	n=11 36,7±8,7%	n=30 30,3±4,6%	
Отеки беременных	n=6 20±7,3%	n=30 30,3±4,6%	
Преэклампсия	n=6 20±7,3%	n=18 18,2±3,9%	
Анемия	n=9 30±8,3%	n=54 54,5±5,0%	p<0,05
Угроза прерывания беременности	n=11 36,7±8,7%	n=30 30,3±4,6%	
Заболевания почек	n=11 36,7±8,7%	n=12 12,1±3,3%	p<0,01
Патология щитовидной железы	n=8 26,7±8,1%	n=6 6,1±2,4%	p<0,05
Артериальная гипертензия	n=8 26,7±8,1%	n=14 14,1±3,5%	

Частота угрозы прерывания в группе сравнения составила 36,7±8,7% (n=11), а в группе подростков 30,3±4,6% (n=30), что не имело статистических различий (p≥0,05). Заболевания почек в группе сравнения встречались в 36,7±8,7% случаев, что явилось выше, чем в группе подростков (12,1±3,3%, n=12), p<0,01. Госпитализация в стационар для родоразрешения с началом регулярной родовой деятельности в группе сравнения была отмечена в 60±8,9% (n=18) случаев, у подростков в 45,5±5,0% (n=45), что не имело достоверных различий. Средняя продолжительность родов в группе сравнения составила 475,4±30,14 мин, в группе подростков 512±169 мин, что не имело значимых различий (p≥0,05). В группе сравнения частота быстрых родов (4-6 часов) составила 25±8,8% (n=6), частота стремительных родов (2-4 часа) составила 4,2±4,1% (n=1), а роды с нормальной продолжительностью составили 70,8±9,3% (n=23). В группе первородящих подростков частота быстрых родов составляла 14,4±3,7% (n=13) случаев, стремительных 3,3±1,9% (n=3), а частота родов с нормальной продолжительностью составила 82,3±4,0% (n=74), что не имело значимого отличия с группой сравнения (p≥0,05). Частота первичной слабости родовой деятельности в группе сравнения отмечалась в 33,3±9,6% (n=8) случаев, в группе подростков 29±4,8% (n=26), что не имело значимого отличия (p≥0,05). Вторичная слабость родовой деятельности была отмечена только в группе подростков в 3,3±1,9% (n=3) случаев. Дискоординированная родовая деятельность в группе сравнения встречалась в 3,3±3,3% случаев, а в группе подростков в 19,2±3,9% (n=19), что достоверно выше, чем в контрольной группе (p<0,01). Дородовое излитие околоплодных вод примерно с одинаковой частотой встречалось как в группе сравнения (23,3±7,7%, n=7), так и в группе подростков (26,3±4,4%, n=26) (p≥0,05). Методы родоразрешения представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Методы родоразрешения в группах

Метод родоразрешения	Группа сравнения (n=30)	Подростки первородящие (n=99)	p
Роды через естественные родовые пути	n=24 80±7,3%	n=90 90,9±2,9%	
Роды путем операции кесарево сечение	n=6 20±7,3%	n=9 9,1±2,9%	p<0,05

В группе сравнения (n=6) показанием к родоразрешению путем операции кесарево сечение явилась: слабость родовой деятельности, не поддающаяся медикаментозной коррекции (83,3±15,2%, n=5), клинический узкий таз (16,7±15,2%, n=1). Показанием к абдоминальному родоразрешению в группе подростков явились аномалии родовой деятельности, не поддающиеся лечению у 55,6±16,6% случаев (n=5), дородовое излитие околоплодных вод с отсутствием эффекта от родовозбуждения у 33,3±15,7% (n=3) и клинический узкий таз у 11,1±10,5% случаев (n=1). Третий период родов в группе сравнения не сопровождался осложнениями, а в группе подростков в 9,1±2,9% (n=9) наблюдений третий период осложнился гипотоническим кровотечением. Средний вес новорожденных в группе сравнения составил 3266±373,2 гр, в группе подростков 3268±433,2 гр, что не имело значимых различий. При этом средний вес новорожденных для женщин 15 лет (n=8) составлял 3089±317 гр, для женщин 16 лет (n=21) - 3262±389,6 гр, а для женщин 17 лет (n=71) – 3337±384,4гр, что не имело отличия с группой сравнения. Частота синдрома задержки роста плода (СЗРП) выявленного у новорожденных в группе сравнения составила 16,7±6,8% (n=5), а среди новорожденных в группе подростков - 24,3±4,3% (n=24), что не имело достоверных различий (p≥0,05). При этом СЗРП

- I ст. в группе сравнения встречался в $13,3 \pm 6,2\%$ ($n=4$), в группе подростков в $18,2 \pm 3,9\%$ ($n=18$), что значимо не отличалось, СЗРП - II ст. в группе сравнения встречался в $3,3 \pm 3,3\%$ ($n=1$), в группе первородящих подростков в $4,0 \pm 1,9\%$ ($n=4$), что так же значимо не отличалось, СЗРП - III ст. был выявлен только в группе подростков и составил $2,0 \pm 1,4\%$ ($n=2$).

Заключение

Основными особенностями течения беременности у первородящих подростков в современных условиях, являются высокая частота гипохромной анемии встречающаяся в более 50% случаев, низкая частота заболеваний почек, щитовидной железы в сравнении с первородящими в возрасте 18 лет и старше. Первое обращение в женскую консультацию среди подростков в подавляющем большинстве позднее, отмечается после 16-19 недель беременности и характеризуется нерегулярными посещениями. У первородящих подростков ведущим осложнением в родах, является слабость родовых сил и дискоординированная родовая деятельность, которые являются ведущими показаниями к операции кесарева сечения, в этой группе. Полученные результаты согласуются с данными зарубежных авторов [20, P. 239-245]. У подростков чаще, чем у рожениц старше 18 лет отмечено гипотоническое кровотечение в послеродовом периоде. Таким образом, исследование показало, что первородящие подростки составляют особую группу риска по возникновению осложнений во время беременности, родов и послеродового периода.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Михайлин Е. С. Особенности течения беременности и родов у подростков в зависимости от возраста / Е. С. Михайлин, Л. А. Иванова // Российский вестник акушера-гинеколога. – 2005. – № 15 (2). – С. 68-74. DOI:10.17116/rosakush201515268-74
2. Dianne S. E. Adolescent pregnancy / S. E. Dianne, E. F. Marianne // *Pediatr. Clin. N.Am.* – 2003. – № 50. – P. 781-800.
3. Emans S. J. H. Pediatric and Adolescent Gynecology / S. J. H. Emans, M. R. Laufer, D. P. Goldstein. – 5th Edition. – Lippincott Williams & Wilkins, 2005. – 960 p.
4. Айламазян Э. К. Акушерство: национальное руководство / Э. К. Айламазян, В. И. Кулаков, В. Е. Радзинский и др. - М.: ГЭОТАР-Медиа, 2007. – 1200 с.
5. Коваленко М. С. Особенности течения гестационного процесса и родов у первородящих женщин в критических возрастных группах / М. С. Коваленко, В. Г. Чикин, Л. М. Соломатина // Российский медико-биологический вестник. – 2008. – № 1. – С. 101-104.
6. Шадчнева Е. В. Особенности подростковой беременности (обзор литературы) / Е. В. Шадчнева, И. С. Савельева // Репродуктивное здоровье детей и подростков. – 2006. – № 5. – С. 68-79.
7. Kellartzis D. Obstetric outcome in adolescence: a single centre experience over seven years / D. Kellartzis, D. Tsolakidis, T. Mikos // *Clin Exp Obstet Gynecol.* – 2013. – № 40 (1). – P. 49-51.
8. Malamitsi-Puchner A. Adolescent pregnancy and perinatal outcome / A. Malamitsi-Puchner, T. Boutsikou // *Pediatr Endocrinol Rev.* – 2006. – № 3. – P. 170-171.
9. McCracken K. A. Teen pregnancy: an update / K. A. McCracken, M. Loveless // *Curr Opin Obstet Gynecol.* – 2014. – № 26 (5). – P. 355—359.
10. Тарасова Н. С. Клинико-морфологические особенности плацент у юных первородящих женщин / Н. С. Тарасова // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Медицина. – 2006. – № 4 (36). – С. 80-84.
11. Протопопова Н. В. Физиологические изменения в организме женщины при беременности / Н. В. Протопопова, П. М. Самчук, В. В. Суховская. – Иркутск, 2005. – 122 с. : илл.
12. Айламазян Э. К. Акушерство / Э. К. Айламазян, Л. П. Павлова, Г. К. Палинка и др. – СПб.: СпецЛит, 2000. – 494 с. : илл.
13. Савельева Г. М. Акушерство / Г. М. Савельева, В. И. Кулаков, А. Н. Стрижаков и др. – М.: Медицина, 2000. – 816 с. : илл.
14. Протопопова Н. В. Клинические протоколы / Н. В. Протопопова, П. М. Самчук, Н. В. Кравчук. – Иркутск : Изд-во Оттиск, 2006. – 256 с.
15. Адамян Л. В. Состояние и перспективы репродуктивного здоровья населения России. / Л. В. Адамян, Г. Т. Сухих // Современные технологии в диагностике и лечении гинекологических заболеваний. - М. : 2007. – С. 5-19.
16. Rowlands S. Social predictors of repeat adolescent pregnancy and focused strategies / S. Rowlands // *Best Pract Res Clin Obstet Gynaecol.* – 2010. – №24 (5). – P. 605-616.
17. Ferraro A. A. Childbearing in adolescence: intergenerational deja-vu? Evidence from a Brazilian birth cohort / A. A. Ferraro, V. C. Cardoso, A. P. Barbosa // *BMC Pregnancy Childbirth.* – 2013. – № 15. – P. 13-19.
18. Аккузина О. П. Просвещение молодежи — решающий фактор сохранения репродуктивного здоровья населения / О. П. Аккузина, Н. П. Смирнова, Н. В. Борисова // Материалы X юбилейного Всероссийского форума «Мать и дитя». - М., 2009. – 484-485 с.
19. Joshi M. Weekly iron folate supplementation in adolescent girls an effective nutritional measure for the management of iron deficiency anaemia / M. Joshi, R. Gumashta // *Glob J Health Sci.* – 2013. – №5 (3). – P. 188-194.
20. Paranjothy S. Teenage pregnancy: who suffers? / S. Paranjothy, H. Broughton, R. Adappa // *Arch Dis Child.* – 2009. – № 94 (3). – P. 239-245.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Mihajlin E. S. Osobennosti techenija beremennosti i rodov u подростков v zavisimosti ot vozrasta [Specific features of teenage pregnancy and delivery in relation to age] / E. S. Mihajlin, L. A. Ivanova // Rossijskij vestnik akushera-ginekologa [Russian Bulletin of Obstetrician-Gynecologist]. – 2015. – № 15 (2). – P. 68-74. [in Russian] DOI:10.17116/rosakush201515268-74
2. Dianne S. E. Adolescent pregnancy / S. E. Dianne, E. F. Marianne // Pediatr. Clin. N.Am. – 2003. – № 50. – P. 781-800.
3. Emans S. J. H. Pediatric and Adolescent Gynecology / S. J. H. Emans, M. R. Laufer, D. P. Goldstein. – 5th Edition. – Lippincott Williams & Wilkins, 2005. – 960 p.
4. Ajlamazjan Je. K. Akusherstvo: nacional'noe rukovodstvo [Obstetrics: national guideline] / Je. K. Ajlamazjan, V. I. Kulakov, V. E. Radzinskij and others. - M.: GJeOTAR-Media, 2007. – 1200 p. [in Russian]
5. Kovalenko M. S. Osobennosti techenija gestacionnogo processa i rodov u pervorodjashhih zhenshhin v kriticheskikh vozrastnyh gruppah [The pecoaliarities of gestational process and delivery case of critical group primipara] / M. S. Kovalenko, V. G. Chikin, L. M. Solomatina // Rossijskij mediko-biologicheskij vestnik [I.P. Pavlov Russian Medical Biological Herald]. – 2008. – № 1. – P. 101-104. [in Russian]
6. Shadchneva E. V. Osobennosti podrostkovoj beremennosti (obzor literatury) [Specific features of teenage pregnancy (literature review)] / E. V. Shadchneva, I. S. Savel'eva // Reproaktivnoe zdorov'e detej i подростков [Pediatric and Adolescent Reproductive Health]. – 2006. – № 5. – P. 68-79. [in Russian]
7. Kellartzis D. Obstetric outcome in adolescence: a single centre experience over seven years / D. Kellartzis, D. Tsolakidis, T. Mikos // Clin Exp Obstet Gynecol. – 2013. – № 40 (1). – P. 49-51.
8. Malamitsi-Puchner A. Adolescent pregnancy and perinatal outcome / A. Malamitsi-Puchner, T. Boutsikou // Pediatr Endocrinol Rev. – 2006. – № 3. – P. 170-171.
9. McCracken K. A. Teen pregnancy: an update / K. A. McCracken, M. Loveless // Curr Opin Obstet Gynecol. – 2014. – № 26 (5). – P. 355–359.
10. Tarasova N. S. Kliniko-morfologicheskie osobennosti placent u junyh pervorodjashhih zhenshhin [Structural and functional characteristics of placenta young primigravida women] / N. S. Tarasova // Vestnik Rossijskogo universiteta družby narodov. Serija: Medicina [RUDN Journal of Medicine]. – 2006. – № 4 (36). – P. 80-84. [in Russian]
11. Protopopova N. V. Fiziologicheskie izmenenija v organizme zhenshhiny pri beremennosti [Physiological changes in women body during pregnancy] / N. V. Protopopova, P. M. Samchuk, V. V. Suhovskaja. – Irkutsk, 2005. – 122 p. : illustr. [in Russian]
12. Ajlamazjan Je. K. Akusherstvo [Obstetrics] / Je. K. Ajlamazjan, L. P. Pavlova, G. K. Palinka and others. – SPb.: SpecLit, 2000. – 494 p. : illustr. [in Russian]
13. Savel'eva G. M. Akusherstvo [Obstetrics] / G. M. Savel'eva, V. I. Kulakov, A. N. Strizhakov and others. – M.: Medicina, 2000. – 816 p. : illustr. [in Russian]
14. Protopopova N. V. Klinicheskie protokoly [Clinical protocols] / N. V. Protopopova, P. M. Samchuk, N. V. Kravchuk. – Irkutsk : publishing house Ottisk, 2006. – 256 p. [in Russian]
15. Adamjan L. V. Sostojanie i perspektivy reproduktivnogo zdorov'ja naselenija Rossii [Current state and trends of reproductive health Russian population]. / L. V. Adamjan, G. T. Suhij // Sovremennye tehnologii v diagnostike i lechenii ginekologicheskikh zabolevanij [Current technologies in diagnostic and treatment of gynecological diseases]. - M. : 2007. – P. 5-19. [in Russian]
16. Rowlands S. Social predictors of repeat adolescent pregnancy and focused strategies / S. Rowlands // Best Pract Res Clin Obstet Gynaecol. – 2010. – №24 (5). – P. 605-616.
17. Ferraro A. A. Childbearing in adolescence: intergenerational deja-vu? Evidence from a Brazilian birth cohort / A. A. Ferraro, V. C. Cardoso, A. P. Barbosa // BMC Pregnancy Childbirth. – 2013. – № 15. – P. 13-19.
18. Akkuzina O. P. Prosveshhenie molodezhi — reshajushhij faktor sohraneniya reproduktivnogo zdorov'ja naselenija [Youth Enlightenment - the decisive factor in preserving the reproductive health of the population] / O. P. Akkuzina, N. P. Smirnova, N. V. Borisova // Materialy H jubilejnogo Vserossijskogo foruma «Mat' i ditja» [Proceedings of the 10th anniversary All-Russian Forum "Mother and Child"]. - M., 2009. – 484-485 p. [in Russian]
19. Joshi M. Weekly iron folate supplementation in adolescent girls an effective nutritional measure for the management of iron deficiency anaemia / M. Joshi, R. Gumashita // Glob J Health Sci. – 2013. – №5 (3). – P. 188-194.
20. Paranjothy S. Teenage pregnancy: who suffers? / S. Paranjothy, H. Broughton, R. Adappa // Arch Dis Child. – 2009. – № 94 (3). – P. 239-245.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.87.9.015>

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СТЕВИИ В ФУНКЦИОНАЛЬНОМ ПИТАНИИ ПРИ САХАРНОМ ДИАБЕТЕ 2-ГО ТИПА

Научная статья

Евсеев А.Б. *

ORCID: 0000-0001-9155-1518,

ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», Владимир, Россия

* Корреспондирующий автор (andrej.yevsejev[at]rambler.ru)

Аннотация

В обзоре рассматриваются результаты новейших исследований учёных по применению растительного экстракта стевии в питании при сахарном диабете 2-го типа. Автор статьи акцентирует внимание на положительных и отрицательных свойствах подсластителя стевииозидов; указывая на возможные побочные действия. Также в исследовании обсуждаются факторы риска развития СД2; антидиабетические, антигиперлипидимические, антиагрегантные, ангиопротекторные, противомикробные и гипотензивные эффекты экстракта стевии; необходимость дальнейших изысканий по вопросу влияния стевии на похудение.

Ключевые слова: стевия, подсластители, сахарный диабет 2-го типа, неправильный образ жизни, ожирение, гликемический и инсулиновый отклик.

FEATURES OF USING STEVIA IN FUNCTIONAL NUTRITION FOR TYPE 2 DIABETES MELLITUS

Research article

Evseev A.B. *

ORCID: 0000-0001-9155-1518,

FSBEI of HE "Vladimir State University named after Alexander Grigoryevich and Nikolay Grigoryevich Stoletovs", Vladimir, Russia

* Corresponding author (andrej.yevsejev[at]rambler.ru)

Abstract

The article discusses the results of the latest research carried out by the scientists on the use of plant extract of stevia in nutrition for type 2 diabetes mellitus. The author of the article focuses on the positive and negative properties of the stevioside sweetener while indicating possible side effects. The study also discusses risk factors for developing type 2 diabetes mellitus, as well as antidiabetic, antihyperlipidemic, antiplatelet, angioprotective, antimicrobial and antihypertensive effects of stevia extract, outlines the need for further research on the effect of stevia on weight loss.

Keywords: stevia, sweeteners, type 2 diabetes mellitus, abnormal lifestyle, obesity, glycemic, and insulin response.

«Сахарный диабет – это не приговор, а необходимость изменить свой образ жизни». Что стоит за этим утверждением?

Сегодня в России зарегистрировано более четырех миллионов больных сахарным диабетом (СД), причем у 80% из них диагностирован сахарный диабет 2-го типа (СД2), т.н. инсулиннезависимый диабет. Он развивается в результате нарушения секреции инсулина бета-клетками поджелудочной железы и характеризуется снижением чувствительности глюкозозависимых тканей к инсулину (инсулинорезистентностью).

Одним из установленных триггеров развития СД2 является избыточная масса тела, иными словами, ожирение. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), раньше ожирение считалось проблемой только развитых стран с высоким уровнем дохода на душу населения. В XXI веке наблюдается обратная тенденция: всё больше тучных людей появляется в странах с низким и средним уровнем дохода, особенно среди городских жителей. Количество людей с индексом массы тела (ИМТ) >25 утроилось в мире, начиная с 1975 года. Более 1,9 млрд человек старше 18 лет имели избыточную массу тела в 2016 году, из них 650 млн страдали ожирением (ИМТ >30). И эти цифры продолжают расти [1].

Ожирение не случается в одночасье. В большинстве случаев это результат неправильного питания и образа жизни, недостатка физической активности. Доказано, что плохие привычки (курение, злоупотребление алкоголем, излишнее употребление богатой жирами и легкими углеводами пищи) являются факторами риска развития неинфекционных заболеваний: дислипидимии, хронической венозной недостаточности нижних конечностей, ССЗ (инфаркта, инсульта), скелетно-мышечных нарушений (остеоартрита), некоторых видов рака, СД.

Жизнь с диабетом не означает ухудшение её качества. Диабетику необходимо контролировать уровень сахара крови, управляя им, в том числе, с помощью диеты. Американская диабетическая ассоциация (ADA) рекомендует людям, страдающим СД, включать в свой ежедневный рацион, как минимум, пять порций овощей и фруктов; нежирный белок; избегать продуктов с содержанием трансжиров; отказаться от продуктов с высоким гликемическим индексом (ГИ). Также предлагается заменить употребление сахара на подсластители: синтетические (сахарин, аспартам, ацесульфам К, сукралоза, неогесперидин дигидрохалкон) и натуральные (фруктоза, ксилит, сорбит, стевия) [9].

Стевия медовая – это травянистый многолетник семейства Астровые, высотой до 120 см. Внешне стевия представляет собой очень сильно разветвленный куст. Родиной этого растения является Южная и Центральная Америка (Парагвай, Бразилия). В Советском Союзе стевия появилась в 1934 году благодаря учёному-селекционеру, академику Н.И. Вавилову. В настоящее время основным поставщиком сырья на мировом рынке является Китай [5].

Стевия имеет большое количество полезных веществ. В её листьях содержится от 30 до 45% флавоноидов, до 20% гликозидов, 3-5% свободных сахаров, до 3% оксикоричных кислот и аминокислот, до 1% микроэлементов (калий, магний, йод, цинк, селен), витамины группы А, В, С, D, Е, К. Сладкий вкус (примерно в 250-300 раз слаще сахарозы) стевиин придает эфирные сахара – гликозиды (стевиозид и ребаудиозид А). Причем, чем выше концентрация последнего, тем слаще полученный экстракт. Его калорийность всего 18 ккал на 100 граммов сырья, а гликемический индекс (ГИ) равен нулю [5].

В 80-х годах XX века в медицинской литературе появились исследования, свидетельствующие о канцерогенности стевиола, которые были впоследствии полностью опровергнуты ВОЗ. Было доказано, что стевиозид и ребаудиозид уменьшают вероятность развития рака молочной железы, а также снижают риск появления аденомы и скорость прогрессирования меланомы. Следует заметить, что цельные листья стевиин и её неочищенные экстракты до сих пор запрещены Управлением по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов (FDA). Впрочем, этот федеральный орган не имеет претензий к использованию высокоочищенных стевиол-гликозидов в пищевых продуктах в США [10]. В РФ стевиолгликозид (Е960) разрешён в качестве подсластителя в безалкогольные напитки, хлебобулочные и кондитерские изделия в количестве согласно ТИ (п. 3.15.6. СанПиН 2.3.2.1293-03); для розничной продажи (п. 2.21 СанПиН 2.3.2.1293-03) [6].

Подсластитель стевиозид обладает рядом доказанных лечебно-профилактических свойств. Во-первых, флавоноиды, присутствующие в его составе, обладают антиоксидантными свойствами. Во-вторых, экстракт стевиин способствует улучшению обмена веществ в организме, и, как следствие, снижению сахара крови; усиливается капиллярный кровоток. В-третьих, стевия полезна при артериальной гипертензии, она снижает артериальное давление. В-четвертых, было отмечено, что экстракт этого растения способствует укреплению эмали зубов, препятствует развитию кариеса. С осторожностью стевиозид нужно применять гипотоникам, пациентам, страдающим аллергией, диабетом, а также лицам с индивидуальной непереносимостью [5].

В исследовании, опубликованном в журнале *Nature* в марте 2017 года группой канадских учёных под руководством Конрада Филиппера, приводятся сведения о том, что регулярное употребление стевиол-гликозидов улучшает функцию бета-клеток поджелудочной железы, стимулируя секрецию инсулина *in vitro* и *in vivo*. В опытах на лабораторных мышах учёные обнаружили, что стевиол-гликозиды обостряют восприятие горького, сладкого и вкуса юмами; усиливают индуцируемую глюкозой секрецию инсулина TRPM5-зависимым образом (TRPM5 представляет собой кальций-активированный неселективный катионный канал, экспрессируемый в клетках вкусовых рецепторов (тип 2) и бета-клетках поджелудочной железы, где он участвует в сигнальном механизме секреции инсулина). По словам учёных, ежедневное пероральное введение стевиозидов предотвращало развитие диабетической гипергликемии у мышей, в то время как его отмена приводила к нарушению толерантности к глюкозе (НТГ). Результаты исследования объяснили механизм действия стевиозидов на молекулярном уровне и назвали TRPM5 потенциальной фармакологической мишенью для разработки новых препаратов в профилактике и лечении СД2 [2].

В июле 2018 года тайские учёные под руководством диабетолога Париньи Самакарнтхай опубликовали статью в научном журнале *Diabetes*, издаваемом Американской диабетической ассоциацией. Учёные провели двойное-слепое, рандомизированное, плацебо-контролируемое перекрестное исследование влияния стевиин на гликемический и инсулиновый отклик у пациентов с ожирением. Двадцать добровольцев с ИМТ $28,75 \pm 3,68$ кг/м² прошли оральный глюкозотолерантный тест (ОГТТ), которому предшествовал прием таблеток, содержащих либо 200 мг стевиин, либо плацебо, в течение 60 минут перед ОГТТ в двух отдельных случаях, с интервалом в одну неделю в рандомизированном перекрестном исследовании. Заборы крови на глюкозу и инсулин осуществлялись через 0, 30, 60, 90 и 120 минут. Значимых различий в AUC глюкозы и инсулина между стевиин и плацебо (глюкоза 15285 ± 4531 против 15101 ± 3955 , $p=0,89$ и инсулин 8507 ± 5858 против 7652 ± 5020 , $p=0,62$) обнаружено не было. Секреция инсулина с использованием инсулиногенного индекса также не имела статистически значимых различий между стевиин и плацебо ($p=0,155$). Оценку общей чувствительности к инсулину определяли по расчёту индекса MATSUDA – значимых различий между стевиин и плацебо ($4,74 \pm 1,86$ против $5,84 \pm 2,96$, $p=0,09$) не было. По результатам исследования учёные пришли к выводу, что стевия не влияет на острый гликемический и инсулиновый отклик при ОГТТ у пациентов с ожирением [3].

Доказательство отсутствия влияния водного экстракта стевиин на снижение веса у крыс при стрептозотоциновом СД2 получено по результатам эксперимента группы иранских учёных под руководством физиолога Рахелеха Ассаеи. Исследование показало, что водный экстракт корня стевиин оказывает полезное антидиабетическое действие при снижении уровня триглицеридов глюкозы, малонового диальдегида (МДА), АЛТ, АСТ в крови, улучшая активность каталазы, как индикатора окислительного стресса и системы антиоксидантной защиты организма при диабете соответственно. В ходе эксперимента учёные предположили, что стевия и пиоглитазон могут значительно повысить уровень инсулина в тканях поджелудочной железы. Было доказано, что водный экстракт стевиин может действовать как инсулинотропный агент, что подтвердило выводы других учёных о том, что стевиозид и стевиол, как производные стевиин, усиливают секрецию инсулина, непосредственно воздействуя на бета-клетки. Учёные констатировали, что хотя стевия может выступать в качестве антигипергликемического агента из-за способности восстанавливать функцию тканей поджелудочной железы, вызывая увеличение выхода инсулина благодаря PPARγ-зависимому механизму, её антигиперлипидемический эффект всё ещё остается под вопросом [4].

Обобщая вышеизложенное, можно сделать вывод об общем положительном антидиабетическом влиянии растительного экстракта стевиин у пациентов с СД2. Однако следует констатировать тот факт, что гипотензивный и антигиперлипидемический эффекты стевиин при СД2 ещё недостаточно изучены и подлежат дальнейшему исследованию.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Obesity // WHO's fact sheet on obesity and overweight. 16 February 2018.
2. Philippaert K. Steviol glycosides enhance pancreatic beta-cell function and taste sensation by potentiation of TRPM5 channel activity / Philippaert K. // Nature Communications. 2017. Vol. 8. No. 14733.
3. Samakkarthai P. Effect of Stevia on Glycemic and Insulin Responses in Obese Patients – A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Crossover Study / Samakkarthai P. // Diabetes. 2018. Vol. 67 (Sup.1). <https://doi.org/10.2337/db18-790-P>.
4. Raheleh A. Hypoglycemic Effect of Aquatic Extract of Stevia in Pancreas of Diabetic Rats: PPAR γ -dependent Regulation or Antioxidant Potential / Raheleh A. // The Avicenna Journal of Medical Biotechnology. 2016. Vol. 8(2). P. 65–74.
5. Stevia [Electronic resource] // URL: <https://med-tutorial.ru/med-books/book/101/page/3-chast-ii-zelenaya-apteka-korodetskogo/97-chto-takoe-steviya> (accessed: 19/08/2019)
6. Stevioside [Electronic resource] // URL: <http://saharmag.com/fix/sweeteners/steviolglikozid/> (accessed: 24/07/2019)
7. Thomas J.E. Stevia: It's Not Just About Calories / Thomas J.E. // The Open Obesity Journal. 2010. Vol. 2. P. 101-109.
8. Fowler S.P. Fueling the obesity epidemic? Artificially sweetened beverage use and long-term weight gain / Fowler S.P. et al. // Obesity. 2008. Vol. 16. P. 1894-1900.
9. Classification and Diagnosis of Diabetes: Standards of Medical Care in Diabetes-2019 // American Diabetes Association (ADA). Diabetes Care. 2019. Vol. 42(Sup.1). S13-S28. <https://doi.org/10.2337/dc19-S002>
10. Has stevia been approved by FDA to be used as sweetener? [Electronic resource] // The Federal Drug Agency official site. URL: <https://www.fda.gov/about-fda/fda-basics/has-stevia-been-approved-fda-be-used-sweetener> (accessed: 23.07.2019)

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.87.9.016>**КОГНИТИВНЫЕ РАССТРОЙСТВА ПАЦИЕНТОВ С САХАРНЫМ ДИАБЕТОМ 1 И 2 ТИПА**

Научная статья

Малев А.Л.¹, Захарова А.Н.², Калиберденко В.Б.^{3,*}, Кузнецов Э.С.⁴¹ ORCID: 0000-0002-3126-1997;² ORCID: 0000-0001-6243-3360;³ ORCID: 0000-0003-1693-3190;⁴ ORCID: 0000-0001-8309-7810;^{1, 2, 3, 4} Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, Симферполь, Россия

* Корреспондирующий автор (vit_boris[at]mail.ru)

Аннотация

У больных возрастом 35-45 лет с сахарным диабетом первого и второго типа проведен сравнительный скрининговый анализ когнитивных дисфункций. Расстройства когнитивных функций чаще обнаруживались у больных диабетом второго типа, причем за счет увеличения доли преддементных умеренных когнитивных расстройств. Для диабета второго типа характерно преобладание когнитивных дисфункций у мужчин, за счет легких и умеренных когнитивных расстройств в сумме отмечающихся в два раза чаще, чем у женщин. При этом у женщин с диабетом второго типа когнитивных расстройств не обнаруживалось в 52% случаев, что чаще чем у мужчин в 2,6 раза.

Ключевые слова: сахарный диабет, когнитивные расстройства, MMSE.**COGNITIVE DISORDERS OF PATIENTS WITH TYPE 1 AND 2 DIABETES MELLITUS**

Research article

Malev A.L.¹, Zakharova A.N.², Kaliberdenko V.B.^{3,*}, Kuznetsov E.S.⁴¹ ORCID: 0000-0002-3126-1997;² ORCID: 0000-0001-6243-3360;³ ORCID: 0000-0003-1693-3190;⁴ ORCID: 0000-0001-8309-7810;^{1, 2, 3, 4} Vernadsky Crimean Federal University, Simferpol, Russia

* Corresponding author (vit_boris[at]mail.ru)

Abstract

The authors have conducted a comparative screening analysis of cognitive dysfunctions among patients aged 35-45 years with type 1 and type 2 diabetes mellitus. Cognitive impairment are more often found in patients with type 2 diabetes mellitus, and this was due to an increase in the proportion of predemental moderate cognitive impairment. Type 2 diabetes mellitus is characterized by a predominance of cognitive dysfunctions in men, due to mild and moderate cognitive impairment, in the amount observed two times more often than in women. However, in women with type 2 diabetes mellitus, cognitive disorders were not detected in 52% of cases, which is 2.6 times more often than in men.

Keywords: diabetes mellitus, cognitive impairment, MMSE.**Актуальность**

Еще в первой четверти двадцатого века рядом ученых было отмечено, что сахарный диабет может приводить к когнитивным нарушениям [1]. Проблема сахарного диабета как заболевания, ведущего к развитию целого ряда осложнений остается актуальной и по настоящее время. Отмечается рост заболеваемости сахарным диабетом, так по данным Государственного регистра России больных сахарным диабетом, на 01.01.2015 г. зарегистрировано 4,1 млн. [2]. Возникающий при обоих типах сахарного диабета метаболический синдром приводит к поражению ряда органов и систем, прежде всего сердечно-сосудистой, центральной и периферической нервной системы. На сегодняшний день уже доказано, что центральная нервная система является одной из основных мишеней для сахарного диабета, рост заболеваемости которым в последние годы приобрел характер эпидемии [3]. Оба типа сахарного диабета и метаболический синдром, их сопровождающий, связаны с повышенным риском микро- и макроваскулярных осложнений и цереброваскулярных событий с усугублением когнитивных функций [4], что становится актуальным и для жителей Крыма, где сосудистые деменции отмечаются у населения с 20-39 лет и к 40-59 годам увеличиваются в 8 раз у городского населения [5], а сосудистый фактор является одной из ведущих этиологических причин выраженных и тяжелых когнитивных расстройств, включая деменции [6], [7], [8]. Нейродегенеративные деменции, в этиопатогенез которых может включаться сахарный диабет [9], отмечаются у населения Крыма с 40-59 лет, а у лиц старше 60 лет уже превышают по процентному соотношению сосудистые, увеличиваясь в 5-7 раз [5].

При этом, часто тяжесть когнитивных расстройств и их негативное влияние на состояние и качество жизни пациентов недооцениваются [10], что увеличивает риск развития типичных осложнений, приводящих к инвалидизации и угрожающих жизни [11].

В связи со всем выше перечисленным, важно исследовать изменение когнитивных функции при сахарном диабете.

Важно отметить, что патогенез сахарного диабета первого и второго типа различен и поэтому возможны отличия в когнитивных дисфункциях.

Цель исследования - определить особенности и выраженность когнитивных расстройств у лиц с сахарным диабетом первого и второго типа.

Материалы и методы исследования

Исследование проводилось на базе эндокринного отделения ГБУЗ РК РКБ им. Н.А. Семашко с октября 2017 по апрель 2018 года. Клиническому анализу были подвергнуты результаты психометрического исследования пациентов 2-х групп по 50 человек в каждой (25 мужчин, 25 женщин) и возрастом 35-45 лет: группа больных сахарным диабетом первого типа и группа больных сахарным диабетом второго типа. Критерии исключения: гипогликемические и/или кетоацидотические комы за последние 3 месяца до исследования; гипотиреоз; тяжелые или декомпенсированные сопутствующие соматические заболевания в настоящее время; перенесенные нейроинфекции, острые нарушения мозгового кровообращения и инфаркт миокарда; черепно-мозговые травмы и операции; гипертоническая болезнь 3 степени; гематологические и онкологические заболевания, а также прием психотропных препаратов в настоящее время.

В исследовании применялись следующие методы: клинико-anamнестический и психодиагностический – скрининговая психометрическая шкала MMSE [3], [12]. Для обработки и анализа полученных данных использовались методы графического анализа данных и описательной статистики.

Результаты исследований



Рис. 1 – Показатели шкалы MMSE пациентов с сахарным диабетом первого и второго типа

В ходе скринингового психометрического исследования когнитивных дисфункций у пациентов с диабетом первого и второго типа, представленного на рисунке 1, было установлено, что легкие и выраженные когнитивные расстройства при сахарном диабете первого и второго типа были одинаковы в процентном соотношении и составляли соответственно 24 и 16 процентов. У 48 процентов пациентов с сахарным диабетом первого типа отмечалось отсутствие когнитивных расстройств по шкале MMSE, что на 14 процентов больше, чем у пациентов с сахарным диабетом второго типа. Умеренные когнитивные расстройства при сахарном диабете второго типа составили 26%, что на 14 процентов больше, чем у лиц, страдающих сахарным диабетом первого типа. Таким образом, когнитивные расстройства чаще отмечались у больных диабетом второго типа, причем за счет увеличения доли преддементных умеренных когнитивных расстройств. Это согласуется с ранее полученными данными других авторов о корреляции сахарного диабета второго типа с умеренным когнитивным снижением и деменцией [13], и может объясняться установленной его многофакторной связью с деменцией и болезнью Альцгеймера, в частности не только существующей гипергликемией, но и еще инсулинорезистентностью, играющей центральную роль с прямыми (накопление β -амилоида и фосфо-тау протеина) и непрямыми эффектами (факторы роста нервов, воспаление, апоптоз и окислительный стресс) ведущими к нейрональной дегенерации [6], [14], [15]. Менее выраженные когнитивные расстройства при сахарном диабете первого типа могут объясняться меньшей вариабельностью гликемии при инсулинотерапии, учитывая отсутствие инсулинорезистентности и механизмов, указанных выше [14], [16].



Рис. 2 – Показатели шкалы MMSE мужчин и женщин с сахарным диабетом первого типа

При анализе гендерных особенностей когнитивных дисфункций у пациентов с диабетом первого типа, представленном на рисунке 2, не обнаружено значимых отличий в процентном соотношении этих дисфункций.



Рис. 3 – Показатели шкалы MMSE мужчин и женщин с сахарным диабетом второго типа

Скрининговый психометрический анализ гендерных особенностей когнитивных дисфункций у пациентов с диабетом второго типа, представленный на рисунке 3, показал, что отсутствие когнитивных расстройств у мужчин отмечается всего в 20 процентах случаев, а у женщин составляет более половины наблюдений – 52 процента. Легкие когнитивные расстройства у мужчин отмечались чаще, чем у женщин на 12 процентов. Еще более выраженная тенденция к увеличению установлена в отношении умеренных когнитивных расстройств, которые нами были отмечены у мужчин чаще, чем у женщин на 20 процентов. Из вышеизложенного следует, что когнитивные расстройства при диабете второго типа преобладают у мужчин, за счет легких и умеренных когнитивных расстройств, в сумме отмечающихся в 2 раза чаще, чем у женщин, у которых нормальные показатели по шкале MMSE отмечались в 52% случаев, что чаще, чем у мужчин в 2,6 раза и согласуется с ранее полученными данными в отношении сосудистой деменции [17], в том числе по Крыму [19], а также с риском болезни Альцгеймера у мужчин при сахарном диабете второго типа [20].

Выводы

1. Расстройства когнитивных функций чаще обнаруживаются у больных диабетом второго типа, причем за счет увеличения доли предметных умеренных когнитивных расстройств.
2. Для диабета второго типа характерно преобладание когнитивных дисфункций у мужчин, за счет легких и умеренных когнитивных расстройств в сумме отмечающихся в 2 раза чаще, чем у женщин. При этом у женщин с диабетом второго типа когнитивных расстройств не обнаруживается в 52% случаев, что чаще, чем у мужчин в 2,6 раза.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Miles W.R. Psychologic tests applied in diabetic patients. Arch Intern Med / Miles W.R., Root H.F. 1922. № 30. P. 767–777 doi:10.1001/archinte.1922.00110120086003
2. Дедов И.И. Государственный регистр больных сахарным диабетом в РФ: статус 2014 г. и перспективы развития. Сахарный диабет / Дедов И.И., Шестакова М.В., Викулова О.К. 2015;18(3):5-22.
3. Гацких И.В. Когнитивные нарушения при сахарном диабете 2 типа. Современные проблемы науки и образования [Электронный ресурс] / Гацких И.В., Веселова О.Ф., Брикман И.Н. и др. 2015; 4. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=20805>. (дата обращения: 11.08.2019).
4. Convit A. Reduced glucose tolerance is associated with poor memory performance and hippocampal atrophy among normal elderly/ Convit A., Wolf O.T., Tarshish C. and others. Proc Natl Acad Sci USA. 2003. № 100. P. 2019–2022.
5. Малев А.Л. Возрастной аспект в эпидемиологии органических психических расстройств Крыма / Малев А.Л. Таврический журнал психиатрии. 2016; 1 (74): 17–25.
6. Малев А.Л. Сравнительный психометрический анализ додементных когнитивных расстройств сосудистой, травматической и эпилептической этиологии / Малев А.Л. Таврический журнал психиатрии. 2012; 4 (61): 31– 37.
7. Вербенко В.А. Особенности выраженности когнитивных расстройств при деменциях сосудистой, травматической и эпилептической этиологии / Вербенко В.А., Малев А.Л., Захарова А.Н. Таврический журнал психиатрии. 2013; 2 (63): 14.
8. Малев А.Л. Сравнительный психометрический анализ деменций сосудистой, травматической и эпилептической этиологии / Малев А.Л. Таврический журнал психиатрии. 2012; 4 (61): 37– 46.
9. De la Monte S.M. Alzheimer's disease is type 3 diabetes-evidence reviewed. J Diabet Sci Tech / de la Monte S.M., Wands J.R. 2008; 2: 1101–1113.
10. Zhao X. Biomarkers for cognitive decline in patients with diabetes mellitus: evidence from clinical studies. Oncotarget / Zhao X, Han Q, Lv Y. and others. 2017; 9(7): 7710–7726. <https://doi.org/10.18632/oncotarget.23284>
11. Чугунов П.А. Сахарный диабет и когнитивные нарушения. Сахарный диабет / Чугунов П.А., Семенова И.В. 2008; 1: 61–8.
12. Мищенко Т. С. Клинические шкалы и психодиагностические тесты в диагностике сосудистых заболеваний головного мозга. Новости медицины и фармации. Неврология и психиатрия / Мищенко Т. С., Л. Ф. Шестопалова. 2009; 277: 62–74.
13. Peila R. Honolulu-Asia Aging Study Type 2 diabetes, APOE gene, and the risk for dementia and related pathologies / Peila R., Rodriguez B.L., Launer L.J. and others. Diabetes. 2002; 51:1256–1262.
14. Есин Р.Г. Современные представления о механизмах когнитивных расстройств при сахарном диабете. Медицинский альманах / Есин Р.Г. И.Х. Хайруллин, О.Р. Есин. И др. 2013; 1 (25): 135–138.

15. Sima A.A. The Effect of C-Peptide on Cognitive Dysfunction and Hippocampal Apoptosis in Type 1 Diabetic Rats / Sima AA, Li ZG. *Diabetes*. 2005; 54(5): 1497-505.

16. Самойлова Ю.Г. Маркеры когнитивных нарушений и вариабельность гликемии у пациентов с сахарным диабетом 1-го типа / Самойлова Ю.Г., Ротканк М.А., Жукова Н.Г. и др. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2018; 4: 48-51.

17. Van Harten B. Brain imaging in patients with diabetes: a systematic review / Van Harten B., de Leeuw F., Weinstein H. C. and others. *Diabetes Care*. 2006; 29: 2539-2548.

18. Arvanitakis Z. Diabetes is related to cerebral infarction but not to AD pathology in older persons / Arvanitakis Z. *Neurology*. 2006; 67: 1960-1965.

19. Малев А.Л. Гендерный аспект в эпидемиологии органических психических расстройств Крыма / Малев А.Л. *Таврический журнал психиатрии*. 2016; 2 (75): 13-20.

20. Leibson C.L. Risk of dementia among persons with diabetes mellitus: a population-based cohort study / Leibson C.L., Rocca W.A., Hanson V.A. *Am J Epidemiol*. 1997; 145:301-8.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Miles W.R. Psychologic tests applied in diabetic patients. *Arch Intern Med* / Miles W.R., Root H.F. 1922. № 30. P. 767-777 doi:10.1001/archinte.1922.00110120086003

2. Dedov I.I. Gosudarstvennyy registr bol'nykh sakharnym diabetom v RF: status 2014 g. i perspektivy razvitiya. Sakharnyy diabet [State Register of Diabetes Patients in the Russian Federation: Status of 2014 and Development Prospects. Diabetes] / Dedov I.I., Shestakova M.V., Vikulova O.K. 2015; 18 (3): 5-22. [in Russian]

3. Gatskikh I.V. Kognitivnyye narusheniya pri sakharnom diabete 2 tipa. Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya [Cognitive impairment in type 2 diabetes mellitus. Modern problems of science and education] [Electronic resource] / Gatskikh I.V., Veselova O.F., Brikman I.N. and thers 2015; 4URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=20805>. (accessed: 08.11.2019). [in Russian]

4. Convit A. Reduced glucose tolerance is associated with poor memory performance and hippocampal atrophy among normal elderly/ Convit A., Wolf O.T., Tarshish C. and others. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2003. № 100. P. 2019-2022.

5. Malev A.L. Vozrastnoy aspekt v epidemiologii organicheskikh psikhicheskikh rasstroystv Kryma [Age Aspect in Epidemiology of Organic Mental Disorders of Crimea] // *Tavricheskiy zhurnal psykhiatrii* [Tauride Journal of Psychiatry]. 2016; 1 (74): 17-25. [in Russian]

6. Malev A.L. Sravnitel'nyy psikhometricheskiy analiz dementnykh kognitivnykh rasstroystv sosudistoy, travmaticheskoy i epilepticheskoy etiologii [Comparative Psychometric Analysis of Predementive Cognitive Disorders of Vascular, Traumatic and Epileptic Etiology] // *Tavricheskiy zhurnal psykhiatrii* [Tauride Journal of Psychiatry]. 2012; 4 (61): 31-37. [in Russian]

7. Verbenko V.A. Osobennosti vyrazhennosti kognitivnykh rasstroystv pri dementsiyakh sosudistoy, travmaticheskoy i epilepticheskoy etiologii. [Features of Severity of Cognitive Impairment in Dementia of Vascular, Traumatic and Epileptic Etiology] / Verbenko V.A., Malev A.L., Zakharova A.N. // *Tavricheskiy zhurnal psykhiatrii* [Tauride Journal of Psychiatry]. 2013; 2 (63): 14. [in Russian]

8. Malev A.L. Sravnitel'nyy psikhometricheskiy analiz dementsiy sosudistoy, travmaticheskoy i epilepticheskoy etiologii [Comparative Psychometric Analysis of Dementia of Vascular, Traumatic and Epileptic Etiology] // *Tavricheskiy zhurnal psykhiatrii* [Tauride Journal of Psychiatry]. 2012; 4 (61): 37-46. [in Russian]

9. De la Monte S.M. Alzheimer's disease is type 3 diabetes-evidence reviewed. *J Diabet Sci Tech* / de la Monte S.M., Wands J.R. 2008; 2: 1101-1113.

10. Zhao X. Biomarkers for cognitive decline in patients with diabetes mellitus: evidence from clinical studies. *Oncotarget* / Zhao X, Han Q, Lv Y. and others. 2017; 9(7): 7710-7726. <https://doi.org/10.18632/oncotarget.23284>

11. Chugunov P.A. Sakharnyy diabet i kognitivnyye narusheniya. Sakharnyy diabet [Diabetes mellitus and cognitive impairment. Diabetes] / Chugunov P.A., Semenova I.V. 2008; 1: 61-8. [in Russian]

12. Mishchenko T. S. Klinicheskiye shkaly i psikhodiagnosticheskiye testy v diagnostike sosudistikh zabolevaniy golovnogogo mozga [Clinical Scales and Psychodiagnostic Tests in Diagnosis of Vascular Diseases of Brain] / Mishchenko T. S., L. F. Shestopalova. // *Novosti meditsiny i farmatsii. Nevrologiya i psikiatriya* [News of medicine and pharmacy. Neurology and psychiatry.] 2009; 277: 62-74. [in Russian]

13. Peila R. Honolulu-Asia Aging Study Type 2 diabetes, APOE gene, and the risk for dementia and related pathologies / Peila R., Rodriguez B.L., Launer L.J. and others. *Diabetes*. 2002; 51:1256-1262.

14. Yesin R.G. Sovremennyye predstavleniya o mekhanizмах kognitivnykh rasstroystv pri sakharnom diabete [Modern ideas about the mechanisms of cognitive disorders in diabetes] / Yesin R.G., I.Kh. Khayrullin, O.R. Yesin. // *Meditsinskiy almanakh* [Medical almanac]. 2013; 1 (25): 135-138. [in Russian]

15. Sima A.A. The Effect of C-Peptide on Cognitive Dysfunction and Hippocampal Apoptosis in Type 1 Diabetic Rats / Sima AA, Li ZG. *Diabetes*. 2005; 54(5): 1497-505.

16. Samoilova Yu.G. Markery kognitivnykh narusheniy i variabel'nost' glikemii u patsiyentov s sakharnym diabetom 1-go tipa [Markers of Cognitive Impairment and Glycemic Variability in Patients with type 1 diabetes mellitus. / Samoilova Yu.G., Rotkank M.A., Zhukova N.G. and others // *Zhurnal nevrologii i psikiatrii im. S.S. Korsakova* [Journal of Neurology and Psychiatry. C.C. Korsakova.] 2018; 4: 48-51. [in Russian]

17. V Van Harten B. Brain imaging in patients with diabetes: a systematic review / Van Harten B., de Leeuw F., Weinstein H. C. and others. *Diabetes Care*. 2006; 29: 2539-2548.

18. Arvanitakis Z. Diabetes is related to cerebral infarction but not to AD pathology in older persons / Arvanitakis Z. *Neurology*. 2006; 67: 1960-1965.

19. Malev A.L. Gendernyy aspekt v epidemiologii organicheskikh psikhicheskikh rasstroystv Kryma [Gender Aspect in Epidemiology of Organic Mental Disorders of Crimea] // *Tavricheskiy zhurnal psykhiatrii* [Tauride Journal of Psychiatry]. 2016; 2 (75): 13-20. [in Russian]

20. Leibson C.L. Risk of dementia among persons with diabetes mellitus: a population-based cohort study / Leibson C.L., Rocca W.A., Hanson V.A. *Am J Epidemiol*. 1997; 145:301-8.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.87.9.017>

ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЛУЧЕВАЯ ДИАГНОСТИКА СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ РЕСПУБЛИКАНСКОЙ БОЛЬНИЦЫ ИМЕНИ СЕМАШКО Н.А. В РЕСПУБЛИКЕ БУРЯТИЯ

Научная статья

Матханова Л.М.^{1,*}, Матханов Р.М.²¹ Государственное автономное учреждение здравоохранения «Республиканская клиническая больница имени Николая Александровича Семашко» Министерства здравоохранения Республики Бурятия, Улан-Удэ, Россия;² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова» Улан-Удэ, Россия

* Корреспондирующий автор (biomed97[at]mail.ru)

Аннотация

С учетом того, что сердечно - сосудистые заболевания - это основная причина смерти населения, поэтому большое значение имеет диагностика и выявление этих болезней для своевременного лечения и улучшения прогностических данных. Значительное место в объеме кардиологической и кардиохирургической помощи занимает лучевая диагностика.

На базе Республиканской клинической больницы им. Н.А.Семашко осуществляется оказание высокотехнологичной медицинской помощи. В данной статье проведен анализ данных об использовании лучевой диагностики в кардиологии РКБ им. Семашко Н.А., а также обзор последних разработок неинвазивной диагностики сердечно-сосудистых заболеваний и перспектива их внедрения.

Ключевые слова: Республиканская клиническая больница им. Н.А.Семашко, сердечно-сосудистые заболевания, кардиология, кардиохирургия, лучевая диагностика.

OPPORTUNITIES AND DEVELOPMENT PROSPECTS FOR RADIATION DIAGNOSTICS OF CARDIOVASCULAR DISEASES OF THE REPUBLICAN HOSPITAL NAMED AFTER N.A. SEMASHKO IN THE REPUBLIC OF BURYATIA

Research article

Matkhanova L.M.^{1,*}, Matkhanov R.M.²¹ State Autonomous Healthcare Institution "Republican Clinical Hospital named after Nikolai Alexandrovich Semashko" of the Ministry of Health of the Republic of Buryatia, Ulan-Ude, Russia;² Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Buryat State University named after Dorzhi Banzarov" Ulan-Ude, Russia

* Corresponding author (biomed97[at]mail.ru)

Abstract

Cardiovascular diseases are the leading cause of population death; therefore, the diagnosis and detection of these diseases are of great importance for timely treatment and improvement of prognostic data. Radiation diagnostics has a special place in the volume of cardiological and cardio-surgical care.

Republican Clinical Hospital named after N.A. Semashko provides high-tech medical care. This article analyses data on the use of radiation diagnostics in cardiology of the Republican Clinical Hospital named after N.A. Semashko and provides a review of recent developments in non-invasive diagnostics of cardiovascular diseases describing the prospect of their implementation.

Keywords: Republican Clinical Hospital named after N.A. Semashko, cardiovascular diseases, cardiology, cardiac surgery, radiation diagnostics.

По последним статистическим данным сердечно - сосудистые заболевания (ССЗ) являются основной причиной смерти в Республике Бурятия [1]. Этот показатель вполне соотносим с показателями смертности общероссийскими, и, как свидетельствует статистика, является бичом всех экономически развитых стран и стран с переходной экономикой. От этого, на сегодняшний день, особо возрастает значение лучевых методов исследования, применяемых в Республиканской больнице имени Семашко Н.А. Республики Бурятия с целью спасения и улучшения качества жизни пациентов.

Сегодня рентгенодиагностика получает новое развитие, возрос спектр исследований в кардиологии. Используются информативные методы визуального прижизненного исследования работы сердца, сосудов. Таким образом, методы лучевой диагностики сердца и сосудов в данной клинике помогают снизить смертность от сердечно-сосудистых заболеваний в Республике Бурятия. Поэтому данное исследование является актуальным.

Цель работы – проанализировать методы лучевой диагностики, используемые в кардиологии РКБ им. Семашко Н.А. для выявления перспектив их развития и возможности более эффективного применения в клинике.

Поставлены следующие задачи: обзор основных методов исследования рентгенодиагностики в кардиологии РКБ им. Семашко Н.А. и анализ результатов их применения. А также изучение наиболее эффективных направлений дальнейшего развития лучевой кардиологической диагностики в Республике Бурятия.

Сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) – основная причина смерти населения всех экономически развитых стран мира и стран с переходной экономикой. В последние годы наблюдается «эпидемия» ССЗ и в некоторых

развивающихся странах. По прогнозам экспертов, количество смертей от ССЗ в мире возрастёт за счет увеличения смертности среди мужского населения планеты с 18,1 млн. в 2010 году до 24,2 млн. в 2030 году [2, С. 257].

Показатели смертности от ССЗ в Российской Федерации – одни из самых высоких в мире. Среди мужского и женского населения страны в наиболее трудоспособной возрастной группе 25–64 лет смертность от ССЗ в целом и по отдельным нозологическим формам более чем в четыре раза превосходит таковую среди населения США, Японии, а также экономически развитых стран Европейского региона»[2,С.264].

Например, аналогичная тенденция прослеживается с близким по численности населения с Республикой Бурятия штатом Монтана (США), где среди лидирующих причин смертности отмечены: 7% от болезней органов дыхания; 22 % (183,4) от новообразований; 19% (156,5) от внешних причин и 52% (437,7) от болезней системы кровообращения [3].

В сравнении с соседним регионом - Иркутской областью, численность населения, которого превышает Бурятию почти в 2 раза, наблюдается следующая картина: среди основных причин смертности отмечены болезни системы кровообращения (60%), болезни органов дыхания (4%), новообразования (22%), внешние причины (14%) [4].

Республика Бурятия не является исключением по данным показателям: лишь с большим отрывом после смертности от ССЗ (52%) идут внешние причины (19%) и смертность от новообразований (22%), смертность от болезней органов дыхания составляет 7% (в расчете на 100000 человек) [1].

В то же время, за последние годы отмечается и положительная динамика в виде уменьшения этого показателя в сравнении с предыдущими годами, но кривая первичной заболеваемости по ССЗ сохраняет рост в сравнении с другими показателями (рис. 1). На графике представлена динамика первичной заболеваемости болезнями системы кровообращения за последние семнадцать лет в Республике Бурятия. Кривая роста болезней системы кровообращения в Республике Бурятия по последним данным статистики [1] неуклонно растет вверх. Учитывая эту серьезную тенденцию, большое внимание уделяется диагностике и лечению заболеваний системы кровообращения на республиканском уровне.



Рис. 1 – Динамика заболеваемости по Республике Бурятия болезнями системы кровообращения



Рис. 2 – Причины смертности в Республике Бурятия. График построен по данным Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Республике Бурятия [1]

В Республиканской больнице им. Семашко Н.А. через отделение кардиологии проходит в среднем за год около двух тысяч человек, здесь также прослеживается тенденция к росту числа заболеваемости сердечно-сосудистыми заболеваниями (рис.3).

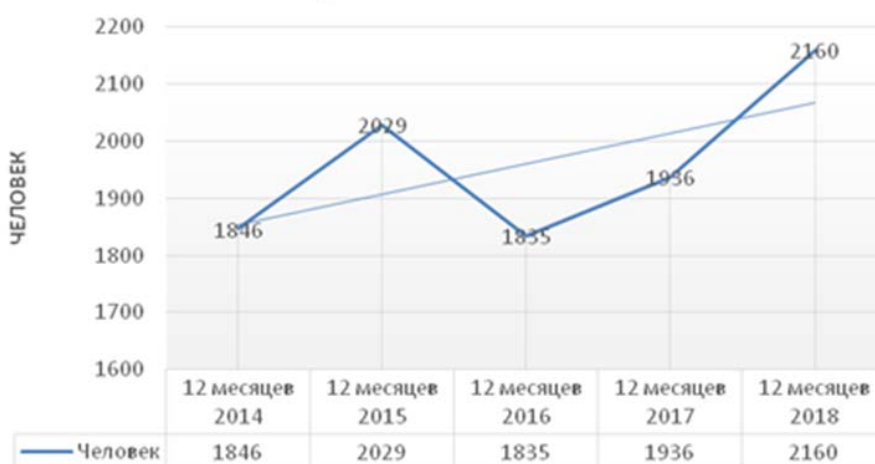


Рис. 3 – Динамика численности пациентов, прошедших лечение в отделении неотложной кардиологии, за последние 5 лет

За пять лет с 2014 по 2018 годы численность больных, прошедших лечение в отделении кардиологии клиники, выросла в 1,2 раза, что стало возможным за счет использования современной аппаратуры, выхода на более высокий уровень диагностики, расширения возможности и перечня проводимых исследований. На сегодняшний день многие высокоинформативные исследования проводятся с применением контрастных препаратов.

За рассматриваемый период в учреждении приобрели новый рентгенодиагностический аппарат, а так же, в связи с открытием приемно-диагностического корпуса, компьютерный томограф. В больнице работает четыре рентгенодиагностических кабинета, три кабинета компьютерной томографии, один кабинет МРТ-диагностики. Рентгенодиагностические исследования проводятся в круглосуточном режиме. Из трех кабинетов компьютерной томографии один работает в круглосуточном режиме, второй в две смены. Круглосуточная работа компьютерного томографа связана с необходимостью своевременной диагностики острых сердечно-сосудистых патологий, по этой причине аппарат расположен в корпусе регионального сосудистого центра.

Ежегодно более 1000 высокотехнологичных операций выполняется на базе Республиканской клинической больницы им. Н.А.Семашко [5]. Получена федеральная лицензия на выполнение 10 видов высокотехнологичной медицинской помощи в кардиохирургии, из 14 разрешенных [5]. В 2006 году создан центр сердечно-сосудистой хирургии, включающий в себя отделение сердечно-сосудистой хирургии, отделение анестезиологии и кардиореанимации, отделение рентгенохирургических методов диагностики и лечения. Таким образом, растет потребность в современных методах диагностики болезней сердца, сосудов, а рентгенодиагностика получает новое развитие.

В кардиохирургии значительная доля всех операций приходится на лечение нарушения ритма, проводится имплантация электрокардиостимуляторов, в том числе совместимыми с магнитно-резонансными исследованиями. Значимым этапом развития кардиохирургии в республике стало протезирование клапанного аппарата сердца при приобретенных пороках, который впервые был проведен в республиканской больнице в 2006 году.

Используются в диагностике заболеваний ССЗ эхокардиография; ангиография, включая коронарографию; для улучшения визуализации применяют КТ с усилением – внутривенным введением контрастных веществ. На диаграмме (рис.4) отражено количество, проведенных компьютерных томографий сердца и коронарных сосудов в РКБ им. Семашко Н.А., на ней прослеживается динамика роста этих исследований из-за востребованности данного метода.

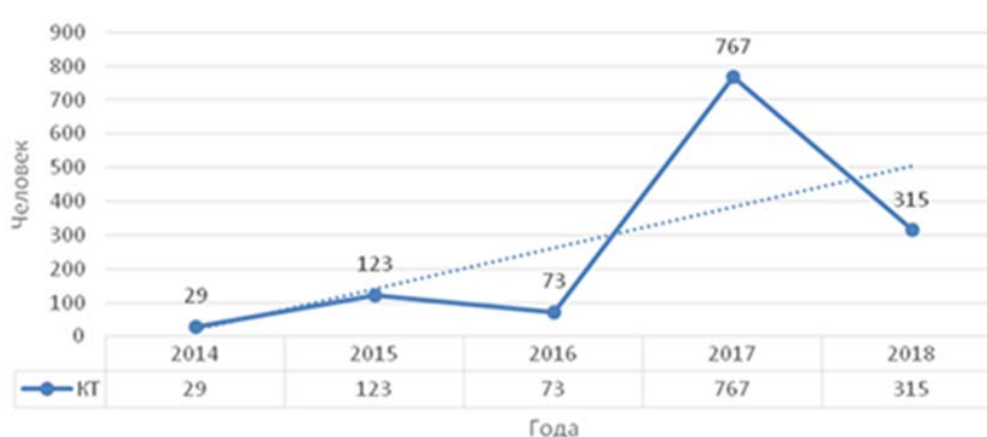


Рис. 4 – Динамика использования компьютерной томографии в диагностике сердечно-сосудистых заболеваний с 2014г. по 2018г. в РКБ им. Семашко Н.А., г. Улан-Удэ

Развитие диагностических возможностей в отделении лучевой диагностики напрямую связано с деятельностью отделения неотложной кардиологии.

Все пациенты с сердечно - сосудистыми заболеваниями проходят рентгенографию органов грудной клетки, и в настоящее время, этот метод исследования, не утратил своей значимости. В среднем около 2000 тысяч человек, госпитализированных в отделение кардиологии проходит это исследование (рис.3).

Возможности данного метода позволяют оценить состояние легочной гемодинамики, определить конфигурацию и размеры сердца, наличие обызвествлений структур сердца и стенок сосудов, а также исключить другую патологию со сходной симптоматикой.

Установками для рентгенографии оснащены практически все корпуса больницы, что, в свою очередь, возводит данное исследование в разряд одного из самых доступных. Рентгенологическая пленка обладает разрешающей способностью выявлять степень развития патологии, реакцию окружающих тканей и соседних органов. Стоит отметить, рентгенограмма - это документ, который можно сравнить с предыдущими рентгенограммами для оценки динамики заболевания.

Отклонения от нормы, выявленные при рентгенографии, часто становятся основой для последующей диагностики возможной патологии и своевременно назначенной терапии.

На графиках заметно, что преобладающая доля рентгенологических исследований в стационаре приходится на органы грудной клетки (рис.5).



Рис. 5 – Рентгенологические исследования с 2014г. по 2018г. в РКБ им. Семашко Н.А., г. Улан-Удэ

Еще одним методом диагностики заболеваний системы кровообращения является компьютерная томография (КТ), при помощи которой исследуются сердце, крупные сосуды, начальные отделы коронарных артерий, чаще левой, иногда ее главные ветви. Все это визуализируется на фоне окружающих тканей, то есть высокого пространственного разрешения.

Главным образом, КТ диагностирует болезни перикарда, аневризму аорты, обызвествления сосудов.

Для увеличения диагностических возможностей используют КТ с усилением.

КТ также используется в режиме синхронизации с ЭКГ для оценки быстротекающих процессов (параметров сократительной функции миокарда).

КТ-ангиография становится в ряде случаев альтернативой ангиографии как окончательный метод диагностики стенозов и аневризм. В отличие от ангиографии метод позволяет визуализировать не только просвет сосуда, но и его тромбированную часть с окружающими тканями.

Ангиография является эталонным методом исследования при сосудистой патологии. Имеется на вооружении современной диагностики - метод с контрастным исследованием сердца и сосудов - ангиокардиография, позволяющий подробно изучить топографию сердца, скорость кровообращения, который используется для диагностики пороков, дифференциации аневризмы аорты и опухолей средостения.

«Коронарография – рентгенологический метод прижизненного изучения венечных артерий сердца путем их контрастирования»[6,С.58]. «Методика исследования дает возможность объективно оценить локализацию, протяженность и степень сужения коронарных артерий, а также состояние коллатерального кровообращения»[6,С.58].

Перспективы и возможности дальнейшего развития лучевой диагностики в кардиологии в нашей больнице – это внедрение таких высокоинформативных и очень востребованных, на сегодняшний день, направлений как МРТ сердца и коронарных сосудов, позитронно - эмиссионная томография.

Как указывается в клинических рекомендациях по диагностике и лечению ИБС, разработанных Минздравом РФ, утвержденных Обществом специалистов по неотложной кардиологии и профильной комиссией по кардиологии: «Магнитно-резонансная томография сердца, однофотонная эмиссионная компьютерная томография, позитронно-эмиссионная томография сердца, - в покое и в комбинации со стрессовыми воздействиями, - доказали в эксперименте высокую чувствительность и специфичность при хронической ИБС, однако повсеместно они не проводятся»[7,С.69]. За этим направлением будущее диагностики в кардиологии у нас республике, соответственно, и в нашей больнице.

По рекомендациям ESC/ESA «МРТ может использоваться для выявления ишемии, при этом перфузия миокарда и региональная сократимость миокарда могут исследоваться как в покое, так и в условиях стресса».

МРТ сердца и коронарных сосудов позволяет получать больше информации, чем такие традиционные диагностические методики, как Эхо-КГ и ЭКГ. Этот метод наиболее эффективен при обследовании структур сердца и

окружающих его тканей. На данный момент, это обследование очень востребовано для диагностических целей в кардиологии и кардиохирургии.

"Точность метода для выявления ишемии миокарда является высокой: чувствительность и специфичность при оценке нарушений сократимости миокарда (14 исследований с участием 754 пациентов) составляли 83% и 84%, соответственно, в то время как при исследовании перфузии миокарда эти показатели были равны 91% и 81%" [8, С.23].

«У пациентов с неудовлетворительным качеством ультразвуковой визуализации МРТ является отличным методом предоперационной оценки как структуры, так и функции сердца» [8, С.23].

Преимущества МРТ перед другими исследованиями, например, перед УЗИ в том, что 3D-изображение дает точное представление о функционировании и состоянии исследуемого участка сердца; дает возможность послойной оценки снимков сердца, что позволяет видеть практически невидимые новообразования, и изучение состояние магистральных сосудов. Еще один плюс – это отсутствие лучевой нагрузки, неинвазивность.

Еще одним перспективным методом исследования, который будет внедрен в ближайшем будущем, – это позитронно-эмиссионная томография, современный метод радио-изотопной диагностики. В планах использование ПЭТ-КТ для диагностики различных заболеваний (в первую очередь, опухолей, в том числе сердца и органов средостения). Совмещение функций ПЭТ-КТ позволяет специалисту увидеть, где именно находится измененная ткань с отклонениями от нормы.

Достоинством метода является то, что он признан, как более эффективный, чем КТ и МРТ, у него более высокая точность дифференцирования доброкачественных и злокачественных опухолей.

Результаты проведенного анализа позволяют сделать некоторые частные выводы, представляющие интерес для исследования: анализ статистических данных позволяет выявить рост первично выявленных сердечно-сосудистых заболеваний не только в мире, но и Республике Бурятия; лидирующее место по смертности в республике приходится на сердечно-сосудистые заболевания.

За последние годы в республике отмечается небольшая положительная динамика в виде уменьшения уровня смертности от сердечно-сосудистых заболеваний, что позволяет предположить улучшение диагностики и своевременного лечения этих заболеваний.

Таким образом, спектр услуг лучевой диагностики в кардиологии и кардиохирургии на базе РКБ им. Семашко Н.А. вносят свой весомый вклад в стабилизацию этой положительной динамики уменьшения смертности от сердечно-сосудистых заболеваний, не смотря на рост самой заболеваемости. Данные последней разработки в этой области позволяют вывести неинвазивную диагностику на качественно новый уровень. РКБ им. Семашко Н.А. внедряет новые методы лечения и диагностики ССЗ, соответствующие требованиям времени. Задача современного специалиста представляется в введении этих разработок, чтобы дать достойный ответ росту заболеваний в современном мире.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Республике Бурятия / [Электронный ресурс]. - URL: http://burstat.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/burstat.ru/statistics/population (дата обращения: 10.08.2019г).
2. Оганов Р.Г. Сердечно - сосудистые заболевания в начале XXI века: медицинские, социальные, демографические аспекты и пути профилактики / Оганов Р.Г. // Федеральный справочник. Здравоохранение России. - 2013. - Т.13. - С.257-264.
3. Stats of the state of Montana. National Center for Health Statistics / [Электронный ресурс]. - URL: <https://www.cdc.gov/nchs/pressroom/states/montana/montana.htm> (дата обращения: 10.08.2018 г.)
4. Смертность населения Иркутской области по основным классам причин. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Иркутской области / Электронный ресурс. - URL: <http://irkutskstat.gks.ru/> (дата обращения: 10.08.2018 г.)
5. Республиканская клиническая больница им. Н.А. Семашко / Электронный ресурс. - URL: <http://rkbsemashko.ru/news/announcements/9195/> (дата обращения: 10.08.2018 г.)
6. Коронаграфия//Большая медицинская энциклопедия: [в 30 т]/ гл.ред. Б.В. Петровский.-3-е изд.- М.: Советская энциклопедия,1979,т.10
7. Диагностика и лечение хронической ишемической болезни сердца. Клинические рекомендации. Разработаны по поручению Минздрава России, утверждены Обществом специалистов по неотложной кардиологии и профильной комиссией по кардиологии.- М., 2013. -69с.
8. Рекомендации ESC/ESA по предоперационному обследованию и ведению пациентов при выполнении внесердечных хирургических вмешательств 2014. /Рабочая группа по предоперационному обследованию и ведению пациентов при выполнении внесердечных хирургических вмешательств Европейского общества кардиологов (ESC) и Европейского общества анестезиологов. // Российский кардиологический журнал. - 2015.- №8 (124).- С. 7 -66.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Territorial'nyj organ Federal'noj sluzhby gosudarstvennoj statistiki po Respublike Buryatiya [Territorial authority of the Federal State Statistics Service for the Republic of Buryatia] / Electronic resource. - URL: http://burstat.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/burstat.ru/statistics/population (accessed date: 08/10/2019). [in Russian]
2. Oganov R.G. Serdechno - sosudistye zabolevaniya v nachale XXI veka: medicinskie, social'nye, demograficheskie aspekty i puti profilaktiki [Cardiovascular diseases at the beginning of the XXI century: medical, social, demographic aspects and ways of prevention]. / Oganov R.G. // Federal reference book. Health care in Russia. - 2013. - V.13. - P.257-264. [in Russian]

3. Stats of the state of Montana. National Center for Health Statistics / [Electronic resource]. - URL: <https://www.cdc.gov/nchs/pressroom/states/montana/montana.htm> (accessed: 08.10.2019).

4. Smernost' naseleniya Irkutskoj oblasti po osnovnym klassam prichin. Territorial'nyj organ Federal'noj sluzhby gosudarstvennoj statistiki po Irkutskoj oblasti [Mortality of the population of the Irkutsk region for the main classes of reasons. Territorial authority of the Federal State Statistics Service for the Irkutsk Region] / Electronic resource. - URL: <http://irkutskstat.gks.ru/> (accessed: 08.10.2019). [in Russian]

5. Respublikanskaya klinicheskaya bol'nica im. N.A. Semashko [Republican Clinical Hospital named after N.A. Semashko] / [Electronic resource]. - URL: <http://rkbsemashko.ru/news/announcements/9195/> (accessed: 08.10.2019) [in Russian]

6. Koronografiya// [Coronography] // Bol'shaya medicinskaya enciklopediya [Big Medical Encyclopedia: [in thirty volumes.]] /chief editor B.V. Petrovsky.-3rd ed. - M.: Soviet Encyclopedia, 1979, V.10 [in Russian]

7. Diagnostika i lechenie hronicheskoy ishemicheskoy bolezni serdca. Klinicheskie rekomendacii. Razrabotany po porucheniyu Minzdrava Rossii, utverzhdeny Obshchestvom specialistov po neotlozhnoj kardiologii i profil'noj komissiej po kardiologii [Diagnosis and treatment of chronic coronary heart disease. Clinical recommendations. Developed by order of the Ministry of Health of Russia, approved by the Society of Specialists in Emergency Cardiology and the profile commission for cardiology].- M., 2013. -69p. [in Russian]

8. Rekomendacii ESC/ESA po predoperacionnomu obsledovaniyu i vedeniyu pacientov pri vypolnenii vneserdechnyh hirurgicheskikh vmeshatel'stv 2014. /Rabochaya gruppa po predoperacionnomu obsledovaniyu i vedeniyu pacientov pri vypolnenii vneserdechnyh hirurgicheskikh vmeshatel'stv Evropejskogo obshchestva kardiologov (ESC) i Evropejskogo obshchestva anesteziologov. [ESC / ESA recommendations on preoperative examination and management of extracardiac surgery 2014. / Working group on preoperative examination and management of extracardiac surgery of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Society of Anesthesiologists]. // Rossijskij kardiologicheskij zhurnal [Russian Journal of Cardiology]. - 2015.- №8 (124) .-P. 7-66. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.87.9.018>**СНИЖЕНИЕ ОБВОДНЕННОСТИ ПРИБОРТОВОГО МАССИВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ПРОЧИСТКИ ЗАКРЫТОГО ТРУБЧАТОГО ДРЕНАЖА**

Научная статья

Усанов С.В.¹, Мельник В.В.^{2,*}, Усанова А.В.³¹ ORCID: 0000-0002-6666-3507;² ORCID: 0000-0001-5275-3942;^{1, 2, 3} Институт горного дела УрО РАН, Екатеринбург, Россия

* Корреспондирующий автор (melnikvv74[at]mail.ru)

Аннотация

Объектом исследования являются водопритоки из верхних водоносных горизонтов прибортового горного массива Соколовского карьера и состояние закрытого трубчатого дренажа. Цель работы – исследовать изменение водопритоков после гидродинамической прочистки горизонтального трубчатого дренажа, оценить протяженность и частоту засоров труб. Методы исследования: анализ горного-геологических условий прибортового массива Соколовского карьера, замеры водопритоков на выходах из горизонтального трубчатого дренажа до и после прочистки труб, гидродинамическая прочистка труб. В результате исследований установлены протяжённые закольцованные участки труб, увеличена пропускная способность дренажа, осуществлен прогноз водопонижения в прибортовом массиве верхних горизонтов Соколовского карьера и даны рекомендации по поддержанию эффективного водоотлива на верхних горизонтах.

Ключевые слова: водоносный горизонт, водопритоки, горизонтальный трубчатый дренаж, водосбросная скважина, засоры, гидродинамическая промывка, открытые горные работы, деформации уступов, повышение устойчивости уступов.

REDUCED WATER FLOW RATE OF ADJACENT ROCK MASS WITH THE USE OF TECHNOLOGY OF HYDRODYNAMIC CLEANING OF CLOSED PIPE DRAINING

Research article

Usanov S.V.¹, Melnik V.V.^{2,*}, Usanova A.V.³¹ ORCID: 0000-0002-6666-3507;² ORCID: 0000-0001-5275-3942;^{1, 2, 3} Institute of Mining, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

* Corresponding author (melnikvv74[at]mail.ru)

Abstract

The object of the study is water inflows from the upper water-bearing layer of the instrument mountain massif of the Sokolovsky quarry and the state of closed pipe draining. The purpose of the work is to look into the change in water inflows after hydrodynamic cleaning of horizontal pipe draining, to evaluate the extent and frequency of blockages of pipes. Research methods: Analysis of the mountain-geological conditions of the Sokolovsky open pit mine array, measurements of water inflows at the exits from horizontal pipe draining before and after pipe cleaning, as well as hydrodynamic pipe cleaning. As a result of the studies, extended, clogged sections of pipes were established, drainage capacity was increased, a forecast of water reduction in the instrument array of the upper horizons of the Sokolovsky quarry was made, and recommendations were made for maintaining effective drainage at the upper horizons.

Keywords: water-bearing layer, water inflow, horizontal pipe draining, spillway hole, block, hydromatic cleaning, open-cut mining, deformation of dropwall, increasing the rigidity of dropwall.

Введение

Горные работы на Соколовском карьере начаты в январе 1955 года [1]. К 2017 году вынуто более 1 млрд. м³ горной массы, а глубина карьера достигла 525 м. Доработка карьера с учетом разности и углубки продлится порядка 20 лет.

Соколовское месторождение относится к числу наиболее сложных в горно-геологическом отношении железорудных месторождений. На месторождении выделяются два инженерно-геологических комплекса пород: 1) комплекс слабых и средней крепости пород; 2) комплекс крепких и средней крепости палеозойских пород, включающий рудные залежи.

Комплекс рыхлых пород, представлен покровными мезокайнозойскими отложениями и глинами коры выветривания палеозойских пород, имеет повсеместное распространение. Породы залегают практически горизонтально на глинах коры выветривания. Мощность рыхлых отложений в среднем составляет 100 м. Мезокайнозойские отложения представлены разновозрастными осадочными породами: суглинками, глинами, песками, глинистыми опоками и песчаниками.

Комплекс крепких и средней крепости палеозойских пород представлен осадочными, эффузивными, осадочно-вулканогенными и метасоматическими породами, интрузиями диорит-порфиритового состава, контактово-метаморфическими образованиями.

Гидрогеологическая характеристика месторождения

Гидрогеологические условия отработки месторождения весьма сложные [2]. Рудные тела залегают в водоносном комплексе скальных пород палеозоя и перекрыты мощной толщей песчано-глинистых отложений мезокайнозоя, содержащих три, повсеместно расположенных, водоносных горизонта (комплекса):

- водоносный горизонт четвертичных и неогеновых отложений;
- водоносный горизонт олигоценых отложений;
- водоносный комплекс мел-палеогеновых отложений.

Региональным водоупором в пределах месторождения являются чеганские глины

Верхняя зона – грунтовые воды над толщами указанных водоупорных глин, приуроченные к пескам олигоцена, неогена или четвертичным супесям. Она характеризуется преимущественно благоприятными условиями инфильтрационного питания, 80-95 % которого обеспечивается за счет поступления снеготалых вод.

К нижней зоне относятся подземные воды, приуроченные к породам опоковой толщи, пескам и песчаникам мела (палеоген-меловой водоносный горизонт) и к трещиноватым породам фундамента (палеозойский водоносный комплекс). Эта зона характеризуется ограниченностью питания, обеспечиваемого главным образом за счет перетекания вод верхней гидродинамической зоны на участках размыва глин регионального водоупора.

На Соколовском карьере действует сложная система водопонижения [3], [4], которая развита по всему периметру месторождения и охватывает четыре водоносных горизонта Соколовского месторождения: 1) водоносный горизонт четвертичных отложений; 2) водоносный горизонт неогеновых отложений; 3) водоносный горизонт олигоценых отложений; 4) водоносный комплекс мел-палеогеновых отложений.

Водопонижительная система Соколовского карьера состоит из внутрикарьерных дренажных устройств и подземного дренажного комплекса. Внутрикарьерные дренажные устройства включают в себя: горизонтальные трубчатые дренажи по меловому и неоген-олигоценному водоносным горизонтам, дренажные канавы, 2 зумпфа, ливнесточную систему, ливне-приемники. Подземный дренажный комплекс Соколовского карьера включает два шахтных ствола шахта «Южная-2» и «Южная-Вентиляционная», расположенных за пределами карьера и 12 км подземных горизонтальных дренажных выработок по периметру карьера. С поверхности в штреки пробурены сквозные фильтры, оборудованные фильтрами на меловой водоносный горизонт, а также есть система водосбросных скважин. Из штрека на меловой водоносный горизонт пробурены восстающие скважины.

Конструкция горизонтального трубчатого дренажа представлена канавой, пройденной в водоупоре, по дну которой смонтированы перфорированные асбоцементные трубы диаметром 300 мм [5], [6]. В качестве фильтрующего слоя использован щебень фракции 5 – 20 мм, которым покрыты канава и асбоцементные трубы. После ввода в эксплуатацию в семидесятых годах прошлого века дренаж ни разу не прочищался.

Дренаж четвертичного и олигоценного водоносных горизонтов расположен на отметках 165 – 170 м по периметру карьера. В северо-восточной части он представлен открытой дренажной канавой. Сброс воды производится в подземную дренажную систему самотеком.

Дренаж мелового водоносного горизонта построен по кровле коры выветривания и по кровле темно-серых пылеватых песков. Вода из дренажа и юге-восточного зумпфа гор. +90 м сбрасывается по водосбросным скважинам в подземную дренажную систему самотеком.

При длительной эксплуатации дренажа, более 10 лет, происходит заиливание асбоцементных труб мелкозернистым песком и глинистыми частицами [7], [8], [9]. При выходе воды из водоносного горизонта происходит ее обогащение кислородом, окисляются ионы железа, меди и алюминия, которые выпадают в осадок, происходит коагуляция дренирующего слоя, перфорация асбоцементных труб зарастает отложениями.

В связи с этой проблемой целью работы является исследование водопритоков из горизонтального трубчатого дренажа, который расположен на верхних уступах западного и северного бортов Соколовского карьера для определения участков коагуляции труб и оценка эффективности водоотдачи мелового водоносного горизонта в горизонтальную дренажную систему, оценка протяженности и частоты засоров труб.

Средние значения водопритоков за последние 15 лет по меловому и неоген-олигоценному горизонтам уменьшились на 15-30 %, что свидетельствует о снижении притоков к восстающим скважинам, сквозным фильтрам и недостаточной компенсацией притока к прибортовым дренажам при сохраняющихся значительных напорах подземных вод. Эффективность работы дренажной системы Соколовского карьера по Северному и Западному борту от ввода их в эксплуатацию до настоящего времени снизилась десятки раз. Этим и продиктована необходимость проведения мероприятий по очистке дренажных устройств в условиях продолжения эксплуатации карьера на 20 лет.

Неогеновые суглинки, супеси и олигоценые пески в осушенном состоянии устойчивы, в обводненном - приобретают текучее состояние. Чеганские глины легко выветриваются под действием атмосферных явлений и в откосах выколаживаются до угла естественного откоса в 27 – 30°.

Откосы опоковой толщи весьма устойчивы, при отработке требуют предварительного рыхления взрывом. На постоянных бортах опоковая толща в откосах растрескивается и осыпается под углом 27 – 30°. Меловые пески в осушенном состоянии устойчивы, а при интенсивных выходах воды уступы подвержены размыву.

В бортах карьера по состоянию на 2017 год зарегистрировано 38 деформационных участков, различного масштаба (Рисунок 1). В палеозойском фундаменте деформационные процессы менее развиты по сравнению с рыхлой мезокайнозойской толщей [10], [11]. Только шесть деформаций из тридцати восьми произошли в палеозойских породах. Деформации проявляются концентрировано, на одних и тех же участках карьера, которые можно условно объединить в группы: 1) северная; 2) восточная; 3) южная; 4) западная.

Водопропускная способность дренажных выработок (сквозных фильтров, восстающих скважин, закрытого трубчатого дренажа и др.) значительно сократилась, в связи с чем вырос уровень обводненности прибортовых массивов карьера. Прочистка закрытого трубчатого дренажа, находящегося на западном и северном бортах карьера повысит фильтрационные характеристики действующей дренажной системы и снизит обводненность рыхлых

отложений неоген-олигоценового и мелового водоносных горизонтов, выходящих непосредственно в борта карьера, а, следовательно, в перспективе повысит устойчивость уступов [12].

Методика исследований

Трубчатый дренаж расположен на горизонтах: 1) гор. +170 м/+165 м - олигоценовый водоносный горизонт; 2) гор. +100 м/+80 м - меловой водоносный горизонт. Для определения протяженности закольматированных участков горизонтального трубчатого дренажа и влияния кольматации на водопритоки выбрано несколько обособленных участков на верхних горизонтах западного и северного бортов, которые не подлежат разноске. Общая длина экспериментального участка составляет 6000 м (Рисунок 1), а всего выбрано 7 обособленных участков дренажной системы на горизонтах +170 м и +85 м. Работы проводились с августа по октябрь.

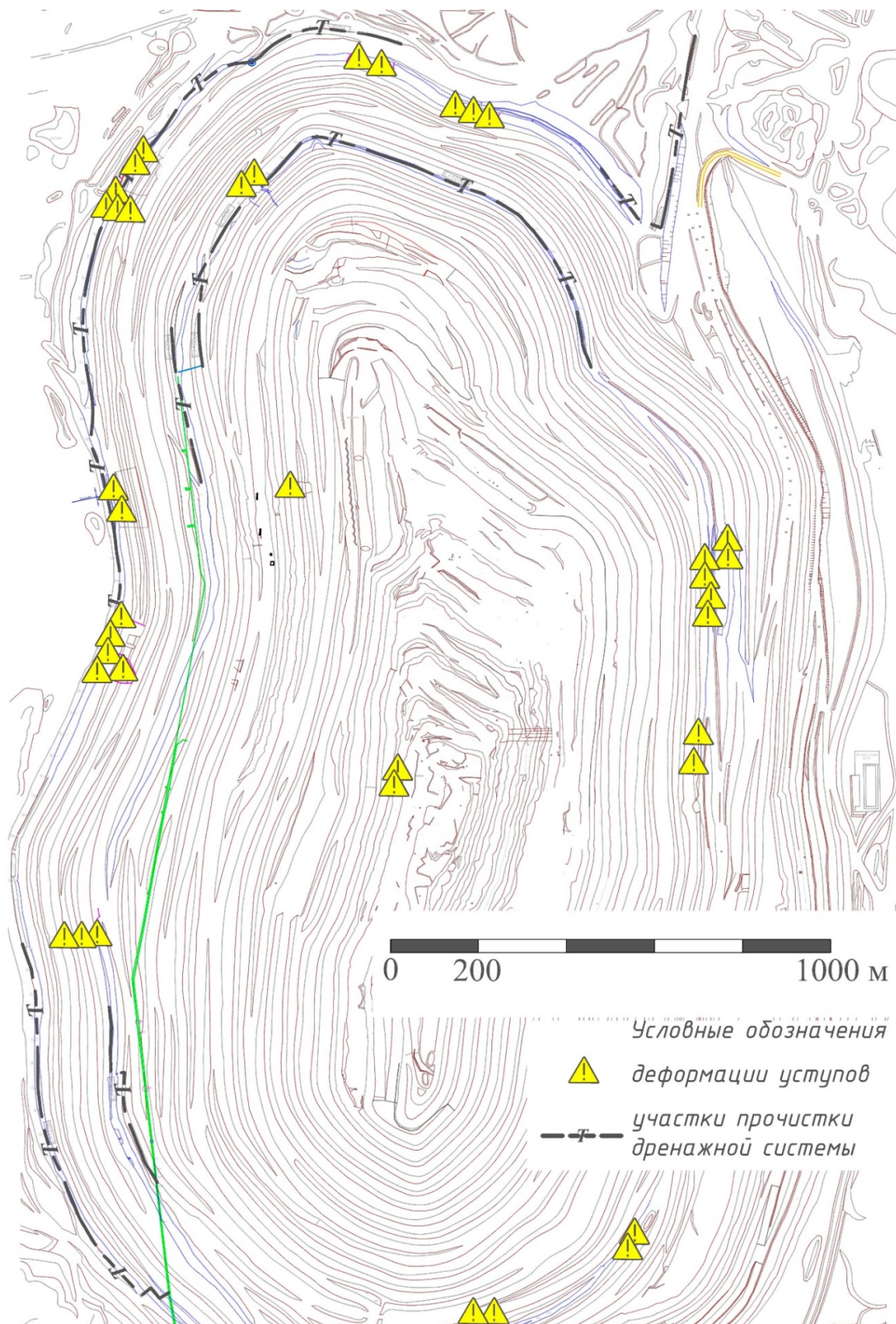


Рис. 1 – Схема расположения экспериментальных участков гидродинамической промывки горизонтального трубчатого дренажа Соколовского карьера

Прямые замеры водопритоков в трубчатом дренаже можно производить только в случае установки расходомеров по его протяжению, однако таковые на рассматриваемом объекте отсутствуют. Поэтому эффективность прочистки труб можно проследить только по работе скважинных фильтров и восстающих скважин [13], [14]. На данном этапе, основным является визуальное обследование дренажных труб до очистки и после ее проведения, которое показало значительное повышение скорости движения жидкости по очищенному дренажу.

Гидродинамическая очистка позволяет очистить трубопровод без повреждений и расстыковок [15]. Мощные струи воды под высоким давлением создают гидродинамическую ударную нагрузку на очищаемый участок, при этом давление в самом трубопроводе не создается. В зависимости от конкретных условий загрязнения или кольматации горизонтального трубчатого дренажа на сопло агрегата одевается одна из форсунок – роторная, пробивная и др. Илососное оборудование применяется для очистки колодцев – элементов горизонтального трубчатого дренажа.

В ходе гидродинамической прочистки на плане отмечались наиболее закольматированные участки и протяженность засоренного участка в трубе. Измерения протяженности засоров выполнены по длине гибкого шланга, погруженного в колодец или трубу.

Прочистка горизонтального трубчатого дренажа ведется в сторону противоположную направлению водотока в сухой трубе. После удаления засора и прочистки трубы контроль прочистки ведется по возобновлению или увеличению водотока в трубе. Контроль качества промывки и выявление разрушения трубопровода выполнен с помощью инспекции специальным телевизионным оборудованием.

Результаты исследований

Вертикальные колодцы трубчатого горизонтального дренажа, состоящие из четырех бетонных колец, заполнены водой в нижней части на большинстве обследованных участков (Таблица 1). Максимальная глубина заполнения колодцев водой на меловом горизонте составляет 2,5 м от дна, а по олигоценному 1,5 м. Максимальная глубина заилённости колодцев достигала 0,5 м.

Таблица 1 – Данные по уровню воды в дренажных колодцах до прочистки

№ участка	местоположение участка	Протяженность участка, м	кол-во колодцев	Средний уровень воды в колодце, м
1	горизонт +170 Север	360	9	0
2	горизонт +170 С-Запад	1150	20	0,365
3	горизонт +170 Ю-Запад	720	13	0,6
4	горизонт +170 С-Восток	640	9	нет данных
5	горизонт +85 Север, Запад	1329	21	1,8
6	горизонт +90 Запад	450	4	Нет данных
7	горизонтальные скважины Соколовского карьера	351	-	Нет данных

В некоторых местах материал, которым заполнены трубы, превратился в монолитные твердые куски (Рисунок 2). Наиболее распространены засоры из корней растений, которые при гидродинамической промывке очищаются от минеральных наростов, но продолжают препятствовать прохождению воды по трубе. В таких случаях для среза корней использованы фрезерные насадки. В среднем закольматированные участки в трубах дренажа составляли первые метры. Наиболее протяженные участки кольматации находятся в юго-западной части карьера на горизонте +170 м, где их длина достигала 10 м.



Рис. 2 – Фрагмент органо-минерального материала, из которого состоит засор трубчатого дренажа

Скорость заиливания колодцев довольно низкая. С учётом эксплуатации дренажа около 50 лет скорость заиливания составляет порядка 0,01 м в год.

По результатам наблюдений за три месяца до и после прочистки дренажа по всем объектам водопонижающего комплекса выявлено, что в октябре после проведения прочистки закрытого дренажа в объеме 6,0 км, водоприитоки в карьер снизились, а водоприитоки шахтных вод в подземном дренажном штреке через водосбросные скважины заметно увеличился, что говорит о повышении эффективности работы дренажной системы. При общем снижении водоприитков в карьер сезонные в связи с осенними дождями увеличились.

Общие водоприитоки в карьер с августа (начало работ) по октябрь (окончание работ) 2018 года снизились на 47 000 м³/мес. при увеличении паводковых осадков за этот период на 8 184 м³/мес. Водоприиток шахтных вод за счет увеличения водоприитков в сбросные скважины из горизонтального трубчатого дренажа увеличился на 14 000 м³/мес. (Таблица 2).

Таблица 2 – Изменение водоприитков в карьер за август – октябрь 2018 (до и после гидродинамической прочистки горизонтального трубчатого дренажа)

Наименование притока	Август		Сентябрь		Октябрь	
	м ³ /час	м ³ /мес.	м ³ /час	м ³ /мес.	м ³ /час	м ³ /мес.
Приток к карьере	1148	854112	1128,5	812520	1084,7	807017
Водосбросные скважины	248,1	184586	261,9	188568	264,6	196862
паводок, осадки	8	5952	12	8640	19	14136

Заключение

Методом гидродинамической очистки повышена эффективность работы горизонтальный трубчатого дренажа. За счет увеличения водотока по дренажным каналам снижена обводненность бортов Соколовского карьера. При проведении исследований протяженности закольматированных участков из труб и колодцев удалены иловые отложения, грязь, корневища растений.

По результатам исследований рекомендовано, что проводить прочистку горизонтального трубчатого дренажа и колодцев не реже одного раза в два года [16]. Методом гидродинамической прочистки можно реконструировать имеющиеся сквозные фильтры и восстающие скважины для повышения водоотдачи прибортового массива и приведения его в устойчивое состояние.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

- 1 Кусков А.П. Минерально-сырьевая база предприятий объединения / Кусков А.П., Алехин С.Н. // Горный журнал. 2004. №7. С. 24-32
- 2 Едигенов М.Б. Гидрогеология рудных месторождений Северного Казахстана / Едигенов М.Б., Костанай, 2013, 308 с.
- 3 Едигенов М.Б. Рекомендации по осушению горных выработок, ведению мониторинга и охране окружающей среды на Ломоносовском месторождении железных руд / М.Б. Едигенов // Геология и охрана недр. 2015. № 1 (54). С. 54-64.
- 4 Усанов С.В. Обеспечение промышленной безопасности при разработке Соколовского железорудного месторождения подземным способом в условиях обводненной налегающей толщи / Усанов С.В., А.В. Крутиков, Д.Е. Мельник // Сетевое периодическое издание Проблемы недропользования. 2018. № 4, с. 82 - 89 - DOI: 10.25635/2313-1586.2018.04.082
- 5 Slavinska O. S. Optimization of engineering solutions: the case of comparison of comparison of shallow drainage constructions / Slavinska O. S., Styozhka V. V. // Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo. 2016. Issue 98. P. 228-237.
- 6 Multiple rainfall event pollution transport by sustainable drainage systems: the fate of fine sediment pollution/Allen D., Arthur S., Haynes H., Olive V. // International Journal of Environmental Science and Technology. 2016. Vol. 14, Issue 3. P. 639-652 DOI: 10.1007/s13762-016-1177-y
- 7 Кузнецов В.С. Состояние трубчатого дренажа грунтовых плотин нижегородской ГЭС после 60 лет эксплуатации / Кузнецов В.С., Ладенко С.Ю. // Известия всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева, 2017. том 285. С. 51-61
- 8 Янко Ю.Г. Работа закрытого трубчатого дренажа в ленинградской области. / Янко Ю.Г. // 2011, №2. С.31-34
- 9 Митрахович. А.И. Процессы заиливания дрена и их самоочистка / Митрахович. А.И., Казмирук И.Ч. // Мелиорация. Минск. 2017. №4 (82). С. 5-11
- 10 Усанова А.В. Мониторинг сдвижения земной поверхности при разработке Соколовско-Сарбайского месторождения методом радарной интерферометрии / А.В. Усанова, С.В. Усанов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2018. № 4. С. 28-33.
- 11 Бермухамбетов В.А. Современное развитие идей "гармонии недр" А. Ж. Машанова в решении геомеханических проблем на предприятиях Казахстана / В. А. Бермухамбетов, А. Д. Сашурин, В. В. Мельник и др. // Сетевое периодическое издание Проблемы недропользования. - 2017. - № 3. (14) - С. 44 - 48., - DOI: 10.18454/2313-1586.2017.03.044
- 12 Мельник В.В. Осушение рудных тел в условиях повышенной обводненности и закарстованности налегающей толщи / В.В. Мельник, А.Л. Замятин // Сетевое периодическое научное издание «Проблемы недропользования», 2018г. Вып. 1, С.105-111. - DOI: 10.25635/2313-1586.2018.01.105, ISSN: 2313-1586.
- 13 Femanaez D. Mine water drainage / Femanaez D // Mine water and the enviroment, vol.12, annual issue, 2003 – p. 107-130.
- 14 Fernandez R. Water in mining and underground works / Femanaez D // Siamos-95 preamble. vx. Granada. 1995. - p. 97-100.
- 15 Кожевников В.А. Гидродинамическая прочистка трубопроводных систем / Кожевников В.А. // Энергоменеджер. 2003, № 31, С. 17-19.
- 16 Босых О.С. Рекомендации по очистке дренажных систем ГБУ РХ / Босых О.С. // «Управление инженерных защит». 2017. №1-2. С. 29-31

Список литературы на английском языке / References in English

- 1 Kuskov A.P. Mineralno-syryevaya baza predpriyatii obyedineniya [Mineral Resources Base of Enterprises of the Association] / Kuskov A.P., Alekhine S.N. // Gorniy zhurnal [Mining Journal]. 2004. No. 7. P. 24-32 [in Russian]
- 2 Edigenov M.B. Gidrogeologiya rudnykh mestorozhdenii Severnogo Kazakhstana / Edigenov M.B., Kostanai [Hydrogeology of Ore Deposits of Northern Kazakhstan, Kostanay], 2013, 308 p. [in Russian]
- 3 Edigenov M.B. Rekomendatsii po osusheniyu gornyx vyrabotok, vedeniyu monitoringa i okhrane okruzhayushchei sredy na Lomonosovskom mestorozhdenii zheleznykh rud [Recommendations for Drainage of Mines, Monitoring and Environmental Protection at the Lomonosov Iron Ore Deposit] / M.B. Edigenov // Geologiya i okhrana neдр [Geology and Subsurface Protection]. 2015. No. 1 (54). P. 54-64. [in Russian]
- 4 Usanov S.V. Obespechenie promyshlennoi bezopasnosti pri razrabotke Sokolovskogo zhelezorudnogo mestorozhdeniya podzemnym sposobom v usloviyakh obvodnennoi nalegayushchei tolshchi [Ensuring Industrial Safety in the Development of the Sokolovskoye Iron Ore Deposit by Underground Method in Conditions of Flooded Overlying Strata] / Usanov S.V., A.V. Krutikov, D.E. Melnik // Setevoye periodicheskoye izdaniye – Problemy nedropolzovaniya [Network Periodical "Problems of Subsoil Use]. 2018. No 4, p. 82 - 89 - DOI: 10.25635/2313-1586.2018.04.082 [in Russian]
- 5 Slavinska O. S. Optimization of engineering solutions: the case of comparison of comparison of shallow drainage constructions / Slavinska O. S., Styozhka V. V. // Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo. 2016. Issue 98. P. 228-237.
- 6 Multiple rainfall event pollution transport by sustainable drainage systems: the fate of fine sediment pollution/Allen D., Arthur S., Haynes H., Olive V. // International Journal of Environmental Science and Technology. 2016. Vol. 14, Issue 3. P. 639-652 DOI: 10.1007/s13762-016-1177-y.
- 7 Kuznetsov V.S. Sostoyanie trubchatogo drenazha gruntovykh plotin nizhegorodskoi GYeS posle 60 let ekspluatatsii [State of Pipe Draining of Soil Dams of the Nizhny Novgorod Hydroelectric Station after 60 Years of Operation] / Kuznetsov V.S., Ladenko S.Yu. // Izvestiya vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta gidrotekhniki im. B.E. Vedeneeva [Proceedings of the All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering named after B.E. Vedeneev] 2017. vol. 285. P. 51-61 [in Russian]

- 8 Yanko Yu.G. Rabota zakrytogo trubchatogo drenazha v leningradskoi oblasti [Work of Closed Pipe Draining in the Leningrad Region] / Yanko Yu.G. // 2011, No. 2. P.31-34 [in Russian]
- 9 Mitrahovich. A.I. Protsessy zaileniya dren i ikh samoochistka [Siltation of Drains and their Self-Cleaning] / Mitrahovich. A.I., Kazmiruk I.Ch. // Mekioratsiya [Reclamation]. Minsk. 2017. No.4 (82). P. 5-11 [in Russian]
- 10 Usanova A.V. Monitoring sdvizheniya zemnoi poverkhnosti pri razrabotke Sokolovsko-Sarbaiskogo mestorozhdeniya metodom radarnoi interferometrii [Monitoring the Movement of the Earth's Surface during the Development of the Sokolovsko-Sarbaiskoye Field by Radar Interferometry] / A.V. Usanova, S.V. Usanov // Fiziko-tekhicheskiye problem razrabotki poleznykh iskopaemykh [Physical and Technical Problems of the Development of Minerals]. 2018. No. 4. P. 28-33. [in Russian]
- 11 Bermukhambetov V.A. Sovremennoe razvitie idei “garmonii nedr” A. Zh. Mashanova v reshenii geomekhanicheskikh problem na predpriyatiyakh Kazakhstana [Modern Development of the Ideas of “Harmony of the Mines” of A. Zh. Mashanov in Solving Geomechanical Problems at Enterprises in Kazakhstan] / V.A. Bermukhambetov, A.D. Sashurin, V.V. Melnik and others // Setevoye periodicheskoye izdaniye – Problemy nedropolzovaniya [Network Periodical “Problems of Subsoil Use”. – 2017. – No. 3. (14) – P. 44-48., - DOI: 10.18454 / 2313-1586.2017.03.044 [in Russian]
- 12 Melnik V.V. Osushenie rudnykh tel v usloviyakh povyshennoi ob-vodnennosti i zakarstovannosti nalegayushchei tolshchi [Drainage of Ore Bodies under Conditions of Increased Water Cut and Karst of the Overlying Strata] / V.V. Melnik, A.L. Zamyatin // Setevoye periodicheskoye izdaniye – Problemy nedropolzovaniya [Network Periodical “Problems of Subsoil Use”. 2018. Vol. 1, P.105-111. – DOI: 10.25635/2313-1586.2018.01.105, ISSN: 2313-1586. [in Russian]
- 13 Femanaez D. Mine water drainage / Femanaez D // Mine water and the enviroment, vol.12, annual issue, 2003 – p. 107-130.
- 14 Fernandez R. Water in mining and underground works / Femanaez D // Siamos-95 preamble. vx. Granada. 1995. - p. 97-100.
- 15 Kozhevnikov V.A. Gidrodinamicheskaya prochistka truboprovodnykh sistem [Hydrodynamic Cleaning of Piping Systems] / Kozhevnikov V.A. // Energomenedzher [Energy Manager] 2003, No. 31, P. 17-19. [in Russian]
- 16 Bosykh O.S. Rekomendatsii po ochistke drenazhnykh sistem GBU RH [Recommendations for Cleaning Drainage Systems GBU RKH] / Bosykh O.S. // Upravleniye inzhenernykh zashchit [“Management of Engineering Protection.”] 2017. No. 1-2. P. 29-31 [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.87.9.019>

РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ КИСЛОТНОГО СОСТАВА АФИ ПРОЛОНГИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛИМИКТОВЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

Научная статья

Рогожинский Р.А.^{1,*}, Литвин В.Т.², Зиновьев А.М.³, Рощин П.В.⁴

² ORCID: 0000-0002-9100-1441,

ООО «Акрибия Лаб», Самара, Россия;

⁴ ORCID: 0000-0002-1825-0023;

^{1, 3, 4} Самарский государственный технический университет, Самара, Россия

* Корреспондирующий автор (rogozhinskii96[at]mail.ru)

Аннотация

Целью данной работы являлось поиск и оценка эффективности кислотного состава пролонгированного действия. Высокие пластовые температуры требуют применения технологических жидкостей замедленной реакции с породой коллектора при проведении работ по интенсификации притока нефти.

Задачи проведенных лабораторных работ представляли из себя оценку растворяющей способности одного из кислотных составов линейки «АФИ», изменения его pH от времени при реакции с карбонатной породой в температурах 24 и 87 °С, совместимости с пластовым флюидом при добавке различных поверхностно-активных веществ.

В заключении статьи намечены планы на дальнейшие исследования.

Ключевые слова: кислотная обработка, кислотный состав, интенсификация притока, высокотемпературный коллектор, повышенная температура, карбонатный коллектор, низкопроницаемый пласт, трудноизвлекаемые запасы.

LABORATORY TESTS OF AFI ACID COMPOSITION OF LONG-TERM ACTION FOR HIGH-TEMPERATURE POLYMICTIC COLLECTORS

Research article

Rogozhinsky R.A.^{1,*}, Litvin V.T.², Zinoviev A.M.³, Roshchin P.V.⁴

² ORCID: 0000-0002-9100-1441,

Akribia Lab LLC, Samara, Russia;

⁴ ORCID: 0000-0002-1825-0023;

^{1, 3, 4} Samara State Technical University, Samara, Russia

* Corresponding author (rogozhinskii96[at]mail.ru)

Abstract

The aim of this work is to search for and evaluate the effectiveness of the acid composition of prolonged action. High reservoir temperatures require the use of process fluids of a delayed reaction with reservoir rock during work to intensify the influx of oil.

The main tasks of the laboratory work was to evaluate the dissolving ability of one of the acidic compounds of the “AFI” line, to assess the change of its pH when reacting with carbonate rock at temperatures of 24 and 87 °C, as well as its compatibility with the formation fluid with the addition of various surfactants.

In conclusion, the article outlines plans for further research.

Keywords: acid treatment, acid composition, flow intensification, high-temperature reservoir, elevated temperature, carbonate reservoir, low permeability reservoir, hard to recover reserves.

В процессе эксплуатации добывающих и нагнетательных скважин наблюдается постепенное снижение проницаемости околоскважинного пространства, и как следствие, изменение рабочих показателей скважин. К наиболее распространенным причинам снижения дебита и приемистости можно отнести коагуляцию каналов фильтрации частицами минералов горной породы, движущимися в потоке флюида [1]. В низкопроницаемых коллекторах такие процессы вносят наиболее существенные изменения в фильтрационно-емкостные характеристики рабочих пропластков.

Для восстановления гидродинамической связи между скважиной и пластом зачастую применяют технологические жидкости, в которых используются органические или минеральные кислоты [7], [8], [9]. Кислотная обработка призабойной зоны пласта известна еще с 1895 года. Однако, процент успешно проведенных геолого-технических мероприятий такого рода на большинстве месторождений с каждым годом уменьшается. Помимо ухудшения общей структуры запасов углеводородов это связано, в первую очередь, с тем, что не уделяется должное внимания следующим факторам:

- 1) подбору составляющих кислотного состава, исходя из особенностей минералогического состава, термобарических условий залегания пласта-коллектора и физико-химических свойств, насыщающих его флюидов;
- 2) анализу эффективности применения технологий обработки призабойной зоны (ОПЗ) на месторождениях со схожими геолого-физическими свойствами и технологическими режимами;
- 3) физическому и компьютерному моделированию проведения технологий в лабораторных условиях с целью первичной оценки их эффективности и дальнейшей адаптации.

Отсутствие должного внимания к вышеперечисленным факторам приводит к низкой эффективности проведения как первичных кислотных обработок, так и повторных. На данный момент перспективным для высокотемпературных объектов в практическом плане является применение составов, которые способны поддерживать свою высокую

кислотность в пласте при продолжительном времени контакта с горной породой. В основе такой обработки лежит применение химических реагентов, которые обладают замедленным началом реакции. В то же время, при контакте с породобразующими минералами коллектора они успешно растворяют их и не снижают быстро значение pH раствора.

Использование кислотных составов замедленного начала действия способно уменьшить коррозию подземного оборудования скважины без применения дорогостоящих ингибиторов коррозии. Более того, исключается вероятность разрушения цементного камня, а также существенно снижается риск возникновения негерметичности обсадной колонны. Помимо этого, важным преимуществом является возможность более глубокой обработки пласта. Пропадает необходимость в повышении вязкости, вспенивании и эмульгировании в углеводородной среде кислотных составов или использовать другие технологические приемы для уменьшения скорости взаимодействия кислоты с породой.

Авторами проведены лабораторные испытания, в которых оценивалась растворяющая способность и скорость растворения минералов в кислотном составе AFI Infinity в зависимости от времени.

Испытания состава проводились на очищенном шламе одной из скважин вскрывших высокотемпературный коллектор пласта БВ₈¹ мегийонской свиты. В стеклянный сосуд объемом 100 мл засыпалось пять грамм навески шлама. Далее сосуд с навеской помещался в термощкаф и выдерживалась при пластовой температуре в течение 12 часов.

После термостатирования в сосуд с навеской добавлялось 50 мл кислотного состава с помощью шприца. Затем сосуд помещался в термощкаф, температура эксперимента составляла 87 °С. Образцы вынимались через 15, 30, 60, 120, 180 и 240 минут. По истечении времени сосуд заполняли дистиллированной водой для нейтрализации реакции. Содержимое переносилось на предварительно взвешенный бумажный фильтр типа «синяя лента» и прореагировавший с кислотой шлам высушивался до постоянной массы в течение 12 часов. Далее измерялась масса каждого фильтра и вычислялась растворяющая способность состава. Результаты эксперимента представлены на рисунке 1.

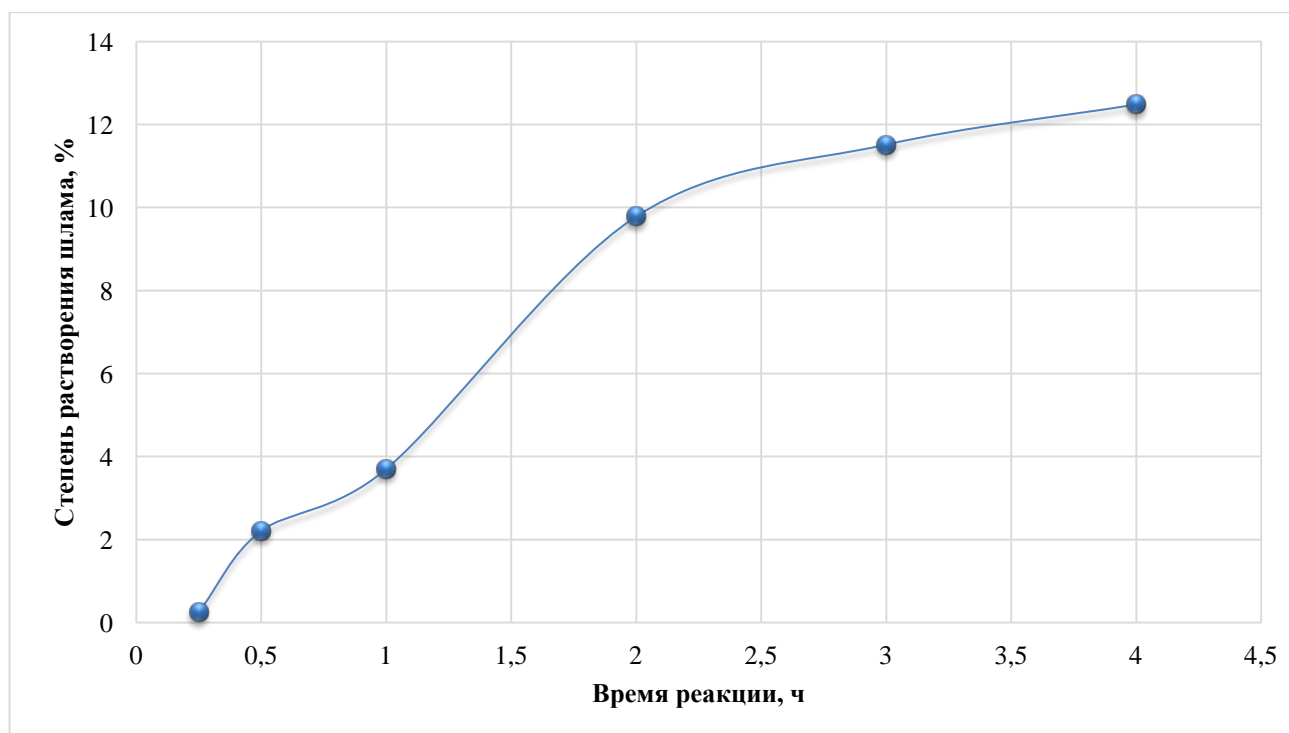


Рис. 1 – Зависимость убыли массы образца от времени

Максимальная убыль массы за 4 часа реакции составила 12,5 %. По истечении времени эксперимента в стеклянном сосуде наблюдалось продолжение реакции кислоты с породой, что говорит о наличии стабильной кислотности раствора.

Для оценки кислотности состава AFI Infinity на протяжении временного периода проводились дополнительные эксперименты. Целью этих экспериментов являлось определение кислотности состава по истечении 8 часов. Для этого в стеклянный сосуд с КС помещали образец карбонатной породы (мраморный диск) и проводили замер pH-метром после 1, 2, 4, 6 и 8 часов реакции при 24 и 87 °С. Результаты лабораторных экспериментов приведены на рисунке 2.

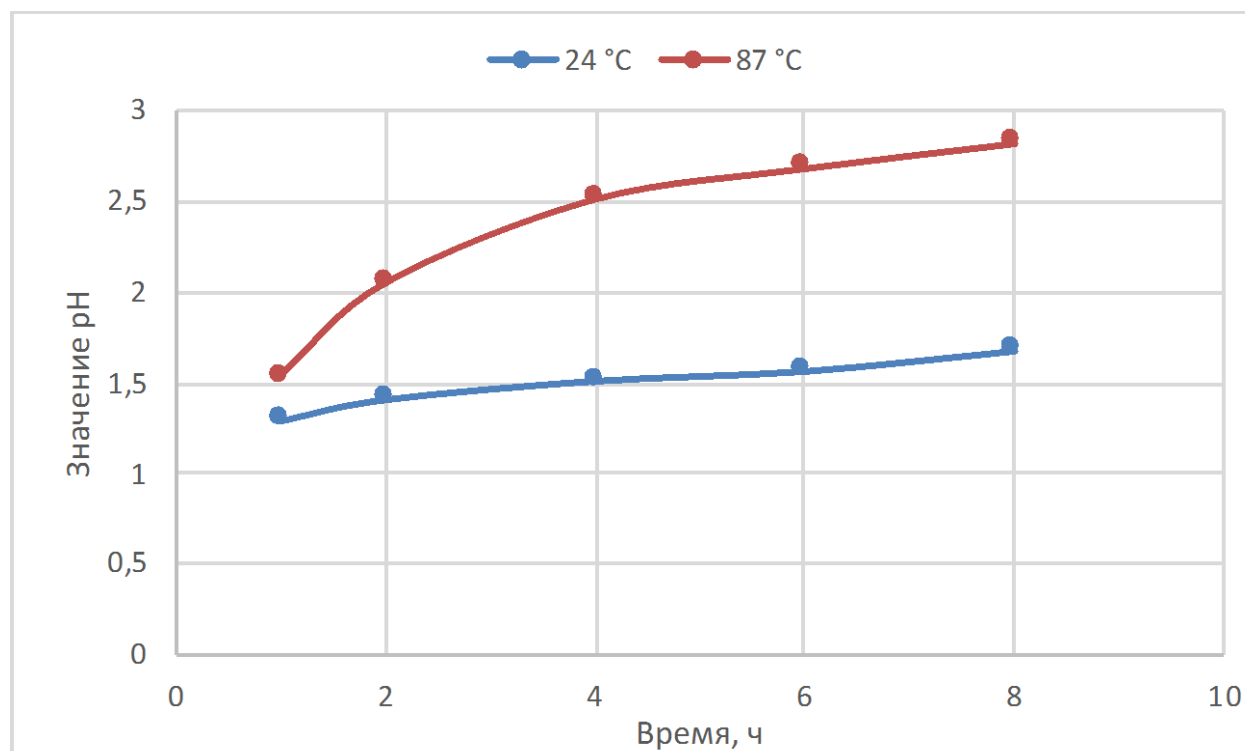


Рис. 2 – Зависимость pH кислотного состава от времени при реакции с карбонатной породой

Из рисунка видно, что состав AFI Infinity сохраняет низкие значения pH даже после 8 часов реакции реагента с карбонатной породой, что говорит о возможности закачки активного состава даже в удаленные зоны пласта. Это позволит значительно увеличить радиус обработки и, как следствие, площадь фильтрации флюида.

На сегодняшний день к технологическим жидкостям предъявляются определенные требования, наиболее широко они прописаны в крупных добывающих компаниях. Одно из главных требований к кислотным составам – это его совместимость с пластовым флюидом [10], а именно с нефтью, для месторождений с низкой обводненностью. Совместимыми считаются составы, которые не образуют осадков или эмульсий с нефтью и имеют четкую границу раздела фаз.




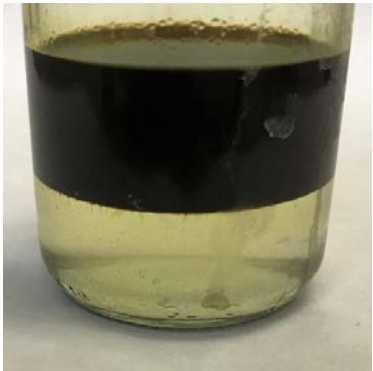





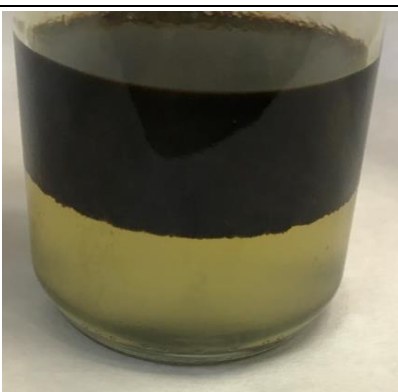
Испытания кислотного состава проводились с добавлением следующих растворов поверхностно-активных веществ:

- Нефтенол К СК
- Люксол Х
- ВВД 3т
- МС-20-МПС
- МЛ-80-ЕС

В стеклянный сосуд помещалось 50 мл активного состава и 50 мл легкой нефти, после чего образцы закрывались крышкой и перемешивали. Далее смеси выдерживались при пластовой температуре и проливалась через сита 200 меш.

Ниже по тексту представлены результаты исследований на совместимость с нефтью (табл. 1).

Таблица 1 – Результаты теста на совместимость

Состав	Тест на прохождение	Визуальный анализ раздела фаз
1		
2		
3		
4		
5		

По результатам проведенных тестов на совместимость кислотных составов с пробой легкой нефти видно, что несовместимыми оказались составы 3 и 4 (наблюдается образование эмульсии с нефтью).

Составы 1, 2 и 5 прошли тест на совместимость. На фотографиях возможно увидеть раздел фаз и отсутствие эмульсий при проливании смеси через сито. Также наблюдается незначительное количество водной фазы, которая со временем также профильтровалась. Наиболее быстро это произошло у состава под номером 1, который признан лидером испытаний.

Результаты тестов на совместимость показывают, насколько важно правильно подбирать ПАВ для проведения кислотной обработки пласта. Использование кислот или составов с ними без предварительных лабораторных экспериментов и адаптации к условиям объекта может привести к отрицательному эффекту. Например, отсутствие приемистости кислотного состава, снижение текущего дебита скважины вплоть до нулевого значения.

Таким образом, по результатам проведенных экспериментов можно сделать следующие выводы:

Состав AFI infinity, в результате проведения экспериментов по анализу его растворяющей способности, показал достаточно высокую растворяющую способность по отношению плотным карбонатным образцам (шлам).

Тесты по оценке склонности кислотного состава к осадкообразованию свидетельствуют об отсутствии осадков в активном и нейтрализованном состоянии при наличии высокой концентрации ионов железа. Осадки не наблюдались и после реакции с горной породой.

Экспериментальным путем подтвержден пролонгированный во времени эффект реакции AFI infinity с карбонатными минералами при высоких температурах.

Отмечена необходимость подбора поверхностно-активных веществ для совместимости кислотных составов с нефтью объектов, планируемых к обработке.

Дальнейшие исследования по тематике интенсификации притока нефти будут направлены на проведение фильтрационных экспериментов и выработку критериев применимости кислотного состава AFI Infinity пролонгированного действия для высокотемпературных коллекторов.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Гилаев А.Г. Исследование влияния выноса мелких частиц продуктивного пласта на изменение нефтеотдачи низкопроницаемых коллекторов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 25.00.17 / Гилаев Артем Ганиевич. – Москва, 2012. – 220 с.
2. Шандрыгин А.Н. Состояние и перспективы разработки месторождений сланцевой нефти / А.Н. Шандрыгин, И.В. Шпуров, В.Г. Браткова // Недропользование XXI век. – 2015. – № 1 (51). – С. 52–63.
3. Штурн Л.В. Особенности разработки нефтяных месторождений Западной Сибири с низкопроницаемыми коллекторами / Л.В. Штурн, А.А. Кононенко, С.И. Грачев // Территория Нефтегаз. – 2008. – № 2. – С. 64–69.
4. Шульев Ю.В. Совершенствование разработки низкопроницаемых коллекторов сложнопостроенных объектов на примере Тайлаковского месторождения / Ю.В. Шульев, А.П. Рязанов, С.Б. Денисов, И.В. Евдокимов, С.Е. Сутормин // Нефтяное хозяйство. – 2011. – № 4. – С. 108–112.
5. Уляшев В.Е. Экспериментальные исследования фильтрационных свойств и газоотдачи низкопроницаемых карбонатных коллекторов: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.15.06 / Уляшев Валерий Егорович. – Москва, 1999. – 205 с.
6. Табакаева Л.С. Экспериментальные исследования особенностей воздействия на низкопроницаемые глинодержающие нефтяные пласты растворами полиэлектролитов: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 25.00.17 / Табакаева Лариса Сергеевна. – Москва, 2007. – 174 с.
7. Гиматулинов Ш.К. Справочное руководство по проектированию разработки и эксплуатации нефтяных месторождений. Добыча нефти / Ш.К. Гиматулинов. – М.: Недра, 1983. – 455 с.
8. Токунов В.И. Технологические жидкости и составы для повышения продуктивности нефтяных и газовых скважин / В.И. Токунов, А.З. Саушин. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2004. – 711 с.
9. Сергиенко В.Н. Технологии воздействия на призабойную зону пластов юрских отложений Западной Сибири / В.Н. Сергиенко. – Санкт-Петербург: Недра, 2005. – 205 с.
10. Хромых Л.Н., Литвин А.Т., Никитин А.В. Обзор существующих поверхностно-активных веществ для интенсификации добычи нефти // Ашировские чтения. – 2016. – Т. 2. – № 1-1 (8). – С. 30-35.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Gilaev A.G. Issledovanie vlijaniya vynosa melkih chastic produktivnogo plasta na izmenenie nefteotdachi nizkopronicaemyh kollektorov [Study of the effect of the removal of small particles of the productive formation on the change in oil recovery of low-permeable reservoirs]. Dissertacija na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tehniceskikh nauk: 25.00.17 / Gilaev Artem Ganievich. – Moskva, 2012. – 220 p. [in Russian]
2. Shandrygin A.N. Sostojanie i perspektivy razrabotki mestorozhdenij slancevoj nefiti [State and prospects of development of shale oil deposits] / A.N. Shandrygin, I.V. Shpurov, V.G. Bratkova // Nedropol'zovanie XXI vek. – 2015. – № 1 (51). – P. 52–63. [in Russian]
3. Shturn L.V. Osobennosti razrabotki neftijnyh mestorozhdenij Zapadnoj Sibiri s nizkopronicaemymi kollektorami [Features of the development of oil fields in Western Siberia with low-permeable reservoirs] / L.V. Shturn, A.A. Kononenko, S.I. Grachev // Territorija Neftegaz. – 2008. – № 2. – P. 64–69. [in Russian]
4. Shul'ev Ju.V. Sovershenstvovanie razrabotki nizkopronicaemyh kollektorov slozhnopostroennyh ob#ektov na primere Tajlakovskogo mestorozhdenija [Improving the development of low-permeability reservoirs of complex objects on the

example of Taylakovskogo field] / Ju.V. Shul'ev, A.P. Rjazanov, S.B. Denisov, I.V. Evdokimov, S.E. Sutormin // Neftjanoe hozjajstvo. – 2011. – № 4. – P. 108–112. [in Russian]

5. Uljashev V.E. Jeksperimental'nye issledovanija fil'tracionnyh svojstv i gazootdachi nizkopronicaemyh karbonatnyh kollektorov [Experimental studies of filtration properties and gas recovery of low-permeable carbonate reservoirs]: dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehniceskix nauk: 05.15.06 / Uljashev Valerij Egorovich. – Moskva, 1999. – 205 p. [in Russian]

6. Tabakaeva L.S. Jeksperimental'nye issledovanija osobennostej vozdejstvija na nizkopronicaemye glinosoderzhashhie neftjanye plasty rastvorami polielektrolitov [Experimental studies of the effects of low-permeability clay-containing oil reservoirs with polyelectrolyte solutions]: dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehniceskix nauk: 25.00.17 / Tabakaeva Larisa Sergeevna. – Moskva, 2007. – 174 p. [in Russian]

7. Gimatudinov Sh.K. Spravochnoe rukovodstvo po proektirovaniju razrabotki i jekspluatacii neftjanyh mestorozhdenij. Dobycha nefti [Reference guide to the design of the development and operation of oil fields. Oil production] / Sh.K. Gimatudinov. – M.: Nedra, 1983. – 455 p. [in Russian]

8. Tokunov V.I. Tehnologicheskie zhidkosti i sostavy dlja povyshenija produktivnosti neftjanyh i gazovyh skvazhin [Process fluids and formulations to increase the productivity of oil and gas wells] / V.I. Tokunov, A.Z. Saushin. – M.: OOO «Nedra-Biznescentr», 2004. – 711 p. [in Russian]

9. Sergienko V.N. Tehnologii vozdejstvija na prizabojnuju zonu plastov jurskix otlozhenij Zapadnoj Sibiri [Technologies of impact on the bottomhole formation zone of the Jurassic sediments of Western Siberia] / V.N. Sergienko. – Sankt-Peterburg: Nedra, 2005. – 205 p. [in Russian]

10. Hromyh L.N., Litvin A.T., Nikitin A.V. Obzor sushhestvujushchix poverhnostno-aktivnyh veshhestv dlja intensivizacii dobychi nefti [Review of existing surfactants for enhanced oil recovery] // Ashirovskie chtenija. – 2016. – T. 2. – № 1-1 (8). – P. 30-35. [in Russian]

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ / BIOLOGY

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.87.9.020>

ОПТИМАЛЬНЫЙ МЕТОД СУШКИ КОМБИНИРОВАННОГО МОЛОКА

Научная статья

Симоненко С.В.¹, Мануйлов Б.М.², Сидорова Е.В.^{3,*}

¹ ORCID: 0000-0002-6999-5048;

² ORCID: 0000-0001-6167-1017;

³ ORCID: 0000-0001-5333-1215;

^{1, 2, 3} НИИ Детского питания - филиал ФГБУН Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи, Истра, Россия

* Корреспондирующий автор (academ[at]niidp.ru)

Аннотация

В данной статье изложены методы сушки комбинированного молока. В качестве исследуемой комбинации рассматривается смесь коровьего и козьего молока- сырья. Описаны два способа сушки: распылительный и сублимационный; преимущества и недостатки каждого метода относительно гомогенности водной системы восстановленного сухого комплекса молока.

Ключевые слова: комбинированное молоко, распылительная сушка, сублимационная сушка, гомогенность, полидисперсная система.

MOST EFFICIENT METHOD OF DRYING COMBINED MILK

Research article

Simonenko S.V.¹, Manuilov B.M.², Sidorova E.V.^{3,*}

¹ ORCID: 0000-0002-6999-5048;

² ORCID: 0000-0001-6167-1017;

³ ORCID: 0000-0001-5333-1215;

^{1, 2, 3} Research Institute of Baby Food - Branch of the Federal Research Centre for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Istra, Russia

* Corresponding author (academ[at]niidp.ru)

Abstract

This article outlines drying methods for combined milk. A mixture of cow and goat milk raw materials is considered as a combination under study. Two drying methods are described: Spray and sublimation, as well as advantages and disadvantages of each method regarding the homogeneity of the aqueous system of the reconstituted milk powder complex.

Keywords: combined milk, spray drying, freeze-drying, homogeneity, polydisperse system.

Невозможно представить детское питание без молока и молочных продуктов, играющих важнейшую роль в становлении здорового организма. Учитывая биологическую ценность молочных продуктов, им отводится первостепенная роль в организации правильного питания населения. При этом коровье молоко является преобладающим и составляет около 95% от общего количества молока, потребляемого населением России. Однако, большое внимание уделяется проблеме использования молока других видов сельскохозяйственных животных, как отдельно взятых, так и в различных сочетаниях, что позволит в значительной степени расширить ассортимент молочных продуктов, сбалансированных по аминокислотному составу, обладающих повышенной пищевой и биологической ценностью [1], [2].

В настоящее время прослеживается тенденция роста использования козьего молока в основном при производстве детского, лечебного питания и сыров. Интерес к производству продуктов из козьего молока связан с его высокой биологической ценностью, легкой усвояемостью и относительно низкой аллергенностью [3].

Основные отличия козьего молока от коровьего: степень дисперсности жира, соотношение белковых фракций и их свойства. Средний размер жировых шариков коровьего молока составляет 21,2–31,2 мкм, козьего – всего 2 мкм. Соотношение казеина и сывороточных белков в коровьем и козьем молоке составляет 80:20 и 75:25 соответственно. Причем если казеиновая фракция белков коровьего молока представлена в основном α_s -казеинами, то в козьем молоке основная фракция – β -казеин. Благодаря этому козье молоко образует мягкий сгусток, легко перевариваемый в желудке человека. Основным сывороточным белком коровьего молока является β -лактоглобулин, козьего – α -лактоальбумин [4], [5]. Приведённые физико- химические показатели должны учитываться при разработке технологического процесса переработки смеси коровьего и козьего молока, так как они обуславливают отличия биохимических процессов и изменения реологических свойств молока.

При рассмотрении биотехнологических свойств смесей молока различных животных часто поднимается вопрос о гомогенности смеси и правомерности рассмотрения её как единой системы. При производстве сухих молочных продуктов большое значение имеет состав исходного сырья, устойчивость системы в процессе хранения и способность к восстановлению до состояния, пригодного к употреблению. Это объясняется тем, что все сухие вещества, содержащиеся в исходном сырье, при сушке переходят в готовый продукт и их концентрация увеличивается пропорционально уменьшению содержания влаги в нём [1], [6]. Применение современных технологий, обеспечивающих сохранение пищевой, биологической ценности и физиологической активности компонентов

исходной пищевой системы при высокой хранимостепособности готового продукта – эффективный способ увеличения срока хранения молочных продуктов, снижение активности воды высушиванием до массовой доли влаги 3-4% [7]. Такими технологическими приёмами являются: сушка, концентрирование, замораживание и т.д.

Распылительная сушка получила распространение при производстве мелкодисперсных порошков сухого молока и молочных продуктов, сухих молочных смесей детского питания. Этот метод позволяет значительно интенсифицировать процесс за счет максимального уменьшения размера частиц. В сушилках такого типа происходит распыление жидкого сырья и высушивание его при движении разнонаправленным потоком сушильного агента. Способ сушки распылением обладает рядом преимуществ по сравнению с другими методами сушки [8]:

– процесс сушки идет очень быстро (обычно 15–30 с), распыляемый продукт имеет насыщенную поверхность, происходит адиабатное испарение чистой жидкости (этот метод часто применяется для сушки пищевых продуктов, биологических и фармацевтических препаратов и других термолабильных материалов);

– при сушке распылением легко влиять на показатели качества готового продукта в зависимости от параметров сушки;

– готовый продукт имеет высокую растворимость и не требует больше обработки;

– распылительная сушка позволяет полностью автоматизировать процесс получения готового продукта;

– в распылительных сушилках можно использовать различную температуру.

Метод сублимационной сушки по-прежнему остается наиболее прогрессивным способом консервирования пищевых продуктов. Высокое качество продуктов сублимационной сушки общепризнано, поскольку при этом способе консервирования физико-химические изменения в продукте минимальны, так как процесс протекает при минусовых температурах. В связи с этим, сублимационная сушка является одним из перспективных способов увеличения сроков хранения молочных продуктов. Метод сублимационной сушки позволяет вырабатывать биологически полноценные молочные продукты и сохранять их потребительские свойства продолжительное время при нерегулируемых температурных условиях. Главным требованием к сублимированным молочным продуктам остается сохранение их качества в течение длительного времени (не менее 18-24 месяцев) при нерегулируемой температуре. Несмотря на огромные преимущества метода консервирования сублимации, в нашей стране внедрение этого метода идет очень медленно, это связывают с высокой себестоимостью вырабатываемого продукта, вызванной большими затратами тепла при сублимации [9].

В НИИ детского питания проведены исследования по определению оптимального способа сушки комбинированного молока, состоящего из смеси коровьего и козьего молока в соотношении 50/50%. Для сравнения использованы два вида сушки: распылительная и сублимационная.

Перед каждым видом сушки комбинированное молоко проходит подготовительный процесс, включающий в себя следующие технологические операции: пастеризация, сгущение в вакуум-выпарном аппарате, подогрев сгущенной смеси, гомогенизация.

Проведена сушка смеси молока на распылительной прямоточной форсуночной сушильной установке при температуре воздуха, поступающего из калорифера в сушильную башню 165°C и температуре воздуха при выходе из сушильной башни 80°C.

Сублимационную сушку осуществляли при температуре замороженного продукта минус 25°C и остаточном давлении в сублиматоре 0,0133...0,133 кПа.

В исходной смеси коровьего и козьего молока и в готовом продукте после каждого вида сушки определили массовую долю жира, белка, кислотность и плотность. Физико-химические показатели комбинированного молока до и после сушек представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-химические показатели комбинированного молока до и после высушивания

Комбинированное молоко (коровье+козье)	Массовая доля жира, %	Массовая доля белка, %	Кислотность, °Т	Плотность, кг/м ³
Исходный продукт	3,8	3,0	18	1029
Распылительная сушка	26,9	23,4	17	1029
Сублимационная сушка	26,3	23,0	17	1030

Образцы сухого продукта, полученные различными способами сушки исследованы методом микроскопического анализа размера частиц. Данный метод применим для оценки эффективности ряда процессов, осуществляемых при производстве сухого молока. Микроскопирование образцов осуществлялось с применением микроскопа стереоскопического для проходящего света Stemi 200 - Carl Zeiss, Germany, микроскоп для проходящего света Axio Imager. Al, Carl Zeiss, Germany с системой анализа изображения, криомикротом Microm HM 525. На стереоскопическом микроскопе фотографировали образцы молока без дополнительной гидратации на цифровой фотоаппарат Canon G15, Japan.

Частицы комбинированного молока, полученные после распылительной сушки, образуют средней величины конгломераты, состоящие из мелких слипшихся субъединиц (рис.1). В то время, как частицы молока, полученного сублимационной сушкой, образуют крупные и средней величины пластинчатые конгломераты, состоящие из мелких, слитых в единое целое, субъединиц без видимых границ (рис.2).

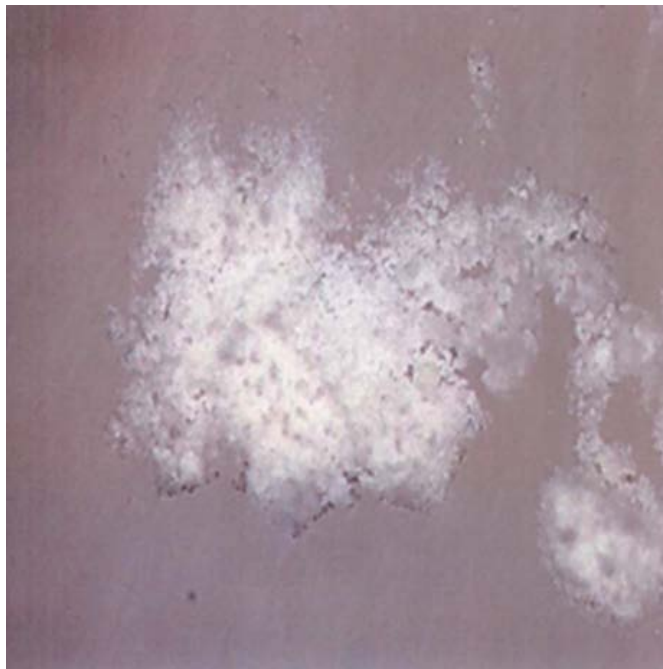


Рис. 1 – Сухое молоко распылительной сушки без гидратации. Ув. Об. 2,0х

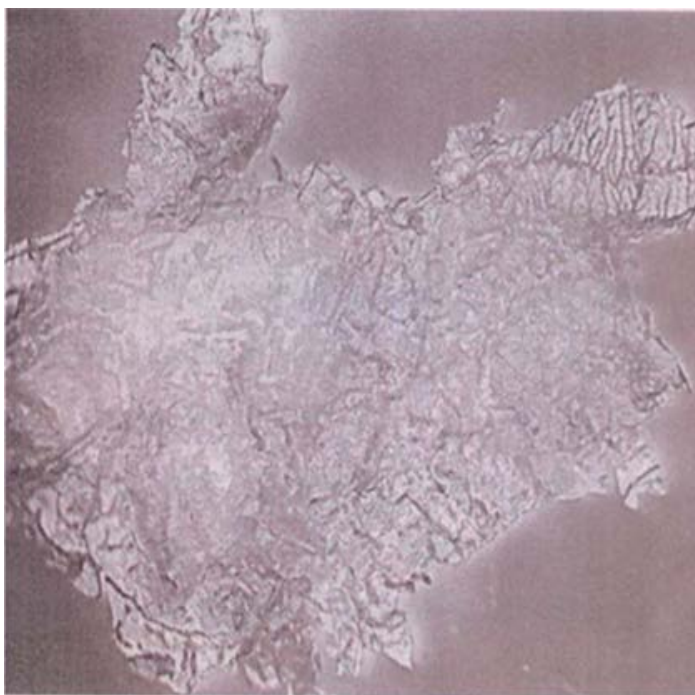


Рис. 2 – Сухое молоко сублимационной сушки без гидратации. Ув. Об. 2,0х

При производстве молочных продуктов из сухого молочного сырья важным является эффективность его восстановления, которая зависит от качества сухого молока. Процесс растворения заключается во взаимодействии сухого продукта с водой. Процесс восстановления можно считать завершенным тогда, когда физико-химические свойства восстановленного молока будут соответствовать свойствам натурального. Поэтому можно сказать, что к основным технологическим факторам, определяющим эффективность процесса восстановления сухих молочных продуктов, следует отнести количественное соотношение сухой и водной фракций, температуру, интенсивность и уровень жесткости механического воздействия при растворении [10].

В процессе гидратирования молока, сформированного из смеси козьего и коровьего, происходит разделение субъединиц и частичное их растворение в воде (рис.3,4).

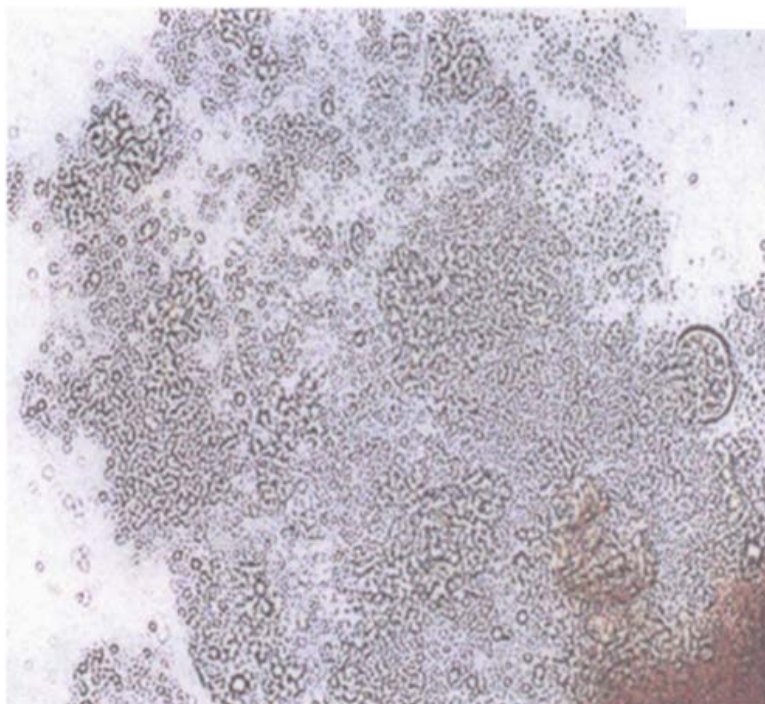


Рис. 3 – Процесс гидратирования сухого молока распылительной сушки. Ув. Об. 63х



Рис. 4 – Процесс гидратирования сухого молока сублимационной сушки Ув. Об. 63х

При микроструктурном анализе сухого комбинированного молока, полученного путём распылительной сушки, после восстановления выявлено, что значительная часть белкового и жирового компонентов диспергируется и частично растворяется с образованием относительно гомогенной водной системы (рис.5).

При исследовании восстановленного образца сухого сублимированного комбинированного молока следует отметить, что основная часть белкового и жирового компонентов сложно диспергируется и не полностью растворяется в водной системе, препарат в значительной степени сохраняет агрегационную пластинчатую структуру, в водной фазе наблюдается присутствие в небольшом количестве отдельных мелких структур белковой и жировой природы, жировая фракция в значительной степени ассоциирована в составе прочных пластинчатых комплексов и только небольшая часть имеет форму мелких липидных капель (рис.6).

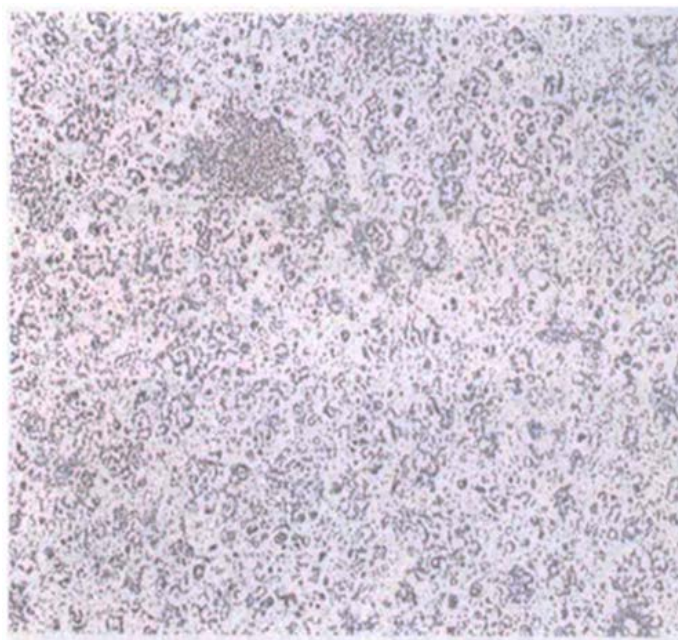


Рис. 5 - Восстановленное комбинированное молоко распылительной сушки. Ув. Об. 40х

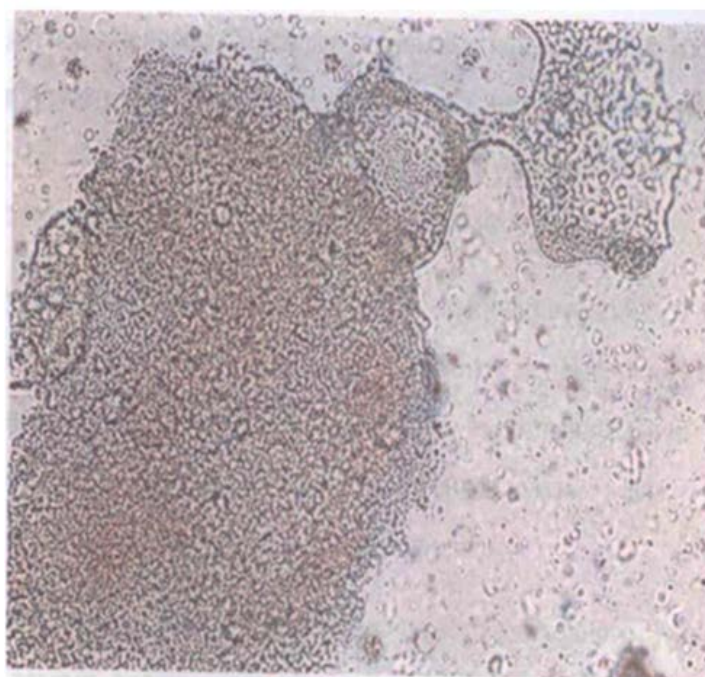


Рис. 6 - Восстановленное комбинированное молоко сублимационной сушки. Ув. Об. 40х

Таким образом, одной из основных характеристик гранулометрического состава сухого молока является фактическое распределение частиц в продукте, в том числе как одиночных, так и агломератов. Знания о составных частях и их микроструктуре в молоке, с течением времени постоянно расширяются. Это является следствием целенаправленных научных исследований с применением современных методов анализа, которые позволяют обнаружить и количественно определить даже те составные части молока, которые присутствуют в нем в виде следов. В ходе проведенных исследований было установлено: при равных условиях проведения эксперимента, сухое комбинированное молоко, полученное путём сублимационной сушки, хуже растворяется при восстановлении, чем молоко, полученное методом распылительной сушки. Также следует отметить, что сублимационная сушка увеличивает себестоимость продукта вследствие использования более сложного оборудования с большими теплотратами. Ингредиенты сухого комбинированного молочного продукта распылительной сушки из молока разных видов молочных животных ведут себя в продукте как единая белково-жировая система и в процессе восстановления в водной среде не разделяются, однако, для полного диспергирования компонентов белковой природы требуется дополнительное время и оборудование. Для производства продуктов детского питания целесообразно использование комбинированного молока, полученного методом распылительной сушки.

Финансирование

Научно-исследовательская работа по подготовке рукописи проведена за счет средств субсидии на выполнение государственного задания в рамках Программы Фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 гг. по направлению № 0529-219-0060.

Конфликт интересов

Не указан.

Funding

The research work on the preparation of the manuscript was carried out at the expense of the subsidies for the state assignment under the Program of Fundamental Scientific Research of the State Academies of Sciences for 2013-2020 in the direction number 0529-219-0060.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Симоненко С.В. Молочные белки в детском питании / Симоненко С.В., Дмитриева С.Е., Лесь Г.М. и др. // Молочная промышленность. 2014. №12. С.60.
2. Молочная индустрия мира и Российской Федерации (ежегодник – 2010) Российский союз предприятий молочной отрасли. М., 2010. С. 147.
3. Симоненко С.В. Разработка продуктов детского питания на основе козьего молока / Симоненко С.В., Дмитриева С.Е. // Молочная промышленность. 2015. № 6. С. 67–68.
4. Мироненко И.М. Козье молоко. Как сказку сделать былью / Мироненко И.М., Усатюк Д.А., Бондаренко Н.И. // Сыроделие и маслоделие. 2015. № 6. С. 19-23.
5. Суюнчев О.А. Технология сыров из козьего молока: монография / О.А. Суюнчев. Ставрополь: СевКазГТУ. 2006. С. 164.
6. Дмитриева С.Е. Исследование микроструктуры сухого молока разных видов животных / Дмитриева С.Е., Лесь Г.М., Гиро Т.М. и др. // Аграрный научный журнал. 2015. № 8. С. 41-44.
7. Короткова А.А. Технология обогащения молочных продуктов для детского питания биодоступными формами йода и селена / Короткова А.А., Горлов И.Ф. и др. // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2012. № 5-6 (329-330). С. 40-43.
8. Попов В.П. Исследование процессов распылительной сушки мелкодисперсного сырья. В сборнике: Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры Материалы Всероссийской научно-методической конференции / Попов В.П. 2016. С. 1165-1169.
9. Ивкова И.А. Современные технологии получения сухих молочных консервов высокого качества / Ивкова И.А., Пиляева А.С. // Вестник Государственного аграрного университета Северного Зауралья. 2015. № 4 (31). С. 89-94.
10. Титов Р.А. Линия восстановления сухого молока на базе установки непрерывного смешивания компании «Оскон» / Титов Р.А. // Молочная промышленность. 2012. № 3. С. 246.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Simonenko S.V. Molochnyye belki v detskom pitanii [Milk proteins in baby food] / Simonenko S.V., Dimitrieva S.E., Les G.G. and others // Molochnaya promyshlennost' [Dairy industry]. 2014. №12. P.60. [in Russian]
2. Molochnaya industriya mira i Rossiyskoy Federatsii (yezhegodnik – 2010) [Dairy industry of the world and the Russian Federation (Yearbook - 2010)] Rossiyskiy soyuz predpriyatiy molochnoy otrasli [Russian Union of Dairy Enterprises]. M., 2010. P. 147. [in Russian]
3. Simonenko S.V. Razrabotka produktov detskogo pitaniya na osnove koz'yego moloka [Development of baby food based on goat milk] / Simonenko S.V., Dimitrieva S.E. // Molochnaya promyshlennost' [Dairy industry]. 2015. № 6. P. 67–68. [in Russian]
4. Mironenko I.M. Koz'ye moloko. Kak skazku sdelat' byl'yu [Goat milk. How to make a fairy tale come true] / Mironenko I.M., Usatyuk D.A., Bondarenko N.I. // Syrodelye i maslodelye [Cheese-making and butter-making]. 2015. № 6. P. 19-23. [in Russian]
5. Suyunchev O.A. Tekhnologiya syrov iz koz'yego moloka: monografiya [Technology of goat milk cheese: monograph] / O.A. Suyunchev. Stavropol': SevKazGTU [Stavropol: North Kazakhstan State Technical University]. 2006. P. 164. [in Russian]
6. Dimitriyeva S.Ye. Issledovaniye mikrostruktury sukhogo moloka raznykh vidov zhivotnykh [The study of the microstructure of milk powder of different species of animals] / Dimitrieva S.E., Les G.G., Giro T.M. and others // Agrarnyy nauchnyy zhurnal [Agrarian Scientific Journal]. 2015. № 8. P. 41-44. [in Russian]
7. Korotkova A.A. Tekhnologiya obogashcheniya molochnykh produktov dlya detskogo pitaniya biodostupnymi formami yoda i selenia [Technology of enrichment of dairy products for baby food with bioavailable forms of iodine and selenium] / Korotkova A.A., Gorlov I.F. // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Pishchevaya tekhnologiya [News of higher educational institutions. Food technology]. 2012. № 5-6 (329-330). P. 40-43. [in Russian]
8. Popov V.P. Issledovaniye protsessov raspylitel'noy sushki melkodispersnogo syr'ya [Investigation of the processes of spray drying of fine raw materials] / Popov V.P. V sbornike: Universitetskiy kompleks kak regional'nyy tsentr obrazovaniya, nauki i kul'tury Materialy Vserossiyskoy nauchno-metodicheskoy konferentsii [In the collection: University complex as a regional center of education, science and culture Materials of the All-Russian scientific and methodical conference]. 2016. P. 1165-1169. [in Russian]
9. Ivkova I.A. Sovremennyye tekhnologii polucheniya sukhikh molochnykh konservov vysokogo kachestva [Modern technologies for obtaining high quality dry milk canned food] / Ivkova I.A., Pilyaeva A.S. // Vestnik Gosudarstvennogo agrarnogo universiteta Severnogo Zaural'ya [Bulletin of the State Agrarian University of Northern Zauralye]. 2015. № 4 (31). P. 89-94. [in Russian]
10. Titov R.A. Liniya vosstanovleniya sukhogo moloka na baze ustanovki nepreryvnogo smeshivaniya kompanii «Oskon» [Dry milk recovery line on the basis of the Oskon continuous mixing plant] / Titov R.A. // Molochnaya promyshlennost' [Dairy industry]. 2012. № 3. P. 246. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.87.9.021>**ВЛИЯНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО ФАКТОРА НА ПИЩЕВАРЕНИЕ И ОБМЕН ВЕЩЕСТВ ОВЕЦ**

Научная статья

Волнин А.А.^{1,*}, Мишуров А.В.²^{1,2} ФГБНУ ФНЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста, Дубровицы, Россия

* Корреспондирующий автор (volnin.a[at]mail.ru)

Аннотация

При проведении *in vivo* исследований на жвачных животных по оценке переваримости питательных веществ рациона и обмена веществ необходимо учитывать влияние различных факторов на пищеварение и метаболизм подопытных животных. В данном исследовании проведена оценка влияния генетического фактора на значения коэффициентов переваримости питательных веществ рациона, уровней общих биохимических показателей и свободных аминокислот плазмы крови ярков. Установлены статистически значимые различия исследованных показателей между гибридными и чистопородными ярками. Гибридные ярки имели более высокий коэффициент переваримости сухого вещества на 4,29%, органического вещества на 4,14%, сырого протеина на 5,81%, сырого жира на 6,54%, сырой клетчатки на 5,59% ($p < 0,05$), концентрацию мочевины в плазме крови через 1 и 3 часа после кормления ($p < 0,05$), содержание глюкозы – через 3 часа ($p < 0,05$), концентрацию свободного валина в плазме крови – через 1 час ($p < 0,05$). В практическом аспекте актуально получение и использование животных новых генотипов, имеющих большую переваримость и лучше использующих корма, что повышает рентабельность животноводства.

Ключевые слова: овцы, ярки, генотип, пищеварение, переваримость питательных веществ, плазма крови, биохимия, свободные аминокислоты, *in vivo*.

INFLUENCE OF GENETIC FACTOR ON DIGESTION AND METABOLISM OF SHEEP

Research article

Volnin A.A.^{1,*}, Mishurov A.V.²^{1,2} FSBI Federal Research Center All-Russia Research Institute for Animal Husbandry (VIZh) named after L.K.Ernst

* Corresponding author (volnin.a[at]mail.ru)

Abstract

When conducting *in vivo* studies on ruminants to assess the digestibility of nutrients in their diet and their metabolism, one must take into account the influence of various factors on the digestion and metabolism of experimental animals. In this study, we assessed the influence of the genetic factor on the values of digestibility ratios of nutrients in the diet, levels of general biochemical parameters and free amino acids in blood plasma. The authors have found statistically significant differences between the studied parameters of hybrid and purebred bright. Hybrid bright had a higher digestibility rate of dry matter by 4.29%, organic matter by 4.14%, crude protein by 5.81%, crude fat by 6.54%, crude fiber by 5.59% ($p < 0.05$), the concentration of urea in blood plasma after 1 and 3 hours after feeding ($p < 0.05$), the glucose content after 3 hours ($p < 0.05$), the concentration of free valine in blood plasma after 1 hour ($p < 0.05$). In a practical aspect, it is important to obtain and use animals of new genotypes that have greater digestibility and use feed better, which increases the profitability of animal husbandry.

Keywords: sheep, bright, genotype, digestion, digestibility of nutrients, blood plasma, biochemistry, free amino acids, *in vivo*.

Введение

Продуктивность сельскохозяйственных животных напрямую связана с потреблением питательных веществ рационов, которые в процессе пищеварения усваиваются животными и обеспечивают нормальную жизнедеятельность. В практике кормления актуальным вопросом является возможность манипулирования процессами пищеварения животных для достижения тех или иных задач. В связи с этим, определенный интерес представляют факторы, оказывающие влияние на физиолого-биохимические особенности пищеварительных процессов и обмена веществ в организме животных, в частности, генетический фактор, отражающий влияние генотипа на особенности организма животного. Жвачные животные играют важную роль в удовлетворении текущего и растущего спроса на мясо и молоко, потребляемое человеком на фоне глобального роста населения, достигающего, по прогнозам, 9,2 миллиардов к 2050 году [4]. Устойчивое животноводство жвачных животных было предложено, как средство более эффективного использования доступных кормовых ресурсов для обеспечения потребностей населения в сельскохозяйственной продукции [14]. Повышение эффективности кормления жвачных животных, а также использование нестандартных или новых источников кормового сырья может противоречить достижению растущего спроса на продукцию животноводства, если не будут разработаны и внедрены надлежащие методы для улучшения пищеварения, особенно – ферментации рубца. Известно, что жвачные используют большое разнообразие пищевых субстратов, которые не усваиваются другими млекопитающими, посредством микробной ферментации, происходящей главным образом в рубце [25]. Рубец является сложной системой в организме жвачных животных, которая включает значительную по количеству и разнообразную по составу симбиотическую популяцию микроорганизмов, простейших и архей [13], [21]. Деятельность симбиотических микроорганизмов рубца имеет решающее значение для роста и жизнедеятельности жвачных животных. Микробный состав и активность в рубце, а также факторы, влияющие на состав и активность микробиома рубца, такие как рацион, возраст, географическое положение и виды-хозяева изучены у жвачных животных. Поэтому, методы манипулирования микроорганизмами должны учитывать особенности организма-хозяина, которые могут влиять на микробиоту рубца. Исследования

взаимодействия хозяин-микроорганизм в рубце в основном сосредоточены на микробном аспекте. Ограниченные знания о роли хозяина в регулировании микробиоты могут препятствовать согласованности, когда один и тот же метод искусственного вмешательства в функцию рубца применяется в разных условиях [25], [28].

Цель исследования

Целью данной работы было сравнительное исследование влияния фактора генотипа на переваримость питательных веществ рациона, уровень общих биохимических показателей и свободных аминокислот плазмы крови у модельных овец. В задачи исследования входило определение коэффициентов переваримости сухого и органического вещества, сырого протеина, сырого жира, сырой клетчатки на балансовом опыте, определение общих биохимических показателей и концентрации свободных аминокислот в плазме крови в динамике через 1 и 3 часа после кормления в неоднородной по генотипу группе модельных овец, а также сравнительная оценка влияния генотипа на исследуемые показатели.

Условия, материалы и методы

Исследование проводили в условиях физиологического двора Федерального научного центра животноводства им. Л.К. Эрнста (ФГБНУ ФНЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста), в феврале 2017 года. Была сформирована неоднородная по генотипу группа клинически здоровых ярок ($n=6$). Ярки в возрасте 12 месяцев, со средней массой 45 ± 5 кг были подобраны по принципу аналогов за исключением фактора генотипа: чистопородные романовские ярки, $n=3$; ярки межвидового гибрида овцы романовской породы и архара 3 поколения (12,5% архар+87,5% романовская), $n=3$. Животные всех групп получали комбинированный рацион, состоящий из сена злаково-разнотравного- 1,5 кг, дерти ячменной- 0,15 кг, кровяной муки- 0,04 кг на голову в сутки. Продолжительность исследований составила 28 суток, в том числе 21 предварительного и 7 суток учетного периода. Для изучения переваримости и использования питательных веществ животными, был проведен балансовый опыт, согласно общепринятым методикам. Сырой жир определяли методом Сокслета, сырую клетчатку – по Геннебергу и Штоману, сырой протеин - методом Кельдаля. Пробы крови отбирали из яремной вены через 1 и 3 часа после кормления. Общие биохимические показатели определяли в плазме крови с помощью биохимического анализатора ChemWell (Awareness technology, США). Определяли концентрацию общего белка, альбуминов, креатинина, мочевины, глюкозы, триглицеридов, холестерина, активность АСТ, АЛТ. Концентрацию глобулинов рассчитывали как разницу концентраций общего белка и альбуминов. Использовали наборы реактивов следующих производителей: Analyticon, Германия (общий белок, альбумин, креатинин, АЛТ, АСТ, глюкоза); Spinreact, Испания (мочевина, триглицериды, холестерин). Для определения концентрации свободных аминокислот образцы плазмы депротеинизировали 6% раствором сульфосалициловой кислоты и центрифугировали при 13 000 оборотов в минуту, далее образец разводили литий-цитратным буфером для разведения образцов (Sevko&Co, Россия) и анализировали методом ионообменной хроматографии с постколоночной дериватизацией проб нингидрином с использованием ВЭЖХ системы Shimadzu LC-20 Prominence (Япония), оснащенной реакционным модулем для пост-колоночной дериватизации нингидрином АРМ-1000 и колонкой с ионообменной смолой 4,6 x 150 мм (Sevko&Co, Россия). Использовали буферные растворы для элюирования, регенерации ионообменной колонки (Sevko&Co, Россия), а также стандартный образец раствора физиологических аминокислот (Sykam, Германия) для контроля качества измерений. Сравнительный анализ выполняли по критерию Манна-Уитни, с использованием программы Statistica 7 (StatSoft, США).

Результаты и обсуждение

В данном исследовании проведена оценка влияния генетического фактора на значения коэффициента переваримости питательных веществ рациона, уровней общих биохимических показателей и свободных аминокислот плазмы крови жвачных животных. Был проведен балансовый опыт по изучению поедаемости кормов, переваримости и использования питательных веществ рационов в неоднородной по генотипу группе ярок. Результаты исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Переваримость питательных веществ рациона у ярок

Показатель	Группа	
	Чистопородные романовские ярки	Гибриды третьего поколения
Сухое вещество, г переваримость	$652,43 \pm 17,02$ $0,61 \pm 0,34$	$634,81 \pm 17,25$ $0,64 \pm 0,29^*$
Органическое в-во, г переваримость	$523,06 \pm 9,03$ $0,62 \pm 0,49$	$551,70 \pm 16,96$ $0,65 \pm 0,40^*$
Сырой протеин, г переваримость	$92,72 \pm 2,58$ $0,63 \pm 0,35$	$96,75 \pm 1,65$ $0,67 \pm 0,47^*$
Сырой жир, г переваримость	$12,94 \pm 0,1$ $0,59 \pm 0,15$	$13,07 \pm 0,27$ $0,63 \pm 0,29^*$
Сырая клетчатка, г переваримость	$136,67 \pm 5,11$ $0,6 \pm 0,09$	$182,05 \pm 4,28^*$ $0,63 \pm 0,70^*$

Примечание: * - $p \leq 0,05$

В данном исследовании установлены статистически значимые различия коэффициента переваримости питательных веществ, уровней общих биохимических показателей и свободных аминокислот плазмы крови у чистопородных и гибридных ярок которые свидетельствуют о влиянии генетического фактора на результаты исследования физиолого-биохимических особенностей пищеварительных процессов и обмена веществ в организме жвачных животных. Были установлены статистически значимые различия значений коэффициента переваримости питательных веществ рациона. Гибридные ярки имели более высокий коэффициент переваримости сухого вещества

на 4,29%, органического вещества на 4,14%, сырого протеина на 5,81%, сырого жира на 6,54%, сырой клетчатки на 5,59% ($p<0,05$). Были определены общие биохимические показатели и концентрация свободных аминокислот плазмы крови через 1 и 3 часа после кормления. Через 1 час после кормления романовские ярки имели более высокую концентрацию альбуминов ($p<0,05$), гибридные ярки имели более высокую концентрацию мочевины ($p<0,05$). Через 3 часа после кормления гибридные ярки имели более высокую концентрацию мочевины, креатинина, глюкозы и более высокую активность АЛТ ($p<0,05$) по сравнению с ярками романовской породы. Было установлено статистически значимое повышение концентрации альбуминов и креатинина ($p<0,05$) в образцах плазмы крови гибридных животных, полученных через 3 часа после кормления по сравнению с пробами полученными через 1 час после кормления. Результаты исследования представлены в таблицах 2,3.

Через 1 час после кормления гибридные ярки имели более высокую концентрацию валина ($p<0,05$) по сравнению с ярками романовской породы. Через 3 часа после кормления установлено статистически значимое снижение концентрации аминокислот с разветвленной цепью (BCAA), тирозина, фенилаланина и пролина ($p<0,05$) в группе романовских овец. В группе гибридных овец установлено снижение концентрации глицина и пролина ($p<0,05$) по сравнению с 1 часом. Чистопородные ярки имели более высокую концентрацию тирозина по сравнению с гибридными ($p<0,05$). Полученные в данном исследовании данные по уровню общих биохимических показателей и концентрации свободных аминокислот плазмы крови соотносятся с референтными значениями общих биохимических показателей плазмы крови у овец [23] и результатами исследований, представленных в научной литературе, в том числе, исследований пула свободных аминокислот плазмы крови.

Таблица 2 – Общие биохимические показатели плазмы крови

Группа/показатель	1 час		3 часа	
	Ром	F3	Ром	F3
Общ белок, г/л	75,93±1,15	73,76±2,09	73,40±2,30	72,32±1,67
Альбумины, г/л	31,17±0,65*	28,88±0,05	30,27±0,78	30,67±0,34↑
Глобулины, г/л	44,76±1,59	44,88±2,04	43,12±1,72	41,64±1,69
АГ	0,70±0,04	0,65±0,03	0,70±0,02	0,74±0,03↑
Мочевина, мМ/л	4,97±0,29	7,04±0,62*	4,56±0,21	6,34±0,78*
Креатинин, мкМ/л	78,05±1,93	68,56±12,90	70,60±5,92	109,39±3,20*↑
АЛТ, МЕ/л	16,15±1,54	17,74±0,55	14,87±0,96	19,33±1,13*
АСТ, МЕ/л	70,97±1,98	70,28±0,69	71,57±0,95	70,28±0,87
Глюкоза, мМ/л	3,21±0,06	3,45±0,18	2,83±0,26	3,77±0,15*
Холестерин, мМ/л	2,67±0,29	2,51±0,21	2,65±0,28	2,52±0,14

Примечание: * - $p<0,05$; ↑ - динамика относительно 1 часа

На физиолого-биохимические особенности организма жвачных животных и, в частности, овец влияют генетические и негенетические факторы [16]. К генетическим факторам относится, например породная или видовая принадлежность [25], [23]. Основными негенетическими факторами, влияющими на организм животного, являются несколько факторов, включая физиологические [15], [31], [5], состояние окружающей среды, климат и особенности географии региона [26], [27], [29], кормление и рацион [19], пол и возраст [10], [38], состояние здоровья, применение лекарственных препаратов и лечение [19], [4] и сезон года [38]. Кроме того отмечается роль таких факторов, как уровень физической активности, условия содержания, технологии производства и различные стрессовые факторы [33], [29]. К физиологическим факторам относятся цикл воспроизводства (беременность, лактация), кастрация, стимулирование эструса и гиперовуляции и другие [15], [31], [5]. Химический состав является наиболее важным фактором, влияющим на пищевую ценность рациона овец. Значительные различия в очевидной усвояемости структурных компонентов (целлюлоза, лигнин, нейтрально детергентные волокна и кислотнo детергентные волокна) наблюдаются среди кормов разных типов и характеристик (способа обработки и формы применения) [17], [35]. Качество и состав рациона может влиять на потребление корма жвачными животными через воздействие на пищеварение в рубце, и, соответственно, на рост жвачных животных за счет изменения эффективности преобразования пищи в организме [8]. Кроме того, доступность и распределение кормовых продуктов может влиять на потребление корма и изменение живой массы, например, ограничивая количество корма, которое потребляют животные. [12]. На эффективность кормления лактирующих коз влияет поддержание интенсивности синтеза молочного жира, усвояемость сухого вещества, содержание пищевых волокон и доля грубых кормов в рационе, а также масса тела [13]. Эффект воздействия организма- хозяина может оказывать влияние на результаты использования микробных методов манипуляции симбиотической микрофлорой, таких как пробиотики [24]. Проведились исследования крупного рогатого скота, связывающие генетику хозяина с рубцовой микробиотой, стремясь выбрать эффективных по функциональности животных [22], [30]. Эти исследования показали потенциальную наследуемость рубцовой микробиоты крупного рогатого скота через косвенную связь между породным фактором и микробным составом рубца [22]. Кроме того, потенциально наследуемые микробные фенотипы также могут быть связаны с фенотипами хозяина, такими как эффективность корма [22] и продукция метана [30] у бычков. Аминокислоты являются важными предшественниками для синтеза широкого ряда азотистых веществ с огромным биологическим значением. Некоторые из этих биоактивных молекул включают нейротрансмиттеры (например, г-аминобутират, дофамин и серотонин), гормоны (например, адреналин, норадреналин, трийодтиронин и тироксин), сосудорасширяющие средства, сигнальные газы (NO, CO и H₂S), антиоксиданты (глутатион, креатин, мелатонин, меланин и таурин), доноры метилгруппы, а также ключевые регуляторы метаболизма, роста, развития, иммунного ответа и здоровья. Результаты, показывающие уровень свободных аминокислот плазмы крови представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Свободные аминокислоты плазмы крови

Группа/ показатель	1 час		3 часа	
	Ром	F3	Ром	F3
EAA	821,21±23,59	863,71±121,72	785,56±23,76	743,42±109,67
BCAA	355,00±5,38	426,19±44,86	322,32±10,80↓	367,82±46,62
AROM	234,37±23,71	236,98±45,08	235,36±18,83	202,71±34,98
Сумма	5883,1±287,7	6784,2±803,9	5563,9±486,1	7215,1±1038,3
TAU	25,78±4,36	38,42±7,01	21,85±3,48	35,80±8,02
THR	138,33±34,31	74,48±13,98	122,24±32,67*	65,05±12,38
SER	79,16±10,86	65,54±13,57	62,11±5,81	44,21±5,63
GLY	556,28±57,09	506,66±27,46	432,42±45,12	360,61±28,22↓
ALA+ CIT	175,37±13,43	188,12±32,01	155,35±3,90	163,43±30,06
VAL	200,80±2,23	239,52±21,38*	185,98±8,94	211,96±25,87
MET	19,77±1,86	18,60±3,14	15,87±1,24	14,02±3,42
ILEU	70,97±2,03	82,00±10,38	63,56±1,49↓	71,29±9,87
LEU	83,23±2,07	104,67±13,82	72,78±1,57↓	84,56±10,92
TYR	60,81±2,87	50,11±3,81	54,07±2,72*↓	40,24±5,29
PHE	39,98±2,11	44,91±5,49	32,51±0,82↓	33,58±4,74
HIS+ MetHIS	88,52±7,01	112,02±20,49	90,45±5,79	95,19±17,44
TRP	133,59±26,10	141,96±37,73	148,78±21,36	128,89±26,20
LYS	46,03±1,26	45,55±0,92	53,38±3,37	51,24±4,16
ARG	105,29±7,70	153,64±35,51	112,54±3,38	112,86±30,63
PRO	87,49±5,06	114,31±17,76	56,07±4,66↓	61,98±11,36↓

Примечание: * - $p \leq 0,05$; ↓ - динамика относительно 1 часа

Содержание свободных аминокислот в плазме крови молодняка овец зависит от рациона [3] и изменяется в процессе роста и развития организма [34], [3]. Метаболизм аминокислот изменяется в различных физиологических и патологических состояниях, что приводит к изменениям в гомеостазе [36]. Концентрация свободных аминокислот в плазме крови у взрослых овец может иметь выраженную сезонность [5]. Уровень свободных аминокислот в плазме крови овец связан, в частности, с уровнем белкового питания: концентрации аминокислот в плазме отражают содержание азота в рационе [18], [11], [32], эффективность использования аминного азота симбиотической микрофлорой рубца [32] повышение содержания протеина в рационе [18]. В литературе представлены данные, показывающие влияние структуры рациона на микрофлору рубца, пищеварительные особенности и обмен веществ баранов (валухов) межвидового гибрида овцы романовской породы и архара третьего поколения в сравнении с аналогами романовской породы. Показано статистически значимое повышение переваримости сырого жира и клетчатки, увеличение количества и активности симбиотической микрофлоры рубца, а также концентрации аммиака в рубцовом содержимом гибридных животных относительно чистопородных, с наибольшим эффектом на сено-сенажно-концентраном типе рациона, а также установлены значимые различия общих биохимических показателей сыворотки крови, обусловленные влиянием генотипа дикого вида [1]. Знания о взаимодействии организма-хозяина и симбиотических микроорганизмов в рубце могут позволить эффективно отбирать и разводить животных с полезными экономическими и экологическими признаками на основе микробных маркеров. Более того, микробиота, связанная с такими фенотипами, может быть использована для разработки микробных манипуляционных средств и методик (кормовые добавки—пробиотики, пребиотики) для улучшения ферментации рубца. Наследуемость микробиоты, связанная с фенотипическими признаками, является важным фактором, который следует учитывать в ходе таких исследований, поскольку плохо- наследуемая микробиота не может быть хорошим маркером для отбора [25]. При проведении исследований на жвачных животных по оценке переваримости питательных веществ рациона, а также определению уровня общих биохимических показателей и свободных аминокислот плазмы крови необходимо учитывать влияние различных факторов на организм подопытных животных. Это особенно актуально, например, при планировании и проведении балансовых опытов с использованием факториального метода («латинский квадрат») для формирования опытных и контрольных групп животных. Установленные различия коэффициента переваримости сухого и органического вещества свидетельствуют о влиянии генетического фактора на интенсивность обмена веществ овец. Повышение коэффициента переваримости сырого протеина, повышение концентрации мочевины и аминокислот с разветвленной цепью (валина) в плазме крови гибридных животных по сравнению с чистопородными, могут свидетельствовать о влиянии генотипа на интенсивность белкового и азотистого обмена веществ в организме овец. Повышение коэффициента переваримости сырого жира и сырой клетчатки, а также повышение концентрации глюкозы в плазме крови гибридных животных по сравнению с чистопородными, могут свидетельствовать о влиянии генотипа на интенсивность жирового и углеводного обмена веществ в организме овец. В практическом аспекте актуально получение и использование животных новых генотипов, имеющих большую переваримость и лучше использующих корма, что повышает рентабельность сельскохозяйственного производства.

Выводы

В данном исследовании установлены статистически значимые различия коэффициента переваримости питательных веществ, уровней общих биохимических показателей и свободных аминокислот плазмы крови у чистопородных и гибридных ярок которые свидетельствуют о влиянии генетического фактора на результаты

исследования физиолого-биохимических особенностей пищеварительных процессов и обмена веществ в организме жвачных животных. Гибридные ярки имели более высокий коэффициент переваримости сухого вещества, органического вещества, сырого протеина, сырого жира, сырой клетчатки, концентрацию мочевины в плазме крови через 1 и 3 часа после кормления, содержание глюкозы – через 3 часа, концентрацию свободного валина в плазме крови – через 1 час. В практическом аспекте актуально получение и использование животных новых генотипов, имеющих большую переваримость и лучше использующих корма, что повышает рентабельность сельскохозяйственного производства.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке фундаментальных научных исследований МИНОБРНАУКИ РОССИИ, номер государственного учета НИОКТР АААА-А18-118021590136-7.

Acknowledgement

This work was supported by the center of fundamental scientific research of the MINISTRY OF SCIENCE AND EDUCATION OF RUSSIA, State accounting number R&D АААА-А18-118021590136-7.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Боголюбова Н.В. Биологические параметры пищеварительных и обменных процессов межвидовых гибридов домашней овцы (*Ovis aries*) и архара (*Ovis ammon polii*) / Боголюбова Н.В., Романов В.Н., Девяткин В.А. и др. // Сельскохозяйственная биология, 2016, № 4, 500-508.
2. Боголюбова Н.В. Процессы пищеварения у гибридных овец с прилитием крови архара (*Ovis ammon*) при разных уровнях клетчатки в рационе / Боголюбова Н.В., Багиров В.А., Зиновьева Н.А. // Достижения науки и техники АПК, № 9, 2017. – С.64-67.
3. Abdel-Fattah M.S. Growth Rate, Some Plasma Biochemical and Amino Acid Concentrations of Barki Lambs Fed Ground Date Palm at Siwa Oasis / Abdel-Fattah M.S., Abdel-Hamid A.A., Ellamie A. M. and others, Egypt Am-Euras. J. Agric. & Environ. Sci., 2012, 12 (9), 1166-1172.
4. Alexandratos N. World Agriculture Towards 2030/2050, The 2012 revision / Alexandratos N, Bruinsma J. ESA Working paper (Rome, FAO), 2012, 12–03.
5. Allison G. Normal ranges and temporal variation in plasma concentrations of L-lactate and free amino acids in adult sheep / Allison G., Pauline R. S., Jackman R. and others // Research in Veterinary Science, 2008, 85, 22-25.
6. Anoushepour A. The comparison of some biochemical parameters in hyperketonemic and normal ewes / Anoushepour A., Mottaghian P., Sakha M. and others // European Journal of Experimental Biology, 2014, №4 (3), 83-87.
7. Antunović Z. Changes in biochemical and hematological parameters and metabolic hormones in Tsigai ewes blood in the first third of lactation / Antunović Z., Novoselec J., Speranda M. // Archiv Tier., 2011, №54, 535-545.
8. Blaxter K.L. The Energy Metabolism of Ruminants. Hutchinson, Scientific and Technical / Blaxter K.L., 1962, London. 329 p.
9. Bogoliubova N.V. Digestion and metabolic parameters of domestic sheep and their hybrids with Argali / Bogoliubova N.V., Romanov V.N., Devyatkin V.A. and others // Book of Abstracts of the 66 Annual Meeting of the European Federation of Animal Science, Warsaw, 2015, P. 367.
10. Carlosa M. Blood parameters in the morada nova sheep: influence of age, sex and body condition score / Carlosa M., Leiteb J., Chavesb D. and others // The Journal of Animal & Plant Sciences, 2015, № 25 (4), 950-955.
11. Cecyre G. Relationship between dietary protein content and plasma amino acids in sheep fed purified diets / Cecyre G., Jones J. // Canadian journal of animal science, 1973, №53, P. 455-464.
12. Chacon E.A. Influence of sward characteristics on grazing behaviour and growth of Hereford steers grazing tropical grass pastures / Chacon E.A., T.H. Stobbs, M.B. Dale // Aust. J. Agr. Res., 1978, 29, 89-102.
13. De Oliveira T.S. Factors affecting feed efficiency in dairy goats / De Oliveira T.S., De Paula L.F., Da Silva C.J. and others // R. Bras. Zootec., 2014, 43(10), 524-529. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982014001000003>
14. Eisler M. C. Winter M. Agriculture: Steps to sustainable livestock / Eisler M. C., Lee M. R. F., Tarlton J. F. and others // Nature, 2014, 507(7490), 32–34. doi:10.1038/507032a
15. Ercan N. Determination of some blood parameters during pregnancy and lactation periods in healthy Akkaraman Kangal ewes / Ercan N., Kockaya M., Ograk Y. Z. // Eurasian J. Vet. Sci., 2016, №32, P. 178-181. DOI: 10.15312/EurasianJVetSci.2016318397.
16. Etim N. Haematological Parameters and Factors Affecting Their Values / Etim N., Williams M. E., Akpabio U. and others // Agricultural Science Volume, 2014, №2, 37-47.
17. Fannesbeck P. V. Factors affecting digestibility of nutrients by sheep / Fannesbeck P. V., Christiansen J. L., L. E. Harris // JOURNAL OF ANIMAL SCIENCE, Vol. 52, No. 2, 1981
18. Fraser I. Free amino acids in the plasma of sheep fed supplementary protein, with particular reference to e-N-methyl lysine / Fraser I., Haden D.D. // Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production, 1970, 30, pp 240-248.
19. Hashemi M. M. Effects of nutritional level during late pregnancy on colostral production and blood immunoglobulin levels in Karakul ewes and their lambs / Hashemi M. M., Zamiri M.J., Safdarian M. // Small Rumin. Res., 2008, №75, P. 204–209.
20. Hashemi S. H. Blood serum biochemical factors of Baluchi sheep / Hashemi S. H., Gradinski-urbanac B., Mitin V. and others // J. Appl. Environ. Biol. Sci. – 2015, №5, P. 838-840.
21. Heinrichs J. Rumen development in the dairy calf / Heinrichs J. // Adv Dairy Technol, 2005, 17, 179–187.

22. Hernandez-Sanabria E. Influence of Sire Breed on the Interplay among Rumen Microbial Populations Inhabiting the Rumen Liquid of the Progeny in Beef Cattle / Hernandez-Sanabria E., Goonewardene L. A., Wang Z. and others // PLoS ONE, 2013, 8(3). doi:10.1371/journal.pone.0058461
23. Kaneko J.J. Clinical Biochemistry of Domestic Animals, 6th ed. / Kaneko J.J., Harvey J.W., Bruss M.L. and others // Elsevier, Academic Press: Amsterdam, 2008.
24. Krehbiel C.R. Bacterial direct-fed microbials in ruminant diets: Performance response and mode of action / Krehbiel C.R., Rust S.R., Zhang G. and others // J Anim Sci. 2003, 81 (2), E120–E132.
25. Malmuthuge N. Understanding host-microbial interactions in rumen: searching the best opportunity for microbiota manipulation / Malmuthuge N., Guan L. L. // Journal of Animal Science and Biotechnology, 2017, 8(1).doi:10.1186/s40104-016-0135-3
26. Njidda A. A. Haematological and Serum Biochemical Indices of Sheep in Semi-Arid Environment of Northern Nigeria / Njidda A. A., Shuai'bu A. A., Isidahomen C. E. // Global Journal of Science Frontier Research: Agriculture and Veterinary, 2014, №14, 49-56.
27. Oramari R. Factors Affecting Some Hematology and Serum Biochemical Parameters in Three Indigenous Sheep Breeds / Oramari R., Bamerny A., Zebari H. // Advances in Life Science and Technology, 2014, №21.
28. Perea K. Feed efficiency phenotypes in lambs involve changes in ruminal, colonic, and small-intestine-located microbiota / Perea K., Perz K., Olivo S. K. and others // Journal of Animal Science, 2017, 95(6), 2585–2592. doi:10.2527/jas.2016.1222
29. Piccione G. Selected biochemical serum parameters in ewes during pregnancy, post-parturition, lactation and dry period / Piccione G., Caola G., Giannetto C. and others // Animal Science Papers and Reports, 2009, №27 (4), P. 321-330.
30. Roehe R. Bovine host genetic variation influences rumen microbial methane production with best selection criterion for low methane emitting and efficiently feed converting hosts based on metagenomic gene abundance / Roehe R., Dewhurst R.J., Duthie C.A. and others // Plos Genet, 2016, 12. doi: 10.1371/journal.pgen.1005846.
31. Sharma A. Haemato-biochemical and endocrine profiling of north western Himalayan Gaddi sheep during various physiological/reproductive phases / Sharma A., Kumar P., Singh M. and others // Open Vet J., 2015, №5(2), 103–107.
32. Shimbayashi K. Observation on Free Amino Acid of Sheep Blood Plasma / Shimbayashi K., Ide Y., Yonemura T. // Agricultural and Biological Chemistry, 1965, 29, 8, 774-778. DOI: 10.1080/00021369.1965.10858463
33. Stevanović O. Variability of blood serum biochemical parameters in karakachan sheep / Stevanović O., Stojiljković M., Nedić D. and others // Biotechnology in Animal Husbandry, 2015, №31 (1), 55-62.
34. Tataru M.R. Changes of amino acid concentrations in Polish Merino sheep between 21 and 150 days of life / Tataru M.R., Brodzki A., Pasternak K. and others // Veterinarni Medicina, 59, 2014 (2): 68–75.
35. Thomas S. Comparisons of some factors affecting digestibility in sheep and cows / Thomas S., Campling R. C. // Grass and Forage Science, 1977, 32(1), 33–41. doi:10.1111/j.1365-2494.1977.tb01409.x
36. Wu G. Amino acids: metabolism, functions, and nutrition / Wu G. // Amino Acids (2009) 37:1–17 DOI 10.1007/s00726-009-0269-0
37. Wu G. Functional Amino Acids in Growth, Reproduction, and Health / Wu G. // Adv. Nutr. 1: 31–37, 2010; doi:10.3945/an.110.1008
38. Yaqub L. S. Influence of reproductive cycle, sex, age and season on haematologic parameters in domestic animals: a review / Yaqub L. S., Kawu M. U. // Cell Anim. Biol., 2013, №7 (4), 37-43. DOI: 10.5897/JCAB12.063.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Bogolyubova N.V. Biologicheskiye parametry pishchevaritel'nykh i obmennyykh protsessov mezhvidovykh gibridov domashney ovtsy (Ovis aries)i arkhara (Ovis ammon polii) [Biological parameters of the digestive and metabolic processes of interspecific hybrids of domestic sheep (Ovis aries) and argali (Ovis ammon polii)] / Bogolyubova N.V., Romanov V.N., Devyatkin V.A. and others // Sel'skokhozyaystvennaya biologiya [Agricultural Biology], 2016, No. 4, 500-508. [in Russian]
2. Bogolyubova N.V. Protsessy pishchevareniya u gibridnykh ovets s prilivom krovi arkhara(OVIS AMMON) pri raznykh urovnyakh kletchatki v ratsione [Digestion processes in hybrid sheep with argali blood flow (OVIS AMMON) at different levels of fiber in the diet] / Bogolyubova N.V., Bagirov V.A., Zinovieva N.A. and others // Dostizheniya nauki i tekhniki APK [Achievements of Science and Technology of the Agro-Industrial Complex], No. 9, 2017. – P. 64-67. [in Russian]
3. Abdel-Fattah M.S. Growth Rate, Some Plasma Biochemical and Amino Acid Concentrations of Barki Lambs Fed Ground Date Palm at Siwa Oasis / bdel-Fattah M.S., Abdel-Hamid A.A., Ellamie A. M. and others, Egypt Am-Euras. J. Agric. & Environ. Sci., 2012, 12 (9), 1166-1172.
4. Alexandratos N. World Agriculture Towards 2030/2050, The 2012 revision / Alexandratos N, Bruinsma J. ESA Working paper (Rome, FAO), 2012, 12–03.
5. Allison G. Normal ranges and temporal variation in plasma concentrations of L-lactate and free amino acids in adult sheep / Allison G., Pauline R. S., Jackman R. and others// Research in Veterinary Science, 2008, 85, 22-25.
6. Anoushepour A. The comparison of some biochemical parameters in hyperketonemic and normal ewes / Anoushepour A., Mottaghian P., Sakha M. and others // European Journal of Experimental Biology, 2014, №4 (3), 83-87.
7. Antunović Z. Changes in biochemical and hematological parameters and metabolic hormones in Tsigai ewes blood in the first third of lactation / Antunović Z., Novoselec J., Speranda M. // Archiv Tier., 2011, №54, 535-545.
8. Blaxter K.L. The Energy Metabolism of Ruminants. Hutchinson, Scientific and Technical / Blaxter K.L., 1962, London. 329 p.
9. Bogoliubova N.V. Digestion and metabolic parameters of domestic sheep and their hybrids with Argali / Bogoliubova N.V., Romanov V.N., Devyatkin V.A. and others // Book of Abstracts of the 66 Annual Meeting of the European Federation of Animal Science, Warsaw, 2015, P. 367.

10. Carlosa M. Blood parameters in the morada nova sheep: influence of age, sex and body condition score / Carlosa M., Leiteb J., Chavesb D. and others // *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 2015, № 25 (4), 950-955.
11. Cecyre G. Relationship between dietary protein content and plasma amino acids in sheep fed purified diets / Cecyre G., Jones J. // *Canadian journal of animal science*, 1973, №53, P. 455-464.
12. Chacon E.A. Influence of sward characteristics on grazing behaviour and growth of Hereford steers grazing tropical grass pastures / Chacon E.A., T.H. Stobbs, M.B. Dale // *Aust. J. Agr. Res.*, 1978, 29, 89-102.
13. De Oliveira T.S. Factors affecting feed efficiency in dairy goats / De Oliveira T.S., De Paula L.F., Da Silva C.J. and others // *R. Bras. Zootec.*, 2014, 43(10), 524-529. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982014001000003>
14. Eislser M. C. Winter M. Agriculture: Steps to sustainable livestock / Eislser M. C., Lee M. R. F., Tarlton J. F. and others // *Nature*, 2014, 507(7490), 32–34. doi:10.1038/507032a
15. Ercan N. Determination of some blood parameters during pregnancy and lactation periods in healthy Akkaraman Kagal ewes / Ercan N., Kockaya M., Ograk Y. Z. // *Eurasian J. Vet. Sci.*, 2016, №32, P. 178-181. DOI: 10.15312/EurasianJVetSci.2016318397.
16. Etim N. Haematological Parameters and Factors Affecting Their Values / Etim N., Williams M. E., Akpabio U. and others // *Agricultural Science Volume*, 2014, №2, 37-47.
17. Fannesbeck P. V. Factors affecting digestibility of nutrients by sheep / Fannesbeck P. V., Christiansen J. L., L. E. Harris // *JOURNAL OF ANIMAL SCIENCE*, Vol. 52, No. 2, 1981
18. Fraser I. Free amino acids in the plasma of sheep fed supplementary protein, with particular reference to e-N-methyl lysine / Fraser I., Haden D.D. // *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*, 1970, 30, pp 240-248.
19. Hashemi M. M. Effects of nutritional level during late pregnancy on colostral production and blood immunoglobulin levels in Karakul ewes and their lambs / Hashemi M. M., Zamiri M.J., Safdarian M. // *Small Rumin. Res.*, 2008, №75, P. 204–209.
20. Hashemi S. H. Blood serum biochemical factors of Baluchi sheep / Hashemi S. H., Gradinski-urbanac B., Mitin V. and others // *J. Appl. Environ. Biol. Sci.* – 2015, №5, P. 838-840.
21. Heinrichs J. Rumen development in the dairy calf / Heinrichs J. // *Adv Dairy Technol*, 2005, 17, 179–187.
22. Hernandez-Sanabria E. Influence of Sire Breed on the Interplay among Rumen Microbial Populations Inhabiting the Rumen Liquid of the Progeny in Beef Cattle / Hernandez-Sanabria E., Goonewardene L. A., Wang Z. and others // *PLoS ONE*, 2013, 8(3). doi:10.1371/journal.pone.0058461
23. Kaneko J.J. Clinical Biochemistry of Domestic Animals, 6th ed. / Kaneko J.J., Harvey J.W., Bruss M.L. and others // Elsevier, Academic Press: Amsterdam, 2008.
24. Krehbiel C.R. Bacterial direct-fed microbials in ruminant diets: Performance response and mode of action / Krehbiel C.R., Rust S.R., Zhang G. and others // *J Anim Sci*. 2003, 81 (2), E120–E132.
25. Malmuthuge N. Understanding host-microbial interactions in rumen: searching the best opportunity for microbiota manipulation / Malmuthuge N., Guan L. L. // *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 2017, 8(1).doi:10.1186/s40104-016-0135-3
26. Njidda A. A. Haematological and Serum Biochemical Indices of Sheep in Semi-Arid Environment of Northern Nigeria / Njidda A. A., Shuai'bu A. A., Isidahomen C. E. // *Global Journal of Science Frontier Research: Agriculture and Veterinary*, 2014, №14, 49-56.
27. Oramari R. Factors Affecting Some Hematology and Serum Biochemical Parameters in Three Indigenous Sheep Breeds / Oramari R., Bamerny A., Zebari H. // *Advances in Life Science and Technology*, 2014, №21.
28. Perea K. Feed efficiency phenotypes in lambs involve changes in ruminal, colonic, and small-intestine-located microbiota / Perea K., Perz K., Olivo S. K. and others // *Journal of Animal Science*, 2017, 95(6), 2585–2592.doi:10.2527/jas.2016.1222
29. Piccione G. Selected biochemical serum parameters in ewes during pregnancy, post-parturition, lactation and dry period / Piccione G., Caola G., Giannetto C. and others // *Animal Science Papers and Reports*, 2009, №27 (4), P. 321-330.
30. Roehe R. Bovine host genetic variation influences rumen microbial methane production with best selection criterion for low methane emitting and efficiently feed converting hosts based on metagenomic gene abundance / Roehe R., Dewhurst R.J., Duthie C.A. and others // *Plos Genet*, 2016, 12. doi: 10.1371/journal.pgen.1005846.
31. Sharma A. Haemato-biochemical and endocrine profiling of north western Himalayan Gaddi sheep during various physiological/reproductive phases / Sharma A., Kumar P., Singh M. and others // *Open Vet J.*, 2015, №5(2), 103–107.
32. Shimbayashi K. Observation on Free Amino Acid of Sheep Blood Plasma / Shimbayashi K., Ide Y., Yonemura T. // *Agricultural and Biological Chemistry*, 1965, 29, 8, 774-778. DOI: 10.1080/00021369.1965.10858463
33. Stevanović O. Variability of blood serum biochemical parameters in karakachan sheep / Stevanović O., Stojiljković M., Nedić D. and others // *Biotechnology in Animal Husbandry*, 2015, №31 (1), 55-62.
34. Tatara M.R. Changes of amino acid concentrations in Polish Merino sheep between 21 and 150 days of life / Tatara M.R., Brodzki A., Pasternak K. and others // *Veterinarni Medicina*, 59, 2014 (2): 68–75.
35. Thomas S. Comparisons of some factors affecting digestibility in sheep and cows / Thomas S., Campling R. C. // *Grass and Forage Science*, 1977, 32(1), 33–41. doi:10.1111/j.1365-2494.1977.tb01409.x
36. Wu G. Amino acids: metabolism, functions, and nutrition / Wu G. // *Amino Acids* (2009) 37:1–17 DOI 10.1007/s00726-009-0269-0
37. Wu G. Functional Amino Acids in Growth, Reproduction, and Health / Wu G. // *Adv. Nutr.* 1: 31–37, 2010; doi:10.3945/an.110.1008
38. Yaqub L. S. Influence of reproductive cycle, sex, age and season on haematologic parameters in domestic animals: a review / Yaqub L. S., Kawu M. U. // *Cell Anim. Biol.*, 2013, №7 (4), 37-43. DOI: 10.5897/JCAB12.063.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.87.9.022>

БИОЦЕНОЗ РЕКИ ПСЕЗУАПСЕ (ЧЕРНОМОРСКОЕ ПОБЕРЕЖЬЕ)

Научная статья

Карнаухов Г.И. *

ORCID: 0000-0003-4038-1699,

Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» («АзНИИРХ»), Краснодар, Россия

* Корреспондирующий автор (gik23[at]mail.ru)

Аннотация

Впервые по результатам изучения основных групп гидробионтов (фитопланктон, зоопланктон, зообентос) проведено описание и анализ качественных и количественных характеристик зооценоза реки Псекуапсе Черноморского побережья Кавказа. Материалы проведенных исследований представляют как научный фаунистический интерес, так и несут практическое значение в изучении рационального природопользования водных ресурсов в условиях антропогенного воздействия.

Ключевые слова: горная река, ихтиофауна, фитопланктон, зоопланктон, зообентос, массовые виды.

BIOCENOSIS OF PSEZUAPSE RIVER (BLACK SEA COAST)

Research article

Karnaukhov G.I. *

ORCID: 0000-0003-4038-1699,

Azov-Black Sea Branch of the Federal State Budget Scientific Institution Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Krasnodar, Russia

* Corresponding author (gik23[at]mail.ru)

Abstract

Based on the results of studying the main groups of hydrobionts (phytoplankton, zooplankton, zoobenthos), the description and analysis of the qualitative and quantitative characteristics of the zoocenosis of the Psezuapse river of the Black Sea coast of the Caucasus has been carried out for the first time. The materials of the studies are of both scientific faunistic interest and of practical importance in studying rational nature management of water resources under the conditions of anthropogenic impact.

Keywords: mountain river, ichthyofauna, phytoplankton, zooplankton, zoobenthos, mass species.

Целью работы являлось изучение современной структуры сообществ ихтиофауны, фитопланктона, зоопланктона и зообентоса в реке Псекуапсе Черноморского побережья Краснодарского края в условиях мощного рекреационного воздействия.

В основном исследования биоценозов проводились на достаточно крупных реках. По небольшим водотокам имеются только спорадические данные [5, С. 206], [6, С. 67]. Основная масса малых рек и ручьев вообще выпала из поля интересов исследователей.

Пробы фитопланктона отбирали и обрабатывали по общепринятой методике [7, С.148]. Отбор проб, количественный и качественный анализы зоопланктона проводили согласно методике [8, С. 240]. Изучение состава, количественного развития донных организмов проводили путём сбора зообентоса методом соскоба [9, С. 39]. Сбор и обработка ихтиологического материала проводились по общепринятым методикам [10, С.376].

Река Псекуапсе берет начало в 10 км к северо-западу от горы Аутль, на высоте 1320 м и впадает в Черное море у населенного пункта Лазаревское. Длина реки составляет 39 км, площадь водосбора – 290 км².

Основным притоком р. Псекуапсе является р. Ходжико длиной 17 км. Всего в бассейне насчитывается около 100 рек и ручьев общей протяженностью 243 км. Рельеф бассейна горный.

Режим р. Псекуапсе – паводочный. Внутригодовое распределение стока крайне неравномерное. Характер годового хода уровня зависит от частоты и интенсивности дождей, выпадающих в течение года. Наибольшие расходы воды обычно бывают зимой: с декабря по апрель стекает 65,7% годового стока. Наименьшие расходы наблюдаются с июля по сентябрь. За эти месяцы стекает 9,1% годового стока.

Как правило, подъем уровней от таяния снега начинается в начале–середине марта. Наибольшей интенсивности подъем уровня достигает в апреле и в среднем в середине мая наступает пик половодья. Паводки могут наблюдаться в течение всего года, однако, в зимний период их вероятность низкая.

Скорость течения колеблется от 0,5 до 1,5 м/с на перекатах, средняя скорость течения не превышает 0,8 м/с. Глубины незначительные: преобладающая 0,35 м, наибольшая 0,9-1,6 м.

Средняя температура воды в январе – 5,4°C, в августе – 19,5°C. Ледостава на реке не бывает. В период с января по февраль в верховьях иногда образуются кратковременные забереги.

Вода в реке чистая, прозрачная, относится к гидрокарбонатному классу, из катионов преобладает кальций. Во время паводков вода мягкая, ее жесткость составляет 1,5-3,0 мг-экв./л, при средней минерализации 250-300 мг/л. В период межени вода в реке умеренно жесткая (3,0-6,0 мг-экв./л).

Многолетний средний годовой расход воды в устье составляет 17,6 м³/с, в среднем течении – 16,3 м³/с.

Вода в реке Псекуапсе характеризуется благоприятным кислородным режимом. Содержание кислорода варьирует от 9,5 до 11,5 мг/л, рН колеблется в пределах 7,5-8,5 единиц.

Популяции населяющих видов гидробионтов р. Псезуапсе формировались в горной зоне в условиях изоляции и влияния таких гидрологических факторов среды как высокие скорости течения, низкие температуры воды, нестабильный водный режим. В результате здесь образовался уникальный реофильный зооценоз, характеризующийся специфическим видовым составом, сравнительно невысокими показателями продуктивности, что определяет их высокую чувствительность к изменениям условий окружающей среды.

При существовавших ранее естественных условиях в р. Псезуапсе заходила на нерест черноморская кумжа (лосось). Основные площади естественных нерестилищ черноморского лосося располагались в верховьях притоков первого порядка.

Данные об ихтиофауне р. Псезуапсе и ее притоков весьма фрагментарны и противоречивы. С.Б. Туниев [10, С. 216] указывает на наличие 13 видов: украинская минога, южная быстрянка, колхидский усач, колхидский голянь, кавказский голавль, западнокавказский пескарь, колхидский подуст, черноморская шема, малый рыбец, речной бычок Родиона, трехглазая корюшка, черноморская кумжа (лосось), ручьевая форель. Кроме вышеуказанных аборигенных видов и подвидов рыб С.Б. Туниев указывает инвазийные виды, которые могут заходить в р. Псезуапсе: обыкновенная плотва, уклейка, обыкновенная верховка, серебряный карась, карп, красноперка, речной окунь, радужная форель, хольбрукская гамбузия и пиленгас. Другие авторы [12, С. 24] выделяют те же виды, кроме украинской миноги, кавказского голавля и малого рыбца.

По нашим данным современная ихтиофауна р. Псезуапсе представлена 9 видами и подвидами рыб из трех семейств. Основу ихтиофауны составляют представители семейства *Cyprinidae*, насчитывающие 7 видов (табл. 1).

Таблица 1 – Ихтиофауна р. Псезуапсе и ее биоэкологическая характеристика

Вид (или подвид) рыб	Приуроченность к водоемам и биотопам	Возраст созревания, лет	Сроки нереста	Характер нереста	Питание
сем. Лососевые (<i>Salmonidae</i>)					
ручьевая форель - <i>Salmo trutta morfa fario</i> (Linnaeus, 1758)	реофил	3-4	осень-зима	единовр., литофил	беспозвоночные
сем. Карповые (<i>Cyprinidae</i>)					
колхидский голянь - <i>Phoxinus phoxinus colchicus</i> (Berg, 1910)	реофил	1-2	весенне-летний	порцион., литофил	эпифауна бентоса
южная быстрянка - <i>Alburnoides bipunctatus fasciatus</i> (Nordmann, 1840)	реофил	2	весенне-летний	порцион., литофил	беспозвоночные
колхидский усач - <i>Barbus tauricus escherichii</i> (Steindachner, 1897)	реофил	3-5	весенне-летний	единовр., литофил	зообентос
западнокавказский пескарь - <i>Gobio gobio lepidolaemus natio caucasicus</i> (Kamensky, 1901)	реофил	2-3	весенне-летний	порцион., псаммо-фил	зообентос
колхидский подуст – <i>Chondrostoma colchicum</i> (Derjugin, 1899)	реофил	4-5	весна	единовр. литофил	водоросли, детрит
кавказский голавль - <i>Leuciscus cephalus orientalis</i> (Nordmann, 1840)	реофил	4-5	весна	порцион. литофил	факультативный хищник
черноморская шема - <i>Chalcalburnus chalcoides derjugini</i> (Berg, 1923)	лимно-фил	3	лето	порцион. литофил	широкий спектр
сем. Бычковые (<i>Gobiidae</i>)					
речной бычок Родиона - <i>Neogobius rhodioni</i> (Vasiljeva et Vasiljev, 1994)	реофил	2	весна	единовр. литофил	беспозвоночные

Современная структура ихтиоценоза р. Псезуапсе характеризуется доминированием южной быстрянки и колхидского голяня. Все обитающие виды (подвиды) рыб в р. Псезуапсе, за исключением ручьевой форели и черноморской кумжи, нагульных и зимовальных миграций не совершают. Миграции совершаются короткие, для выбора мест размножения и нагула.

По характеру нереста все обитающие виды относятся к весенне-летне нерестующим рыбам. Сроки нереста зависят от гидрологической обстановки в реке, температуре воды, погодных условий. Исключение составляет ручьевая форель, нерест которой проходит в осенне-зимний период (октябрь-январь).

Зимовальные миграции заключаются в скате рыб в нижнее течение реки в глубокие места (ямы), где более высокая температура воды и исключается промерзание водотока. В ходе исследований было установлено, что в р. Псезуапсе рыба питается животной, растительной и смешанной (детрит и перифитон) пищей. В р. Псезуапсе наиболее широкий спектр питания имеют западнокавказский пескарь, южная быстрянка, колхидский голянь и кавказский голавль, а наиболее узкий – у речного бычка Родиона, кавказского голавля, колхидского подуста и ручьевой форели.

В р. Псецуапсе фитопланктон весьма беден в видовом отношении и представлен незначительным количеством водорослей из четырех таксономических групп (табл. 2). Всего за период исследований в реке выявлено 17 видов микроводорослей, в том числе *Bacillariophyta* (12 видов), *Miozoa* (3 видов), *Chlorophyta* (1 вид), *Euglenozoa* (1 вид).

Численно доминировали диатомовые водоросли, из которых чаще других встречались *Diatoma elongate*, *Synedra vaucheria*, *S. ulna*, *Tabellaria* sp., *Eunotia robusta*, *E. arcus* и динофитовые - *Peridinium* sp. Единично были представлены эвгленовые - *Euglena viridis* и зеленые водоросли - *Scenedesmus quadricauda*.

Это обуславливается низким температурным фоном и незначительным количеством минеральных веществ в водной толще. Основу фитопланктона составляют диатомовые (*Bacillariophyta*) и динофитовые водоросли. Причем, наибольшей численности и биомассы во все сезоны года достигают холодолюбивые формы диатомовых водорослей. В развитии диатомовых водорослей прослеживается тенденция к увеличению биомасс с понижением температуры воды. Средняя биомасса фитопланктона составила 0,047 г/м³.

Таблица 2 – Численность и биомасса фитопланктона в р. Псецуапсе

Показатель	Сезон	Отделы				Итого
		диато- мовые	дино- фитовые	эвглено- вые	зелёные	
численность, млн экз./м ³	весна	70,7	20,8	10,0	8,5	110,0
	лето	45,8	2,1	0,1	-	48,0
	осень	59,9	4,7	0,3	0,1	65,0
биомасса, г/м ³	весна	0,055	0,016	0,008	0,007	0,086
	лето	0,015	0,001	0,0001	-	0,016
	осень	0,039	0,003	0,0002	0,0001	0,039
Среднее	численность, млн экз./м ³	58,8	9,2	3,5	2,9	74,4
	биомасса, г/м ³	0,036	0,007	0,003	0,001	0,047

Зоопланктонные организмы не получают хорошего развития в р. Псецуапсе, как в силу малой продукции фитопланктона, так и в связи с отсутствием благоприятных условий для ветвистоусых и веслоногих ракообразных, которые являются активными фильтраторами, и добыча пищи в потоке с высокими скоростями течения для них затруднена, а у веслоногих раков в быстротекущей воде нарушается процесс размножения.

Нормально развивается зоопланктон лишь при скорости течения воды ниже 0,5-0,8 м/с, если скорость превышает 1 м/с, формирование планктонного комплекса как единого биоценотического комплекса невозможно [13, С.300], [14, С. 78], [15, С. 50].

Зоопланктон реки представлен коловратками (*Rotifera*), копеподами (*Copepoda*) и дрифтом. Ветвистоусые ракообразные (*Cladocera*) в планктоне отсутствовали. Непосредственно зоопланктон представлен незначительным количеством коловраток с одним видом – *Notholca* sp. Веслоногие (*Copepoda*) представлены двумя видами – *Cyclops strenuus* и *Cyclops* sp. с их ювенильными стадиями (*Nauplii* и *Copepodit*). Численность и биомасса веслоногих невысоки: 1,5 тыс. экз./м³ и 0,002 г/м³ соответственно (табл. 3).

Состав временных компонентов (дрифт), объединенных в графу «*Varia*», гораздо шире: личинки хирономид, поденок, веснянок, стрекоз, ручейников, жуков, пресноводные клещи. В целом численность зоопланктона в р. Псецуапсе составляет 6,08 тыс. экз./м³, а биомасса не превышает 0,152 г/м³.

Таблица 3 – Численность и биомасса зоопланктона

Показатель	Организмы			Итого
	<i>Rotifera</i>	<i>Copepoda</i>	<i>Varia</i>	
Численность, тыс.экз./м ³	0,5	1,5	4,08	6,08
Биомасса, г/м ³	0,001	0,002	0,149	0,152

Одним из важнейших компонентов кормовой базы в горных реках является бентос. Численность и биомасса бентосного сообщества формируется в основном представителями амфибиотических насекомых, находящихся на личиночных и предимагинальных стадиях развития.

Зообентос р. Псецуапсе представлен 21 видом, относящихся к четырем типам и восьми классам беспозвоночных, включающих плоских, круглых, кольчатых червей и членистоногих.

Зообентос р. Псецуапсе включал следующие рода: *Amphipoda*, *Caenis*, *Cardiocladius*, *Cheumatopsyche*, *Coleoptera*, *Decapoda*, *Diptera*, *Drusus*, *Hydroptila*, *Ecdyonurus*, *Ephemeroptera*, *Turbellaria*, *Nematoda*, *Hydropsyche*, *Oligochaeta*, *Hydrocarina*, *Odonatoptera*, *Plecoptera*, *Plectrocnemia*, *Rhyacophila*, *Psychomyia*, *Wormaldia*.

Биологическое разнообразие зообентоса формировали личинки ручейников, двукрылых и поденок. Спецификой зообентосного сообщества реки является полное отсутствие в ней моллюсков, а также низкое видовое разнообразие личинок веснянок, стрекоз и жуков.

Бентос в основном представлен животными-реофилами, обитающими на песчано-галечных грунтах, в зонах быстрого течения. Для структуры зообентосных сообществ р. Псецуапсе характерно доминирование по количеству двукрылых, по биомассе – ручейников.

Насекомые в составе бентоса представлены личиночными стадиями: поденок (*Ecdionurus venosus*, *Baetidae* sp., *Centochironomus*), веснянок (*Perla* sp.), ручейников (*Potomophylax stellatus*, *Polycentropodidae* sp.), хирономид из рода *Cryptochironomus*. В донных биотопах обнаружены взрослые формы в имагинальном состоянии веснянок и пресноводных клещей. Значительное развитие получили личинки поденок и многощетинковые черви. Ракообразные представлены единичными особями из родов *Gammarus* и *Aselus*. Средняя биомасса донных организмов составила 8,141 г/м² (табл. 4).

Таблица 4 – Численность и биомасса зообентоса

Таксономическая группа	Численность, экз./м ²	Биомасса, г/м ²
<i>Crustacea</i>	8,0	0,37
<i>Triptoptera</i>	104,0	3,13
<i>Ephemeroptera</i>	57,0	3,14
<i>Odonata</i>	0,8	0,35
<i>Plecoptera</i>	24,0	1,0
<i>Diptera</i>	134,0	0,15
Прочие	>0,1	>0,001
Итого:	327,9	8,141

Проведенные исследования позволили установить современный видовой состав ихтиофауны р. Псеузапсе, а также объективно оценивать потенциальные возможности кормовой базы. Полученные данные по состоянию биоценоза реки могут послужить основой для рационального природопользования малых водотоков Черноморского побережья и оказать помощь в разработке природоохранных мероприятий.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Крыжановский С.Г. Материалы об ихтиофауне рек Черноморского побережья (в пределах Краснодарского края) / Крыжановский С.Г., Троицкий С.К. // Вопр. Ихтиологии. - 1954. - Вып. 2. - С. 144-150.
2. Зозуля Л.В. К бентофауне горных водоёмов Краснодарского края / Зозуля Л.В., Плотников Г.К. // Актуальные вопросы экологии и охраны природы экосистемы Черноморского побережья: Матер. Межреспубл. научно-практич. конф. - Краснодар, 1991. - Ч. 1. - С. 105-108.
3. Чихачев А.С. Современный статус ихтиофауны пресноводных водоемов Черноморского побережья Краснодарского края / Чихачев А.С., Лужняк В.А. // Биосфера и человек: Матер. междунар. научн.-практич. конф. - Майкоп, 2001. - С. 250-252.
4. Решетников С.И. Современное состояние ихтиоценоза реки Мзымта (бассейн Чёрного моря) / Решетников С.И., Пашков А.Н., Сумароков В.С. // Проблемы экологии горных территорий: Сб. научн. тр. - М.: изд-во КМК. - 2006. - С. 132-142.
5. Туниев С.Б. К ихтиофауне бассейна реки Псахе (Лазаревский район, Сочи) / Туниев С.Б. // Проблемы устойчивого развития регионов юга России. Сочи: Сочинский НИЦ РАН. - 2004. - С. 206-207.
6. Решетников С.И. Сравнительная характеристика биоценозов некоторых малых рек Черноморского побережья Северо-Западного Кавказа / Решетников С.И., Зубарев А.Н., Сумароков В.С. и др. // Естественные технические науки. - 2007. - № 6. - С.65-71.
7. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений // Л.: Гидрометеиздат. - 1983. - 148 с.
8. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов./ Отв. ред. Ф.Д. Мордухай-Болтовской./ М.: Наука. - 1975. - 240 с.
9. Инструкция по отбору проб зообентоса // Л.: ГосНИОРХ. - 1983. - 39 с.
10. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных) / Правдин И.Ф. // М.: Пищевая промышленность - 1966. - 376 с.
11. Туниев С. Б. Дополнительные материалы по ихтиофауне больших и малых рек Сочинского Причерноморья (СПЧ). Проблемы устойчивого развития регионов рекреационной специализации / Туниев С. Б. Сочинский науч.-исслед. центр РАН. Сочи. 2008. С. 214-218.
12. Зубарев А.Н. Зооценозы малых рек Черноморского побережья Северо-Западного Кавказа в условиях антропогенного воздействия / . Автореф. канд. Дисс / Зубарев А.Н.. Краснодар, 2009 г. 24 с.
13. Логинова Е.В. Гидроэкология: курс лекций / Логинова Е.В., Лопух П.С. Минск: БГУ, 2011. 300 с.
14. Пастернак А.Ф. Сезонные изменения численности и биомассы зоопланктона у побережья северного Кавказа. В кн. «Сезонные изменения в планктоне Черного моря» / Пастернак А.Ф. М.: Наука, 1982. С. 78-95.
15. Пастернак А.Ф. Эколого-физиологические основы формирования жизненных циклов планктонных копепоид высоких широт. Автореф. докт. Дисс / Пастернак А.Ф. Москва, 2009. 50 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kryzhanovskii S.G. Materialy ob ikhtiofaune rek Chernomorskogo poberezhya (v predelakh Krasnodarskogo kraya) [Materials on the Ichthyofauna of the Rivers of the Black Sea Coast (within the Krasnodar Territory)] / Kryzhanovskii S.G., Troitskii S.K. // Vopr. Ikhtiologii [Issues of Ichthyology]. – 1954. – Issue 2. – P. 144-150. [in Russian]
2. Zozulya L.V. K bentofaune gornyykh vodoёмov Krasnodarskogo kraya [To the Benthofauna of Mountain Reservoirs of the Krasnodar Territory] / Zozulya L.V., Plotnikov G.K. // Aktual'nyye voprosy ekologii i okhrany prirody ekosistemy Chernomorskogo poberezhya: Mater. Mezhrrepubl. nauchno-praktich. konf [Topical Issues of Ecology and Nature Conservation of the Ecosystem of the Black Sea Coast: Mater. of Inter Republic Science-to-Practice Conf.] - Krasnodar, 1991. – Part 1. – P. 105-108. [in Russian]
3. Chikhachev A.C. Sovremenniy status ikhtiofauny presnovodnykh vodoёмov Chernomorskogo poberezhya Krasnodarskogo kraya [Current Status of Ichthyofauna of Freshwater Bodies of the Black Sea Coast of the Krasnodar Territory] / Chikhachev A.C., Luzhnyak V.A. // Biosfera i chelovek: Mater. mezhdunar. nauchn.-praktich. konf. [Biosphere and Man: Mater. Int. Science-to-Practice Conf.] – Maykop, 2001. – P. 250-252. [in Russian]
4. Reshetnikov S.I. Sovremennoe sostoyanie ikhtiosenoza reki Mzymta (bassein Chyornogo morya) [Current State of Ichthyocenosis of the Mzymta River (Black Sea Basin)] / Reshetnikov S.I., Pashkov A.N., Sumarov V.S. and others // Problemy ekologii gornyykh territoriy: Sb. nauchn. tr. [Ecology Problems of Mountainous Territories: Coll. of Scientific Works] – M.: Publishing House KMK. – 2006. – P. 132-142. [in Russian]
5. Tuniev S.B. - K ikhtiofaune basseina reki Psakhe (Lazarevskii rayon, Sochi) [On Ichthyofauna of the Psakhe River Basin (Lazarevsky District, Sochi)] / Tuniev S.B. // Problemy ustoychivogo razvitiya regionov yuga Rossii. Sochi: Sochinskiy NITS RAN [Problems of Sustainable Development of Regions of Southern Russia. Sochi: Sochi SRC RAS]. – 2004. – P. 206-207. [in Russian]
6. Reshetnikov S.I. Sravnitel'naya kharakteristika biotsenozov nekotorykh malykh rek Chernomorskogo poberezhya Severo-Zapadnogo Kavkaza [Comparative Characteristics of Biocenoses of Some Small Rivers of the Black Sea Coast of the North-West Caucasus] / Reshetnikov S.I., Zubarev A.N., Sumarov V.S. // Yestestvennyye tekhnicheskiye nauki [Natural Engineering Sciences.] – 2007. – No. 6. – P. 65-71. [in Russian]
7. Rukovodstvo po metodam gidrobiologicheskogo analiza poverkhnostnykh vod i donnykh otlozhenii [Guidance on Methods for Hydrobiological Analysis of Surface Water and Bottom Sediments] // L.: Hydrometeoizdat. – 1983. – 148 p. [in Russian]
8. Metodika izucheniya biogeotsenozov vnutrennykh vodoёмov [Methodology for the Study of Biogeocenoses of Inland Waters]./ Resp. ed. F.D. Mordukhai-Boltovskoy./ M.: Nauka. – 1975. – 240 p. [in Russian]
9. Instruksiya po otboru prob zoobentosa [Instructions for Sampling Zoobenthos] // L.: GosNIORKh. – 1983. – 39 p. [in Russian]
10. Pravdin I.F. Rukovodstvo po izucheniyu ryb (preimushchestvenno presnovodnykh) [Guide to the Study of Fish (mainly freshwater)] / Pravdin I.F. // M.: Food Industry – 1966. – 376 p. [in Russian]
11. Tuniev S. B. Dopolnitelnye materialy po ikhtiofaune bolshikh i malykh rek Sochinskogo Prichernomor'ya (SPCh) [Additional Materials on Ichthyofauna of Large and Small Rivers of the Sochi Black Sea]./ Tuniev S. B. // Problemy ustoychivogo razvitiya regionov rekreatsionnoy spetsializatsii. Sochinskiy nauch.-issled. tsentr RAN [Problems of Sustainable Development of Regions of Recreational Specialization. Sochi Scientific Research Centre of the Russian Academy of Sciences]. – Sochi 2008. – P. 214-218. [in Russian]
12. Zubarev A.N. Zootsenozy malykh rek Chernomorskogo poberezhya Severo-Zapadnogo Kavkaza v usloviyakh antropogennogo vozdeistviya [Zoocenoses of Small Rivers of the Black Sea Coast of the Northwest Caucasus under Anthropogenic Impact]. / Zubarev A.N. // Thesis Abstract. Krasnodar, 2009. – 24 p. [in Russian]
13. Loginova E.V., Lopukh P.S. Gidroekologiya: kurs lektsii [Hydroecology: Course of Lectures] / Loginova E.V., Lopukh P.S. Minsk: BSU – 2011. – 300 p. [in Russian]
14. Pasternak A.F. Sezonnye izmeneniya chislennosti i biomassy zooplanktona u poberezhya severnogo Kavkaza [Seasonal Changes in the Number and Biomass of Zooplankton off the Coast of the North Caucasus] / Pasternak A.F. // In the book "Seasonal Changes in the Plankton of the Black Sea." Moscow: Nauka, 1982, pp. 78-95. [in Russian]
15. Pasternak A.F. Ekologo-fiziologicheskie osnovy formirovaniya zhiznennykh tsiklov planktonnykh kopepod vysokikh shirot [Ecological and Physiological Foundations of the Formation of Life Cycles of Planktonic Copepods at High Latitudes]. / Pasternak A.F.// Abstract Thesis. Moscow, 2009. – 50 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.87.9.023>**ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ОЦЕНКИ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ РАСТЕНИЕВОДСТВА НА РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЛЯХ**

Научная статья

Титов И.Е.^{1,*}, Иванов В.В.², Спиридонов С.И.³¹ ORCID: 0000-0002-5275-3229;³ ORCID: 0000-0002-4320-1254;^{1, 2, 3} Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», Обнинск, Россия

* Корреспондирующий автор (titan13_08[at]mail.ru)

Аннотация

Разработаны программные средства для поддержки принятия решений по ведению растениеводства на сельскохозяйственных землях, подвергшихся радиоактивным выпадениям. Программа GUIPlantRescue предназначена для прогнозирования накопления ¹³⁷Cs в продукции растениеводства, планируемой для выращивания на радиоактивно загрязненных территориях. Программа GUIPlantRevive позволяет рассчитать предельную степень загрязненности ¹³⁷Cs сельскохозяйственного участка для производства безопасной продукции растениеводства заданного вида.

Ключевые слова: компьютерная программа, радиоактивное загрязнение, сельскохозяйственные земли, продукция растениеводства, санитарно-гигиенические нормативы.

SOFTWARE FOR EVALUATING THE POSSIBILITY OF PRODUCING PLANT PRODUCTS ON RADIOACTIVELY CONTAMINATED AGRICULTURAL LANDS

Research article

Titov I.E.^{1,*}, Ivanov V.V.², Spiridonov S.I.³¹ ORCID: 0000-0002-5275-3229;³ ORCID: 0000-0002-4320-1254;^{1, 2, 3} Federal State Budget Scientific Institution "All-Russian Research Institute of Agricultural Radiology and Agroecology," Obninsk, Russia

* Corresponding author (titan13_08[at]mail.ru)

Abstract

The software has been developed to support decision-making on crop production on agricultural lands exposed to radioactive fallout. GUIPlantRescue program is designed to predict the accumulation of ¹³⁷Cs in crop products planned for cultivation in radioactively contaminated areas. GUIPlantRevive program allows calculating the maximum degree of contamination of ¹³⁷Cs agricultural plot for the production of safe crop products of a given type.

Keywords: computer program, radioactive contamination, agricultural land, crop production, sanitary standards.

Введение

В результате аварии на Чернобыльской АЭС радиоактивному загрязнению подверглись обширные территории, на которых активно велось сельскохозяйственное производство. В Российской Федерации радиоактивные выпадения, обусловленные аварией на ЧАЭС, были зарегистрированы на территории 21 субъекта. В зону радиоактивного загрязнения попало более 2,3 млн га сельскохозяйственных земель [1]. Несмотря на положительные результаты, достигнутые в результате реализации мер по ликвидации последствий Чернобыльской аварии, к настоящему времени не удалось полностью обеспечить радиационную безопасность, как проживания населения, так и его хозяйственной деятельности [2]. Одним из важнейших критериев пригодности таких территорий для ведения хозяйственной деятельности является возможность получения пищевой продукции, соответствующей санитарно-гигиеническим требованиям, поскольку потребление населением радиоактивно загрязненных сельскохозяйственных продуктов питания – это важный фактор формирования дозы внутреннего облучения человека.

Внедрение компьютерных технологий позволяет существенно изменить характер обращения с радиологической информацией, начиная с хранения и обработки результатов измерений радиоактивности в пробах и до составления отчетов и поддержки принятия решений, как по реализации программ контроля, так и проведения мероприятий в сельских хозяйствах.

В связи с этим, оценку возможности производства продукции растениеводства на радиоактивно загрязненных ¹³⁷Cs сельскохозяйственных землях с учетом совокупности разноплановых факторов и особенностей загрязненных территорий целесообразно выполнять на основе специально разработанных программных средств. При этом реабилитационное планирование должно опираться на количественный модельный анализ и основываться на соответствующих системах поддержки принятия решений.

Целью создания данных программ является предоставление административно-хозяйственным органам, принимающим решения о ведении сельскохозяйственного производства на радиоактивно загрязненных территориях, достоверной информации, необходимой для принятия решений по ведению хозяйственной деятельности, обеспечивающих производство нормативно чистой продукции.

Методы исследования**Рабочие формулы, используемые программой GUIPlantRescue**

Среднее значение загрязненности растительной продукции $\langle C_p \rangle$, согласно статистическому подходу [7], [8], можно получить из следующего соотношения:

$$\langle C_p \rangle = \lambda_0 e^{\mu_c + 0.5 \sigma_c^2}, \quad (1)$$

где параметр $\lambda_0 = \frac{1}{\rho h}$ связан с удельным весом почвы ρ и глубиной её равномерно загрязненного слоя h . Параметры в степени экспоненты задаются следующими соотношениями: $\mu_c = \mu_s + \mu_k$, а $\sigma_c^2 = \sigma_s^2 + \sigma_k^2$ и зависят от статистических показателей логнормального распределения загрязнения почвы $LN(\mu_s, \sigma_s^2)$, а также от параметров логнормального распределения коэффициентов накопления радионуклидов ^{137}Cs продукцией растениеводства $LN(\mu_k, \sigma_k^2)$.

Величина риска R численно равна доле продукции, загрязненность которой превышает предельно допустимое значение, согласно документам СанПиН. Риск превышения норматива СанПиН выражается следующей формулой

$$R = \frac{1}{2} \{1 - \text{erf}[(\ln(\frac{A}{\lambda_0}) - \mu_c)/(\sigma_c \sqrt{2})]\} \quad (2)$$

где параметр A – величина норматива, а $\text{erf}(x)$ – функция ошибок, иначе называемая функцией Лапласа.

Рабочие формулы, используемые программой GUIPlantRevive

Предельная средняя плотность загрязнения участка некоторой территории A_R , на которой, согласно статистическому прогнозу, можно производить продукцию растениеводства определенного вида с риском не превышающим величину R выражается следующим образом:

$$A_R = e^{\ln(\frac{A}{\lambda_0}) - \mu_k + 0.5 \sigma_s^2 - \sigma_c \sqrt{2} \text{erf}^{-1}(1-2R)} \quad (3)$$

где A – величина норматива СанПиН, $\text{erf}^{-1}(x)$ – обратная функция ошибок, а $\lambda_0 = \frac{1}{\rho h}$ связан с удельным весом почвы ρ и глубиной её равномерно загрязненного слоя h . Для расчета A_R предполагается, что участок, обладающий предельной загрязненностью, удовлетворительно описывается логнормальным распределением загрязнения почвы $LN(\mu_s, \sigma_s^2)$, коэффициент σ_s для которого требуется указать в качестве параметра разброса распределения загрязнения. Переменные в степени экспоненты $\sigma_c^2 = \sigma_s^2 + \sigma_k^2$ и μ_k связаны со статистическими показателями логнормального распределения коэффициентов накопления радионуклидов ^{137}Cs заданным видом продукции растениеводства $LN(\mu_k, \sigma_k^2)$.

Используемые в рабочих формулах (2), (3) функции ошибок $\text{erf}(x)$ и её обратная $\text{erf}^{-1}(x)$ для ускорения вычислений в программах возможно аппроксимировать простыми аналитическими выражениями [9].

Основные результаты

Программные средства: «GUIPlantRescue - Оценка риска превышения нормативов содержания ^{137}Cs в продукции растениеводства на радиоактивно загрязненных сельскохозяйственных землях» [10] и «GUIPlantRevive - Вероятностная оценка предельных уровней загрязнения сельскохозяйственных земель ^{137}Cs для получения безопасной продукции» являются компонентами компьютерной системы. Эта система предназначена для поддержки принятия решений, обеспечивающих производство безопасной продукции на радиоактивно загрязненных территориях. Программы разработаны в операционной системе MS Windows на языке AutoIt.

Первая из них, GUIPlantRescue, предназначена для получения прогноза о степени загрязненности продукции растениеводства, планируемой для выращивания на загрязненной ^{137}Cs территории. Риск превышения норматива численно равен доле продукции, загрязненность которой превышает предельно допустимый уровень, законодательно установленный СанПиН.

Программа имеет интуитивно понятный GUI-интерфейс (рисунок 1), обладает встроенной библиотекой со статистиками коэффициента миграции радионуклида ^{137}Cs в системе «почва-растение» для основных видов продукции растениеводства и почвы разного механического состава.

Рис. 1 – Внешний вид GUI интерфейса компьютерной программы GUIPlantRescue

Для автоматической установки некоторой части исходной информации пользователь может путем выбора из выпадающих списков задать следующую информацию:

- вид продукции растениеводства: зерно злаков, кукурузы, бобовых; листовые овощи; фрукты, картофель/корнеплоды; а также травяные корма, получаемые с пастбища или сенокоса;
- характеристику механического состава почвы (песок, суглинок, глина и органическая почва).

В качестве результата выбора пользователя в поля редактирования автоматически подставляются величина удельного веса почвы, глубина загрязнения почвы ^{137}Cs (по умолчанию - 0.2 м), значения статистик коэффициента накопления (μ_k, σ_k^2), которые приводятся в рекомендациях МАГАТЭ [11], а также величина норматива СанПиН.

В разделе «Загрязненность территории радионуклидом Cs-137» исходные данные о загрязненности можно внести в двух различных режимах ввода данных – Мониторинг/Статистика, которые переключаются и отмечены соответствующей режиму надписью кнопки, причем Мониторинг – режим по умолчанию. При переключении режима Мониторинг надпись кнопки меняется на Статистика.

В режиме Мониторинг в полях ввода подраздела «Мониторинг загрязнения территории» можно указать величину среднего значения (математическое ожидание) и стандартного отклонения (квадратный корень из величины дисперсии) загрязненности почвы, которые обычно получают как результат анализа данных мониторинга.

В режиме Статистика в полях ввода подраздела «Статистика распределения загрязнения» следует указать значения соответствующих коэффициентов, которые могут быть получены из анализа логнормального распределения $LN(\mu_s, \sigma_s^2)$ загрязнения территории.

По умолчанию в разделе «Загрязненность территории радионуклидом Cs-137» при открытии программы GUIPlantRescue используются статистические данные, полученные в результате мониторинга радиоактивно загрязненной территории Злынковского района Брянской области. Результаты работы программы выводятся в виде следующих трех величин: средней активности почвы, средней загрязненности продукции, риска превышения СанПиН норматива в продукции.

Вторая программа, GUIPlantRevive, предназначена для получения прогноза о предельной степени загрязненности участка ^{137}Cs , которая позволяет производить безопасную продукцию растениеводства заданного вида. Уровень безопасности характеризуется заданным значением риска превышения норматива. Риск численно равно доле продукции, загрязненность которой превышает предельно допустимую, установленную документами СанПиН (рисунки 2).

Рис. 2 – Внешний вид GUI интерфейса компьютерной программы GUIPlantRevive

Для автоматической установки некоторой части исходной информации пользователь может путем выбора из выпадающих списков задать следующую информацию:

- вид продукции растениеводства: зерно злаков, кукурузы, бобовых; листовые овощи; фрукты; картофель/корнеплоды; а также травяные корма, получаемые с пастбища или сенокоса;
- характеристику механического состава почвы (песок, суглинок, глина и органическая почва).

В качестве результата выбора пользователя в поля редактирования автоматически подставляются величина удельного веса почвы, глубина загрязнения почвы радионуклидом цезия (по умолчанию - 0.2 м), значения статистик коэффициента накопления (μ_k, σ_k^2), которые приводятся в рекомендациях МАГАТЭ [11], а также величина норматива СанПиН.

В разделе «Предельная загрязненность радионуклидом Cs-137» можно указать величину коэффициента σ_s , характеризующую наиболее вероятный уровень разброса предельной загрязненности почвы, имеющей логнормальное распределение.

По умолчанию в разделе «Предельная загрязненность радионуклидом Cs-137» при открытии программы GUIPlantRevive используется значение коэффициента σ_s загрязненной территории Злынковского района Брянской области.

В разделе «Норматив загрязненности продукции СанПиН» указывается соответствующая величина для выбранного вида продукции растениеводства.

В разделе «Риск превышения СанПиН норматива» в продукции указывается величина допустимого риска, позволяющая полагать производимую продукцию растениеводства безопасной.

Результаты работы программы выводятся в виде двух величин: средние значения предельной загрязненности почвы предполагаемого участка и предельной загрязненности продукции, которую предполагается выращивать на этом участке.

Заключение

Совершенствование расчетного инструментария (моделей и соответствующих программных средств) является необходимой предпосылкой решения радиоэкологических задач, связанных с необходимостью принятия решений по реабилитации сельскохозяйственных земель, подвергшихся радиоактивному загрязнению.

Разработанные программные средства GUIPlantRescue и GUIPlantRevive позволяют эффективно решать прямую и обратную задачи, связанные с прогнозированием накопления ^{137}Cs в продукции растениеводства и оценкой предельной степени загрязненности ^{137}Cs сельскохозяйственных угодий.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси (АСПА Россия-Беларусь) / под ред. Ю.А. Израэля и И.М. Богдевича. – Москва-Минск: Фонд «Инфосфера» – НИА-Природа, 2009. – 140 с.
2. Панов А.В. Радиоэкологическая оценка сельскохозяйственных земель и продукции юго-западных районов Брянской области, загрязненных радионуклидами в результате аварии на Чернобыльской АЭС / А.В. Панов, П.В. Прудников, И.Е. Титов, В.В. Кречетников, А.Н. Ратников, О.А. Шубина // *Радиационная гигиена*. 2019. Т. 12. № 1. С. 25-35.
3. Remediation of Contaminated Environments / Eds. G. Voigt and S. Fesenko. Elsevier, 2009. – 477 p.
4. Yatsalo B.I. Decision Support System for Risk Based Land Management and Rehabilitation of Radioactively Contaminated Territories: PRANA approach // *Int. J. Emergency Management*, Vol. 4, № 3, 2007. – P. 504-523.
5. Сотникова Н.А. База данных по технологиям ведения растениеводства на радиационно-загрязненных территориях, составленная по результатам научных исследований / Сотникова Н.А., Панов А.В., Курбаков Д.Н. // *Агрохимический вестник*, 2015, № 2. – С. 15-18.
6. Иванов В.В. Компьютерная программа для оценки эффективности реабилитационных мероприятий на сельскохозяйственных угодьях, подвергшихся радиоактивному загрязнению / Иванов В.В., Спиридонов С.И., Куртмулаева В.Э. // *Агрохимический вестник*. 2016. № 2. С. 23-26.
7. Спиридонов С.И. Вероятностная оценка накопления радионуклидов в сельскохозяйственной продукции и допустимых уровней радиоактивного загрязнения почв / Спиридонов С.И., Иванов В.В. // *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2013. Т. 53. №1. С. 95-103
8. Иванов В.В. Статистическое прогнозирование накопления радионуклидов в растениях. / Иванов В.В., Спиридонов С.И. (2019). <http://doi.org/10.5281/zenodo.2593433>
9. Alessandro Soranzo Very simply explicitly invertible approximations of normal cumulative and normal quantile function / Alessandro Soranzo, Emanuela Epure // *Applied Mathematical Sciences*, Vol. 8, 2014, no. 87, 4323-4341
10. Иванов В.В. Программа для ЭВМ GUIPlantRescue (версия 1.0) «Оценка риска превышения нормативов содержания ¹³⁷Cs в продукции растениеводства на радиоактивно загрязненных сельскохозяйственных землях» / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019660175 от 01.09.2019
11. Handbook of parameter values for prediction of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments. Vienna: International Atomic Energy Agency. 2010. 208 p.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Atlas sovremennyh i prognoznnyh aspektov posledstviy avarii na Chernobyl'skoj AES na postradavshih territoriyah Rossii i Belarusi (ASPA Rossiya-Belarus') [Atlas of current and forecast aspects of the consequences of the Chernobyl accident in the affected areas of Russia and Belarus] / pod red. YU.A. Izraelya i I.M. Bogdevicha. – Moskva-Minsk: Fond «Infosfera» – NIA-Prroda, 2009. – 140 p. [in Russian]
2. Panov A.V. Radioekologicheskaya ocenka sel'skohozyajstvennyh zemel' i produkci yugo-zapadnyh rajonov Bryanskoj oblasti, zagryaznennyh radionuklidami v rezul'tate avarii na Chernobyl'skoj AES [Radioecological assessment of the agricultural lands and products in south-west districts of the Bryansk region contaminated by radionuclides as the result of the Chernobyl NPP accident] / A.V. Panov, P.V. Prudnikov, I.E. Titov, V.V. Krechetnikov, A.N. Ratnikov, O.A. Shubina // *Radiacionnaya gigiena*. [Radiation Hygiene] 2019. Vol. 12. № 1. P. 25-35. [in Russian]
3. Remediation of Contaminated Environments / Eds. G. Voigt and S. Fesenko. Elsevier, 2009. – 477 p.
4. Yatsalo B.I. Decision Support System for Risk Based Land Management and Rehabilitation of Radioactively Contaminated Territories: PRANA approach // *Int. J. Emergency Management*, Vol. 4, № 3, 2007. – P. 504-523.
5. Sotnikova N.A. Baza dannyh po tekhnologiyam vedeniya rastenievodstva na radiacionno-zagryaznennyh territoriyah, sostavlyennaya po rezul'tatam nauchnyh issledovaniy [The database of technologies of plant growing on the areas with radioactive contaminations] / Sotnikova N.A., Panov A.V., Kurbakov D.N. // *Agrohimicheskij vestnik* [Agrochemical Herald], 2015, № 2. – P. 15-18. [in Russian]
6. Ivanov V.V. Komp'yuternaya programma dlya ocenki effektivnosti reabilitatsionnyh meropriyatij na sel'skohozyajstvennyh ugod'yah, podvergshih'sya radioaktivnomu zagryazneniyu [Computer code for efficiency assessment of rehabilitation actions on radioactively contaminated agricultural lands] / Ivanov V.V., Spiridonov S.I., Kurtmulaeva V.E. // *Agrohimicheskij vestnik* [Agrochemical Herald] 2016. № 2. P. 23-26. [in Russian]
7. Spiridonov C.I. Veroyatnostnaya ocenka nakopleniya radionuklidov v sel'skohozyajstvennoj produkcii i dopustimyh urovnej radioaktivnogo zagryazneniya pochv [Probabilistic assessment of radionuclide accumulation in agricultural products and acceptable levels of soil radioactive contamination] / Spiridonov C.I., Ivanov V.V. // *Radiac. biologiya. Radioekologiya* [Radiation biology. Radioecology]. 2013. Vol. 53. №1. P. 95-103 [in Russian]
8. Ivanov V.V. Statisticheskoe prognozirovaniye nakopleniya radionuklidov v rasteniyah [Statistical prediction of radionuclide accumulation in plants]. / Ivanov V.V., Spiridonov S.I. (2019) <http://doi.org/10.5281/zenodo.2593433> [in Russian]
9. Alessandro Soranzo Very simply explicitly invertible approximations of normal cumulative and normal quantile function / Alessandro Soranzo, Emanuela Epure // *Applied Mathematical Sciences*, Vol. 8, 2014, no. 87, 4323-4341
10. Ivanov V.V. Programma dlya EVM GUIPlantRescue (versiya 1.0) «Ocenka riska prevysheniya normativov soderzhaniya ¹³⁷Cs v produkcii rastenievodstva na radioaktivno zagryaznennyh sel'skohozyajstvennyh zemlyah» [Computer program GUIPlantRescue (version 1.0) "Risk assessment of exceeding the standards for the content of ¹³⁷Cs in crop production in the contaminated agricultural lands»] / Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM [Certificate of state registration of computer programs] № 2019660175 publ. 01.09.2019
11. Handbook of parameter values for prediction of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments. Vienna: International Atomic Energy Agency. 2010. 208 p.