№ 8 (110) ▪ 2021
Часть 1 ▪ Август

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЖУРНАЛ

INTERNATIONAL RESEARCH JOURNAL

ISSN 2227-6017 ONLINE

Екатеринбург
2021

МЕЖДУНАРОДНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЖУРНАЛ
INTERNATIONAL RESEARCH JOURNAL
ISSN 2227-6017 ONLINE

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+

№ 8 (110) 2021
Часть 1
Август

Дата выхода 17.08.2021
Цена: бесплатно.

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: **ЭЛ № ФС 77 - 80772.**

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 (Нижний Новгород, Россия);
Федорова Е.А. д-р техн. наук, проф., Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (Нижний Новгород, 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);
Свистунов 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);
Ларионов М.В., д-р биол. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева (Москва, 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);
Блейх Н.О. д-р ист. наук, Северо-Осетинский государственный университет им. К.Л. Хетагурова (Владикавказ, 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 в г. Пятигорске (Пятигорск, Россия);
Мещерякова О.М. д-р юрид. наук, Всероссийская академия внешней торговли (Москва, Россия);
Ергашев 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:
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).

Екатеринбург
2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHYSICS AND MATHEMATICS

Антоновская О.Г., Бесклубная А.В.
ОБ ИССЛЕДОВАНИИ СИСТЕМЫ, БЛИЗКОЙ К ГАРМОНИЧЕКОМУ ОСЦИЛЛЯТОРУ, МЕТОДОМ ПРИБЛИЖЕННЫХ ТОЧЕЧНЫХ ОТОБРАЖЕНИЙ 6

Валишин Н.Т., Волков И.А., Селиванова В.А.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЯМОЛИНЕЙНОГО ТРАЕКТОРНО-ВОЛНОВОГО ДВИЖЕНИЯ ОБЪЕКТА 13

Жуков Н.Д., Гавриков М.В.
СТМ-ПАРАМЕТРИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КОЛЛОИДНЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК 19

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING

Акчурина В.Д., Князев В.Н.
РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБУЧАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ 28

Балалаев А.Н., Тимкин Д.М.
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВАКУУМНОЙ ПАНЕЛИ ЯЧЕИСТОЙ СТРУКТУРЫ 39

Бегунков О.И., Бегункова Н.О.
КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПЛИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ С ДРЕВЕСНЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ 48

Воронцов К.К.
ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ MATHCAD ПРИ ИЗУЧЕНИИ ТЕХНИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН 54

Головин М.А., Шестаков К.Д., Сафаров В.Д.
РАЗРАБОТКА МЕХАТРОННОГО МОДУЛЯ С УРАВНОВЕШИВАЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ И СОЗДАНИЕ РОБОТА НА ЕГО ОСНОВЕ 60

Демченко М.В., Фирюлина М.А., Каширина И.Л.
РАЗРАБОТКА МЕДИЦИНСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С ЭЛЕМЕНТАМИ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В КАРДИОЛОГИИ 69

Sirotin P.V., Lebedinsky I.Yu., Zhileykin M.M.
CALCULATION OF THE SUSPENSION SYSTEM OF THE COMBINE HARVESTER CAB IN THE FREQUENCY DOMAIN 77

Рахманов И., Кириллов И.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СИЛЬНОТОЧНОГО СОЕДИНИТЕЛЯ НА ПРЕДМЕТ ЕГО ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ В ТЕЧЕНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ВРЕМЕНИ 87

Novikova Zh.V., Lavrinovich D.S., Sergeeva S.M.
MODELLING OF BREAD AND FLOUR PRODUCT RECIPES WITH THE USE OF CHIA SEEDS 93

Терентьев С.Е., Лабутина Н.В., Кандроков Р.Х., Кусова И.У., Рындин А.А.
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПШЕНИЧНО-КОНОПЛЯНОЙ МУКИ 98

Хохлова М.В., Дагаев А.В., Майоров Е.Е., Арефьев А.В., Гулиев Р.Б., Громов О.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ОБРАБОТКЕ ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ ПЛАСТИН 103

АРХИТЕКТУРА / ARCHITECTURE

Маркина К.Г., Моргун Н.А.
ОСОБЕННОСТИ ТЕРРИТОРИАЛЬНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ФОРМИРОВАНИЯ ПРИМОРСКИХ САНАТОРНО-КУРОРТНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ ЮГА РОССИИ 109

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ / AGRICULTURAL SCIENCES

Дмитриева Т.О.
АНАЛИЗ МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ТУШИ ОВЕЦ КАТУМСКОЙ ПОРОДЫ 118

Емельянова Е.В.
ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ УПЛОТНЕНИЯ СЫРОГО ФУРАЖНОГО ЗЕРНА НА КАЧЕСТВО БРОЖЕНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ ПРЕПАРАТОВ ДЛЯ ЕГО КОНСЕРВИРОВАНИЯ 123

Ким Л.В., Назарова А.А.
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОТРАСЛИ РАСТЕНИЕВОДСТВА В ЗАБАЙКАЛЬСКОМ КРАЕ 128

Осепчук Д.В., Юрин Д.А., Юрина Н.А., Максим Е.А., Данилова А.А.
ОСНОВНЫЕ РЫБОВОДНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОСЕТРОВЫХ РЫБ ПРИ СКАРМЛИВАНИИ КОРМОВ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ЖИРА 132

Руденко Р.А., Ткачева И.В.
БИОТЕХНОЛОГИЯ ВОДОРОСЛЕЙ В АКВАКУЛЬТУРЕ 136

Руденко Р.А.
ПИТАНИЕ РЫБ В АКВАКУЛЬТУРЕ 139

Юрин Д.А., Осепчук Д.В., Юрина Н.А., Максим Е.А., Данилова А.А., Волкова С.А.
ОПТИМИЗАЦИИ РОСТА РЫБЫ ПУТЕМ ИНТЕГРАЦИИ ДВУХ ОТРАСЛЕЙ 143

ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHARMACEUTICS

Григорьева Л.М., Гареева А.М., Ваганов М.Д., Мезенцева И.А.
ИЗУЧЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ В ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ 147

Лежнева Л.П., Поздняков Д.И., Темирбулатова А.М., Позднякова А.Е.
ИССЛЕДОВАНИЯ ПО РЕАЛИЗАЦИИ КОМПЛЕКСА ТАНИНА И СУЛЬФАЦИЛА – НАТРИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЯГКОЙ ЛЕКАРСТВЕННОЙ ФОРМЫ 153

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ / CHEMISTRY

Istomina E.E., Shataschkeev A.V.
RESEARCH OF PROCESSES OF DETERMINATION OF GOLD CONTENT IN PRODUCTS OF GOK "NEVSKY "LLC " DRUZA" 159

Протопопов А.В., Штепенко Д.Е.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУЧЕНИЯ АДИПИНАТОВ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ И ПРОДУКТОВ НА ИХ ОСНОВЕ 162

ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ / GEOLOGY AND MINERALOGY

Керимов Р.Б.
ОСОБЕННОСТИ ХИМИЗМА КЛИНОПИРОКСЕНОВ ДАЙКОВЫХ КОМПЛЕКСОВ КАЦДАГ-КЕХНАМЕДАНСКОЙ ЗОНЫ ВОСТОЧНОГО СЕГМЕНТА БОЛЬШОГО КАВКАЗА 168

Потапова Е.И., Куделина И.В.
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОЛЧЕДАНОНОСНЫХ ВУЛКАНОГЕННЫХ ФОРМАЦИЙ БЛАКСКОЙ ЗОНЫ И ВОСТОЧНО-УРАЛЬСКОГО ПОДНЯТИЯ 172

НАУКИ О ЗЕМЛЕ / SCIENCE ABOUT THE EARTH

Боскачёв Р., Чубаренко Б.
СРЕДНЕГОДОВЫЕ РАСХОДЫ ВОДЫ В РЕКАХ ПРЕГОЛЯ И ДЕЙМА В 1990-2020 ГГ. 176

Железова Е.В.
ЗИМНИЕ ПЕРИОДЫ В ВИСЛИНСКОМ-КАЛИНИНГРАДСКОМ ЗАЛИВЕ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ПО МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ В 2011–2021 ГОДАХ 184

Закиров Р.Б., Чубаренко Б.В., Чечко В.А.
ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПЕСЧАНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ БАРА НА ВХОДЕ В КАЛИНИНГРАДСКИЙ-ВИСЛИНСКИЙ ЗАЛИВ 192

Калинин А.И., Слепцова М.И.
ПРЯМЫЕ ПРИЗНАКИ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ (ПРОЯВЛЕНИЯ ГАЗОВ, БИТУМОВ) СЕВЕРО-ВОСТОКА ЯКУТИИ И ПРИЛЕГАЮЩЕГО ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО ШЕЛЬФА 199

Орешкова М.Ю.,Фернандес Попова А.К., Фернандес Мамани А.Н.
ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПЛОЩАДЕЙ, ПЕРСПЕКТИВНЫХ НА ПОИСКИ УГЛЕВОДОРОДОВ, С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ПОЛЕЙ В ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ 203

Пархоменко В.П.
ПРОЦЕДУРА ВЫЧИСЛЕНИЯ СКОРОСТИ ВЕТРА В СОВМЕСТНОЙ ГЛОБАЛЬНОЙ МОДЕЛИ КЛИМАТА 208

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHYSICS AND MATHEMATICS

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.110.8.002

ОБ ИССЛЕДОВАНИИ СИСТЕМЫ, БЛИЗКОЙ К ГАРМОНИЧЕКОМУ ОСЦИЛЛЯТОРУ, МЕТОДОМ ПРИБЛИЖЕННЫХ ТОЧЕЧНЫХ ОТОБРАЖЕНИЙ

Научная статья

Антоновская О.Г.[1, *], Бесклубная А.В.[2]
[1] ORCID: 0000-0002-5688-7996;
[1, 2] Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, Нижний Новгород, Россия

* Корреспондирующий автор (olga.antonovsckaja[at]yandex.ru)

Аннотация

Теория нелинейных колебаний является одной из важнейших составляющих современной науки. Нелинейными колебаниями принято называть колебательные явления, возникающие в нелинейных динамических системах. Наиболее доступными для исследования являются колебательные системы с малой нелинейностью, для которых разработаны различные асимптотические методы. Причем до сих пор особый интерес представляет изучение нелинейных систем, близких к гармоническому осциллятору. В настоящей работе рассматривается возможность исследования методом приближенных точечных отображений близкой к гармоническому осциллятору системы, оба уравнения которой содержат нелинейные члены. Приводятся явно заданные функции последования точечного отображения, при построении которого используются асимптотические методы, а также результаты их изучения.

Ключевые слова: нелинейная колебательная система, фазовое пространство, синхронизация, гармонический осциллятор, малый параметр, асимптотические методы исследования, метод точечных отображений.

ON THE STUDY OF A SYSTEM CLOSE TO A HARMONIC OSCILLATOR VIA APPROXIMATE POINT MAPPING

Research article

Antonovskaya O.G.[1, *], Besklubnaya A.V.[2]
[1] ORCID: 0000-0002-5688-7996;
[1, 2] Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, Nizhny Novgorod, Russia

* Corresponding author (olga.antonovsckaja[at]yandex.ru)

Abstract

The theory of nonlinear oscillations is one of the most important components of modern science. Nonlinear oscillation is a term usually applied to oscillatory phenomena that occur in nonlinear dynamical systems. The most accessible for research are oscillatory systems with low nonlinearity, for which various asymptotic methods have been developed. Moreover, the study of nonlinear systems close to a harmonic oscillator is still of particular interest. The current study assesses the possibility of studying a system close to harmonic oscillators by via approximate point mapping, both equations of which contain nonlinear terms. The article provides explicitly defined functions of the sequence of a point map, in the construction of which asymptotic methods are used, as well as the results of their analysis.

Keywords: nonlinear oscillatory system, phase space, synchronization, harmonic oscillator, small parameter, asymptotic research methods, point mapping method.

Теория колебаний занимается изучением общих закономерностей, а также разработкой методов исследования колебательных процессов. А поскольку как качественное, так и количественное, изучение всякой реальной системы требует ее математического описания, можно утверждать [1], [2], что теория колебаний занимается составлением и исследованием математических моделей динамики систем различной физической природы. Основываясь на анализе моделей, теория колебаний устанавливает общие свойства колебательных процессов в системах. Причем математическая модель в теории колебаний играет двоякую роль: с одной стороны это идеализированное описание различных динамических систем, с другой – модель, отображающая различные колебательные явления. А принимаемые идеализации для одних и тех же систем могут быть различными в зависимости от особенностей решаемых задач [2, С. 9-10]. То есть характер идеализаций, допустимых при рассмотрении той или иной задачи, определяется задачей в целом и зависит не только от свойств рассматриваемой системы, но от того, ответы на какие вопросы желательно получить [1, С. 16]. И допустимость той или иной идеализации зависит от количественных соотношений, характеризующих ту или иную задачу [1, С. 17]. Только совпадение или несовпадение свойств, получаемых для математической модели, и свойств реальной системы позволяет сделать вывод о необходимости учета каких-то дополнительных факторов при исследовании. К настоящему времени теория нелинейных колебаний нашла свое применение не только в механике, физике технике, но и таких менее традиционных науках, как химия, биология, экономика и др. [1].

К сожалению математически модели реальных динамических систем могут быть достаточно сложными для исследования, таким образом часто ставится задача их упрощения, приближенного аналитического исследования всеми доступными методами, и, в конечном итоге, методами численными, поскольку их точное аналитическое исследование не всегда возможно..

Известно [1], [3], что теория линейных колебаний разработана достаточно детально, поэтому часто при исследовании нелинейных колебательных процессов применялись линейные схемы, не учитывающие собственно нелинейность. Однако такой подход может привести к определенным не только количественным, но и качественным

ошибкам [2, С. 13]. То есть требуется непременно рассматривать систему как нелинейную [1, С. 28]. Причем в рамки линейной теории как правило не укладываются те явления, которые являются наиболее интересными [1, С. 10]. Изучение поведения нелинейных систем является задачей более сложной, чем изучение линейных систем, потому что это более глубокое изучение колебательных процессов.

В идеале при рассмотрении конкретной системы требуется полное (качественное и количественное) исследование, т.е. нахождение всех возможных периодических решений и состояний равновесия, исследование их устойчивости и зависимости от параметров системы. К настоящему времени разработан математический аппарат для исследования если и не любых нелинейных колебаний, то уж точно колебаний достаточно близких к линейным [2]. Достаточно близкими к линейным обычно называют колебания, уравнения математической модели для которых содержат некоторый параметр, входящий в них так, что если он обращается в ноль, система становится линейной. При этом предполагается, что этот параметр принимает малые по абсолютной величине значения (малый параметр). Для исследования таких колебаний традиционно используют прежде всего асимптотические методы такие, как метод возмущений [2, С. 13], метод Ван-дер-Поля (или «метод медленно меняющихся амплитуд») [1, С. 653], [2, С. 371] и т.д. Применение асимптотических методов позволяет упростить уравнения модели, сохраняя при этом хорошую точность. Однако следует учитывать и тот факт, что существенное свойство таких методов – ограничения по их применению и ограниченная точность.

В настоящей работе методом приближенных точечных отображений исследуется система, близкая к гармоническому осциллятору [1, С. 378]. В методике построения приближенного точечного отображения [4], [6], [7], описывающего поведение системы, используется сочетание метода последовательных приближений и метода точечных отображений [8]. Собственно, вопрос о применении асимптотических методов для получения точечного отображения ставился уже давно [8, С. 205-210]. Метод, применяемый в настоящей работе, ранее достаточно успешно применялся для исследования квазигармонического осциллятора [4], [5], [7]. Исследуемая ниже система имеет ту особенность, что ее математическая модель не получена из уравнения квазигармонического осциллятора, то есть нелинейные члены присутствуют в обоих уравнениях системы. Вообще метод точечных отображений может быть применен ко многим проблемам нелинейных колебаний [1], поскольку, как известно, структура динамической системы взаимно однозначно определяется структурой порождаемого ей на секущей поверхности точечного отображения [8, С. 187-188]. При использовании этой методики для изучения конкретных динамических систем существенную роль играет выбор способа построения точечного отображения. В частности, согласно методу точечных отображений, вопрос о существовании у системы 2π-периодического решения может быть выяснен через изучение вопроса о существовании неподвижной точки у точечного отображения T, порождаемого фазовыми траекториями системы на секущей поверхности $t=[t/(2\pi)]2\pi$ (или отображение сдвига $T_{2\pi}$ для изучаемой системы). А поскольку система является близкой к гармоническому осциллятору, то точечное отображение T есть близкое к тождественному точечное отображение [8, С. 210-223]. В настоящей работе вместо отображения T вводится в рассмотрение отображение, которое с точностью до μ^2 (где μ - малый параметр) может рассматриваться как отображение сдвига $T_{2\pi}$ для системы и имеет явно заданные функции последования. То есть задача отыскания периодического решения системы сводится к значительно более простой задаче. Обсуждается вопрос о возможности практического применения результатов приближенного исследования.

Будем рассматривать систему дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} \dot{x} = -y - \mu(\xi y + x(x^2 + y^2)), \\ \dot{y} = -x - \mu(-\xi x + y(x^2 + y^2) + A\cos t), \end{cases} \tag{1}$$

где $0<\mu<<1$ - малый параметр. Необходимо определить условия существования у системы (1) 2π-периодического решения.

Для построения приближенного точечного отображения, подобно [4], [5, С. 5-6], воспользуемся заменой

$$x = a\cos t + b\sin t, \qquad y = -a\sin t + b\cos t, \tag{2}$$

приводящей (1) к виду системы для «медленно меняющихся амплитуд» [1, С. 653-655]

$$\begin{cases} \dot{a} = -\mu(\xi b + a(a^2 + b^2)), \\ \dot{b} = -\mu(-\xi a + b(a^2 + b^2) + A\cos^2 t), \end{cases} \tag{3}$$

откуда как в [4], [5, С.5-6], учитывая, что $a(0)=x(0)$, $b(0)=y(0)$, $a(2\pi)=x(2\pi)$, $b(2\pi)=y(2\pi)$, получаем точечное отображение $\tilde{T}$

$$\tilde{x} = x_0 - 2\mu\pi[x_0(x_0^2 + y_0^2)) + \xi y_0], \tag{4}$$

$$\tilde{y} = y_0 - 2\mu\pi[-\xi x_0 + y_0(x_0^2 + y_0^2) + A/2]. \quad (5)$$

Здесь $x_0 = x(0)$, $y_0 = y(0)$, $\tilde{x} = x(2\pi)$, $\tilde{y} = y(2\pi)$. Отображение $\tilde{T}$ с точностью до членов порядка μ^2 приближает точечное отображение T, порождаемое траекторией системы (1) на секущей поверхности [9]. А периодическим решениям системы (1) соответствуют неподвижные точки такого отображения.

Условия существования $\tilde{x} = x_0 = x^*, \tilde{y} = y_0 = y^*$ неподвижной точки точечного отображения (4)–(5) дают соотношения

$$x^* = (\xi A)/(2(\rho^2 + \xi^2)), y^* = -(\rho A)/(2(\rho^2 + \xi^2)), \quad (6)$$

где $\rho = (x^*)^2 + (y^*)^2 > 0$ находится из уравнения

$$\rho[\xi^2 + \rho^2] = A^2/4. \quad (7)$$

То есть факт существования (6) неподвижных точек $\tilde{T}$ определяется фактом существования корней $\rho > 0$ у (7).

Заметим, что уравнение (7), имеет единственный корень $\rho > 0$ при любых значениях параметра ξ. Причем при $|\xi| \to +\infty$ $\rho \to +0$. Т.е. резонансная кривая является разомкнутой для любого *A* (рисунок 1). Наибольшее значение *p* соответствует $\xi = 0$, причем $\rho(0) = \sqrt[3]{A^2/4}$.

Исследования устойчивости неподвижных точек точечного отображения $\tilde{T}$ тесно связано с вопросами расположения корней характеристического полинома [10]

$$P(z) = (z - (1 - 4\mu\pi\rho))^2 + (\mu\pi)^2(\xi^2 - \rho^2) \quad (8)$$

по отношению к единичному кругу $|z| \le 1$. Пара действительных корней полинома *P(z)* (8) соответствует значения параметров $|\xi| \le |\rho|$, корни являются комплексно-сопряженными при $|\xi| > |\rho|$. Отсюда следует вывод о том, что граница N_ω, соответствующая уходу пары корней характеристического полинома с действительной оси в этом случае будет иметь вид двух полупрямых

$$\xi = \pm\rho \ (\rho > 0) \quad (9)$$

Характер устойчивости неподвижной точки (6) определяется бифуркациями корней характеристического уравнения относительно условия $|z| = 1$, т.е. меняется при переходе корня характеристического полинома через одно из значений: $z = 1$ (граница N_+), $z = -1$ (граница N_-), а также пары комплексно-сопряженных корней через значения $z_{1,2} = e^{\pm i\phi}$ (граница N_ϕ).

В результате, границе N_+ $(z = 1)$ соответствует уравнение

$$3\rho^2 + \xi^2 = 0 \quad (10)$$

которому отвечает единственная точка плоскости параметров, а именно $\xi = \rho = 0$.

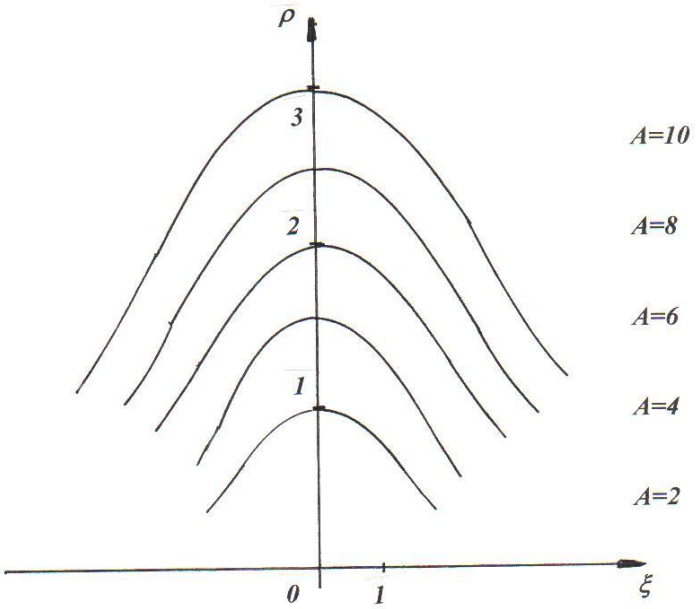


Рис.1 – Вид резонансных кривых

Аналогично, границе N_- $(z=-1)$ в предположении, что $\mu \neq 0$, соответствует уравнение

$$1-4\mu\pi\rho+(\mu\pi)^2(\xi^2+3\rho^2)=0 \tag{11}$$

поэтому его канонический вид определяет кривую второго порядка, которая является эллипсом с центром в точке $\xi=0$ $\rho=2/(3\mu\pi)$ и главными диаметрами $\sqrt{3}/(3\mu\pi)$ по ξ и $1/(3\mu\pi)$ по p, целиком лежащим в области $|\xi|\leq|\rho|$.

Границе N_ϕ отвечает уравнение

$$(1-4\mu\pi\rho)^2+4(\mu\pi)^2(\xi^2-\rho^2)=1 \quad |\xi|>|\rho| \tag{12}$$

Уравнение N_ϕ есть уравнение эллипса, т.е. эта граница представляет собой куски эллипса с центром в точке $\xi=0$ $\rho=1/(3\mu\pi)$ и главными диаметрами $\sqrt{3}/(3\mu\pi)$ по ξ и $1/(3\mu\pi)$ по p, принадлежащие области $|\xi|>|\rho|$. Границы N_ω, N_-, N_ϕ стыкуются в точках с $\rho=1/(2\mu\pi)$, а границы N_ω, N_ϕ еще и при $\xi=\rho=0$.

Взаимное расположение границ N_+, N_-, N_ϕ (10)–(12) приведено на рисунке 2. В результате получаем картину *D*-разбиения при малых μ. Границы *D*-разбиения приведены с соответствующей штриховкой в сторону выхода корней характеристического уравнения из единичного круга. В случае бифуркации корней на действительной оси имеем однократную штриховку, в случае бифуркации комплексно-сопряженных корней – двойную штриховку. При этом область *D=0* есть область устойчивости (в случае *D=1* один из корней имеет модуль, больший единицы, в случае *D=2* – имеется два таких корня).

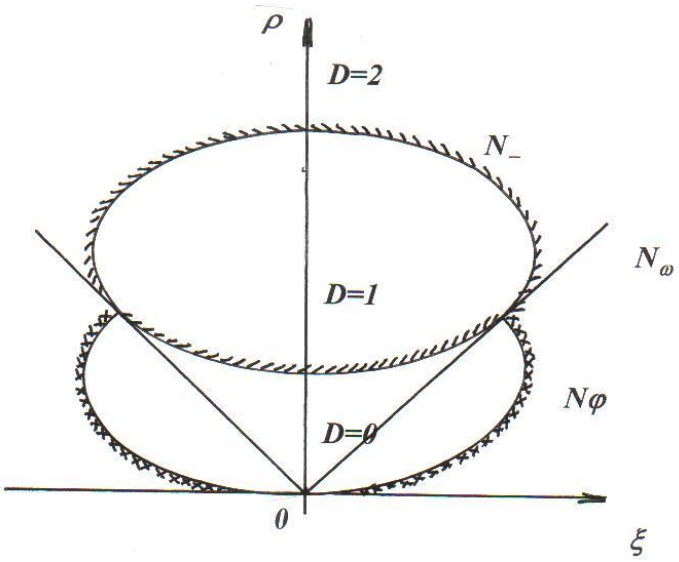


Рис. 2 – Примерный вид границ *D*-разбиения

Если будем исследовать зависимость уравнений границ N_+, N_-, N_ϕ от малого параметра, можно увидеть, что область устойчивости является ограниченной при любом конечном, хотя и малом μ, но все более расширяется при $\mu \to +0$. Вопрос о существовании неподвижных точек точечного отображения $\tilde{T}$ с некоторым характером устойчивости при *A*=*const* и различных ξ (а значит, предположительно, 2π -периодического решения исходной системы с тем или иным характером устойчивости) решается наложением картины поведения границ области устойчивости на плоскости ξ, *p* при заданном μ на плоскость с резонансной кривой при заданном *A* (см. рисунок 3).

Помимо этого отметим, что устойчивый режим, в случае его существования, имеет в фазовом пространстве отображения $\tilde{T}$ ограниченную область притяжения, расширяющуюся при $\mu \to +0$. Устойчивость бесконечности в этом случае можно доказать с использованием методики, предложенной в работе [11].

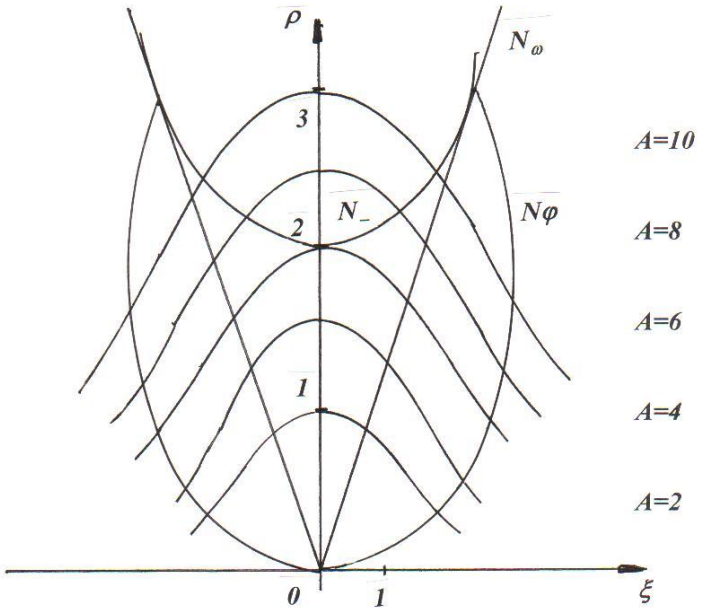


Рис. 3 – Взаимное расположение резонансных кривых и границ области устойчивости при $\mu\pi = 1/6$

Выберем простейшую функцию Ляпунова

$$V(x_0, y_0) = x_0^2 + y_0^2 \tag{13}$$

Первая разность (13) на произвольном сечении $V(x_0, y_0) = V_0$ ($V_0 \geq 1$) в силу (4) –(5) будет удовлетворять условию

$$\Delta V(x_0,y_0)=V(\tilde{x},\tilde{y})-V(x_0,y_0)=4\mu\pi\{-(x_0^2+y_0^2)^2+\mu\pi(\xi^2(x_0^2+y_0^2)+ \\ +(x_0^2+y_0^2)^2+A^2/4-2\xi Ax_0/2+Ay_0(x_0^2+y_0^2))\}\geq 4\mu\pi\Delta\tilde{V}(V_0), \quad (14)$$

где

$$\Delta\tilde{V}(V_0)=V_0[\mu\pi V_0{}^2-(1+\mu\pi A)V_0-\mu\pi|\xi|] \quad (15)$$

При любом конечном, хотя и малом, значении μ определяющим членом $\Delta V(x_0,y_0)>0$ при $V_0\to+\infty$ является $\mu\pi V_0^3$ (15). То есть величина первой разности $\Delta V(x_0,y_0)$ на сечении $V(x_0,y_0)=V_0$ становится положительной при увеличении V_0: согласно (15), $\Delta V(x_0,y_0)>0$, если $V_0\geq max\{1,V_{оэ}\}$, где

$$V_{0Э}=[1+\mu\pi A+\sqrt{(1+\mu\pi A)^2+4(\mu\pi)^2A|\xi|}]/2 \quad (16)$$

А значит, бесконечность в приближенной модели устойчива.

В заключение отметим, что метод приближенных точечных отображений, примененный для решения задачи о существовании у системы, близкой к гармоническому осциллятору периодических решений, является методом асимптотическим. То есть для применения этого метода требуется иметь хотя бы некоторое представление о степени его точности и пределах применимости, а именно: асимптотическое решение задачи должно оказаться близким к его точному решению. А значит, требуется обоснование метода приближенных точечных отображений, как, собственно, и обоснование применимости любых асимптотических методов [2, С. 451-520], [8, С. 213-218], [12, С. 35-51]. Вопрос об обосновании метода приближенных точечных отображений как асимптотического метода дается в работах [5, С. 81–88], [13]. Как правило, оценка требуемой малости параметра при обосновании асимптотических методов представляет собой трудную и неблагодарную задачу [8, С. 207], поскольку эти оценки слишком грубы и не дают оснований к практическому применению. Скажем, в [8, С. 205-206] рассматривалась возможность применения метода малого параметра для решения подобных задач, связанный однако с требованием сходимости рядов. Применение же метода последовательных приближений [8, С. 207-210], основанного на принципе сжимающих отображений, позволяет, как это сделано в работах [5, С. 123–135], оценить значения малого параметра, при которых выводы, сделанные на основании результатов приближенного исследования, применимы на практике, и прежде всего – как основа для дальнейшего изучения исходной системы, в том числе и численными методами, поскольку применение численных методов имеет смысл при наличии некоторых результатов предварительного теоретического исследования.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Андронов А. А. Теория колебаний / А. А. Андронов, А. А. Витт, С. Э. Хайкин. – М.: Физматгиз, 1959. – 916 с.
2. Рабинович М.И. Введение в теорию колебаний и волн / М. И. Рабинович, Д. И. Трубецков. – М.: Наука, 1984. – 432 с.
3. Боголюбов Н. Н. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний / Н. Н. Боголюбов, Ю. А. Митропольский. – М.: Наука, 1974. – 504 с.
4. Антоновская О. Г. О влиянии насыщения нелинейности на результаты исследования принудительной синхронизации методом приближенных точечных отображений / О. Г. Антоновская // Математическое моделирование и оптимальное управление: Вестник ННГУ, Нижний Новгород. – 1999. – № 2(21). – С. 198–208.
5. Антоновская О. Г. Метод точечных отображений в задачах нелинейной динамики / О. Г. Антоновская, В. И. Горюнов. – Гамбург: LAP Lambert Academic Publishing, 2013. – 140 с.
6. Антоновская О. Г. Об одном случае исследования принудительной синхронизации методом приближенных точечных отображений / О. Г. Антоновская, М. Н. Зайцева // Международный научно-исследовательский журнал. – 2018. – № 8(74). – С. 7–14.
7. Антоновская О. Г. К исследованию квазигармонического осциллятора с нелинейностью, обладающей насыщением / О. Г. Антоновская, А. В. Бесклубная // Международный научно-исследовательский журнал. – 2020. – № 2(92). – С. 10 –18.
8. Неймарк Ю. И. Метод точечных отображений в теории нелинейных колебаний. / Ю. И. Неймарк. – М.: Наука, 1972. – 472 с.
9. Антоновская О. Г. Метод последовательных приближений в оценке близости приближенного и точного точечных отображений при учете неизохронности процессов в динамике систем ИФАПЧ / О. Г. Антоновская // Вестник ННГУ, Нижний Новгород. – 2013. – № 5(1). – С. 210–212.
10. Неймарк Ю. И. Метод точечных преобразований в теории нелинейных колебаний II / Ю. И. Неймарк // Изв. вузов: Радиофизика. – 1958. – Т. 1. – № 2. – С. 95-117.

11. Антоновская О. Г. О влиянии характера нелинейности на результаты исследования синхронизации квазигармонического осциллятора методом приближенных точечных отображений / О. Г. Антоновская, А. В. Бесклубная // Международный научно-исследовательский журнал. – 2021. – № 1(103). – Часть 1. – С. 22-29.

12. Митропольский Ю. А. Метод усреднения в нелинейной механике / Ю. А. Митропольский – Киев: Наукова думка, 1971. – 440 с.

13. Антоновская О. Г. О приближенном исследовании близкого к тождественному точечного отображения плоскости в плоскость / О. Г. Антоновская // Математическое моделирование и оптимальное управление: Вестник ННГУ, Нижний Новгород. – 2004. – № 1(27). – С. 63–69.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Andronov A. A. Teoriya kolebaniy [Vibrations theory] / A. A. Andronov, A. A. Vitt, S. Yu. Haykin. – M.: Fizmatgiz, 1959. – 916 p. [in Russian]

2. Rabinovitch M. I. Vvedeniye v teoriyu kolebaniy I voln [Introduction into the theory of vibrations and waves] / M. I. Rabinovitch, D. I. Trubetskov. – M.: Nauka, 1984. – 432 p. [in Russian]

3. Bogolyubov N. N. Asimptotichesiye metody v teorii nelineynyh kolebaniy [Asymptotic methods in nonlinear vibrations theory] / N. N. Bogolyubov, Yu. A. Mitropolskiy – M.: Nauka, 1974. – 504 p. [in Russian]

4. Antonovskaya O. G. O vliyanii nasysheniya nelineynosti na resultaty issledovaniya prinuditelnoy sinkhronizatsii metodom priblizhennykh tochechnykh otobrazheniy [On the influence of nonlinearity saturation on the results of the forced synchronization received by means of approximate point mappings method] / O. G. Antonovskaya // Matematicheskoye modelirovaniye I optimalnoye upravleniye. Vestnik NNGU [Mathematical modeling and optimal control. NNGU bulletin], Nizhny Novgorod. – 1999. – № 2(21). – P. 198–208. [in Russian]

5. Antonovskaya O. G. Metod tochechnykh otobrazheniy v zadachakh nelineynoy dinamiki [Point mappings method in non-linear dynamics problems]/ O. G. Antonovskaya, V. I. Goryunov. – GmbH: LAP Lambert Academic Publishing, 2013. – 140 p. [in Russian]

6. Antonovskaya O. G. Ob odnom sluchae issledovaniya prinuditelnoy sinhronizatsii metodom priblizhennykh tochechnykh otobrazheniy [Investigation of forced synchronization by the method of approximate point mappings] / O. G. Antonovskaya, M. N. Zaytseva // International research journal – 2018. – № 8(74). – P. 7–14. [in Russian]

7. Antonovskaya O. G. K issledovaniyu kvazigarmonicheskogo oscilliatora s nelineynost'u, obladayushey nasysheniyem [On study of quasiharmonic oscillator with nonlinearity and saturation] / O. G. Antonovskaya, A. V. Besklubnaya // International research journal – 2020. – № 2 (92). – P. 10–18. [in Russian]

8. Neymark Yu. I. Metod tochechnykh otobrazheniy v teriyi nelineynykh kolebaniy [Point mappings method in non-linear vibrations theory] / Yu. I. Neymark. – M.: Nauka, 1972. – 472 p. [in Russian]

9. Antonovskaya O. G. Metod posledovatel'nykh priblizheniy v otsenke blizosti priblizhennogo I tochnogo tochechnykh otobrazheniy pri uchete neizokhronnosti protsessov v dinamike sistemy IFAPCH [Successive approximation technique in proximity evaluation for exact and approximate point mappings, taking into account non-isochronism in pulsed phase-locked loop system dynamics] / O. G. Antonovskaya // Vestnik NNGU [NNGU bulletin], Nizhny Novgorod. – 2013. – № 5(1). – P. 210–212. [in Russian]

10. Neymark Yu. I. Metod tochechnykh preobrazovaniy v teriyi nelineynykh kolebaniy II [Point mappings method in non-linear vibrations theory. II] / Yu. I. Neymark.Неймарк // Izv. Vuzov. Radiofizika. [Proceedings of higher institutions. Radio-physics] – 1958. – V. 1. – № 2. – P. 95-117. [in Russian]

11. Antonovskaya O. G. O vliyanii charaktera nelineynosti na rezuliaiy issledovaniya sinchronizatsii kvazigarmonicheskogo oscilliatora metodom priblizhennykh tochechnykh otobrazheniy [On the effect of nonlinearity types con the results studing the synchronization of quasi-harmonic oscillator via approximate point mapping] / O. G. Antonovskaya, A. V. Besklubnaya // International research journal – 2021. – № 1(103). – Part 1. – P. 22–29. [in Russian]

12. Mitropolskiy Yu. A. Metod usredneniya v nelineynoy mechanike [Averaging method in nonlinear mechanics] / Yu. A. Mitropolskiy – M.: Naukova dumka, 1971. – 440 p. [in Russian]

13. Antonovskaya O. G. O priblizhennom issledovanii blizkogo k tozhdestvennomu tochechnogo otobrazheniya ploskosti v ploskost [On the approximate study of close to identical point mapping plain to plain] / O. G. Antonovskaya // Matematicheskoye modelirovaniye I optimalnoye upravleniye. Vestnik NNGU [Mathematical modeling and optimal control. NNGU bulletin], Nizhny Novgorod. – 2004. – № 1(27). – P. 63–69. [in Russian]

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.110.8.003

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЯМОЛИНЕЙНОГО ТРАЕКТОРНО-ВОЛНОВОГО ДВИЖЕНИЯ ОБЪЕКТА

Научная статья

Валишин Н.Т.[1, *], Волков И.А.[2], Селиванова В.А.[3]
[1] ORCID: 0000-0002-2972-0613;
[1, 2, 3] Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н.Туполева-КАИ, Казань, Россия

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

Аннотация

Формулируются локальный вариационный принцип (ЛВП), теорема о необходимом и достаточном условии существования V-функции, теорема о волне и траектории, рассматриваются прямая и обратная задачи динамики в новой постановке, которые составляют суть метода V-функции. Из метода V-функции следует, что волновое движение объекта неразрывно связано с его траекторным движением. Траекторное движение объекта описывается системой обыкновенных дифференциальных уравнений, а волновое движение моделируется уравнением в частных производных второго порядка. На базе метода V-функции оптико-механической аналогия получает новое продолжение. Показывается, что по физическому смыслу амплитуда волны $V(x,t)$ определяется действием, которое проявляется в движении объекта (частицы). Устанавливается, что энергетические уровни, полученные с помощью метода V-функции для случая прямолинейного равномерного движения квантового объекта, полностью совпадают с классическими результатами Шредингера для гармонического осциллятора.

Ключевые слова: вариационный принцип, волновая функция, волновое движение, траекторное движение, оптико-механическая аналогия.

MODELING OF RECTILINEAR TRAJECTORY-WAVE MOTION OF AN OBJECT

Research article

Valishin N.T.[1, *], Volkov I.A.[2], Selivanova V.A.[3]
[1] ORCID: 0000-0002-2972-0613;
[1, 2, 3] Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev-KAI, Russia, Kazan

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

Abstract

The current study formulates the local variational principle (LVP), the theorem on the necessary and sufficient condition for the existence of a V-function, the wave and trajectory theorem, examines the direct and inverse problems of dynamics in a new formulation, which are the essence of the V-function method. The V-function method indicates that the wave motion of an object is inextricably linked with its trajectory motion. The trajectory motion of an object is described by a system of ordinary differential equations, and the wave motion is modeled by a second-order partial differential equation. On the basis of the V-function method, the optical-mechanical analogy receives a new continuation. It is shown that in the physical sense, the wave amplitude $V(x,t)$is determined by an action that manifests itself in the movement of an object (particle). It is established that the energy levels obtained using the V-function method for the case of rectilinear uniform motion of a quantum object completely coincide with the classical Schrodinger results for a harmonic oscillator.

Keywords: variational principle, wave function, wave motion, trajectory motion, optical-mechanical analogy.

Введение

Данные исследования проводились в рамках продолжения Четаевской традиции. Н.Г.Четаев ввел постулат устойчивости [1], который является обобщением концепции возмущенного-невозмущенного движения, предложенной Ляпуновым для исследования задач устойчивости. В рамках концепции возмущенного-невозмущенного движения можно рассматривать также теорию управления, вариационные принципы механики. Здесь невозмущенное движение, и возмущенное движение имеют природу траектории, что имеет принципиальное значение. Поэтому, исходя из существующих вариационных принципов, оптико-механическая аналогия проводится только на уровне геометрической оптики [2]. Н.Г.Четаев же провел оптико-механическую аналогию на уровне волновой оптики, принимая, что всегда имеются неучтенные возмущения и они приводят к волновому движению.

Метод V-функции

Суть метода V-функции состоит в изначальном введении в математическое моделирование волновых измерений реальности. Такая постановка стала возможной на базе концепции процесса-состояния [3]. Опираясь на концепцию процесса-состояния, был сформулирован локальный вариационный принцип (ЛВП) с базовыми теоремами, была осуществлена новая постановка прямой и обратной задачи динамики [4], [6], [10].

Формулировка ЛВП:

Из всех возможных переходов в новое состояние осуществляется тот, при котором в каждый момент времени быстрота изменения волновой функции *V(x,t)* принимает стационарное значение

$$\delta\left(\frac{dV}{dt}\right) = 0 \tag{1}$$

где $\delta(.)$ - операция изохронной вариации; волновая функция есть кусочно-непрерывная, однозначная, конечная *V*-функция, удовлетворяющая уравнению:

$$\frac{\partial^2 V(x,t)}{\partial t^2} - \sum_{i,j=1}^{n} \frac{\partial^2 V(x,t)}{\partial x_i \partial x_j} f_i(x) f_j(x) = \sum_{i=1}^{n} \frac{\partial V(x,t)}{\partial x_i} \frac{df_i(x)}{dt} \tag{2}$$

$f(x)$ — *n*-мерный вектор правых частей траекторных уравнений движения объекта:

$$\dot{x} = f(x) \tag{3}$$

где *x* - *n*-мерный вектор фазовых координат.

Теорема о необходимом и достаточном условии существования V-функции:

Теорема I. Для перехода в новое состояние необходимо и достаточно существование *V*-функции, удовлетворяющей условию:

$$\Delta\left(\frac{dV}{dt}\right) = 0 \tag{4}$$

где $\Delta(.) = \delta(.) + \frac{d}{dt}(.)\Delta t,$ - операция полной вариации.

Приведем также теорему о волне и траектории:

Теорема II. Движение объекта (3) происходит так, что в каждый момент времени вектор фазовой скорости сонаправлен с градиентом волновой функции т.е.

$$\frac{\partial V}{\partial x}^T f = \left|\frac{\partial V}{\partial x}\right| |\dot{x}| \tag{5}$$

Данная теорема показывает, что волна управляет движением объекта, т.е. она согласуется с концепцией волна-пилот Луи де Бройля, выдвинутый им для объяснения корпускулярно-волнового дуализма [9].

На базе метода V-функции *прямую задачу динамики* можно поставить в следующем виде:

Заданы дифференциальные уравнения, описывающие траекторию движения объекта (3).

Требуется определить волновую функцию *V(x,t)*, удовлетворяющей уравнению (2).

Начальные и граничные условия для уравнения (2) вытекают из условий связанности волны с траекторией и теорем I и II.

$$V(x,t)\big|_{t=0} = V(x,0) = 0 \tag{6}$$

$$V(x,t)\big|_{x=x_M} = V(x_M,t) = 0 \tag{7}$$

$$\left.\frac{\partial V(x,t)}{\partial t}\right|_{t=0} = \frac{\partial V(x,0)}{\partial t} = const \tag{8}$$

$$\left.\frac{\partial V(x,t)}{\partial x}\right|_{x=x_M} = \frac{\partial V(x_M,t)}{\partial x} = k^{-1}\dot{x}(t) \tag{9}$$

Обратная задача динамики на базе метода V-функции ставится следующим образом:

Для заданной волновой функции *V(x,t)*, удовлетворяющей уравнению (2), которую запишем в виде

$$\frac{\partial^2 V}{\partial t^2} - \dot{x}^T W \dot{x} = \frac{\partial V}{\partial x}^T \frac{d\dot{x}}{dt}, \quad W = \left[\frac{\partial^2 V(x,t)}{\partial x_i \partial x_j}\right] \tag{10}$$

требуется определить траекторные уравнения движения объекта (3).

При заданной волновой функции из (5) сразу следует решение обратной задачи динамики:

$$\dot{x}_i = k\frac{\partial V}{\partial x_i} \tag{11}$$

Рассмотрим решение прямой и обратной задачи динамики для случая равномерного прямолинейного движения объекта с постоянной скоростью. Тогда уравнения (3) и (2) принимают вид:

$$\dot{x} = \vartheta \tag{12}$$

$$\frac{\partial^2 V}{\partial t^2} - \dot{x}^2\frac{\partial^2 V(x,t)}{\partial x^2} = 0, \tag{13}$$

Если подставить правую часть уравнения (12) в уравнение (13) мы получим классическое волновое уравнение:

$$\frac{\partial^2 V}{\partial t^2} - \vartheta^2\frac{\partial^2 V(x,t)}{\partial x^2} = 0, \tag{14}$$

для которого условия (6)-(7) остаются такими же, а (8)-(9) принимают вид:

$$\left.\frac{\partial V(x,t)}{\partial t}\right|_{t=0} = \frac{\partial V(x,0)}{\partial t} = \tilde{C}_1,\ \left.\frac{\partial V(x,t)}{\partial x}\right|_{x=0} = \frac{\partial V(0,t)}{\partial x} = \tilde{C}_2 \tag{15}$$

Для решения уравнения (14) с начальными и граничными условиями (6),(7),(15) применим метод разделения переменных $V(x,t) = \varphi(t)\psi(x)$

$$\begin{aligned}
&\frac{\ddot{\varphi}(t)}{\varphi(t)} = \vartheta^2\frac{\psi''(x)}{\psi(x)} = -\omega^2\\
&\ddot{\varphi}(t) + \omega^2\varphi(t) = 0\\
&\psi''(x) + \frac{\omega^2}{\vartheta^2}\psi(x) = 0
\end{aligned} \tag{16}$$

Тогда общее решение уравнения (14) принимает вид:

$$V(x,t) = \left(C_1 e^{-i\omega t} + C_2 e^{i\omega t}\right)\left(C_3 e^{-i\frac{\omega}{\vartheta}x} + C_4 e^{i\frac{\omega}{\vartheta}x}\right) \tag{17}$$

Выразим константы в (17) через начальные и граничные условия (6), (7), (15), т.е.

$$\begin{aligned}
&\varphi(0)\psi(x) = C_1 + C_2 = 0\\
&\dot{\varphi}(0)\psi(x) = \left(-i\omega C_1 + i\omega C_2\right)\psi(x) = \tilde{C}_1 \Rightarrow \dot{\varphi}(0) = \overline{C}_1\\
&\varphi(t)\psi(0) = C_3 + C_4 = 0\\
&\varphi(t)\psi'(0) = \varphi(t)\left(\frac{-i\omega}{\vartheta}C_3 + \frac{i\omega}{\vartheta}C_4\right) = \tilde{C}_2 \Rightarrow \psi'(0) = \overline{C}_2
\end{aligned} \tag{18}$$

Отсюда получим

$$C_1 = -C_2, C_2 = \frac{\overline{C}_1}{i\omega}$$

$$C_3 = -C_4, C_4 = \frac{\vartheta\overline{C}_2}{i\omega}$$

Подставляя значения констант в (17), будем иметь:

$$V(x,t)=\left(\frac{-\overline{C}_1}{i\omega}e^{-i\omega t}+\frac{\overline{C}_1}{i\omega}e^{i\omega t}\right)\left(\frac{-\vartheta\overline{C}_2}{i\omega}e^{-i\frac{\omega}{\vartheta}x}+\right.$$
$$\left.+\frac{\vartheta\overline{C}_2}{i\omega}e^{i\frac{\omega}{\vartheta}x}\right)=-\frac{\vartheta\overline{C}_2\overline{C}_1}{\omega^2}e^{-i(\omega t+\frac{\omega}{\vartheta}x)}+\frac{\vartheta\overline{C}_2\overline{C}_1}{\omega^2}e^{i(\omega t-\frac{\omega}{\vartheta}x)}+$$
$$+\frac{\vartheta\overline{C}_2\overline{C}_1}{\omega^2}e^{-i(\omega t-\frac{\omega}{\vartheta}x)}-\frac{\vartheta\overline{C}_2\overline{C}_1}{\omega^2}e^{i(\omega t+\frac{\omega}{\vartheta}x)}= \tag{19}$$
$$=-\frac{\vartheta\overline{C}_2\overline{C}_1}{\omega^2}e^{\pm i(\omega t+\frac{\omega}{\vartheta}x)}+\frac{\vartheta\overline{C}_2\overline{C}_1}{\omega^2}e^{\pm i(\omega t-\frac{\omega}{\vartheta}x)}$$

Будем рассматривать распространение волны в направлении движения объекта, тогда из (19) получим *V*-функцию в таком виде:

$$V(x,t)=\frac{\vartheta\overline{C}_2\overline{C}_1}{\omega^2}e^{\pm i(\frac{\omega}{\vartheta}x-\omega t)}=Ae^{\pm i(\frac{\omega}{\vartheta}x-\omega t)} \tag{20}$$

Надо отметить, исходя из метода V-функции, решение (20) должно удовлетворять условию:

$$\frac{\partial V}{\partial t}=const \tag{21}$$

$$V(x,t)=\frac{\vartheta\overline{C}_2\overline{C}_1}{\omega^2}e^{\pm i(\frac{\omega}{\vartheta}x-\omega t)}=Ae^{\pm i(\frac{\omega}{\vartheta}x-\omega t)} \tag{22}$$

Постоянная в правой части (22) действительное число, поэтому для того, чтобы удовлетворить условию (21), фаза должна принимать дискретные значения

$$\omega(\frac{x}{\vartheta}-t)=\frac{\pi}{2}+\pi n \tag{23}$$

Так как $\dot{x}=\vartheta\Rightarrow \quad \int\frac{dx}{\vartheta}=\int dt+C\Rightarrow\frac{x}{\vartheta}-t=C$, то равенство (23) принимает вид:

$$\omega C=\frac{\pi}{2}+\pi n\Rightarrow\omega=\frac{\pi}{2C}(1+2n)=\omega_0(1+2n) \tag{24}$$

Продолжение оптико-механической аналогии

Рассмотрим свободное прямолинейное движение частицы со скоростью $\dot{x}=\vartheta$. Траекторному движению частицы, как следует из (14) соответствует волновое движение.

Пусть в (20)

$$A=\frac{h}{2\pi}=\hbar \tag{25}$$

где *h* - постоянная Планка. Тогда из (22) с учетом (23) и (24) следует правило квантования энергии, такое же как у Шредингера в случае планковского осциллятора. При этом из равенства (11) с учетом (20),(25) получаем

$$k^{-1}=\frac{\hbar\omega}{\vartheta^2} \tag{26}$$

Отсюда с учетом размерности действия $[кг][м/с][м]$ следует, что

$$k^{-1}=m \tag{27}$$

где m - масса частицы. Используя полученные результаты, можно провести такие соответствия между волной и частицей

$$\vartheta = \vartheta; \quad \omega = \frac{m\vartheta^2}{\hbar} = \frac{2E}{\hbar};$$
$$\lambda = \frac{h}{m\vartheta}; \quad A = \hbar \tag{28}$$

Первое соотношение (28) показывает равенство скорости частицы и фазовой скорости волны. В результате решения обратной задачи получается условие квантования энергии и при этом из второго соотношения в (28) следует, что энергия переносится частицей. Исходя из третьего соотношения в (28), импульс частицы определяет длину волны, что совпадает с известной формулой Луи де Бройля.

Заключение

По физическому смыслу волна $V(x,t)$ характеризует свойства действия, проявляющегося в движении частицы. Таким образом, волна своим узлом связана с местоположением частицы и таким образом ведёт её, вместе с тем и частица (траектория) порождает распространяющуюся с ней волну. Проведенные исследования показывают что, если волновая функция (V-функция) имеет размерность действия ($[кг][м/с][м]$), то квантование энергии объекта (частицы) для случая равномерного прямолинейного движения происходит по такому же правилу, что и у Шредингера для гармонического осциллятора [11].

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Chetaev N.G. The Stability of Motion / N.G. Chetaev // The Works on Analytical Mechanics. Moscow: Publishing house Acad. Nauk SSSR. 1962.

2. Polak L.S. The Variational Principles of Mechanics and Their Development and Application in Physics / L.S. Polak. Moscow: Fizmatgiz. 1960.

3. Valishin F. T. The problem of the beginning and the strategy of dynamism / F. T. Valishin. Moscow: Encyclopedist-Maximum. 2018.

4. Valishin N.T. Variational principle and the problems dynamics / F. T. Valishin // Life Science Journal. 2014, 11(8), pp. 568-574

5. Valishin N.T. An Optical-Mechanical Analogy And The Problems Of The Trajectory-Wave Dynamics / F. T. Valishin // Global Journal of Pure and Applied Mathematics. Volume 12, Number 4 (2016), pp. 2935-2951

6. Valishin N.T. Application of the method of V-functionfor solving direct and inverse dynamics problems for the motion of an object in the central force field / N.T. Valishin, K.E. Pavlova, A.I. Khalilova // Vestn. Tupolev Kazan Gos. Tekhn. Univ., 2010. 3: 84–92.

7. Valishin N. T. V-Function Method: Some Solutions Of Direct And Inverse Dynamics Problems / N. T. Valishin, F. T. Valishin // A New Statement Latvian Journal Of Physics And Technical Sciences 2019. 1 70-81

8. Valishin N. A method of V-function: ultimate solution to the direct and inverse problems of dynamics for a hydrogen-like atom / N. Valishin, S. Moiseev // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. 5(88) 23-32

9. Valishin N. T. To Physical Statement of a Controllability Problem / N. T. Valishin // Jour of Adv Research in Dynamical & Control Systems 2019. 11(5) 1708-13

10. Valishin, N.T. A Trajectory-Wave Approach to Electron Dynamics in a Hydrogen Atom / N.T. Valishin, F.T. Valishin, S.A. Moiseev // Butlerov Proc., 2011. 25(5): 1–12.

11. Schrödinger E. Quantisierung als Eigenwertproblem (I Mitt) / E. Schrödinger // Annalen der Physik, 1926, Bd 79, S.361-376; (II Mitt) – Ibid., S.489-527; (III Mitt) – Ibid., Bd 80, S.437-490; (4 Mitt) – Ibid., Bd 81

Список литературы на английском языке / References in English

1. Chetaev N.G. The Stability of Motion / N.G. Chetaev // The Works on Analytical Mechanics. Moscow: Publishing house Acad. Nauk SSSR. 1962.

2. Polak L.S. The Variational Principles of Mechanics and Their Development and Application in Physics / L.S. Polak. Moscow: Fizmatgiz. 1960.

3. Valishin F. T. The problem of the beginning and the strategy of dynamism / F. T. Valishin. Moscow: Encyclopedist-Maximum. 2018.

4. Valishin N.T. Variational principle and the problems dynamics / F. T. Valishin // Life Science Journal. 2014, 11(8), pp. 568-574

5. Valishin N.T. An Optical-Mechanical Analogy And The Problems Of The Trajectory-Wave Dynamics / F. T. Valishin // Global Journal of Pure and Applied Mathematics. Volume 12, Number 4 (2016), pp. 2935-2951

6. Valishin N.T. Application of the method of V-functionfor solving direct and inverse dynamics problems for the motion of an object in the central force field / N.T. Valishin, K.E. Pavlova, A.I. Khalilova // Vestn. Tupolev Kazan Gos. Tekhn. Univ., 2010. 3: 84–92.

7. Valishin N. T. V-Function Method: Some Solutions Of Direct And Inverse Dynamics Problems / N. T. Valishin, F. T. Valishin // A New Statement Latvian Journal Of Physics And Technical Sciences 2019. 1 70-81

8. Valishin N. A method of V-function: ultimate solution to the direct and inverse problems of dynamics for a hydrogen-like atom / N. Valishin, S. Moiseev // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. 5(88) 23-32.

9. Valishin N. T. To Physical Statement of a Controllability Problem / N. T. Valishin // Jour of Adv Research in Dynamical & Control Systems 2019. 11(5) 1708-13.

10. Valishin, N.T. A Trajectory-Wave Approach to Electron Dynamics in a Hydrogen Atom / N.T. Valishin, F.T. Valishin, S.A. Moiseev // Butlerov Proc., 2011. 25(5): 1–12.

11. Schrödinger E. Quantisierung als Eigenwertproblem [Quantization as Eigenvalue Problem] (I Mitt) / E. Schrödinger // Annalen der Physik [Annals of Physics], 1926, Bd 79, P.361-376; (II Mitt) – Ibid., P.489-527; (III Mitt) – Ibid., Bd 80, P.437-490; (4 Mitt) – Ibid., Bd 81. [in German]

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.110.8.004

СТМ-ПАРАМЕТРИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КОЛЛОИДНЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК

Научная статья

Жуков Н.Д.[1, *], Гавриков М.В.[2]
[1, 2] ООО «НПП Волга», Саратов, Россия

* Корреспондирующий автор (ndzhukov[at]rambler.ru)

Аннотация

На основе исследований туннельно-эмиссионных вольтамперных характеристик коллоидных квантовых точек CdSe, PbS, InSb и модели одноэлектронного транспорта определены важнейшие параметры квантовых точек – эффективная масса электрона, диэлектрическая проницаемость, энергия потенциального барьера туннелирования, линейный размер квантово-ограниченного резонансного движения электрона (размер квантовой точки). Сопоставления полученных параметров квантовых точек с аналогичными для объёмных полупроводников показывает их хорошее соответствие, что может свидетельствовать как о правомерности полученных параметров, так и о возможности использования моделей и свойств объёмных полупроводников применительно к квантовым точкам. На основании полученных данных и при продолжении исследования возможно создание метода и программно-аппаратного комплекса для промышленного контроля основных параметров квантовых точек.

Ключевые слова: Материаловедение, полупроводниковая параметрия, полупроводниковая структура, наноматериал, наноструктура, наночастица, квантовая точка, сканирующая зондовая микроскопия, вольтамперная характеристика, туннелирование, туннельная эмиссия, перезарядка наноконденсатора.

STM PARAMETERS OF SEMICONDUCTOR COLLOIDAL QUANTUM DOTS

Research article

Zhukov N.D.[1, *], Gavrikov M.V.[2]
[1, 2] NPP Volga LLC, Saratov, Russia

* Corresponding author (ndzhukov[at]rambler.ru)

Abstract

Based on the studies of the tunnel-emission volt-ampere characteristics of colloidal quantum dots CdSe, PbS, InSb and the single-electron transport model, the article determines the most important parameters of quantum dots such as the effective mass of the electron, the permittivity, the energy of the potential tunneling barrier, the linear size of the quantum-limited resonant electron motion (the size of the quantum dot). A comparison of the obtained parameters of quantum dots with similar ones for bulk semiconductors shows their good correspondence, which may indicate both the validity of the obtained parameters and the possibility of using models and properties of bulk semiconductors in relation to quantum dots. Based on the data obtained and with the continuation of the research, it is possible to create a method along with a software and hardware complex for industrial control of the main parameters of quantum dots.

Keywords: Materials science, semiconductor parametry, semiconductor structure, nanomaterial, nanostructure, nanoparticle, quantum dot, scanning probe microscopy, current-voltage characteristic, tunneling, tunnel emission, nanocapacitor recharge.

Введение

Одним из важнейших научных и практических направлений полупроводников является материаловедение, в основе которого лежат методы измерений параметров материалов и структур [1]. Для развивающихся технологий и применений наноматериалов и наноструктур материаловедение находится в состоянии становления, имея специфические особенности, обусловленные, в частности, размерными явлениями и эффектами [2], [3], [4]. Фактически единственным на сегодня методом непосредственных измерений параметров полупроводниковых наночастиц является сканирующая зондовая микроскопия [5], [6]. При этом метод вольтамперных характеристик (ВАХ) позволяет измерить некоторые параметры зонной структуры и статистики электронных состояний полупроводника, например, положение первых энергетических уровней. Исследования механизмов электронной эмиссии и инжекции в наночастицах принципиально позволяют получить данные об эффективной массе, величинах потенциального барьера, диэлектрической проницаемости, временно́м параметре электронного транспорта [7], [8], [9].

Параметрия квантовых точек (КТ) имеет особое значение для изучения их свойств и возможностей применений. В силу размерной и структурной специфики КТ, их параметры могут отличаться от того, что известно для объёмных полупроводников, как обычно принимается, например, при исследованиях фотолюминесценции. Детальные исследования этой проблемы, по данным доступной литературы, малочисленны.

В нашей работе представлены результаты исследований на сканирующем туннельном микроскопе (СТМ) ряда параметров самых распространённых коллоидных квантовых точек полупроводников, значительно отличающихся между собой – селенида кдмия (CdSe), сульфида свинца (PbS), антимонида индия (InSb). КТ- CdSe и PbS имели оболочку CdS толщиной ~(1–2)нм.

Целью исследования было, установить возможность применения к квантовым точкам методик определения некоторых параметров, обычно используемых для полупроводниковых материалов и структур, найти эти параметры и провести модельные сопоставления свойств квантовых точек и их объёмных полупроводников.

Сканирующие зондовые микроскопы и их применение

СТМ-метод в последние годы получил своё развитие как инструмент научных исследований, позволяя иметь атомарное разрешение, что достигается, в частности, благодаря вакуумному исполнению, чему посвящено много работ, например, [10], [11] (нами проведен анализ около 100 публикаций, в которых использованы сканирующие зондовые микроскопы).

В практическом плане сканирующий зондовый микроскоп применяется как средство контроля в метрологии наноструктур [12]. В России разработана и используется соответствующая система стандартов, которая ориентирована на реальные (производственные) условия применений.

Нами рассмотрен относительно простой безвакуумный вариант с целью его практического, возможно, широкого использования. Кроме того, для практики важны измерения КТ в их реальном для приборного использования состоянии. При этом важно знать условия консервации свойств в реальной структуре и, возможно, отбора партий КТ по параметрам их состояния в конкретной среде исполнения и хранения.

Одной из проблем использования СТМ является состояние поверхности квантовых точек. При этом использование вакуумных условий эта проблема решается лишь частично. Но главное состоит в том, что, как показывает анализ литературы, этот вопрос для квантовых точек практически не изучен. Перенесение же знаний и моделей, известных для макро- и микроструктур, на квантовые точки в принципе неверно. Частица с размером своей грани в несколько межатомных расстояний, не взаимодействует с чужеродными атомами и молекулами так же, как большая поверхность. Кроме того, как правило, грани квантовой точки атомарно (или молекулярно) защищены десорбентом.

В нашем случае исследуются явления эмиссии электронов из КТ в нанозазор и их инжекции в КТ из него. Процесс принципиально происходит поэлектронно, то есть электроны пролетают последовательно один за другим. При этом электрон находит себе оптимальный «путь», создавая ток в замкнутой цепи, а получаемые результаты измерений сами собой ответят на вопрос о корректности применения метода и аппаратуры.

Методика исследования

Рассматриваемая методология основана на исследовании комплекса физических величин, вычисляемых решением системы взаимосвязанных аналитических и числовых соотношений, получаемых из измеряемых параметров вольтамперных характеристик.

Коллоидные квантовые точки синтезированы в НИИ прикладной акустики по технологии, описанной в работах [13], [14]. Качество полученных КТ предварительно контролировалось оптическими свойствами на спектрофлуориметре Fluorolog (Horiba) и спектрофотометре Cary 5000 (Varian). Размеры наночастиц измерялись методом динамического светорассеяния с помощью прибора MalvernZetasizer и электронно-микроскопического ТЕМ-исследования на просвечивающем микроскопе Libra-120. Измерения проводились на монослоях квантовых точек, сформированных методами капельного нанесения на подложку и сушки коллоидного раствора, а также формирования слоя на поверхности водной субфазы по технологии Ленгмюра-Блоджетт и переноса его на твердую подложку.

Исследования ВАХ полученных образцов проводились с помощью сканирующего зондового микроскопа СЗМ SOLVERNano.

Перед исследованием ВАХ отдельной наночастицы проводилось сканирование поверхности пленки в режиме стабилизированного тока и анализа СТМ-образа (3D-топограммы) поверхности. Используемый платиново-иридиевый зонд был изготовлен методом электрохимического травления, позволяющим получить радиус кривизны кончика зонда порядка 10 nm.

После анализа полученного СТМ-образа поверхности макро-образца на нём выбиралось не менее 10 точек для снятия ВАХ. В автоматическом режиме измерялись не менее 15 ВАХ на точку. По воспроизводимости результатов измерений отбирались точки с устойчивыми характеристиками, после чего проводились усреднения измеренных ВАХ. Результаты измерений обрабатывались по общепринятым методикам сканирующей зондовой микроскопии полупроводниковых наноструктур [5], [15].

Анализ ВАХ проводился методом построения кривых в разных координатах с использованием программы Excel и сопоставления значений достоверности аппроксимации. При этом использованы построения в координатах ($\mathrm{Ln}I \sim \mathrm{Ln}V$),($\mathrm{Ln}I \sim V$),($\mathrm{Ln}I \sim 1/V$), как это принято для полупроводниковых структур [16], [17]. ВАХ при транспорте электронов на том или ином её участке лимитируется одним из процессов – перезарядкой наноконденсатора, эмиссией электрона из КТ или зонда, инжекцией и пролётом электрона в КТ. При этом для гарантированного проявления эмиссионно-инжекционного механизма тока измерения проводились при условии создания ненулевого нанозазора d_0 зонд-образец, который обеспечивался манипуляциями положения зонда и заданием определённых значений тока и напряжения. Контроль величин зазора d_0 проводился по ВАХ эмиссии из зонда методом, описанным в книге [18] и наших работах [7], [16], [19]. Измерения и обработка данных проводились для зазоров четырёх вариантов в интервале от 1до 10 нм. Все основные данные приведены для варианта минимального зазора (1–2) нм. При этом в расчётах принято значение $d_0 \sim 1.5$ нм. Метод минимального зазора гарантирует наблюдение туннельных процессов и большее число контролируемых параметров, в отличие от эмиссионных при больших зазорах.

Эквивалентную схему измеряемых образцов можно представить как замкнутый через источник питания контур, содержащий последовательно соединённые наноконденсаторы квантовой точки и зазора зонд-образец. Исследуемые динамические ВАХ определяются электронным транспортом в виде эмиссии, инжекции, пролёта электрона, перезарядки наноконденсатора ($C \sim 10^{-19}$ Ф). Величины заряда при этом можно выразить через ток и время транспорта $Q \sim It$. Максимальные величины тока в экспериментах $\sim 10^{-8}$ А при напряжении ~1 В. Оценка времени пролёта электрона с минимальной (тепловой) скоростью в наноразмерной дистанции даёт величины $t < 10^{-12}$ с, а максимального времени перезарядки наноконденсатора $t \sim (3e)^{-1}RC \sim (V/I)C < 5 \cdot 10^{-11}$ с. Это означает, что одновременно в цепи транспортируются единичные электроны, то есть транспорт происходит поэлектронно. Кроме того, квантовая точка является глубокой потенциальной ямой для электронов, препятствуя за счёт кулоновского взаимодействия транспорту более одного из

них. Таким образом, важным методическим моментом является рассмотрение транспорта как одноэлектронного (поэлектронного) процесса.

Наиболее важные данные сведены в таблице 1. Обозначение InSb* соответствует измерениям при повышенной температуре – 363 К.

Результаты измерений и их обсуждение

На участке напряжения V до 200 мВ для всех образцов при полярности «плюс» на образце ВАХ с высокой степенью достоверности аппроксимации (не хуже 0.995) соответствовали формуле $I \sim R^{-1}V^m$. При этом m=1±0,05. Найденные из ВАХ средние для каждого образца значения R были в пределах (0,08–0,13) GΩ. Полученные характерные зависимости ВАХ и анализ структуры наноконденсатора зонд-образец позволяют считать, что этой области ВАХ соответствует процесс одноэлектронной перезарядки наноконденсатора. Рассчитанные по ВАХ и формуле $I \sim q(C_Q R)^{-1}$ значения ёмкости наноконденсатора C_0 для минимального зазора – $(4–6)10^{-19}$F, и практически не зависели от параметров квантовых точек, в частности, таких как значительно отличающиеся величины диэлектрической проницаемости и параметры размерного квантования. Это может свидетельствовать о том, что определяющий (лимитирующий) вклад в процесс тока в рассматриваемом интервале напряжения вносит последовательно соединённый с самой квантовой точкой наноконденсатор зазора d_0 между зондом и КТ. По измерениям было установлено также, что с увеличением зазора d_0 найденные по ВАХ значения ёмкости, как и должно быть, пропорционально уменьшались.

Расчёт поля по уравнению Пуассона в модели точка-плоскость даёт его экспоненциальное распределение на плоскости по радиусу окружности от центра в проекции точки так, что её диаметр $d_1 \sim (2{,}7\cdot 2)d_0$. Ёмкость зазора d_0 – $C_0 \sim \varepsilon_0 d_0 (d_1/d_0)^2 \sim 3\cdot 10^{-19} d_0$. Тогда, по значению $C_0 \sim (4–6)10^{-19}$F можно определить величину зазора – $d_0 \sim (1{,}3 – 2)$ нм.

Достоверность и применимость модели наноконденсатора с зазором зонд-образец проверялась с использованием анализа ВАХ эмиссии электронов из зонда (полярность потенциалов – минус на зонде). Это позволяло сравнивать механизмы эмиссии и определять величины зазора, в том числе и минимальную – для начала эмиссии. Явления эмиссии из металлов подробно изучены [17], [18]. ВАХ для неё хорошо интерпретируется формулой Фаулера-Нордгейма. Для всех образцов и вариантов были построены зависимости ВАХ в координатах Фаулера-Нордгейма и определены величины зазора d_0 для четырёх групп измерений на каждом образце – от 0 до 10 нм. Было найдено минимальное значение (начала эмиссии в зазор) – 1–2 нм.

Для всех образцов при полярности «минус» на образце в интервале величин напряжения от 0,2 до 0,5 В ВАХ хорошо аппроксимировались зависимостью $I \sim D\exp(-B_{T1}/V)$, (рис. 1), которая интерпретируется механизмом туннелирования электронов с приповерхностных уровней полупроводника [18]. О туннельном механизме свидетельствует также и слабая температурная зависимость параметра B_{T1} (графики 1 и 3 на рис. 1). Сравнение с расчётной формулой для эмиссии электронов в полупроводнике с приповерхностных уровней позволяет получить выражение для $B_{T1} \sim 8\pi\psi^{3/2}(2m)^{1/2}(qhE)^{-1}F(E,\psi)$, где: E – напряжённость электрического поля на поверхности образца, ψ – величины барьера для электронов при эмиссии, $F(E,\psi)$ – поправочная табулированная функция Нордгейма, определяемая по величине (от 0 до 1) уменьшением работы выхода за счёт сил изображения (эффект Шоттки) – при величинах поля менее (наш случай) 10^6В/см $F \sim 1$ [19]. При этом полупроводниковая специфика эмиссии функционально выражена в параметре D, который слабо зависит от E. Полагая, как обоснованно принимается [7], [18], $E \sim V/d_0$, получится для параметра B_{T1}:

$$B_{T1} \sim 3{,}5 d_0 (m/m_0)^{1/2}\, \psi^{3/2} \qquad (1)$$

где: d_0– величина зазора между зондом и образцом в размерности [нм], ψ– [эВ].

В табл. 1 представлены найденные по ВАХ (рис. 1) усреднённые значения величин B_{T1med} для всех образцов. Усреднение проводилось по 10–20 измерениям, максимальные отклонения от среднего не превышали ±30%.

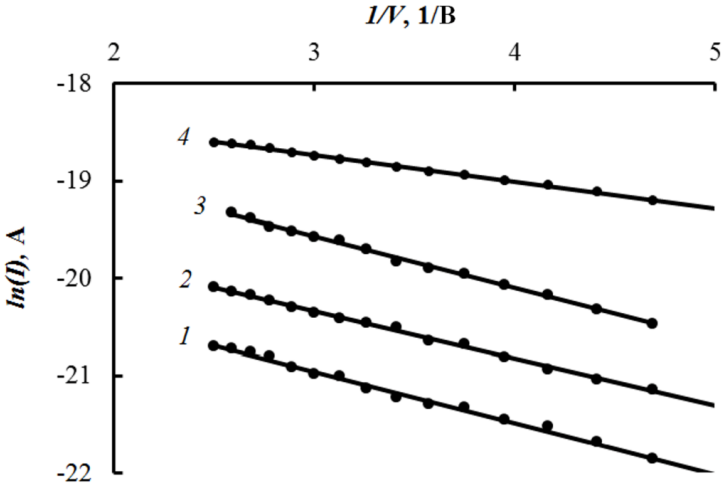


Рис.1 – ВАХ в координатах ln(I)–1/V («минус» на образце):
1 – InSb* (363 K); *2* – CdSe; *3* – InSb; *4* – PbS

Таблица 1 – Сводка данных

Полупров	E_g, эВ	m/m_0	$\varepsilon/\varepsilon_0$	d, нм	B_{T1med}, V	m/m_0 эксп	B_{T2med} 1/V	d,эксп нм
CdSe	1,74	0,13	9,5	2-4	0,43	0,13	5,5	3,8
PbS	0,41	0,07	20*	4-5	0,35	0,06	6,0	4,0
InSb	0,18	0,02	18	4-5	0,53	0,04	2,2	4,2
InSb*					0,51		2,3	
CdS*	2,40	0,20	8,9	1-2				

На рис. 2 приведены примеры зависимости $(dI/dV)/(I/V)$ от V, используемые для оценки плотности состояний [21], [22], для конкретных образцов.

В приближении квазинепрерывного спектра электронов в зоне проводимости, для случая прямоугольного потенциального барьера туннелирования, с учётом того, что плотность состояний вблизи уровня Ферми в узкозонном полупроводнике практически постоянна, выражение для дифференциала величин туннельного тока может быть представлено в виде, аналогичном случаю металлов [21], [22]: $dI \propto \rho_s(Є)dЄ$, где: ρ_s– плотность состояний в материале исследуемого образца. В этом случае функция $(dI/dV)/(I/V)$, которую в литературе иногда называют дифференциальной туннельной проводимостью, определяется плотностью состояний ρ_s в энергетическом спектре полупроводника. Зависимость $(dI/dV)/(I/V)$ от V представляется двумя острыми пиками слева и справа от нуля. Пик справа от нуля соответствует дну зоны проводимости, а слева – потолку валентной зоны. Ноль соответствует положению уровня Ферми. Расстояние между пиками равно ширине запрещённой зоны с добавками на падение напряжения в образце, которое может быть существенно из-за возможного электронного обеднения приповерхностной зоны полупроводника. Экспериментально описанная картина наблюдается и для относительно широкозонных полупроводников, например, для n-GaAs [23].

В случае квантоворазмерных полупроводниковых частиц использование этого метода проблематично и требует специального теоретического анализа. Однако, мы предположили его применение в случаях, когда описанная картина наблюдается экспериментально. Такие конкретные примеры приведены на рис. 2. Для них найдены значения параметра B_{T1} (табл. 1) и по формуле (1) рассчитаны величины параметра m/m_0. При этом за величины ψ приняты значения V пиков, справа от нуля (рис. 2) в предположении, что они определяют энергию от уровня Ферми до первого уровня размерного квантования в КТ. В этом случае предполагается, что процесс туннелирования лимитируется преодолением электроном этого потенциального барьера, а не самим прямым туннелированием (термин «прямое туннелирование» применён в работе [17]). Такой расчёт привёл к примерно одинаковым значениям для всех вариантов m/m_0~0.04, что существенно отличается от соответствующего параметра полупроводников, но могло бы свидетельствовать о том, что для квантовых точек размерное ограничение движения в них электрона может принципиально определять их квантовые свойства. Однако, возможен другой вариант объяснения.

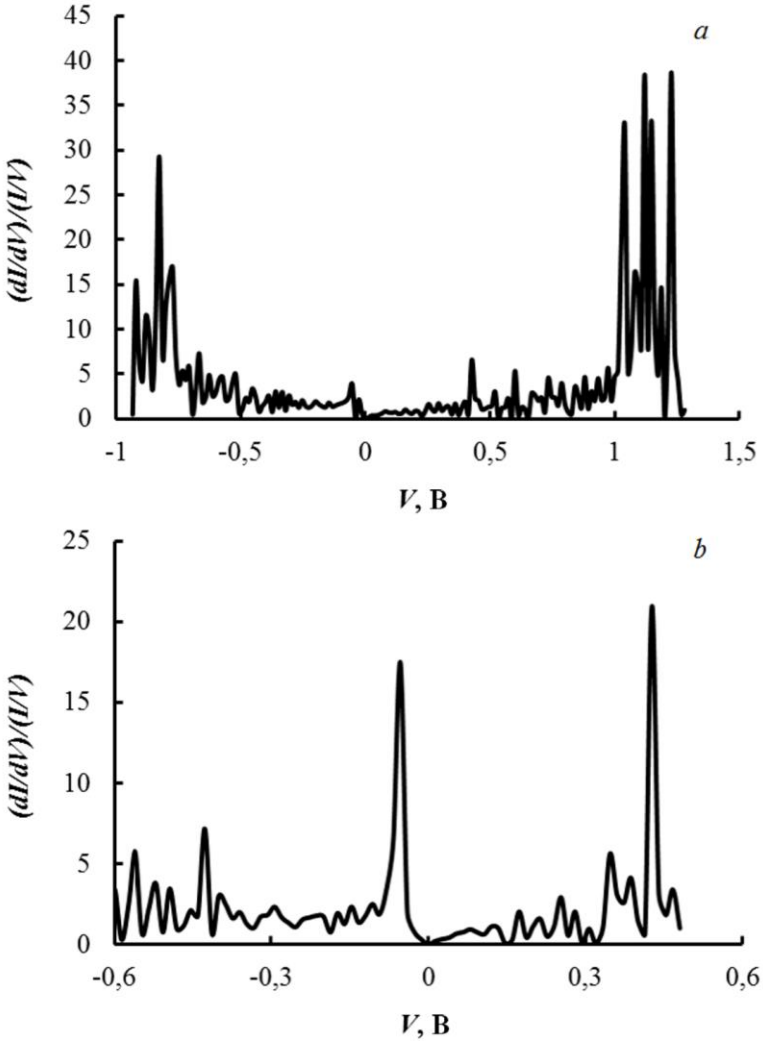


Рис. 2 – Примеры характеристик дифференциальной туннельной проводимости для образцов:
a– InSb; *b* – CdSe

В квантовой точке, в силу размерно ограниченного резонансного движения в ней электронов и их кулоновского взаимодействия, равновесных электронов проводимости может быть единицы или даже – не быть совсем. Это означает, что для них не действует статистика Ферми и тогда ошибочно считать энергию потенциального барьера ψ от уровня Ферми. В этом случае за величину ψ можно принять разницу всего энергетического интервала на рис. 2 и ширины запрещённой зоны полупроводника. Рассчитанные таким образом значения m/m_0 хорошо соответствовали их величинам для объёмных полупроводников (табл. 1).

Эффективная масса электрона – фундаментальное свойство полупроводника, отражающее его зонную структуру и кристаллическое совершенство. Для коллоидных квантовых точек, кристаллизуемых самопроизвольным синтезом в равновесных термодинамических условиях, этот параметр имеет принципиальное значение в этой связи. То, что полученные значения m/m_0 (табл. 1) сопоставимы с данными для объёмных полупроводников, может свидетельствовать о высоком структурном совершенстве конкретных КТ и применимости к ним макро-модели туннелирования.

На рис. 3 приведены ВАХ для интервала V>0,5 В. Кривые хорошо аппроксимировались формулой $I \sim \exp(B_{T2}V)$. Температурная зависимость параметра B_{T2} при этом практически отсутствует (графики 1 и 2 на рис. 3). Всё это свидетельствует в пользу механизма прямого туннелирования из потенциальной ямы как барьера. В этом случае можно воспользоваться теоретическим рассмотрением процесса туннелирования через область пространственного заряда (ОПЗ) перехода металл-полупроводник [17], [24]: $B_{T2} \sim 2\pi[(4m\varepsilon)/(9h^2N)]^{1/2}$, где N – концентрация заряда в ОПЗ, которая в нашем случае может быть выражена как d^{-3}. Тогда, формула примет вид:

$$B_{T2} \sim 0{,}63(m/m_0)^{1/2}(\varepsilon/\varepsilon_0)^{1/2}(d)^{3/2} \qquad (2)$$

Зная параметр B_{T2} (из рис. 3, в табл. 1 – усреднённые значения B_{T2med}), по этой формуле можно найти значения размера d конкретной квантовой точки (точнее – линейный размер ограниченного резонансного движения электрона в КТ), используя известные или найденные параметры m/m_0 и $\varepsilon/\varepsilon_0$ (табл 1). При этом, на самом деле, проверяется соответствие (сходимость) найденных значений всех параметров. В данном случае не подтвердилось только табличное высокое значение статической диэлектрической проницаемости для PbS – 170, но при этом получено для КТ этого полупроводника значение 20 (в таблице помечено как 20*), из расчета величины её размера 4 нм. Наблюдаемая разница в величинах диэлектрической проницаемости, скорее всего, объясняется влиянием оболочки, материал которой CdS имеет сильно отличающееся значение $\varepsilon/\varepsilon_0$ для КТ-PbS и – одинаковые для КТ-CdSe (табл. 1)

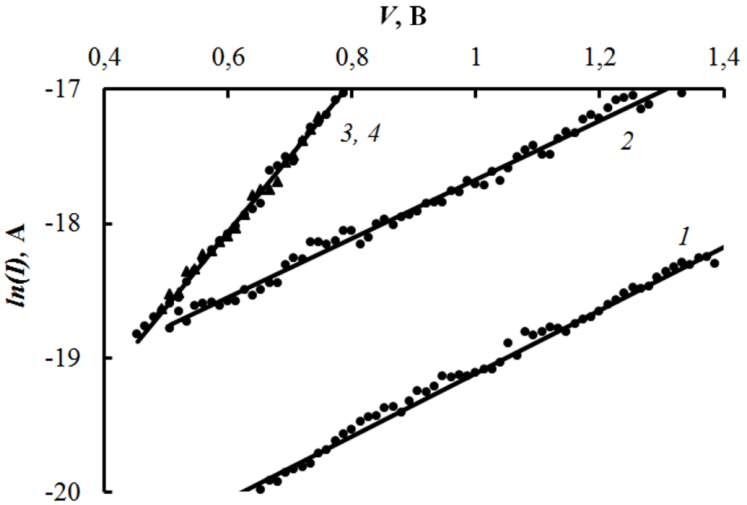


Рис. 3 – ВАХ в координатах ln(*I*)–*V* («минус» на образце):
1 – InSb* (363 К); *2* – InSb; *3* и *4* – CdSe и PbS (совпали)

На рис. 4 приведены ВАХ в линейных координатах, типичные для образцов при их полярности «плюс». Видно, что ВАХ имеют особенности в виде провала и нестабильного тока в них для образцов КТ PbS (*1*) и КТ InSb (*3*). Для одноэлектронного процесса транспорта в полупроводниковых квантовых точках это проявление подобно кулоновской щели на ВАХ, возникающей при кулоновской блокаде в квантовой точке [25], [26]. При этом должно выполняться условие $V>V_{Q\mathrm{crit}}=q(n+1/2)/C_Q$, где n –число блокирующих электронов в квантовой точке. Приняв форму КТ как шар, её ёмкость можно выразить формулой $C \sim 2\pi\varepsilon d \sim 0.5\cdot10^{-19} d(\varepsilon/\varepsilon_0)$ и получить расчётные значения для КТ-PbS и КТ-InSb:~(40-50)$\cdot10^{-19}$ Ф. Используя эти формулы, значение ёмкости для КТ и зазора ($5\cdot10^{-19}$ Ф), параметры d и $\varepsilon/\varepsilon_0$ (табл. 1, для КТ-PbS – 20) и значения критического напряжения (рис. 4), можно вычислить величины числа блокирующих электронов в квантовой точке: для КТ-PbS – 1; и КТ-InSb – 3.

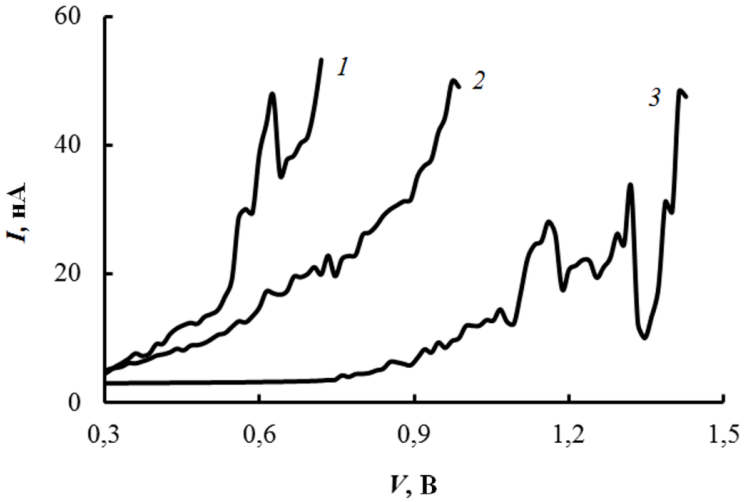


Рис. 4 – ВАХ («плюс» на образце):
1 – PbS; *2* – CdSe; *3* – InSb

Важным методическим моментом исследования является доказательство воспроизводимости и сходимости результатов. Первое проверено многократными измерениями ВАХ (более 25), вычислением параметров B_{T2} и B_{T1} и построением гистограмм (рис. 5), из которых следует, что их медианные отклонения от максимума не превышают ±20%., а для 85% измерений отклонения от среднего не превышают ±10%. При этом, уровень невоспроизводимости, наиболее вероятно, определяется разбросом размеров КТ и зазора. Сходимость результатов можно определить соответствием совокупных измерений параметров их известным значениям для рассматриваемых полупроводников.

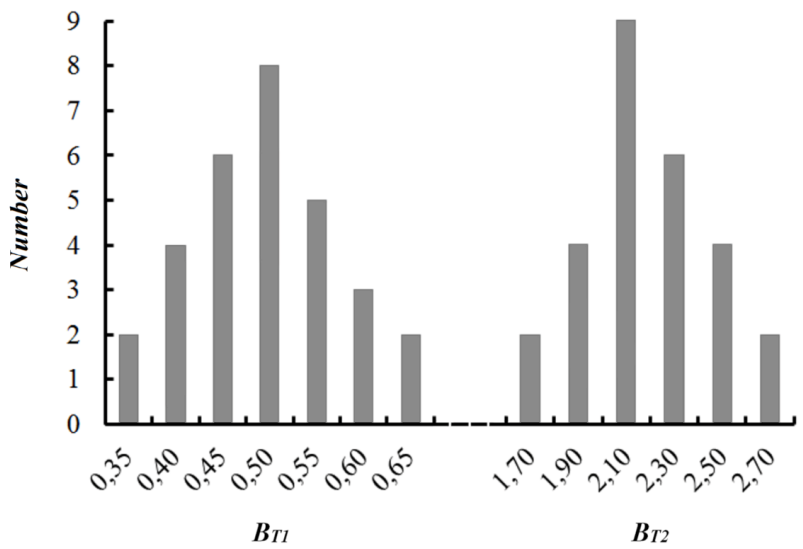


Рис. 5 – Гистограмма распределения для параметров B_{T1} и B_{T2}

Заключение

Сканирующий зондовый микроскоп – единственный метод, позволяющий измерять и исследовать электрофизические свойства отдельных наночастиц. Исследования вольт-амперных характеристик при этом дают возможность получать ряд присущих им параметров и проводить их сопоставления со свойствами объёмных полупроводников.

На основании исследований туннельно-эмиссионных ВАХ коллоидных квантовых точек CdSe, PbS, InSb и модели одноэлектронного (поэлектронного) транспорта определены важнейшие параметры для КТ – эффективная масса электрона, диэлектрическая проницаемость, энергия потенциального барьера туннелирования, линейный размер квантово ограниченного резонансного движения электрона (как размер квантовой точки).

Сопоставления полученных параметров КТ с аналогичными для объёмных полупроводников показывает их хорошее соответствие, что может свидетельствовать как о правомерности полученных параметров для квантовых точек, так и о принципиальной возможности использования для них моделей и свойств объёмных полупроводников.

Измерения на выбранных отдельных наночастицах должны быть статистически обработаны, чтобы получить данные об их массиве. Полученные, как предварительные данные, результаты на большом количестве однотипных измерений (не менее 25) показывают удовлетворительные соответствия по средним значениям и разбросам параметров и засорённостью «плохими» КТ не более 25%.

На основании полученных данных и продолжения исследования возможно создание метода и установки для контроля основных параметров квантовых точек в реальных (производственных) условиях.

Финансирование

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта 19-07-00087-а.

Funding

The study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research within the framework of the scientific project 19-07-00087-a.

Благодарности

Авторы благодарны Дежурову С.В. за изготовление образцов квантовых точек.

Acknowledgement

The authors are grateful to S. V. Dezhurov for making samples of quantum dots.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Ежовский Ю.К. Физические основы полупроводникового материаловедения / Ю.К. Ежовский, О.В. Денисова, В.Н. Воронцов и др. – СПб.: СЗТУ, 2005. – 117 с.

2. Ковтун Г.П. Наноматериалы: технологии и материаловедение / Г.П. Ковтун, А.А.Верёвкин. – Харьков: ННЦ ХФТИ, 2010. – 73 с.

3. Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2016» / Отв. ред. И.А. Алешковский, А.В. Андриянов, Е.А. Антипов. Секция "Журналистика", подсекция "Масс-медиа в России и мире" [Электронный ресурс]. — М.: МАКС Пресс, 2016. — https://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov_2016/data/section_33_8298.htm. (дата обращения: 12.07.2021)

4. Algar W. R. Beyond labels: a review of the application of quantum dots as integrated components of assays, bioprobes, and biosensors utilizing optical transduction / W. R. Algar, A. J. Tavares, U. J. Krull // AnalyticaChimicaActa. – 2010. – V. 673. – № 1.– P. 1–25.

5. Рыков. С. А. Сканирующая зондовая микроскопия полупроводниковых материалов и наноструктур / С. А. Рыков. – СПб.:Наука, 2001. – 52 с.

6. Hamers R. J.Methods of Tunneling Spectroscopy with the STM, from Scanning Probe Microscopy and Spectroscopy: Theory, Techniques, and Applications / R. J. Hamers, D. F. Padowitz. – New York: Wiley-VCH, 2001.

7. Zhukov N. D. Mechanism and features of field emission in semiconductors / N.D. Zhukov, A.I. Mikhailov, D.S.Mosiyash // Semiconductors. – 2019. – V. 53. – № 3. – P. 321–325.

8. Жуков Н. Д. Локально-эмиссионная инжекция в микрозерна поверхности полупроводников $A^{III}B^{V}$ / Н. Д. Жуков, Е. Г. Глуховской, А. А. Хазанов // ФТП. – 2016. – Т. 50. – № 7. – С. 772–776

9. García de Arquer F. Field-emission from quantum-dot-in-perovskite solids / F. García de Arquer, X. Gong, R. Sabatini et al. // Nature Communications. – 2017. – V. 8. – P. 14757–14765.

10. Hummon M. R.Measuring charge trap occupation and energy level in CdSe/ZnS quantum dots using a scanning tunneling microscope / M. R. Hummon, A. J. Stollenwerk, V. Narayanamurti // Phys. Rev. B, – 2010. – V. 81. – P. 115439–115447.

11. Morgenstern M. Graphene Quantum Dots Probed by Scanning Tunneling Microscopy/ M. Morgenstern, N.Freitag, A.Nent, et al. // Annalen der Physik.– 2017. – V. 529. – № 11. – P. 1700018–1700027.

12. БургановаЛ.Р. Метрологическое обеспечение измерений линейных параметров нанообъектов / Л.Р. Бурганова, А.Ф. Дресвянников // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15. – № 7. – С. 339–342.

13. Крыльский Д.В.Синтез, состав, фотолюминесценция, стабильность свойств коллоидных квантовых точек на основе антимонида индия / Д.В. Крыльский, Н.Д. Жуков // Письма в ЖТФ, – 2019. – Т. 45. – № 16. – С. 10–13.

14. Дежуров С.В. Синтез высокостабильных коллоидных квантовых точек CdTeSe/CdS, CdZnS/ZnS, флуоресцирующих в БлИК-диапазоне 650–750 нм / С.В. Дежуров, А.Ю. Трифонов, М.В. Ловыгин, и др. // Российские нанотехнологии. – 2016. – Т. 11. – № 5–6. – С. 54–59.

15. Алексеев П. А. Диагностика материалов методами сканирующей зондовой микроскопии / П.А. Алексеев, И.Е. Кононова, А.И. Максимов, и др. – СПб.: Изд-во СПб ГЭТУ «ЛЭТИ», 2017. – 172 с.

16. Жуков Н.Д. Механизмы тока в слоях электроосажденных субмикронных полупроводниковых частиц / Н.Д. Жуков, Д.С.Мосияш, И.В. Синёви др. // Письма в ЖТФ.– 2017. – Т. 43. – № 24. – С. 71–79.

17. Гольдман Е.И. Прямое туннелирование электронов в структурах Al−n+-Si−SiO2−n-Si в режиме нестационарного обеднения поверхности полупроводника основными носителями заряда / Е.И. Гольдман, Ю.В. Гуляев, А.Г. Ждан, и др. // ФТП. – 2010. – Т. 44. – № 8. – С. 1050–1052.

18. Егоров Н. В. Автоэлектронная эмиссия. Принципы и приборы / Н. В. Егоров, Е. П. Шешин. – М.: Интеллект, 2011. – 704 с.

19. Mikhailov A. I. Methodology of analyzing the InSb semiconductor quantum dots parameters / A. I. Mikhailov, V. F. Kabanov, M. V. Gavrikov // Nanosystems: Physics, Chemistry, Matematics. – 2019. – V. 10. – № 6. – P. 720–724.

20. Жуков Н.Д.Локальная эмиссионная спектроскопия микрозерен поверхности полупроводников $A^{III}B^{V}$ / Н.Д. Жуков, Е.Г. Глуховской,Д.С. Мосияш // ФТП.– 2016. – Т. 50. – № 7. – С. 911–917.

21. Миронов В. Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии / В. Л. Миронов. – М.: Техносфера, 2005. – 110 с.

22. Tersoff J. Method for the calculation of scanning tunneling microscope images and spectra / J. Tersoff. // Phys. Rev. – 1989. – V. 40. – № 17. – P. 11990–11994.

23. Feenstra R. M. Recent developments in scanning tunneling spectroscopy of semiconductor surfaces / R. M. Feenstra, V. Ramachandran, H. Chenes // Appl. PhysA. – 2001. – V. 72. – P. 193–199.

24. Милнс А. Гетеропереходы и переходы металл–полупроводник / А. Милнс, Д. Фойхт. М.: Мир. 1975. – 432 с.

25. KurzmannA. Optical Detection of Single-Electron Tunneling into a Semiconductor Quantum Dot / A. Kurzmann, P. Stegmann, J. Kerski et al. // Physical Reviev Letters. – 2019. – V. 122. – P. 247403–247409.

26. Wasshuber Ch. About Single-Electron Devices and Circuits: dissertation 11.02.89/ Wasshuber Christoph. – Wien: 1997. – 137p.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Yezhovsky Yu. K. Fizicheskie osnovy poluprovodnikovogo materialovedenija [Physical foundations of semiconductor materials science] / Yu. K. Yezhovsky, O. V. Denisova, V. N. Vorontsov, et al. - St. Petersburg: NWTU, 2005 – 117 p. [in Russian]

2. Kovtun G. P. Nanomaterialy: tekhnologii i materialovedenie [Nanomaterials: technologies and materials science] / G. P. Kovtun, A. A. Verevkin. - Kharkiv: National Science Center Kharkiv Institute of Physics and Technology, 2010. - 73 p. [in Russian]

3. Materialy Mezhdunarodnogo molodezhnogo nauchnogo foruma «LOMONOSOV-2016» [Materials of the International Youth Scientific Forum "LOMONOSOV-2016"] / Ed. I. A. Aleshkovsky, A.V. Andriyanov, E. A. Antipov. Section "Journalism", subsection " Mass media in Russia and the world" [Electronic resource]-Moscow: MAKS Press, 2016. — URL: https://lomonosov-msu.ru/ archive/Lomonosov_2016/data/section_33_8298.htm. (accessed: 12.07.2021) [in Russian]

4. Algar W. R. Beyond labels: a review of the application of quantum dots as integrated components of assays, bioprobes, and biosensors utilizing optical transduction / W. R. Algar, A. J. Tavares, U. J. Krull // AnalyticaChimicaActa. – 2010. – V. 673. – № 1.– P. 1–25.

5. Rykov. S. A. Skanirujushhaja zondovaja mikroskopija poluprovodnikovykh materialov i nanostruktur [Scanning probe microscopy of semiconductor materials and nanostructures] / S. A. Rykov. - SPb.:Nauka, 2001 – 52 p. [in Russian]

6. Hamers R. J.Methods of Tunneling Spectroscopy with the STM, from Scanning Probe Microscopy and Spectroscopy: Theory, Techniques, and Applications / R. J. Hamers, D. F. Padowitz. – New York: Wiley-VCH, 2001.

7. Zhukov N. D. Mechanism and features of field emission in semiconductors / N.D. Zhukov, A.I. Mikhailov, D.S.Mosiyash // Semiconductors. – 2019. – V. 53. – № 3. – P. 321–325.

8. Zhukov N. D. Lokal'no-ehmissionnaja inzhekcija v mikrozerna poverkhnosti poluprovodnikov $A^{III}B^{V}$AIIIBV [Local emission injection into micrograins of the surface of semiconductors AIIIBV] / N. D. Zhukov, E. G. Glukhovskaya, A. A. Khazanov // FTP. - 2016. - Vol. 50. - No. 7. - pp. 772-776 [in Russian]

9. García de Arquer F. Field-emission from quantum-dot-in-perovskite solids / F. García de Arquer, X. Gong, R. Sabatini et al. // Nature Communications. – 2017. – V. 8. – P. 14757–14765.

10. Hummon M. R.Measuring charge trap occupation and energy level in CdSe/ZnS quantum dots using a scanning tunneling microscope / M. R. Hummon, A. J. Stollenwerk, V. Narayanamurti // Phys. Rev. B, – 2010. – V. 81. – P. 115439–115447.

11. Morgenstern M. Graphene Quantum Dots Probed by Scanning Tunneling Microscopy/ M. Morgenstern, N.Freitag, A.Nent, et al. // Annalen der Physik.– 2017. – V. 529. – № 11. – P. 1700018–1700027.

12. Burganova L. R. Metrologicheskoe obespechenie izmerenijj linejjnykh parametrov nanoob"ektov [Metrological support of measurements of linear parameters of nanoobjects] / L. R. Burganova, A. F. Dresvyannikov // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta [Bulletin of the Kazan Technological University]. - 2012. - Vol. 15. - No. 7. - pp. 339-342 [in Russian]

13. Krylsky D. V. Sintez, sostav, fotoljuminescencija, stabil'nost' svojjstv kolloidnykh kvantovykh tochek na osnove antimonida indija [Synthesis, composition, photoluminescence, stability of properties of colloidal quantum dots based on indium antimonide] / D. V. Krylsky, N. D. Zhukov // Pis'ma v ZhTF [Applied Physics Letters], - 2019. - Vol. 45. - No. 16. - pp. 10-13 [in Russian]

14. Dezhurov S. V. Sintez vysokostabil'nykh kolloidnykh kvantovykh tochek CdTeSe/CdS, CdZnS/ZnS, fluorescirujushhikh v BlIK-diapazone 650–750 nm [Synthesis of highly stable colloidal quantum dots CdTeSe/CDs, CdZnS/ZnS, fluorescing in the glare range of 650-750 nm] / S. V. Dezhurov, A. Yu. Trifonov, M. V. Lovygin, et al. // Rossijjskie nanotekhnologii [Russian nanotechnologies]. - 2016. - Vol. 11. - No. 5-6 – pp. 54-59 [in Russian]

15. Alekseyev P. A. Diagnostika materialov metodami skanirujushhejj zondovojj mikroskopii [Diagnostics of materials by scanning probe microscopy methods] / P. A. Alekseev, I.E. Kononova, A. I. Maksimov, et al – St. Petersburg: Publishing house of Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI", 2017. - 172 p. [in Russian]

16. Zhukov N. D. Mekhanizmy toka v slojakh ehlektroosazhdennykh submikronnykh poluprovodnikovykh chastic [Mechanisms of current in layers of electrodeposited submicron semiconductor particles] / N. D. Zhukov, D. S.Mosiyash, I. V. Sinevi et al. // Pis'ma v ZhTF [Applied Physics Letters]. - 2017. - Vol. 43. - No. 24. - pp. 71-79 [in Russian]

17. Goldman E. I. Prjamoe tunnelirovanie ehlektronov v strukturakh Al−n+-Si−SiO2−n-Si v rezhime nestacionarnogo obednenija poverkhnosti poluprovodnika osnovnymi nositeljami zarjada [Direct tunneling of electrons in Al−n+-Si−SiO2−n-Si structures in the mode of non-stationary depletion of the semiconductor surface by the main charge carriers] / E. I. Goldman, Yu. V. Gulyaev, A. G. Zhdan, et al. // FTP [Semiconductors/Physics of the Solid State]. - 2010. - Vol. 44. - No. 8. - pp. 1050-1052 [in Russian]

18. Egorov N. V. Avtoehlektronnaja ehmissija. Principy i pribory [Auto-electronic emission. Principles and devices] / N. V. Yegorov, E. P. Sheshin. - M.: Intellekt, 2011 – 704 p. [in Russian]

19. Mikhailov A. I. Methodology of analyzing the InSb semiconductor quantum dots parameters / A. I. Mikhailov, V. F. Kabanov, M. V. Gavrikov // Nanosystems: Physics, Chemistry, Matematics. – 2019. – V. 10. – № 6. – P. 720–724.

20. Zhukov N. D. Lokal'naja ehmissionnaja spektroskopija mikrozeren poverkhnosti poluprovodnikov AIIIBV [Local emission spectroscopy of micrograins of the surface of semiconductors $A^{III}B^{V}$] / N. D. Zhukov, E. G. Glukhovskaya, D. S. Mosiyash // FTP [Semiconductors/Physics of the Solid State]. - 2016. - Vol. 50. - No. 7. - pp. 911-917 [in Russian]

21. Mironov V. L. Osnovy skanirujushhejj zondovojj mikroskopii [Fundamentals of scanning probe microscopy] / V. L. Mironov. - M.: Tekhnosfera, 2005. - 110 p. [in Russian]

22. Tersoff J. Method for the calculation of scanning tunneling microscope images and spectra / J. Tersoff. // Phys. Rev. – 1989. – V. 40. – № 17. – P. 11990–11994.

23. Feenstra R. M. Recent developments in scanning tunneling spectroscopy of semiconductor surfaces / R. M. Feenstra, V. Ramachandran, H. Chenes // Appl. PhysA. – 2001. – V. 72. – P. 193–199.

24. Milnes A. Geteroperekhody i perekhody metall–poluprovodnik [Heterojunctions and metal-semiconductor transitions] / A. Milnes, D. Feucht. Moscow: Mir. 1975 – 432 p. [in Russian]

25. KurzmannA. Optical Detection of Single-Electron Tunneling into a Semiconductor Quantum Dot / A. Kurzmann, P. Stegmann, J. Kerski et al. // Physical Reviev Letters. – 2019. – V. 122. – P. 247403–247409.

26. Wasshuber Ch. About Single-Electron Devices and Circuits: dissertation 11.02.89/ Wasshuber Christoph. – Wien: 1997. – 137p.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.110.8.005

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБУЧАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Научная статья

Акчурина В.Д.[1, *], Князев В.Н.[2]

[1, 2] Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

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

Аннотация

В статье рассматриваются актуальные вопросы разработки автоматизированной обучающей системы (АОС) по школьному курсу физики с применением технологии дополненной реальности. Научная новизна заключается в разработке модифицированного алгоритма формирования расширенной модели освоения учебного материала, который отличается от известных тем, что он позволяет учитывать не только иерархическую модель учебного материала, но и эффективно строить индивидуальные траектории изучения материала при построении гипертекста АОС. Данное программное средство, реализующее предложенный модифицированный алгоритм формирования расширенной модели освоения учебного материала, зарегистрировано в Федеральном институте промышленной собственности (ФИПС) [14].

В рамках АОС создано мобильное приложение для лабораторного практикума с использованием технологии дополненной реальности. Главной задачей мобильного приложения является создание виртуальной площадки для проведения физических опытов по разделу «Механика», что должно помочь учащимся лучше понять учебный материал по школьной программе и подкрепить теоретические знания практическими навыками.

Полученные результаты используются в АОС по школьному курсу физики в рамках образовательной онлайн-платформы Experiment, выполняемой IT-компанией ООО «СЕТАП».

Ключевые слова: автоматизированная обучающая система, технология дополненной реальности, мобильное приложение, исследование, модель освоения учебного материала.

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED LEARNING SYSTEM USING AUGMENTED REALITY TECHNOLOGY

Research article

Akchurina V.D.[1, *], Knyazev V.N.[2]

[1, 2] Penza State University, Penza, Russia

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

Abstract

The article deals with topical issues of the development of an automated learning system for a school physics course using augmented reality technology. The scientific novelty lies in the development of a modified algorithm for the formation of an extended model of mastering educational material, which differs from the known ones in that it allows taking into account not only the hierarchical model of the educational material but also effectively building individual trajectories of studying the material when constructing the hypertext of the automated learning system. This software tool, which implements the proposed modified algorithm for forming an extended model of mastering educational material, is registered with the Federal Institute of Industrial Property [14].

Within the framework of the system, the study introduces a mobile application for a laboratory workshop using augmented reality technology. The main task of the mobile application is to create a virtual platform for conducting physical experiments in mechanics, which should help students better understand the educational material of the school curriculum and support their theoretical knowledge with practical skills.

The obtained results are used in the automated learning system for a school physics course within the framework of the online educational platform experiment developed by the IT company "SETUP" LLC.

Keywords: automated learning system, augmented reality technology, mobile application, research, model of learning material development.

Введение

Компьютерные информационные технологии и информатизация становятся все более неотъемлемой частью общественной жизни, включая и такую важную сферу как образование. В Российской Федерации приняты такие важные документы, как указ президента «Стратегия развития информационного общества в РФ на 2017-2030 годы» и программа цифровой экономики, в которых указаны наиболее значимые информационные технологии, включая технологии виртуальной и дополненной реальности, а также описана основная задача применения современных цифровых технологий в сфере образования [1], [2]. Значимость эффективного применения современных информационных технологий при обучении учащихся в основной и средней школе, в частности дистанционных образовательных технологий и электронного обучения, отмечается также в Федеральном законе «Об образовании в Российской Федерации» [3].

Из всего вышесказанного следует важность и актуальность такой задачи, как разработка автоматизированных обучающих систем (АОС) для всех этапов обучения, в частности средней школы. Вопросы разработки таких систем рассматриваются в рамках приведенной в этой статье работы. На данном этапе разработки предлагается расширенная

модель освоения учебного материала и разрабатывается лабораторный практикум по школьному курсу физики с использованием технологии дополненной реальности.

Вопросам разработки АОС посвящены многие работы, в частности работы [5], [7], [9], в которых отмечается, что важным критерием оценки эффективности применения АОС является то, как обучаемый осваивает предложенный ему учебный материал. В работе [9] описана одна из моделей освоения учебного материала. Однако одним из ее недостатков является то, что она применяется отдельно для учебных элементов только одного уровня, и при сложной иерархической структуре учебного материала это вызывает определенные трудности при ее применении. К тому же указанная модель должна быть согласована с другими, например, с моделью содержания учебного материала, из-за чего возникают дополнительные трудности при ее использовании.

Обзор литературы по локальным вопросам формирования модели освоения учебного материала показывает, что указанная модель [9] либо используется без изменений, либо модифицируется, но не учитывает иерархическую структуру учебного материала.

Так, например, в работе [10] описывается построение модели освоения учебного материала для обучающей системы по теме «Рекурсия. Файлы. Динамические структуры данных».

В работе [11] приводится построение модели освоения учебного материала на примере разработки учебного курса по теме «Основы теории вероятностей: события, алгебра событий, вероятность».

В работе [12] модель освоения учебного материала используется для формирования модели содержания, и предлагается модель навигации на основе рейтинга обучаемого.

В работе [13] модель [9] фигурирует в обзоре как «Модель Соловова».

В данной работе предлагается расширенная модель освоения учебного материала, лишенная описанных выше недостатков [14], [16], [18].

Научная новизна исследования заключается в разработке модифицированного алгоритма формирования расширенной модели освоения учебного материала, включающего дополнительные структуры данных и их обработку. Расширенная модель освоения учебного материала отличается от известных тем, что позволяет комплексно учитывать иерархическую структуру учебного материала и эффективно реализовывать варианты траекторий изучения материала при построении гипертекста АОС.

В состав этой модели входят такие структуры, как матрицы уровней, отношений очередности и логических связей учебных элементов, последовательность изучения учебных элементов, граф логических связей учебных элементов. Процесс ее построения происходит в четыре этапа:

1) формирование матрицы отношений очередности учебных элементов с учетом уровней учебных элементов;

2) обработка матрицы отношений очередности и построение последовательности изучения учебного материала в виде списка учебных элементов;

3) формирование матрицы логических связей учебных элементов;

4) построение графа логических связей учебных элементов.

Этапы 1 и 3 носят неформальный характер и могут выполнятся на основе анализа учебного материала. Матрицы отношений очередности A и логических связей учебных элементов B являются квадратными с размер равному количеству учебных элементов n:

$$A[i,j]: i = 1..n, j = 1..n; B[i,j]: i = 1..n, j = 1..n.$$

Первым делом строятся ячейки матриц и их строки и столбцы нумеруются в соответствии с возрастанием учебных элементов. После этого построчно ячейки матриц заполняются нулями и единицами.

При заполнении ячеек матрицы отношений очередности определяют простое бинарное отношение очередности между двумя рассматриваемыми учебными элементами. Единица ставится в ячейку в том случае, если учебный элемент с номером, совпадающим с номером строки, должен изучаться после учебного элемента с номером, совпадающим с номером столбца. В ином случае в ячейку записывается значение ноль.

$$A[i,j] = \begin{cases} 1, \text{если элемент } i \text{ изучается после } j \\ 0 \text{ в противном случае} \end{cases}.$$

Все ячейки, находящиеся на главной диагонали матрицы отношений очередности, заполняются единицами. При правильном заполнении симметричные относительно главной диагонали ячейки матрицы должны иметь противоположные значения (если в одной из них стоит единица, в другой должен находиться ноль и наоборот). Следовательно, неформальному анализу парных отношений очередности можно подвергать лишь левый нижний или правый верхний треугольник матрицы, заполняя оставшуюся ее часть противоположными значениями на основе свойства антисимметрии.

Затем заполняется матрица логических связей учебных элементов. В ней единица ставится ячейку при условии, что учебный материал элемента номер которого совпадает с номером строки, логически связан с учебным материалом элемента, номер которого совпадает с номером столбца.

$$B[i,j] = \begin{cases} 1, \text{если элемент } i \text{ логически связан с } j \\ 0 \text{ в противном случае} \end{cases}.$$

Составлять матрицу логических связей лучше всего опираясь на матрицу отношений очередности, исключая единицы из тех ячеек, у которых отсутствуют логические связи между элементами.

Процесс заполнения матриц удобнее вести с помощью таблицы учебных элементов и текстов учебных материалов, в этой таблице указанных. Анализ содержания учебного материала позволяет более объективно определять парные отношения очередности и логические связи между учебными элементами.

При составлении описанных выше матриц отношений очередности и логических связей, и, как следствие, на форму представления учебного материала свое влияние оказывают не только объективные, но и субъективные факторы, такие как вкусы и предпочтения разработчика обучающей системы, имеющиеся у него привычки, интуитивные представления, склад и форма мышления и т.д.

Итоговая последовательность изучения учебного материала во время пошаговой процедуры обучения определяется исходя из формальной обработки матрицы отношений очередности. Для этого производят суммирование элементов каждой строки матрицы:

$$S_i = \sum_{j=1}^{n} A[i,j].$$

Полученные результаты записываются в колонке, находящейся справа от матрицы. Эти значения указывают итоговые порядковые номера соответствующих учебных элементов в списке последовательности изучения учебного материала.

Для наглядности и простоты восприятия логические связи учебных элементов отображаются в виде ориентированного графа

$$G(V,E) = < V,E >, V \neq \emptyset, E \subset V \times V.$$

Этот граф строится по матрице логических связей учебных элементов, которую считают его транспонированной матрицей смежности. Лучше всего это граф располагать под списком последовательности учебных элементов, сохраняя при этом указанный в списке порядок освоения. Дуги разработанного графа логических связей отображают опорные связи между учебными элементами.

В качестве примера использования описанной выше расширенной модели освоения учебного материала далее будет приведено ее описание по учебному материалу раздела «Механика» из школьного курса физики.

Данный материал имеет следующую иерархическую структуру.

1. Статика. Определение
1.1. Равновесие тел. Определение
1.1.1. Момент силы
1.1.2. Условие равновесия тел
1.1.3. Виды равновесия
1.2. Гидростатика и аэродинамика. Определение
1.2.1. Основные понятия.
1.2.1.1. Давление жидкости и газов
1.2.1.2. Закон Паскаля
1.2.1.3. Сообщающиеся сосуды
1.2.1.4. Уравнение Бернулли
1.2.2. Закон Архимеда
1.2.2.1. Условия плавания тел
1.2.3. Гидравлические машины
2. Колебания и волны. Основные понятия
2.1. Механические колебания
2.2. Гармонические колебания
2.3. Резонанс
2.4. Автоколебания
2.5. Механические волны
2.6. Звуковые волны

Далее были выделены и пронумерованы следующие учебные элементы:

1 - Статика. Определение
2 - Равновесие тел. Определение
3 - Момент силы
4 - Условие равновесия тел
5 - Виды равновесия
6 - Гидростатика и аэродинамика. Определение
7 - Основные понятия
8 - Давление жидкости и газов
9 - Закон Паскаля
10 - Сообщающиеся сосуды
11 - Уравнение Бернулли
12 - Закон Архимеда
13 - Условия плавания тел
14 - Гидравлические машины
15 - Колебания и волны. Основные понятия
16 - Механические колебания

17 - Гармонические колебания
18 - Резонанс
19 - Автоколебания
20 - Механические волны
21 - Звуковые волны

Затем был построен граф отношений очередности учебных элементов с учетом их нумерации и их иерархической структуры (представлен на рисунке 1), а также сформированы таблица уровней учебных элементов (таблица 1), более подробно отражающая иерархический характер связей между учебными элементами, и матрица отношений очередности учебных элементов вместе с просчитанной итоговой последовательностью изучения учебного материала (таблица 2).

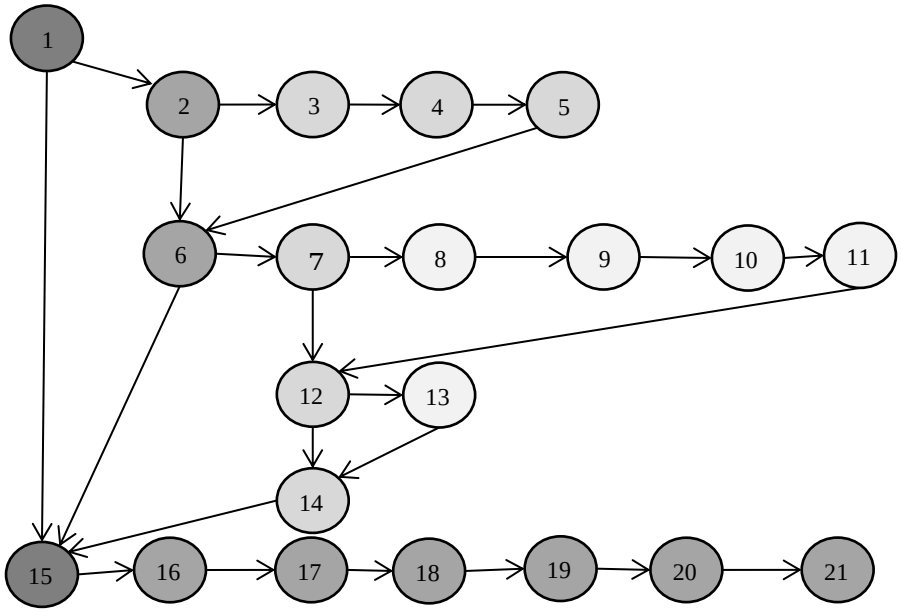


Рис. 1 – Граф отношений очередности учебных элементов

Таблица 1 – Таблица уровней учебных элементов

Номер вершины в графе i	Уровень	Номер вершины, определяющей уровень
1	1	-
2	2	1
3	3	2
4	3	2
5	3	2
6	2	1
7	3	6
8	4	7
9	4	7
10	4	7
11	4	7
12	3	6
13	4	12
14	3	6
15	1	-
16	2	15
17	2	15
18	2	15
19	2	15
20	2	15
21	2	15

Таблица 2 – Таблица отношений очередности учебных элементов

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	Сумма
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
3	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
4	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
5	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
6	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
7	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
8	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	13
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	14
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	15
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	16
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	17
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	18
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	19
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	20
21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	21

После этого было проведено формирование таблицы отношений логических связей учебных элементов, (см. таблицу 3) и построение на его основе искомого общего графа логических связей учебных элементов (см. рисунок 2), определяющего последовательность изложения материала в обучающей системе, все возможные варианты траекторий его изучения, а также логические связи при построении гипертекста.

Таблица 3 – Таблица отношений логических связей учебных элементов

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

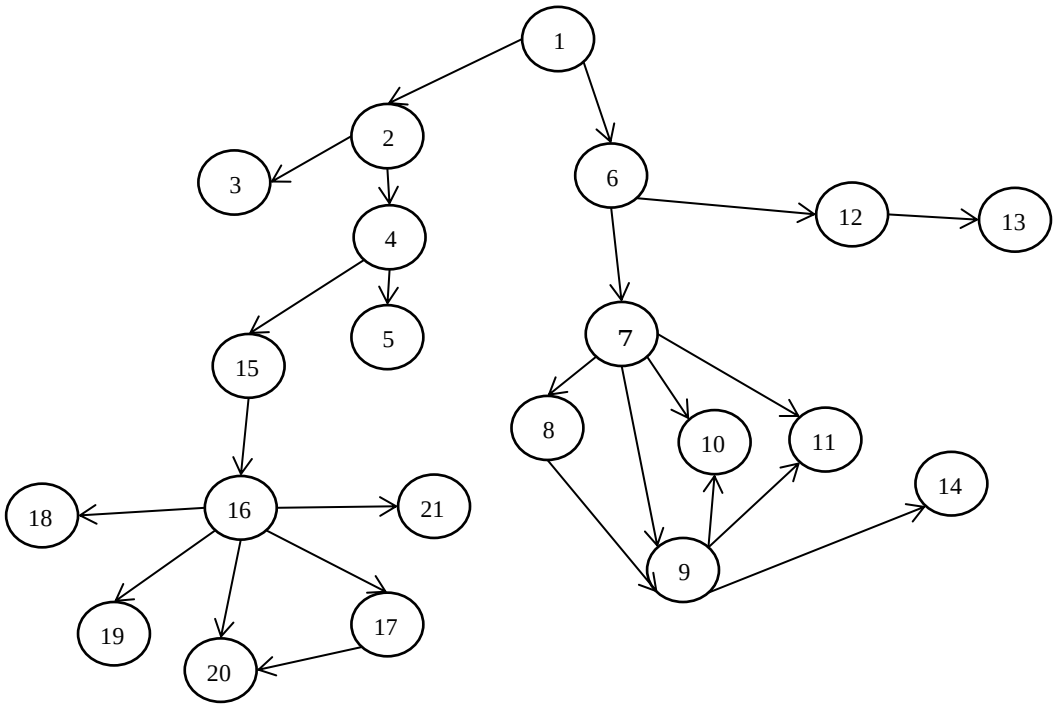


Рис. 2 – Общий граф отношений логических связей учебных элементов

Для формализации модифицированного алгоритма формирования расширенной модели была создана диаграмма деятельности, которую можно увидеть на рисунке 3, разработанный в рамках проектирования программного средства для автоматизации процесса построения этой модели. На языке C# в среде Visual Studio 2019 Community была написана программа, реализующая этот алгоритм.

На рисунке 4 приведен пример интерфейса для гипертекста АОС.

Кроме предложенной расширенной модели освоения учебного материала, одной из частей разрабатываемой АОС по курсу физики, существует лабораторный практикум с использованием технологии дополненной реальности, разработка которого ведется в настоящее время [19], [20], [21]. В работе [20] даны определения дополненной, виртуальной и смешанной реальности: «Дополненная реальность (augmented reality, AR) является результатом добавления в реальный мир мнимых объектов для отображения дополнительной информации и повышения восприятия информации. Дополненная реальность преображает реальный мир, а виртуальная реальность воспроизводит искусственный. На стыке виртуального и реального мира возникает смешанная реальность [19]».

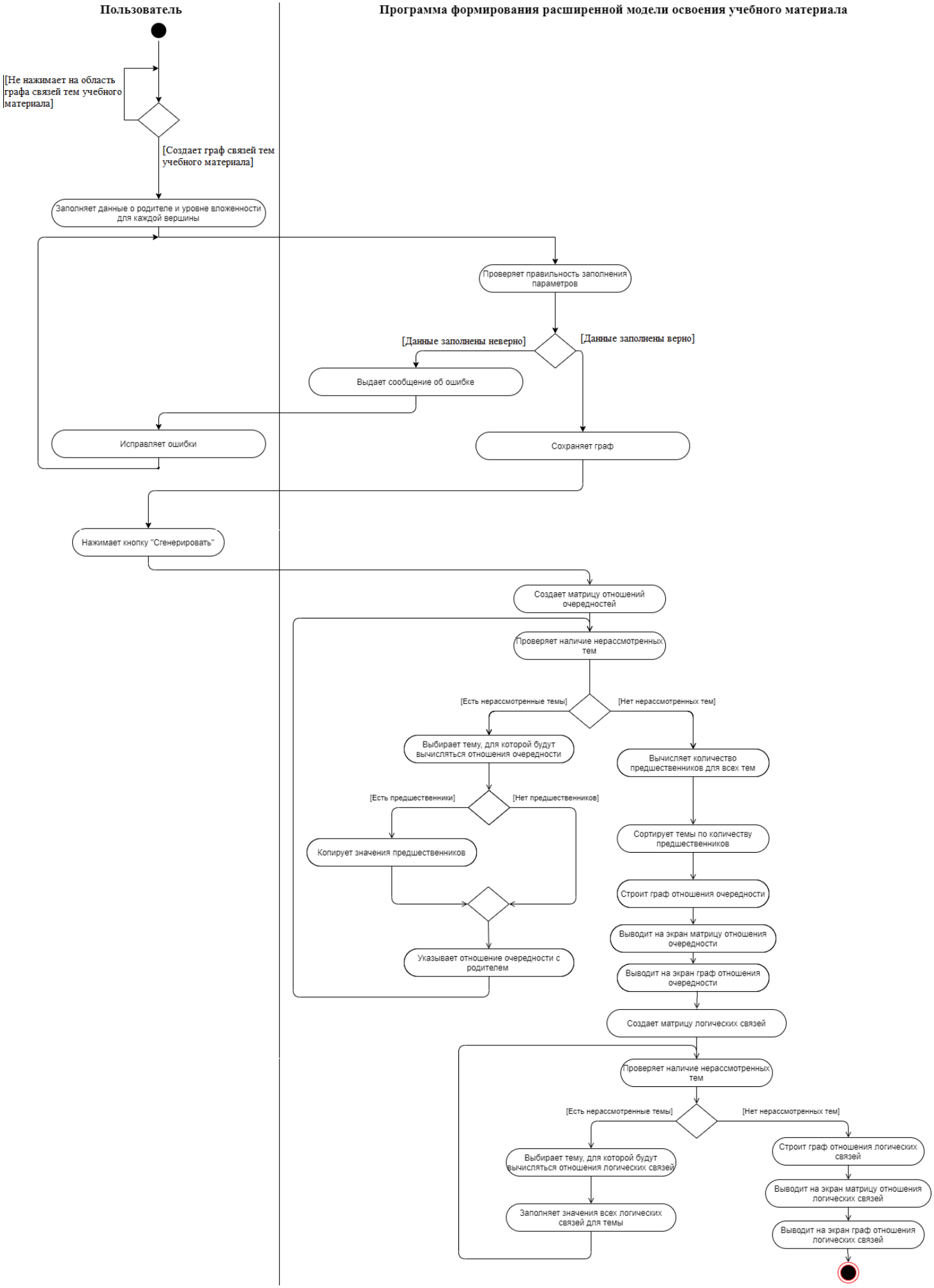


Рис. 3 – Диаграмма деятельности модифицированного алгоритма формирования расширенной модели

Главной целью разрабатываемого мобильного приложения является создание для школьников доступной виртуальной площадки, на которой они могут провести физические опыты по разделу «Механика». Она должна помочь им лучше разобраться в школьной программе и подкрепить свои теоретические знания практическими навыками.

АОС и лабораторный практикум с использованием технологии дополненной реальности реализовывались в среде разработки мобильных приложений Android Studio на языке Java.

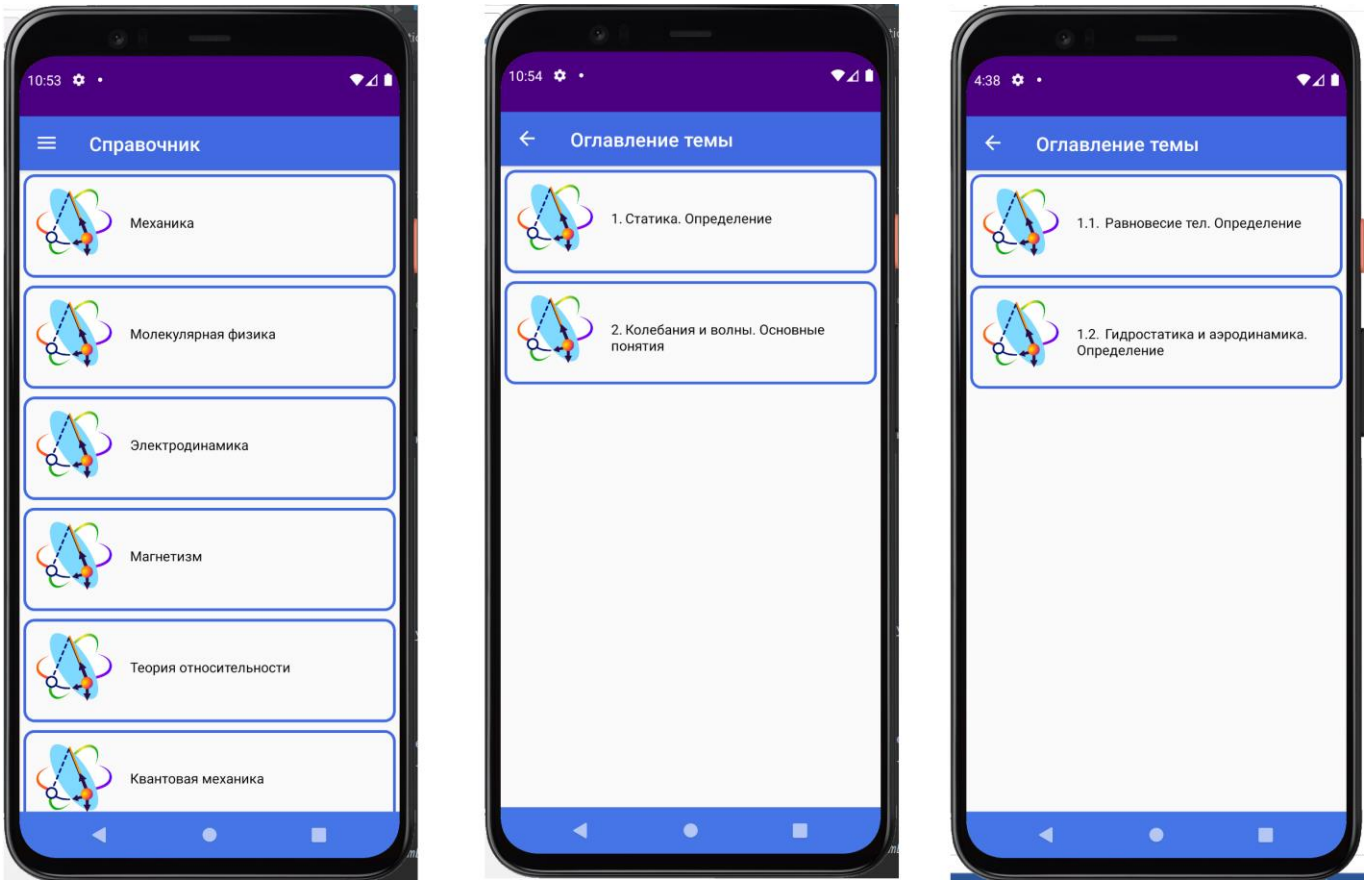


Рис. 4 – Пример интерфейса для гипертекста АОС

На рисунке 5 представлен пример работы мобильного приложения. Сначала смартфон с помощью средств распознавания изображения определяет поверхность, на которой можно расположить виртуальную лабораторную установку. Затем пользователь (ученик) выбирает конкретную область этой поверхности, к которой привязываются инструменты. После их загрузки пользователь может взаимодействовать с ними или с отдельными их частями, управляя объектами с помощью сенсорного экрана.

Рис. 5 – Иллюстрация работы мобильного приложения для АОС по курсу физики

Полученные результаты используются в АОС по школьному курсу физики в рамках образовательной онлайн-платформы Experiment, выполняемой IT-компанией ООО «СЕТАП».

Заключение

В результате проведенного исследования были рассмотрены актуальные вопросы разработки автоматизированной обучающей системы (АОС) по школьному курсу физики с применением технологии дополненной реальности. Научная новизна исследования заключается в разработке модифицированного алгоритма формирования расширенной модели освоения учебного материала, отличающегося от известных тем, что он позволяет комплексно учитывать иерархическую структуру учебного материала и эффективно реализовывать варианты траекторий изучения материала при построении гипертекста АОС. Программа, реализующая предложенный модифицированный алгоритм формирования расширенной модели освоения учебного материала, зарегистрирована в Федеральном институте промышленной собственности (ФИПС).

В рамках АОС разработано мобильное приложение для лабораторного практикума с использованием технологии дополненной реальности, главной задачей которого является предоставление школьникам виртуальной площадки для проведения физических опытов по разделу «Механика», что должно помочь им лучше понять школьную программу и подкрепить теоретические знания практическими навыками.

Разработанная АОС протестирована и ориентирована на повышение уровня мультимедийности и интерактивности процесса обучения по школьному курсу физики, что способствует улучшению качества учебного процесса.

Полученные результаты используются в АОС по школьному курсу физики в рамках образовательной онлайн-платформы Experiment, выполняемой IT-компанией ООО «СЕТАП».

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Распоряжение Президента Российской Федерации от 9 мая 2017 г. № 203 «Стратегия развития информационного общества в Российской Федерации на 2017 – 2030 годы». [Электронный ресурс]. – URL: http://zmedu.hostedu.ru/files/ykaz_7668.pdf (дата обращения: 16.04.2021).
2. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации». Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 г. № 1632-р. [Электронный ресурс]. – URL: http://static.government.ru/media/files/9gFM4FHj4PsB79I5v7yLVuPgu4bvR7M0.pdf (дата обращения: 16.04.2021).
3. Федеральный закон «Об образовании в Российской Федерации» № 273 – ФЗ от 29.12.2012 года с изменениями 2020 года. [Электронный ресурс]. – URL: http:// http://zakon-ob-obrazovanii.ru/ (дата обращения: 16.04.2021).
4. Кудинов, Д.Н. Перспективы разработки автоматизированных обучающих систем / Д.Н. Кудинов – СПб.: Проспект Науки, 2008. – 310 с.
5. Христочевский, С.А. Базовые элементы электронных учебников и мультимедийных энциклопедий / С.А. Христочевский – М.: Вики, 2009. - 497 с.
6. Алексеев, Г.В. Основы разработки электронных учебных изданий / Г.В. Алексеев, И.И. Бриденко, Е.И. Верболоз и др. – СПб.: Проспект Науки, 2010. – 450 с.
7. Тулупова, Т.В. Автоматизация проектирования обучающих систем / Т.В. Тулупова – Науковедение. – 2013. - № 5. – с. 1-8.
8. Аязбаев, Т.Л. Технология создания компьютерных обучающих программ / Т.Л. Аязбаев, Т.А. Галагузова – Международный журнал экспериментального образования. – 2015. - № 3 (часть 1). – с. 76-78.
9. Соловов, А.В. Проектирование компьютерных систем учебного назначения: Учебное пособие. / А.В. Соловов – [Электронный ресурс]. – URL: http://window.edu.ru/resource/488/3488 (дата обращения: 16.04.2021).
10. Черга, А.Г. Модель предмета в обучающих системах / А.Г. Черга, Н.Н. Дацун – [Электронный ресурс]. – URL: http://ea.donntu.org:8080/bitstream/123456789/24633/1/cherga.pdf (дата обращения: 17.07.2021).
11. Стенин, А.А. Модели и целевые показатели учебного процесса в автоматизированных обучающих системах / А.А. Стенин, Ю.А. Тимошин, Н.И. Домаскина и др. – [Электронный ресурс]. – URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/9962/1/17.pdf (дата обращения: 17.07.2021).
12. Маркова, И.А. Моделирование структуры учебного курса и индивидуальных траекторий его прохождения / И.А. Маркова – Вектор науки ТГУ. – 2013, № 3. – Тольятти, ТГУ, с. 443-445.
13. Силкина, Н.С. Обзор адаптивных моделей электронного обучения / Н.С. Силкина, Л.Б. Соколинский // Вестник ЮУрГУ. Серия: Вычислительная математика и информатика. 2016. Т. 5, No 4. С. 61–76.
14. Акчурина В.Д. Вопросы обучения курсу физики с использованием технологии дополненной реальности / В.Д. Акчурина, В.Н. Князев // Сборник научных статей Международной научной конференции «Наука. Исследования. Практика». – Санкт-Петербург, 2019. - с. 114-119.
15. Акчурина, В.Д. Вопросы разработки автоматизированной обучающей системы по школьному курсу физики с использованием технологии дополненной реальности / В.Д. Акчурина, В.Н. Князев // Сборник научных статей Международной научной конференции «Технические и естественные науки». – Санкт-Петербург, 2019. - с. 74-79.
16. Князев В.Н. Разработка автоматизированной обучающей системы с использованием технологии дополненной реальности / В.Н. Князев, В.Д. Акчурина // Сборник научных статей XII Международного молодежного конкурса научных работ «Молодежь в науке: новые аргументы». Липецк: Научное партнерство «Аргумент», 2019. - с. 59-68.
17. Акчурина, В.Д. Вопросы разработки автоматизированной обучающей системы по курсу физики / В.Д. Акчурина, В.Н. Князев // Сборник научных статей VII Всероссийской межвузовской научно-практической конференции: Информационные технологии в науке и образовании. Проблемы и перспективы. Под редакцией Л.Р. Фионовой. Пенза, Издательство ПГУ, 2020. С. 121-123.

18. Акчурина, В.Д. Программа формирования расширенной модели освоения учебного материала / В.Д. Акчурина, В.Н. Князев // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. № 2021612391. Заявка № 2020664015, дата поступления 3.11.2020 г., дата государственной регистрации 16.02.2021 г. – М., Федеральный институт промышленной собственности, 2021.

19. Джонатан, Л. Виртуальная реальность в Unity / Л. Джонатан – М.: ДМК Пресс, 2016 – 316 с.

20. Андрушко, Д.Ю. Применение технологий виртуальной и дополненной реальности в образовательном процессе: проблемы и перспективы / Д.Ю. Андрушко - Научное обозрение. – 2018. - № 6. – с. 5-10.

21. Иванько, А.Ф. Дополненная и виртуальная реальность в образовании / А.Ф. Иванько, М.А. Иванько, М.Б. Бурцева – Молодой ученый. – 2018. - № 37 (223). с. 11-16.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Rasporjazhenie Prezidenta Rossijskoj Federacii ot 9 maja 2017 g. № 203 «Strategija razvitija informacionnogo obshhestva v Rossijskoj Federacii na 2017 – 2030 gody» [Order of the President of the Russian Federation dated May 9, 2017 No. 203 "Strategy for the development of the information society in the Russian Federation for 2017 - 2030"]. [Electronic resource]. - URL: http://zmedu.hostedu.ru/files/ykaz_7668.pdf (accessed: 16.04.2021). [in Russian]

2. Programma «Cifrovaja jekonomika Rossijskoj Federacii». Utverzhdena rasporjazheniem Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 28 ijulja 2017 g. № 1632-r [Program "Digital Economy of the Russian Federation". Approved by the order of the Government of the Russian Federation dated July 28, 2017 No. 1632-r]. [Electronic resource]. - URL: http://static.government.ru/media/files/9gFM4FHj4PsB79I5v7yLVuPgu4bvR7M0.pdf (accessed: 04/16/2021). [in Russian]

3. Federal'nyj zakon «Ob obrazovanii v Rossijskoj Federacii» № 273 – FZ ot 29.12.2012 goda s izmenenijami 2020 goda [Federal Law "On Education in the Russian Federation" No. 273 - FZ dated December 29, 2012, as amended in 2020]. [Electronic resource]. - URL: http: // http://zakon-ob-obrazovanii.ru/ (accessed: 04/16/2021). [in Russian]

4. Kudinov, D.N. Perspektivy razrabotki avtomatizirovannyh obuchajushhih sistem [Prospects for the development of automated training systems] / D.N. Kudinov - SPb .: Prospekt Nauki, 2008 .-- 310 p. [in Russian]

5. Khristochevsky, S.A. Bazovye jelementy jelektronnyh uchebnikov i mul'timedijnyh jenciklopedij [Basic elements of electronic textbooks and multimedia encyclopedias] / S.A. Khristochevsky - M .: Viki, 2009 .-- 497 p. [in Russian]

6. Alekseev, G.V. Osnovy razrabotki jelektronnyh uchebnyh izdanij [Fundamentals of the development of electronic educational publications]. / G.V. Alekseev, I.I. Bridenko, E.I. Verboloz et al. - SPb .: Prospekt Nauki, 2010 .-- 450 p. [in Russian]

7. Tulupova, T.V. Avtomatizacija proektirovanija obuchajushhih sistem [Computer-aided design of training systems] / T.V. Tulupova // Naukovedenie [Science of Science]. - 2013. - No. 5. - p. 1-8. [in Russian]

8. Ayazbaev, T.L. Tehnologija sozdanija komp'juternyh obuchajushhih programm [Technology for creating computer training programs] / T.L. Ayazbaev, T.A. Galaguzova // Mezhdunarodnyj zhurnal jeksperimental'nogo obrazovanija [International Journal of Experimental Education]. - 2015. - No. 3 (part 1). - from. 76-78. [in Russian]

9. Solovov, A.V. Proektirovanie komp'juternyh sistem uchebnogo naznachenija [Design of computer systems for educational purposes]: Textbook. / A.V. Solovov - [Electronic resource]. - URL: http://window.edu.ru/resource/488/3488 (accessed: 04/16/2021). [in Russian]

10. Cherga, A.G. Model' predmeta v obuchajushhih sistemah [Model of a subject in training systems] / A.G. Cherga, N.N. Datsun - [Electronic resource]. - URL: http://ea.donntu.org:8080/bitstream/123456789/24633/1/cherga.pdf (accessed: 17.07.2021). [in Russian]

11. Stenin, A.A. Modeli i celevye pokazateli uchebnogo processa v avtomatizirovannyh obuchajushhih sistemah [Models and target indicators of the educational process in automated training systems] / A.A. Stenin, Yu.A. Timoshin, N.I. Domaskina et al. - [Electronic resource]. - URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/9962/1/17.pdf (accessed: 17.07.2021). [in Russian]

12. Markova, I.A. Modelirovanie struktury uchebnogo kursa i individual'nyh traektorij ego prohozhdenija [Modeling the structure of the training course and individual trajectories of its passage] / I.A. Markova // Vektor nauki TGU [Vector of Science of TSU]. - 2013, No. 3. - Togliatti, TSU, p. 443-445. [in Russian]

13. Silkina, N. S. Obzor adaptivnyh modelej jelektronnogo obuchenija [Review of adaptive models of e-learning] / N. S. Silkina, L. B. Sokolinsky // Vestnik JuUrGU. Serija: Vychislitel'naja matematika i informatika [Bulletin of SUSU. Series: Computational Mathematics and Computer Science]. 2016. Vol. 5, No. 4. pp. 61-76. [in Russian]

14. Akchurina, V.D. Voprosy obuchenija kursu fiziki s ispol'zovaniem tehnologii dopolnennoj real'nosti [Questions of teaching a course in physics using augmented reality technology] / V.D. Akchurina, V.N. Knyazev // Sbornik nauchnyh statej Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii «Nauka. Issledovanija. Praktika» [Collection of scientific articles of the International scientific conference “Science. Research. Practice"]. - Saint Petersburg, 2019 .-- p. 114-119. [in Russian]

15. Akchurina, V.D. Voprosy razrabotki avtomatizirovannoj obuchajushhej sistemy po shkol'nomu kursu fiziki s ispol'zovaniem tehnologii dopolnennoj real'nosti [Issues of developing an automated teaching system for a school physics course using augmented reality technology] / V.D. Akchurina, V.N. Knyazev // Sbornik nauchnyh statej Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii «Tehnicheskie i estestvennye nauki». [Collection of scientific articles of the International scientific conference "Technical and natural sciences"]. - Saint Petersburg, 2019 .-- p. 74-79. [in Russian]

16. Knyazev V.N. Razrabotka avtomatizirovannoj obuchajushhej sistemy s ispol'zovaniem tehnologii dopolnennoj real'nosti [Development of an automated training system using augmented reality technology / V.N. Knjazev, V.D. Akchurina // Sbornik nauchnyh statej XII Mezhdunarodnogo molodezhnogo konkursa nauchnyh rabot «Molodezh' v nauke: novye argumenty». Lipeck: Nauchnoe partnerstvo «Argument» [Collection of scientific articles of the XII International Youth Competition of Scientific Works "Youth in Science: New Arguments". Lipetsk: Scientific partnership "Argument"], 2019. - p. 59-68. [in Russian]

17. Akchurina, V.D. Voprosy razrabotki avtomatizirovannoj obuchajushhej sistemy po kursu fiziki [Questions of the development of an automated training system for the course of physics] / V.D. Akchurina, V.N. Knyazev // Sbornik nauchnyh statej VII Vserossijskoj mezhvuzovskoj nauchno-prakticheskoj konferencii: Informacionnye tehnologii v nauke i obrazovanii.

Problemy i perspektiv [Collection of scientific articles of the VII All-Russian interuniversity scientific and practical conference: Information technologies in science and education. Problems and Prospects]. Edited by L.R. Fio-nova. Penza, PSU Publishing House, 2020.S. 121-123. [in Russian]

18. Akchurina, V.D. Programma formirovanija rasshirennoj modeli osvoenija uchebnogo materiala [The program for the formation of an extended model of mastering educational material] / V.D. Akchurina, V.N. Knyazev // Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja JeVM. № 2021612391. Zajavka № 2020664015, data postuplenija 3.11.2020 g., data gosudarstvennoj registracii 16.02.2021 g [Certificate of state registration of a computer program. No. 2021612391. Application No. 2020664015, date of receipt 3.11.2020, date of state registration 02.16.2021] - M., Federal Institute of Industrial Property, 2021. [in Russian]

19. Jonathan L. Virtual'naja real'nost' v Unity [Unity Virtual Reality Project] / L. Jonathan – M.: DMKPress, 2016 – 316 p. [in Russian]

20. Andrushko, D.Yu. Primenenie tehnologij virtual'noj i dopolnennoj real'nosti v obrazovatel'nom processe: problemy i perspektivy [Application of virtual and augmented reality technologies in the educational process: problems and prospects] / D.Yu. Andrushko // Nauchnoe obozrenie [Scientific Review]. - 2018. - No. 6. - from. 5-10 [in Russian]

21. Ivanko, A.F. Dopolnennaja i virtual'naja real'nost' v obrazovanii [Augmented and virtual reality in education] / A.F. Ivanko, M.A. Ivanko, M.B. Burtseva // Molodoj uchenyj [Young scientist]. - 2018. - No. 37 (223). from. 11-16. [in Russian]

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.110.8.006

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВАКУУМНОЙ ПАНЕЛИ ЯЧЕИСТОЙ СТРУКТУРЫ

Научная статья

Балалаев А.Н.[1, *], Тимкин Д.М.[2]
[1] ORCID: 0000-0003-0839-6858;
[2] ORCID: 0000-0002-6627-2151;
[1, 2] Самарский университет путей сообщения, Самара, Россия

* Корреспондирующий автор (wagon.samgaps[at]mail.ru)

Аннотация

Предложена методика экспериментального определения удельного теплового сопротивления вакуумной теплоизоляции, найдены значения теплового сопротивления вакуумной панели ячеистой структуры при различной величине остаточного давления внутри панели. Составлена 3-D модель стенда для экспериментального определения удельного теплового сопротивления вакуумной теплоизоляции, выполнены тепловые исследования модели стенда в SolidWorks Simulation. С помощью метода конечных элементов определены значения теплового сопротивления модели вакуумной панели с учетом передачи тепла теплопроводностью и конвекцией. Расхождения в результатах теоретического и экспериментального определения теплового сопротивления вакуумной панели составили 7,9%.

Ключевые слова: вакуумная теплоизоляция, ячеистая структура, удельное тепловое сопротивление, экспериментальные исследования, теоретические исследования.

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDIES OF A VACUUM PANEL WITH A CELLULAR STRUCTURE

Research article

Balalaev A.N.[1, *], Timkin D.M.[2]
[1] ORCID: 0000-0003-0839-6858;
[2] ORCID: 0000-0002-6627-2151;
[1, 2] Samara State Transport University, Samara, Russia

* Corresponding author (wagon.samgaps[at]mail.ru)

Abstract

The current study proposes a method of experimental determination of the specific thermal resistance of vacuum thermal insulation, finds the values of the thermal resistance of a vacuum panel with a cellular structure at different values of the residual pressure inside the panel. The authors present a 3-D model of the stand for the experimental determination of the specific thermal resistance of vacuum thermal insulation and perform thermal studies of the stand model via SolidWorks Simulation. The values of the thermal resistance of the vacuum panel model are also determined using the finite element method, taking into account the heat transfer by thermal conductivity and convection. The differences in the results of the theoretical and experimental determination of the thermal resistance of the vacuum panel amount to 7.9%.

Keywords: vacuum thermal insulation, cellular structure, specific thermal resistance, experimental studies, theoretical studies.

Введение

Вакуумная теплоизоляция используется в криогенной и космической технике, однако, с появлением полимерных материалов повышенной прочности и технологий 3-D печати появилась возможность использования вакуумных панелей ячеистой структуры в самых разных отраслях техники.

В [1, С. 50] предложено использовать вакуумные панели сотового сечения в качестве несущих стен кузовов пассажирских и рефрижераторных железнодорожных вагонов, исследовались их прочностные, массовые и теплоизоляционные характеристики. В [2, С. 13] предложено разделить функции несущей конструкции и теплоизоляции у кузовов пассажирских вагонов, в которых вакуумные панели ячеистой структуры выполняли роль только теплоизоляции. Исследования теплоизоляционных свойств таких панелей в [2, С. 14, 15] выполнялось в SolidWorks Simulation с помощью метода конечных элементов с учетом передачи тепла за счет теплопроводности.

Исследования теплоизоляционных свойств экструдированных алюминиевых панелей с ребрами жесткости из полиамида проводилось в [3, С. 58-60] аналитическими методами с учетом передачи тепла теплопроводностью, радиацией и конвекцией. Внутреннюю полость таких панелей в [3, С. 58] было предложено вакуумировать до остаточного давления 1…3 кПа.

Экспериментальные исследования вакуумных панелей ячеистой структуры затруднены тем, что из-за большой величины удельного теплового сопротивления вакуумной теплоизоляции для использования стационарного теплового режима требуется длительное время выхода на режим, в течение которого необходимо поддерживать неизменные условия теплового режима. Этого недостатка лишен способ измерения удельного теплового сопротивления вакуумной теплоизоляции [4], основанный на использовании регулярного теплового режима.

Целью данной работы является экспериментальные исследования опытного образца вакуумной теплоизоляции по методу [4] и теоретические исследования 3-D модель стенда для экспериментального определения удельного теплового сопротивления вакуумной теплоизоляции в SolidWorks Simulation с помощью метода конечных элементов.

Методы и принципы исследования

Согласно способу измерения удельного теплового сопротивления вакуумной теплоизоляции [4], необходимо сформировать тепловой поток через два одинаковых эталонных объекта с малой величиной удельного теплового

сопротивления, например, через две квадратные медные пластины – см. рисунок 1. Это необходимо для равномерного распределения температуры в этих эталонных объектах и деления теплового потока на примерно равные части. С первым эталонным объектом совмещен равный по высоте и ширине исследуемый объект – опытный образец вакуумной пластины сотового сечения. Со вторым эталонным объектом совмещен равный по высоте и ширине третий эталонный объект с большой величиной удельного теплового сопротивления, например, пенополистирол с теплопроводностью λ_{et} = 0,037 Вт/(м К). Толщины третьего эталонного объекта и исследуемого объекта подбираются равными. Нагрев первого *2* и второго *5* эталонных объектов от нагревателя *1* (см. схему стенда на рисунке 1) осуществляется с помощью электрической спирали за счет радиационного теплообмена, поэтому потоки тепла через объекты *1* и *5* примерно равны. Однако, темпы повышения температуры эталонных объектов *1* и *5* может быть разной в зависимости от соотношений величин удельного теплового сопротивления третьего эталонного объекта *9* и исследуемого объекта *8*. Если удельное тепловое сопротивление третьего эталонного объекта *9* больше, чем у исследуемого объекта *8*, то темп нагрева второго эталонного объекта *5* должен быть выше, чем у первого эталонного объекта *2*. Сущность способа [4] заключается в том, что сначала для экспериментального стенда строится тарированная зависимость разности интервалов времени, в течение которых температура первого 2 и второго 5 эталонных объектов повышается на заданную величину, от отношения величин удельного теплового сопротивления третьего эталонного объекта *9* и вариантов четвертого эталонного объекта, который замещает исследуемый объект *8*.

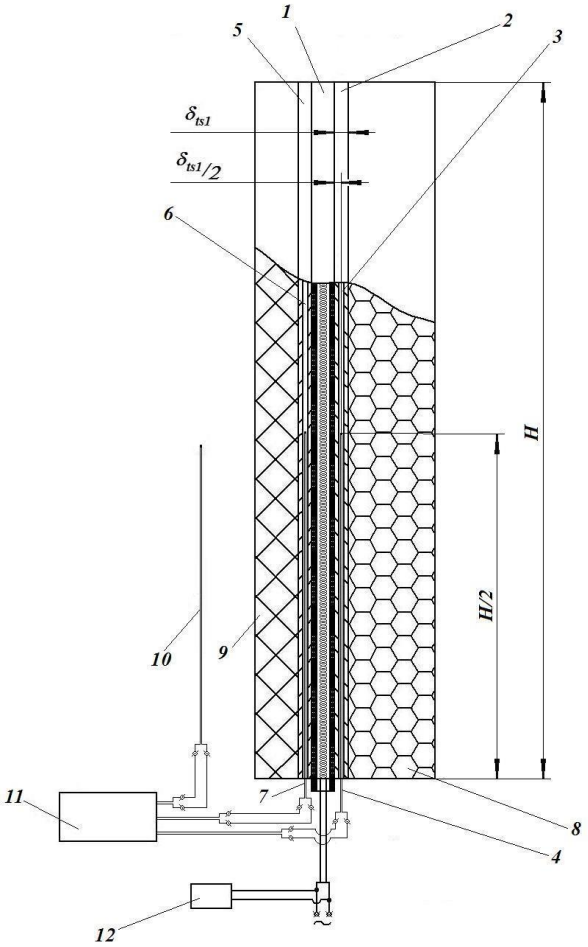


Рис. 1 – Схема стенда для измерения удельного теплового сопротивления вакуумной теплоизоляции:
1 – источник тепловой энергии; *2* – первый эталонный объект; *3* – паз в первом эталонном объекте; *4* – первый измеритель температуры; *5* – второй эталонный объект; *6* – паз во втором эталонном объекте; *7* – второй измеритель температуры; *8* – исследуемый объект; *9* – третий эталонный объект; *10* – третий измеритель температуры; *11* – электронный блок обработки измерения температуры; *12* – прибор измерения электрической мощности

Варианты четвертого эталонного объекта подбираются с такой же толщиной, что и толщины третьего эталонного объекта *9* и исследуемого объекта *8*, но с различными значениями коэффициента теплопроводности λ_{et4}. В этом случае отношение величин удельного теплового сопротивления третьего эталонного объекта *9* и вариантов четвертого эталонного объекта равно отношению $\lambda_{et4}/\lambda_{et}$, так как для однородных сплошных твердых тел удельное тепловое сопротивление *R* равно отношению толщины тела δ к коэффициенту теплопроводности λ.

Для измерения температур первого *2* и второго *5* эталонных объектов в них предусмотрены внутренние пазы *3* и *6*, в которых размещены измерители температуры *4* и *7* (термопары).

После получения тарированной зависимости стенда вместо четвертого эталонного объекта устанавливается исследуемый объект *8*, определяется разность интервалов времени повышения температуры первого *2* и второго *5* эталонных объектов на заданную величину, по этой разности из тарированной зависимости находится отношение удельного теплового сопротивления третьего эталонного объекта *9* к удельному тепловому сопротивлению исследуемого объекта *8* – R_{et}/R_x.

В ходе всех экспериментов необходимо поддерживать одинаковую температуру окружающей среды, контролируемую третьим измерителем температуры 10, и одинаковую электрическую мощность, подаваемую на электрическую спираль источника тепловой энергии *1*, и контролируемую прибором измерения электрической мощности *12*.

При построении тарированной зависимости стенда для четвертого эталонного объекта использовались материалы: бальза (λ_{et4} = 0,05 Вт/(м К)), резина (λ_{et4} = 0,14 Вт/(м К)), стекло (λ_{et4} = 0,75 Вт/(м К)), пластик *ABS* (λ_{et4} = 0,2256 Вт/(м К), у которых удельное тепловое сопротивление меньше, чем у третьего эталонного объекта – пенополистирола, то есть она справедлива только для области $R_{et}/R_x > 1$. Поэтому использование тарированной зависимости стенда в области $R_{et}/R_x < 1$ может привести к значительным погрешностям.

Для обоснования возможности использования тарированной зависимости стенда в области $R_{et}/R_x < 1$ была построена его 3-D модель, которая исследовалась с помощью метода конечных элементов в SolidWorks Simulation. Методика тепловых исследований вакуумной панели сотового сечения описана в [5, С. 50, 51, 120-122], однако, для моделирования работы экспериментального стенда потребовались некоторые изменения.

На рисунке 2 представлена модель стенда для измерения удельного теплового сопротивления объектов, где в качестве исследуемого объекта установлен четвертый эталон («Эталон 4») из материала «резина».

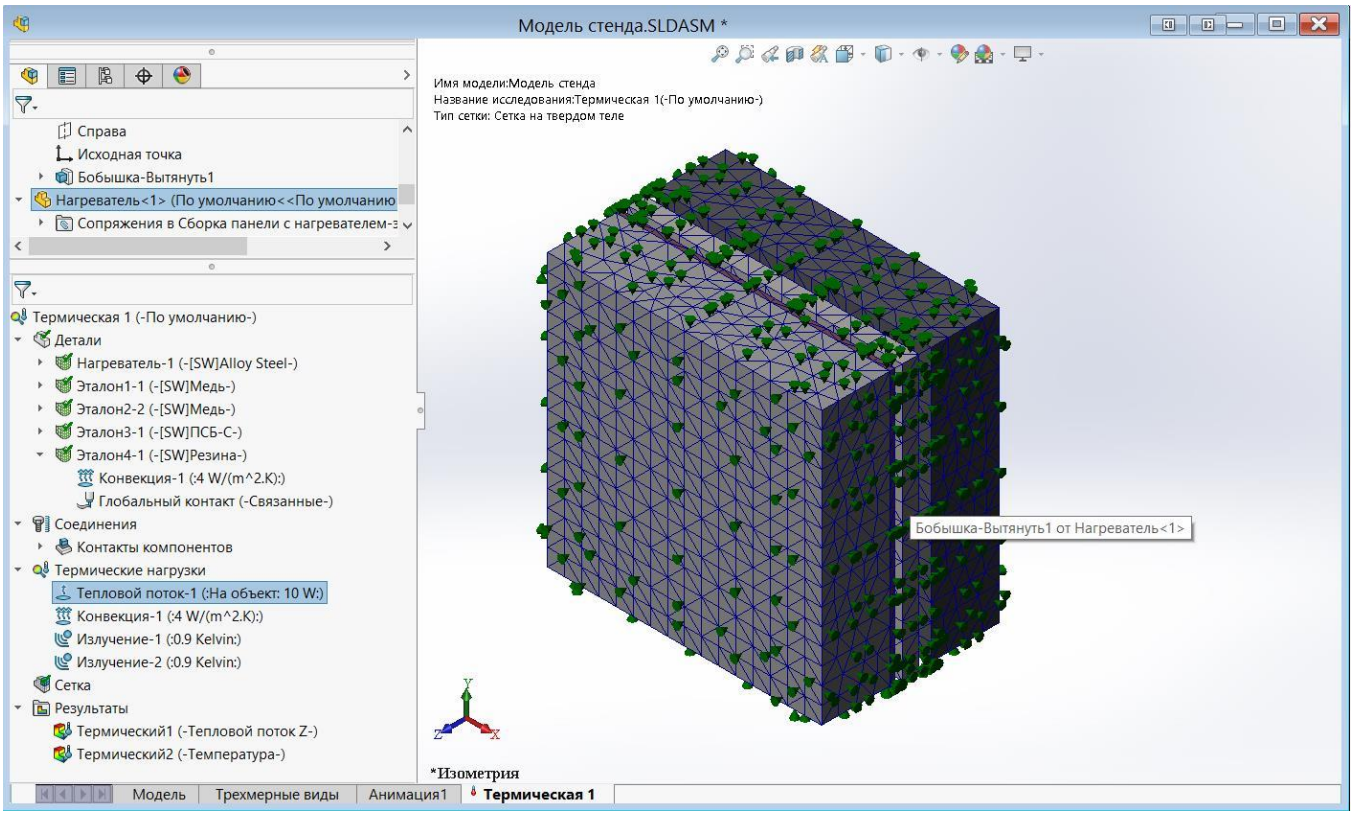


Рис. 2 – Модель стенда для измерения удельного теплового сопротивления объектов в тепловом исследовании SolidWorks Simulation

Как видно на рисунке 2, к модели нагревателя приложена нагрузка в виде тепловой мощности 10 Вт. Эта мощность тепловыделения расходуется на радиационное излучение в виде двух нагрузок: «Излучение 1» и «Излучение 2», для которых указаны грани нагревателя, первого эталона («Эталон 1») и второго эталона («Эталон 2»). Ко всем внешним граням приложена тепловая нагрузка типа «Конвекция», в которой заданы температура окружающей среды $T_н$ = 293 К и коэффициент теплоотдачи $\alpha_н$ = 4 Вт/(м^2 К).

На модели стенда (рисунок 1) построена сетка конечных элементов с максимальным размером Δ_{max} = 10 мм, минимальным размером Δ_{min} = 3 мм и числом конечных элементов 21473. Решающая программа Direct Sparse выполняет решение за 56 сек.

После получения результатов в виде эпюры удельного теплового потока в направлении оси *Z* и эпюры распределения температуры производится зондирование по всему «Эталону 4» для получения среднего значения удельного теплового потока W_Z и по двум граням «Эталона 4» для получения средних величин температуры на входе теплового потока T_{max} и на выходе теплового потока по оси Z – T_{min}. Если разделить разность температур (T_{max} - T_{min}) на величину W_Z, то получается значение удельного теплового сопротивления «Эталона 4».

Для модели стенда измерения удельного теплового сопротивления вакуумной панели методика теплового исследования в SolidWorks Simulation отличается добавлением тепловых нагрузок типа «Конвекция» для трех внутренних полостей вакуумной панели, как показано на рисунке 3. Чтобы задать эти нагрузки одна из стенок модели вакуумной панели переведена в режим «Прозрачный». При задании этих нагрузок для каждой внутренней полости задавались коэффициент теплоотдачи и температура воздуха. Приближенно, температуры воздуха в полостях рассчитывались последовательными приближениями в допущении линейного распределения температуры по толщине вакуумной панели.

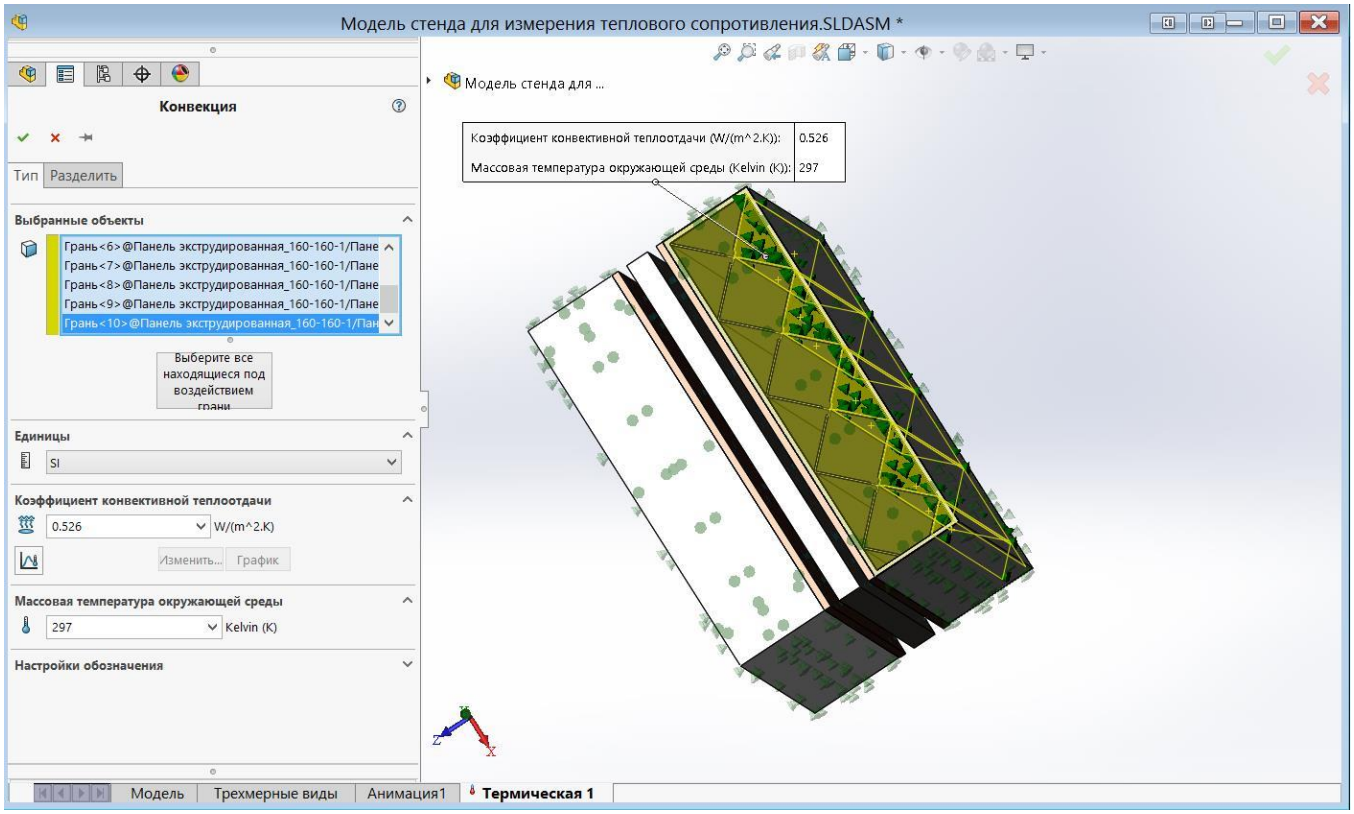


Рис. 3 – Нагрузка типа «Конвекция» для внутренних полостей вакуумной панели

Коэффициент теплоотдачи в полостях вакуумной панели находится для свободной конвекции согласно [6, С. 185] из уравнения подобия

$$Nu_a = 0{,}18 \cdot \left(Gr_a \cdot Pr_a\right)^{0{,}33} \tag{1}$$

где Nu_a, Gr_a Pr_a – критерии подобия Нуссельта, Грасгофа и Прандтля находятся по плотности и теплотехническим параметрам при температуре воздуха – см. [6, С. 182, 183]. После подстановки в формулу (1) выражений для критериев подобия (см. [6, С. 164]) получается выражение для коэффициента теплоотдачи в полостях вакуумной панели

$$\alpha = 0{,}18 \cdot \frac{\lambda_a}{h} \left[\frac{g \cdot \beta_t \cdot h^3 \cdot |T_s - T_a|}{a_a \cdot \nu_a} \right]^{0{,}25} \tag{2}$$

где λ_a = 0,0232 Вт/(м К) – коэффициент теплопроводности воздуха; h = 0,025 м – высота ячейки сот вакуумной панели; g = 9,8 м/с^2 – ускорение свободного падения, β_t = 0,0034 – коэффициент объемного расширения воздуха; T_s, T_a – температура стенки и воздуха; a_a, ν_a – коэффициенты температуропроводности и кинематической вязкости воздуха. С учетом того, что коэффициент температуропроводности равен отношению коэффициента теплопроводности к произведению удельной теплоемкости при постоянном давлении и плотности, а коэффициент кинематической вязкости равен отношению коэффициента динамической вязкости к плотности формула (2) переписывается следующим образом

$$\alpha = 0{,}18 \cdot \frac{\lambda_a}{h} \left[\frac{g \cdot \beta_t \cdot h^3 \cdot |T_s - T_a| \cdot c_p \cdot \rho_a^2}{\lambda_a \cdot \mu_a} \right]^{0{,}25} \tag{3}$$

где c_p = 1005 Дж/(кг К) – удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении; $\rho_a = P_a/(R\ T_a)$ – плотность воздуха, P_a – давление воздуха в полостях вакуумной панели; R = 287 Дж/(кг К) – индивидуальная газовая постоянная для воздуха; μ_a – коэффициент динамической вязкости воздуха.

Коэффициент динамической вязкости воздуха находится по формуле Сазерленда в зависимости от температуры [7, Прил. 5]

$$\mu_a = \mu_{a0} \cdot \frac{0{,}555 \cdot T_{a0} + C}{0{,}555 \cdot T_a + C} \cdot \left(\frac{T_a}{T_{a0}} \right)^{3/2} \tag{4}$$

где $\mu_a = 18{,}27 \cdot 10^{-6}$ Па сек; $T_{a0} = 291{,}15$ К; С = 120 – константа Сазерленда [8, С. 42-44].

В ходе теплового исследования коэффициент теплоотдачи α воздуха внутри полостей вакуумной панели рассчитывался при различных значениях давления внутри панели.

Основные результаты

Для проведения эксперимента был спроектирован и изготовлен методом 3-D печати опытный образец вакуумной панели сотового сечения в соответствии с [9], [10] из полиамида марки Ultran 630. Модель опытного образца с габаритными размерами 160×160×40 мм показана на рисунке 10.

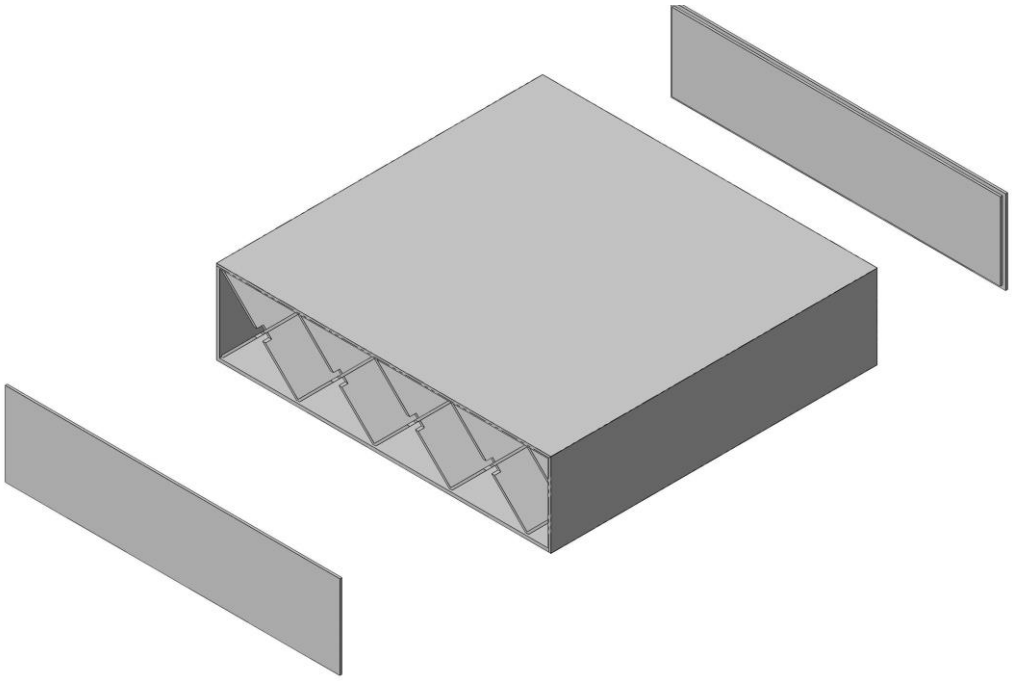


Рис. 4 – Модель опытного образца вакуумной панели

Как видно на рисунке 4, в конструкции опытного образца были предусмотрены две заглушки, которые закрывали открытые торца панели. После герметизации торцов через штуцер в одной из заглушек при помощи вакуум-насоса создавалось пониженное давление внутри панели.

На рисунке 5 показан стенд для измерения удельного теплового сопротивления вакуумной панели при различной величине остаточного давления в ее внутренней полости.

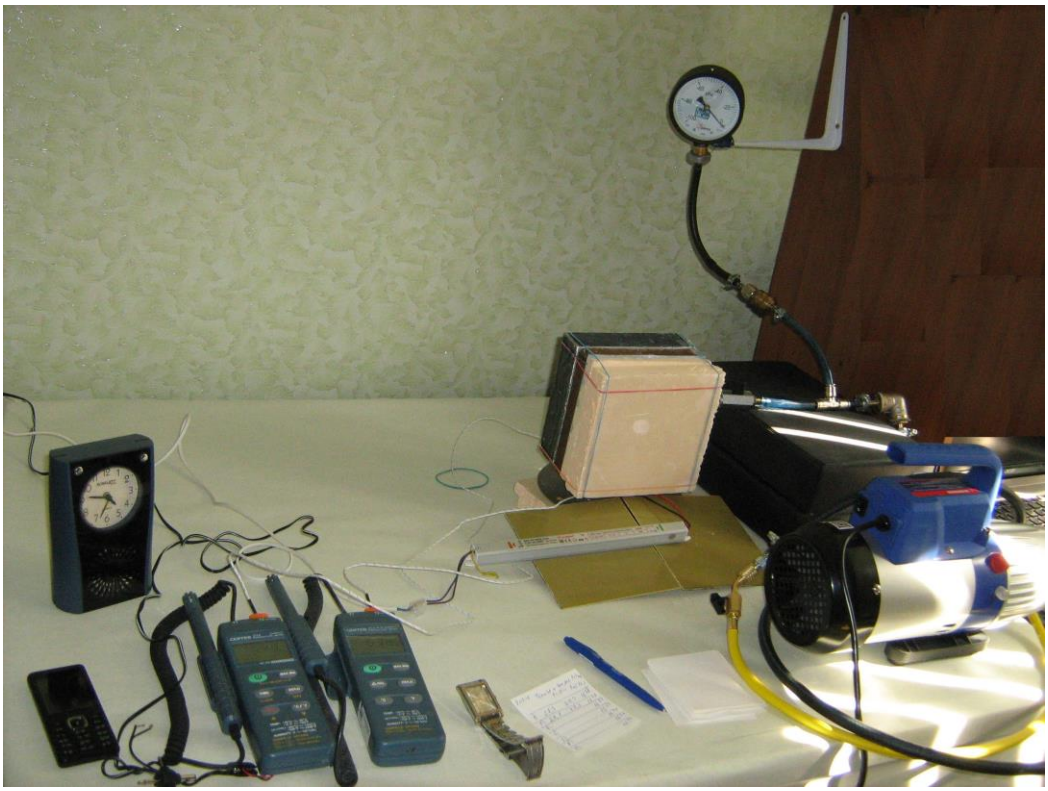


Рис. 5 – Стенд для измерения удельного теплового сопротивления вакуумной панели

Как показано на рисунке 5, остаточное давление внутри вакуумной панели измеряется с помощью вакуумметра модели ВПЗ-УФ класса точности 1,5 (производитель АО «ПО Физтех»), температура в медных пластинах («Эталон 1» и «Эталон 2») измерялась термопарами К-типа, регистрировалась двумя приборами CENTER-314 (погрешность 0,2%), которые также регистрировали температуру и относительную влажность окружающей среды.

В качестве «Эталона-3» использовался пенополистирол экструдированный с габаритными размерами 160×160×40 мм. На первом этапе экспериментов для построения тарированной зависимости стенда в качестве «Эталона-4» использовались пластины с габаритными размерами 160×160×40 мм из материалов: бальза, резина, стекло и пластик ABS. Результаты этих испытаний в виде тарированной зависимости представлены на рисунке 6.

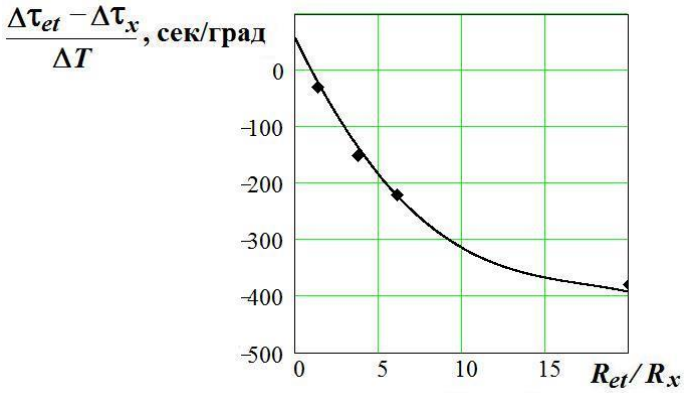


Рис. 6 – Тарированная зависимость стенда для измерений удельного теплового сопротивления вакуумной панели

Как видно на рисунке 6, через экспериментальные точки проходит кривая линия, аппроксимируемая зависимостью

$$Y(Z) = 56\cdot(1-Z) + 2{,}6\cdot(1-Z)^2 + 0{,}02\cdot(1-Z)^3 - 0{,}001\cdot(1-Z)^4 \qquad (5)$$

здесь *Y(Z)* представляет собой ординату, а *Z* – абсциссу.

При замене «Эталона 4» на вакуумную панель для обработки эксперимента удобнее использовать тарированную зависимость в виде полинома (4), где *Y(Z)* представляет собой абсциссу, а *Z* – ординату. На рисунке 7 представлены результаты испытаний вакуумной панели при значениях остаточного давления во внутренней полости вакуумной панели $P_{ост}$ = 100 кПа; 50 кПа; 25 кПа; 1 кПа.

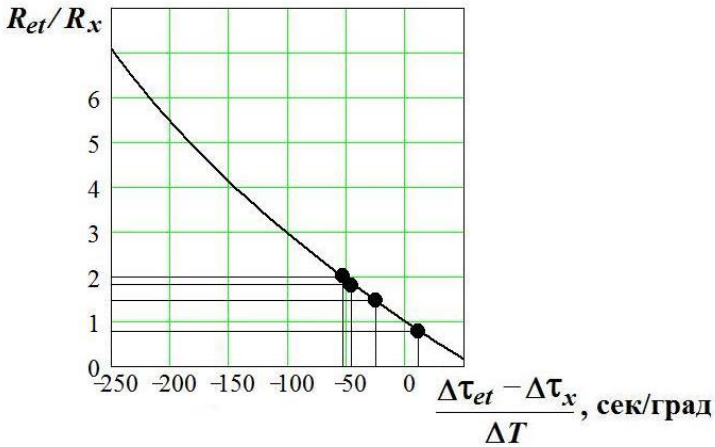


Рис. 7 – Результаты экспериментов над вакуумной панелью

Как видно из графика рисунка 7, минимальное значение отношения R_{et}/R_x составило 0,8. Так как удельное тепловое сопротивление «Эталона-3» известно ($R_{et} = \delta/\lambda_{et}$ = 0,04/0,037 = 1,081 (м^2 К)/Вт), то $R_{x\,min}$ = 1,35 (м^2 К)/Вт. Это значение получено в эксперименте, когда остаточное давление в полости вакуумной панели составляло 1 кПа.

Для верификации проведенных экспериментов в области тарированной кривой $R_{et}/R_x < 1$ была исследована 3-D модель стенда для измерения удельного теплового сопротивления вакуумной панели в программе SolidWorks Simulation с параметрами нагрузки типа «Конвекция» для внутренних полостей вакуумной панели: в первой полости (как показано на рисунке 3) – α = 0,289 Вт/(м^2 К), T_a = 330 К; во второй полости – α = 0,241 Вт/(м^2 К), T_a = 361 К; в третьей полости – α = 0,185 Вт/(м^2 К), T_a = 392 К. Эти значения соответствуют величине остаточного давления 1 кПа.

На рисунке 8 представлены результаты зондирования модели вакуумной панели по удельному тепловому потоку вдоль оси *Z*.

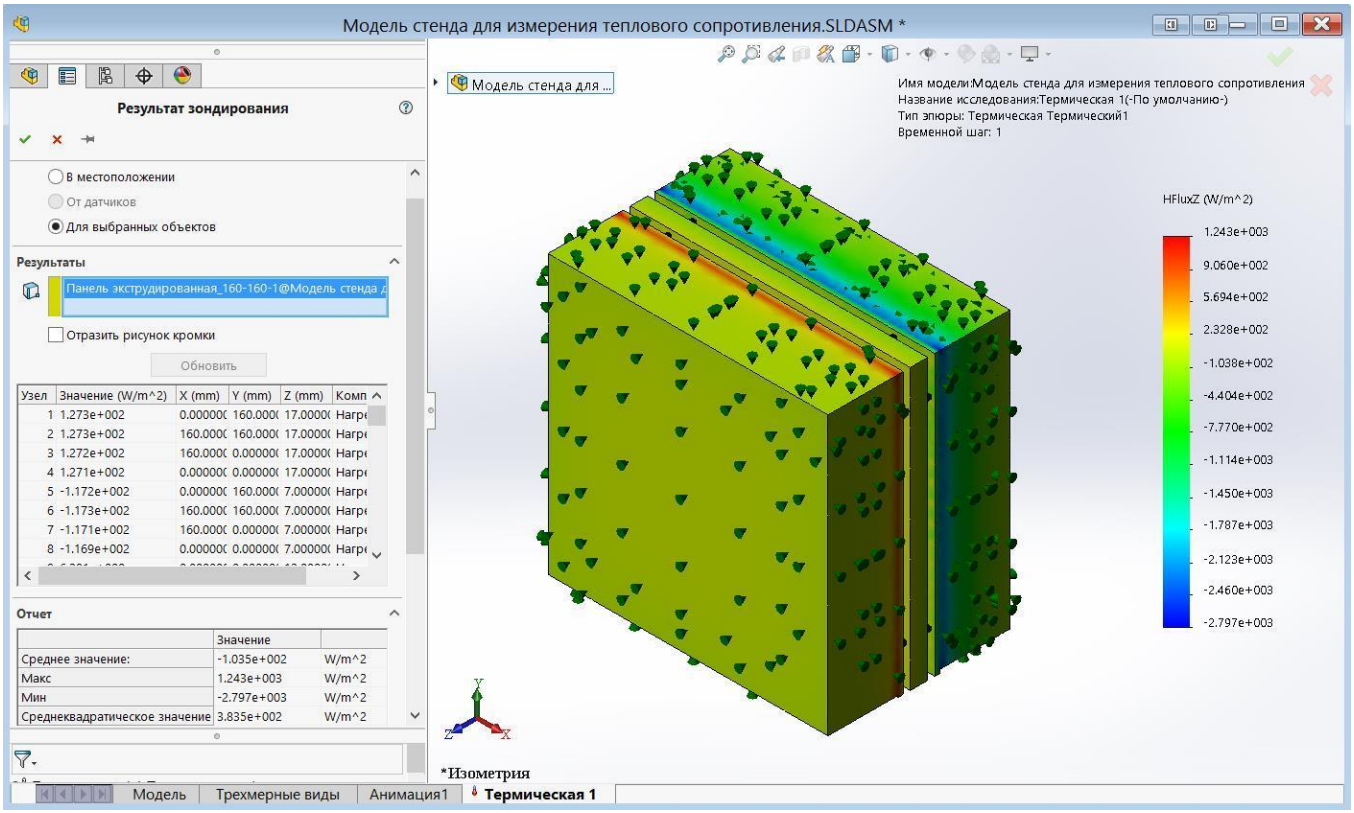


Рис. 8 – Результаты расчета удельного теплового потока через вакуумную панель

Как видно на рисунке 8, среднее значение удельного теплового потока через вакуумную панель составило – W_Z = 103,5 Вт/м^2.

На рисунках 9 и 10 представлены результаты зондирования двух граней вакуумной панели с размерами 160×160 мм по температуре.

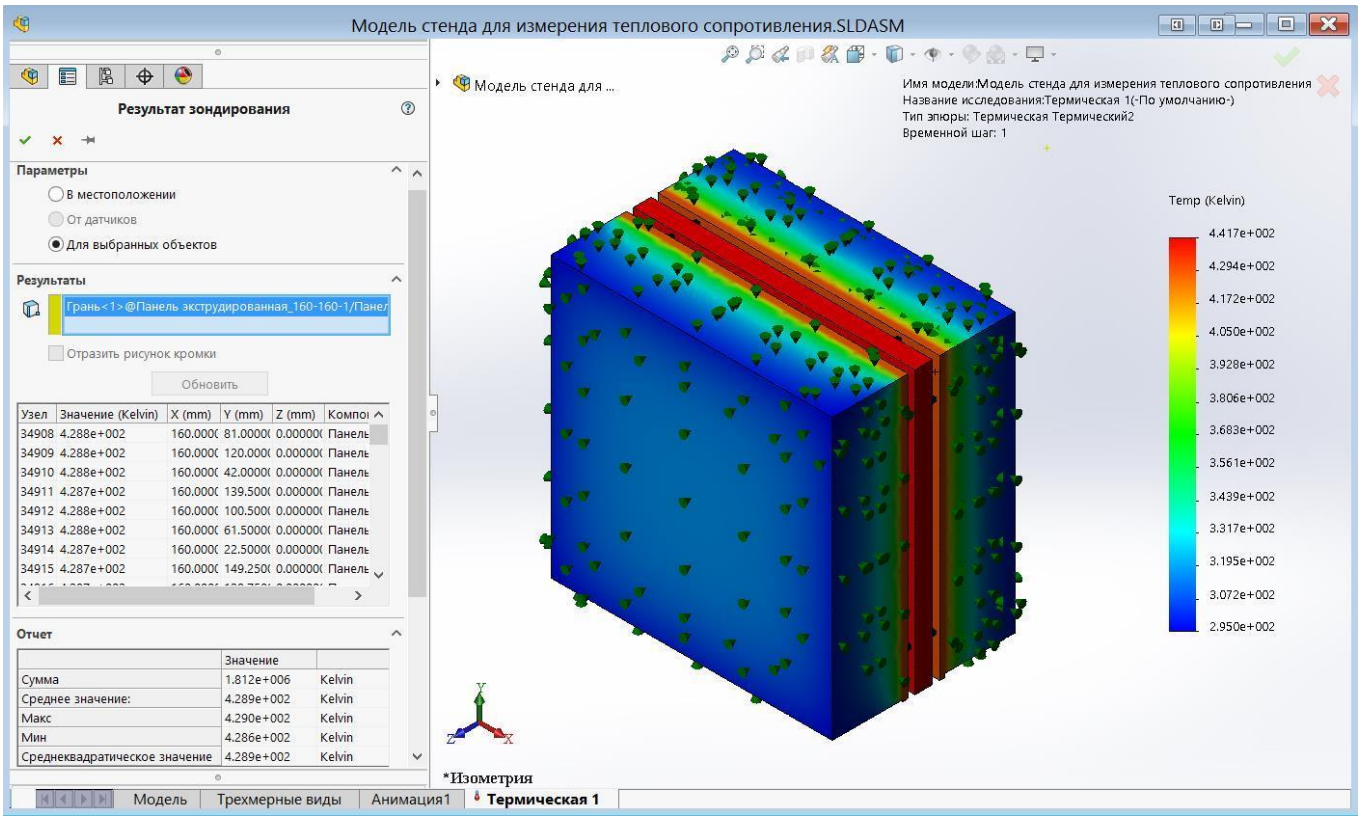


Рис. 9 – Результаты расчета температуры нагреваемой грани вакуумной панели

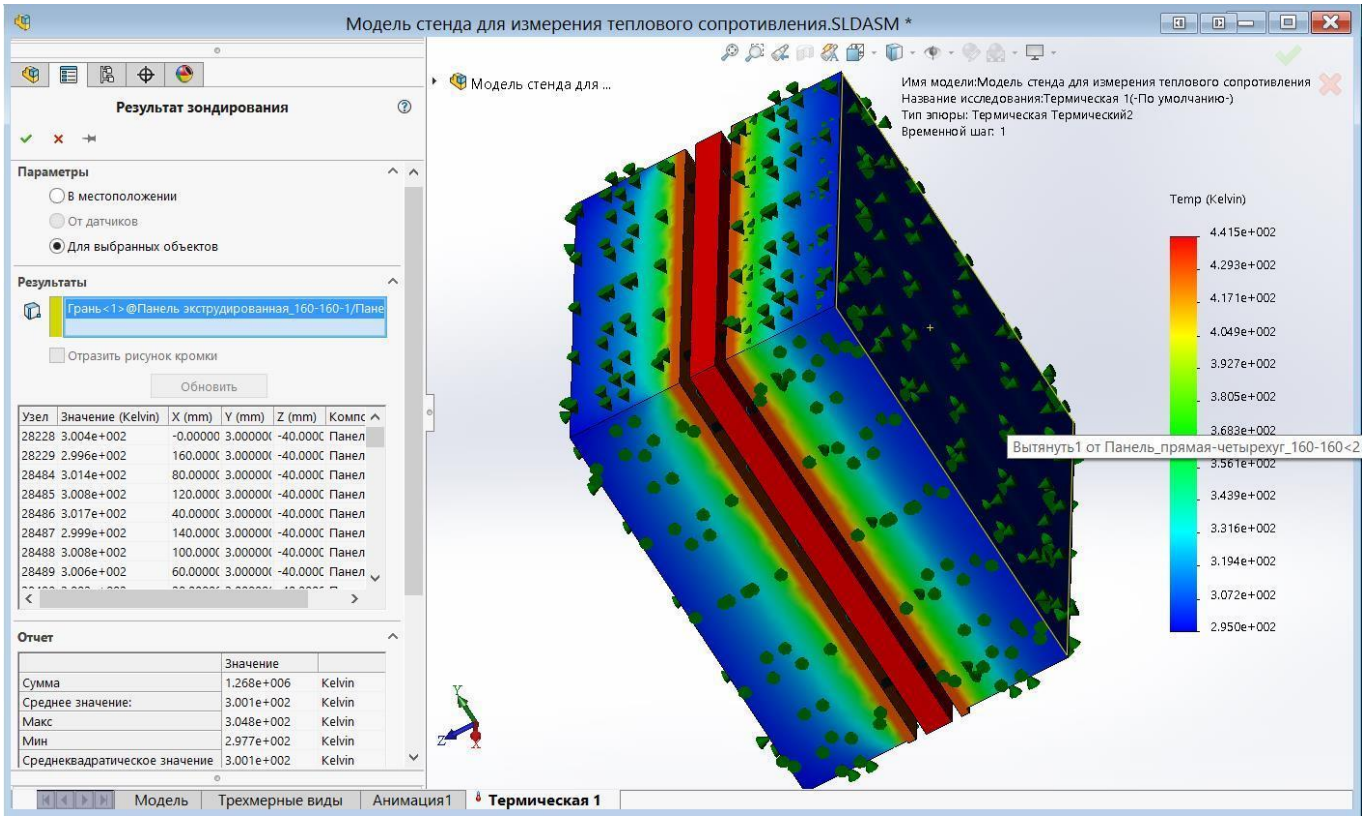


Рис. 10 – Результаты расчета температуры охлаждаемой грани вакуумной панели

Как видно на рисунках 9 и 10, разность температур нагреваемой и охлаждаемой граней вакуумной панели составляет (T_{max} - T_{min}) = 428,9 – 300,1 = 128,8 К. При делении этой разности на величину W_Z получается расчетное значение удельного теплового сопротивления вакуумной панели вдоль оси Z: R_x=128,8/103,5=1,244 (м^2 К)/Вт. В данных исследованиях использовалась сетка конечных элементов с максимальным размером Δ_{max} = 5 мм, минимальным размером Δ_{min} = 0,7 мм и числом конечных элементов 124744. Решающая программа Direct Sparse выполнила решение за 42 мин. 31 сек. Дальнейшее уменьшение Δ_{max} и Δ_{min} приводило к исчерпанию оперативной памяти компьютера.

Такие же расчеты проводились для пенополистирола («Эталон 3»). Результаты составили: разность температур нагреваемой и охлаждаемой граней «Эталона-3» составляет (T_{max} - T_{min}) = 427,7 – 310 = 117,7 К, величина удельного теплового потока вдоль оси Z – W_Z = 112,4 Вт/м^2. Значение удельного теплового сопротивления «Эталона 3» вдоль оси Z: R_x=117,7/112,4=1,047 (м^2 К)/Вт.

Обсуждение

Верификация конечно-элементной модели стенда для измерения удельного теплового сопротивления вакуумной панели заключается в сравнении известных значений удельного теплового сопротивления пенополистирола («Эталон 3») с аналогичными параметрами, рассчитанными в тепловых исследованиях SolidWorks Simulation. Сравнение показало, что расхождение рассчитанных и известных значений составило 3,1%.

Для верификации экспериментов над опытным образцом вакуумной панели в области тарированной кривой R_{et}/R_x < 1 проведено сравнение значений удельного теплового сопротивления вакуумной панели, полученных экспериментально и рассчитанных в тепловых исследованиях SolidWorks Simulation. Расхождение составило 7,9%. Было отмечено, что уменьшение максимального размера сетки конечных элементов с Δ_{max} = 10 мм до Δ_{max} = 5 мм снижает расхождение расчетных и экспериментальных значений с 28,9% до 7,9%. Дальнейшее снижение максимального размера сетки было ограничено располагаемой оперативной памятью компьютера (16 Гб).

Таким образом, среднеквадратичное отклонение всех сравниваемых параметров в экспериментальных и теоретических исследованиях вакуумной панели составило 8,5%.

Заключение

Предложена методика экспериментального определения удельного теплового сопротивления вакуумной теплоизоляции, создан стенд для измерения удельного теплового сопротивления вакуумной панели ячеистой структуры, экспериментально найдены значения теплового сопротивления вакуумной панели при различной величине остаточного давления внутри панели. При остаточном давлении 1 кПа величина удельного теплового сопротивления опытного образца вакуумной панели составила 1,35 (м^2 К)/Вт, что на 25% больше удельного теплового сопротивления пенополистирола таких же габаритных размеров.

Разработана 3-D модель стенда для определения удельного теплового сопротивления вакуумной теплоизоляции, выполнены тепловые исследования модели стенда в SolidWorks Simulation. В тепловых исследованиях модели вакуумной панели ячеистой структуры учитывалась передача тепла теплопроводностью и конвекцией, коэффициент теплоотдачи рассчитывался из уравнения подобия для свободной конвекции в ограниченном пространстве с учетом низкого давления во внутренней полости вакуумной панели. Расхождения значений удельного теплового сопротивления вакуумной панели, полученных экспериментально и рассчитанных в тепловых исследованиях

SolidWorks Simulation, составили 7,9%. Расхождение рассчитанных и известных значений удельного теплового сопротивления пенополистирола составило 3,1%. Среднеквадратичное отклонение всех сравниваемых параметров в экспериментальных и теоретических исследованиях вакуумной панели составило 8,5%.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References*

1. Balalaev A. Mass and heat-insulation properties of the bodies of passenger and insulated railway cars made of vacuum honeycomb panels / A. N. Balalaev, M, Parenyuk, I. Arslanov et al. // Journal of Applied Engineering Science, 2018, V. 16, br. 1, P. 50-59.

2. Балалаев А. Н. Исследование модели вакуумной теплоизоляции пассажирского вагона / А. Н. Балалаев, М. А. Паренюк, Г. М. Сергеев и др. // Вестник транспорта Поволжья. 2018. № 2. С. 13-20.

3. Балалаев А. Н. Теплотехнические свойства вагонов и контейнеров из экструдированных алюминиевых панелей / А. Н. Балалаев, А. С. Мокшанов, М. А. Паренюк // Транспорт Российской Федерации, 2014. - №1. - С. 58-60.

4. Пат. 2736322 Российская Федерация, МПК7 G01N 25/18. Способ измерения удельного теплового сопротивления и устройство для его осуществления / Балалаев А. Н., Паренюк М. А., Тимкин Д. М.; заявитель и патентообладатель Самарский государственный университет путей сообщения. – № 2018146922; заявл. 26.12.2018; опубл. 13.11.20; Бюл. №32. – 16 с.

5. Балалаев А. Н. Проектирование наземных транспортных средств с использованием сотовых конструкций: монография / А. Н. Балалаев, А. М. Зиятдинов, М. А. Паренюк и др. – Самара: СамГУПС, 2019. – 196 с.

6. Карминский В. Д. Техническая термодинамика и теплопередача: Курс лекций / В. Д. Карминский. – М.: Маршрут, 2005. – 224 с.

7. Flow of Fluids Through Valves, Fittings & Pipe. Technical Paper No. 410, Crane Co. – London : Vervante, 1999. – 114 p.

8. Handbook of Chemistry and Physics. 65th edition / editor R. C. Weast. Florida : CRC Press, Inc. Boca Raton, 1984. – 1254 p.

9. Патент на полезную модель РФ № 182546, МПК E04B 2/02, E04B 1/80, E04C 1/40. Теплоизолирующая стенка / А.Н. Балалаев, М.А. Паренюк, Г.М. Сергееев, Д.М. Тимкин. Заявка № 2018104342 от 05.02.2018. Опубл. 22.08.2018. Бюл. № 24. – 8 с.

10. Патент РФ на изобретение №2553629, F16L59/065. Способ изготовления вакуумного теплоизоляционного изделия / А.Н. Балалаев, А.С. Мокшанов, Д.А. Попов. - Заявка № 2013153611/06; Заявлено 03.12.2013; Опубл. 20.06.15; Приоритет 03.12.2013 // Изобретения. Полезные модели. - 2015. - №17. – 8 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Balalaev A. Mass and heat-insulation properties of the bodies of passenger and insulated railway cars made of vacuum honeycomb panels / A. N. Balalaev, M, Parenyuk, I. Arslanov et al. // Journal of Applied Engineering Science, 2018, vol. 16, br. 1, p. 50-59.

2. Balalaev A. N. Issledovaniye modeli vakuumnoy teploizolyatsii passazhirskogo vagona [Study of vacuum heat-insulation of the passenger car] / A. N. Balalaev, M. A. Parenyuk, G. M. Sergeev et al. // Vestnik transporta Povolzhya [Bulletin of transport of the Volga region]. – 2018. – № 2. – P. 13–20. [in Russian]

3. Balalaev A. N. Teplotekhnicheskiye svoystva vagonov i konteynerov iz ekstrudirovannykh alyuminiyevykh paneley [Thermal properties of wagons and containers made of extruded aluminum panels] / A. N. Balalaev, A. S. Mokshanov, M. A. Parenyuk // Transport Rossiyskoy Federatsii [Transport of the Russian Federation]. – 2014. – № 1. – P. 58–60. [in Russian]

4. Pat. 2736322 Russian Federation, MPK7 G01N 25/18. Sposob izmereniya udelnogo teplovogo soprotivleniya i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya [Method of measuring the specific thermal resistance and the device for its implementation] / Balalaev A. N., Parenyuk M. A., Timkin D. M.; the applicant and the patentee Samara State Transport University. – № 2018146922; appl. 12/26/18; publ. 11/13/20, Bul. Number 32. – 16 p. [in Russian]

5. Balalaev A. N. Proyektirovaniye nazemnykh transportnykh sredstv s ispolzovaniyem sotovykh konstruktsiy: monografiya [Designing ground vehicles using cellular structures: monograph] / A. N. Balalaev, A. M. Ziyatdinov, M. A. Parenyuk et al. – Samara : SSTU, 2019. – 196 p. [in Russian]

6. Karminskiy V. D. Tekhnicheskaya termodinamika i teploperedacha: Kurs lektsiy [Technical thermodynamics and heat transfer: A course of lectures] / V. D. Karminsky. – M. : Marshrut, 2005. – 224 p. [in Russian]

7. Flow of Fluids Through Valves, Fittings & Pipe. Technical Paper No. 410, Crane Co. – London : Vervante, 1999. – 114 p.

8. Handbook of Chemistry and Physics. 65th edition / editor R. C. Weast. – Florida : CRC Press, Inc. Boca Raton, 1984. – 1254 p.

9. Pat. 182546 Russian Federation, MPK7 E04B 2/02, E04B 1/80, E04C 1/40. Teploizoliruyushchaya stenka [Heat-insulating wall] / Balalaev A. N., Parenyuk M. A., Sergeev G. M., Timkin D. M.; the applicant and the patentee Samara State Transport University. – № 2018104342; appl. 02/05/18; publ. 08/22/18, Bul. Number 24. – 8 p. [in Russian]

10. Pat. 2553629 Russian Federation, MPK7 F16L59/065. Sposob izgotovleniya vakuumnogo teploizolyatsionnogo izdeliya [Method of manufacturing a vacuum thermal insulation product] / Balalaev A. N., Parenyuk M. A., Timkin D. M.; the applicant and the patentee Samara State Transport University. – № 2013153611/06; appl. 12/03/13; publ. 06/20/15, Bul. Number 17. – 8 p. [in Russian]

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.110.8.007

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПЛИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ С ДРЕВЕСНЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ

Научная статья

Бегунков О.И.[1] Бегункова Н.О. [2, *]
[1] ORCID: 0000-0002-5046-4212;
[2] ORCID: 0000-0001-5069-9604;
[1, 2] Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Россия

* Корреспондирующий автор (natali-beg[at]mail.ru)

Аннотация

Глубокая переработка круглых лесоматериалов становится основным вектором развития лесного комплекса в Российской Федерации и, в частности, на Дальнем Востоке. Наблюдается постоянный рост объемов производства пиломатериалов, шпона, фанеры, древесноволокнистых и древесно-стружечных плит, а также другой продукции из древесины. В Хабаровском крае разворачивается программа «Дом Дальневосточника», которая является флагманским проектом края. В конструкции дома кроме пиломатериалов, клееного бруса предполагается использование плитных композиционных материалов с широким использованием отходов, образующихся при заготовке и переработке древесины. Одним из таких материалов может быть древесно-стружечная плита, содержащая слои из отходов лущеного шпона, образующих шпоновую решетку. В статье предлагается методика расчета таких композиционных анизотропных древесных материалов. Выбору и объективному обоснованию параметров, входящих в расчетные формулы, во многом способствовали экспериментальные исследования.

Ключевые слова: фанера, прочность, шпоновая решетка, отходы, древесно-стружечная плита.

COMPOSITE BOARD MATERIALS WITH WOOD FILLER

Research article

Begunkov O.I.[1] Begunkova N.O.[2, *]
[1] ORCID: 0000-0002-5046-4212;
[2] ORCID: 0000-0001-5069-9604;
[1, 2] Pacific National University, Khabarovsk, Russia

* Corresponding author (natali-beg[at]mail.ru)

Abstract

Added value processing of round timber is becoming the main vector of development of the forest complex in the Russian Federation and, particularly the Far East. There is a constant increase in the production of lumber, veneer, plywood, fiberboard, and chipboard, as well as other wood products. The program "Dom Dalnevostochnika" (House of a Resident of Far East) is being developed in Khabarovsk Krai, which is the flagship project of the region. In addition to lumber, glued beams, the construction of the house is supposed to include board composite materials with a wide use of waste generated during the harvesting and processing of wood. One of these materials can be a chipboard containing layers of peeled veneer waste that form a veneer lattice. The article proposes a method for calculating such composite anisotropic wood materials. The choice and objective justification of the parameters included in the calculation formulas were largely facilitated by experimental studies.

Keywords: plywood, strength, veneer grating, waste, chipboard.

Введение

В Российской Федерации в целом и на Дальнем Востоке, в частности, лесной комплекс встал на путь развития глубокой переработки древесины. Растут объемы производства пиломатериалов, клееного бруса, лущеного и строганого шпона, фанеры, древесно-стружечных и древесноволокнистых плит и другой продукции. В Хабаровском крае разворачивается флагманский проект «Дом Дальневосточника» [1], [2]. При изготовлении деревянных домов наряду с пиломатериалами и клееным брусом широко используются различные плитные композиционные материалы с использованием отходов древесины, образующихся при заготовке [3] и переработке древесины [4], [5]. Это несомненно будет способствовать повышению эффективности основного производства также, как и выпуск новых видов продукции. Одним из таких материалов может быть древесно-стружечная плита, содержащая слои из отходов лущеного шпона в виде полос определенной ширины, образующих шпоновую решетку. Слои шпоновой решетки могут располагаться в различных местах сечения такого композиционного материала из древесины. В статье предлагается методика расчета таких композиционных анизотропных древесных материалов. Ряд некоторых теоретических предпосылок был сделан в работах [6], [7], [9], [10].

Основная часть

Рассматриваемый композиционный анизотропный древесный материал представляет собой слоистый материал, где шпоновая решетка чередуется в определенной последовательности со слоями из других плитных материалов, например, древесно-стружечной, фанерной, древесноволокнистой и других. Общий вид такого материала с нечетным и четным количеством слоев приведен на рисунке 1. Строение шпоновой решетки показано на рисунке 2, а структура композиционного материала – на рисунке 3.

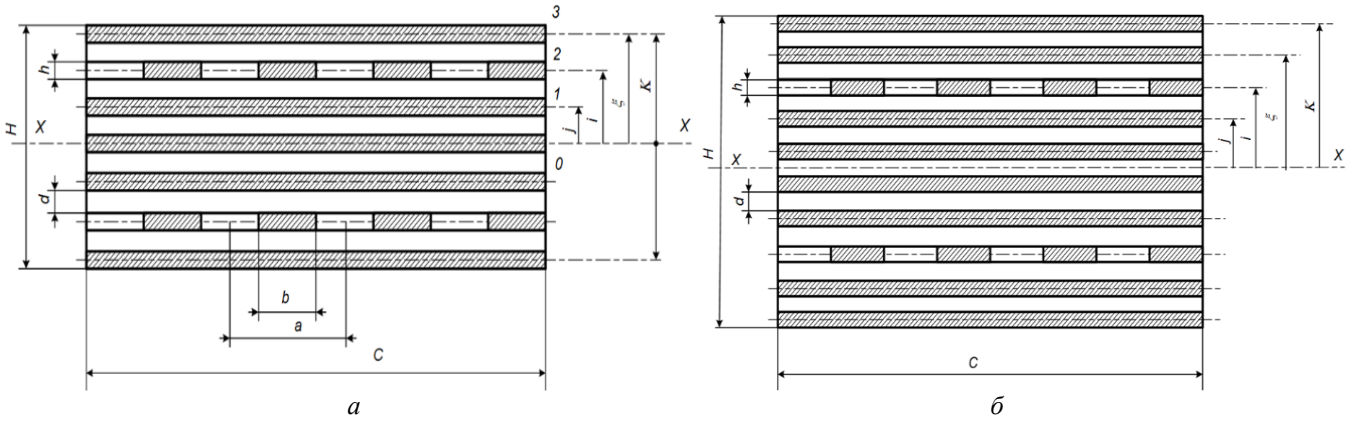


Рис. 1 – Схема строения композиционного древесного материала при нечетном (*а*) и четном (*б*) числе слоев

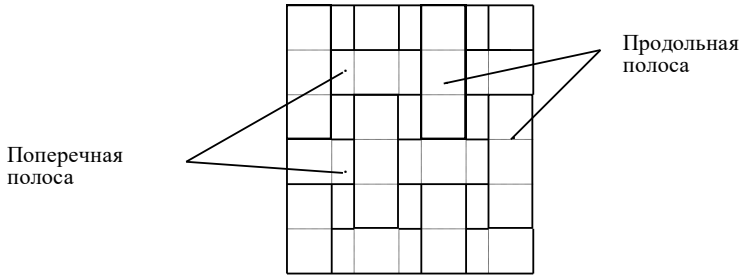


Рис. 2 – Строение шпоновой решетки

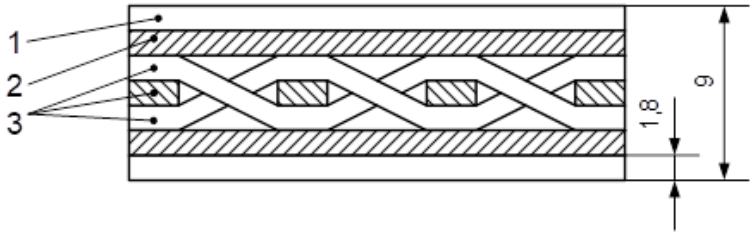


Рис. 3 – Структура композиционного древесного материала:
1 – продольный лист шпона (древесно-стружечной или древесноволокнистой плиты, фанеры); *2* – поперечный слой шпона (древесно-стружечной или древесноволокнистой плиты, фанеры); *3* – полосы шпона в шпоновой решетке

Если рассматривать структуру композиционного анизотропного древесного материала, то для определения суммарных площадей сечения (A), прослойки ($A^{\text{пр}}$), а также шпона и продольных полос шпоновой решетки ($A^{\text{шп}}$) можно воспользоваться следующими формулами:

$$A^{\text{шп}} = m \cdot a \cdot h \cdot \lambda + m \cdot a \cdot 2(k-1) \cdot h + 2m \cdot a \cdot h \cdot \alpha = m \cdot a \cdot h\left[\lambda + 2(k-1) + 2\alpha\right],$$

$$A^{\text{пр}} = m \cdot a \cdot \left[2(k-1) \cdot d - (\lambda - 1) \cdot d\right] + 2m \cdot a \cdot h(1-\alpha) =$$
$$= m \cdot a \cdot h\left[(2k - 2 - \lambda + 1) \cdot \beta + 2(1-\alpha)\right] = m \cdot a \cdot h\left[(2k - \lambda - 1) \cdot \beta + 2(1-\alpha)\right],$$

$$A = m \cdot a \cdot = \left[h \cdot \lambda + 2 \cdot h(k-1) + 2 \cdot h \cdot \alpha + 2 \cdot h(1-\alpha) + 2(k-1) \cdot d - (\lambda - 1) \cdot d\right] =$$
$$= m \cdot a \cdot \left[h \cdot \lambda + 2 \cdot h \cdot k + 2(k-1) \cdot d - (\lambda - 1) \cdot d\right] =$$
$$= m \cdot a \cdot \left[h(\lambda + 2k) + d(2k - 2 - \lambda + 1)\right] = m \cdot a \cdot \left[h(\lambda + 2k) + d(2k - 1 - \lambda)\right],$$

где m – число продольных полос шпоновой решетки в листе, a – шаг полос шпона в шпоновой решетке, h – толщина шпона в решетке, λ – переменная, отвечающая за наличие срединного слоя (если слой существует, то пусть $\lambda = 1$; иначе – $\lambda = 0$), k – количество слоев композиционного древесного материала, расположенных выше горизонтальной оси симметрии (при этом срединный слой не входит в число k), $\alpha = b / a$ – плотность шпоновой решетки, если b – ширина продольной полосы шпоновой решетки, d – толщина прослойки любого другого материала, $\beta = d / h$ – степень неоднородности материала.

При расчете момента инерции поперечного сечения необходимо выделить составляющие момента инерции относительно горизонтальной оси симметрии. Для определенности пусть количество слоев n будет четным, т. е. $n = 2k$, а срединный слой отсутствует ($\lambda = 0$). В этом случае момент инерции прослойки можно определить как:

$$I_x^{\text{пр}} = \frac{c \cdot d^3}{12} \cdot n_{(2k+1)} + 2\sum_{k=1}^{\frac{n}{2}-1}\left[c \cdot d\left((d+h)\cdot k\right)^2\right],$$

где $c = a \cdot m$ – ширина листа композиционного древесного материала, $n_{(2k+1)}$ – число прослоек.

Момент инерции шпона, расположенного между горизонтальной осью и шпоновой решеткой, рассчитывается по формуле:

$$I_x^{\text{шп(х_шр)}} = \frac{2c \cdot d^3}{12} \cdot n_j + 2\sum_{j=0}^{i-1}\left[c \cdot h\left((d+h)\cdot \frac{2j-1}{2}\right)^2\right],$$

где n_j – число слоев шпона, лежащих внутри (от горизонтальной оси до шпоновой решетки), j – номер слоя такого шпона, i – номер слоя шпоновой решетки.

Момент инерции шпона, расположенного от горизонтальной оси дальше шпоновой решетки:

$$I_x^{\text{шп(шр)}} = \frac{c \cdot h^3}{12} \cdot n_\xi + 2\sum_{\xi=i+1}^{k}\left[c \cdot h\left((d+h)\cdot \frac{2\xi-1}{2}\right)^2\right],$$

где n_ξ – число слоев шпона, лежащих у поверхности, т. е. дальше от горизонтальной оси, чем шпоновая решетка, ξ – номер слоя такого шпона.

Момент инерции продольных полос шпоновой решетки:

$$I_x^{\text{шр}} = \frac{c \cdot h^3}{12} \cdot \alpha \cdot n_i + 2\sum_{i\geq 0}^{i\leq k}\left[c \cdot h \cdot \alpha\left((d+h)\cdot \frac{2i-1}{2}\right)^2\right],$$

где n_i – количество слоев шпоновой решетки.

Момент инерции прослойки в плоскости шпоновой решетки:

$$I_{\text{шр}}^{\text{пр}} = \frac{c \cdot h^3}{12} \cdot (1-\alpha) \cdot n_i + 2\sum_{i\geq 0}^{i\leq k}\left[c \cdot h \cdot (1-\alpha)\left((d+h)\cdot \frac{2i-1}{2}\right)^2\right].$$

Следовательно, суммарный момент инерции сечения можно определить следующим образом:

$$I_x = \frac{c \cdot d^3}{12} \cdot n_{(2k+1)} + 2\sum_{k=1}^{\frac{n}{2}-1}\left[c \cdot d\left((d+h)\cdot k\right)^2\right] + \frac{2c \cdot h^3}{12} \cdot \left(n_j + n_\xi + \frac{n_i}{2}\right) +$$
$$+ 2\sum_{j=0}^{i-1}\left[c \cdot h\left((d+h)\cdot \frac{2j-1}{2}\right)^2\right] + 2\sum_{\xi=i+1}^{k}\left[c \cdot h\left((d+h)\cdot \frac{2\xi-1}{2}\right)^2\right] +$$
$$+ 2\sum_{i\geq 0}^{i\leq k}\left[c \cdot h\left((d+h)\cdot \frac{2i-1}{2}\right)^2\right].$$

Понятно, что номера слоев i, j, ξ, k являются всегда положительными целыми числами. Если они принимают отрицательное значение, то их следует обнулить.

С целью уточнения влияния конструкции шпоновой решетки и места ее расположения в сечении композиционного древесного материала на прочность композита были проведены экспериментальные исследования, для которых был использован шпон лущеный из лиственницы толщиной соответственно 1,8 мм.

Влажность в соответствии с ГОСТ 99-2016 [11] приняли равной 6±2 %. Склеивание осуществлялось клеем на основе смолы КФ-Ж по ГОСТ 14231-88 [12]. Склеивание шпона осуществлялось на лабораторном прессе модели ВН-0916 с размером нагревательных плит 400×400 мм. Для контроля параметров режима прессования использовались:

термопреобразователь сопротивления ТС 1088 100П, двухканальный микропроцессорный измеритель-регулятор ТРМ202-НР и 2ТРМ1-НР, микропроцессорное реле времени УТ 24-НР, автоматический преобразователь интерфейсов АСЗ-М, датчик давления МИДА-ДИ-13П-01. Прочностные характеристики получаемых образцов определялись с помощью испытательной машины WDW-50E (универсальная электромеханическая испытательная машина с компьютерным управлением).

Применялись стандартные методы контроля, используемые в практике производства фанеры. Определялись следующие показатели свойств фанеры: влажность, предел прочности при скалывании по клеевому слою, предел прочности при статическом изгибе вдоль и поперек волокон. Все показатели определялись по соответствующим стандартам.

В качестве переменных факторов были приняты: ширина полос шпона в шпоновой решетке; проклеены или не проклеены полосы в решетке между собой; расположение шпоновой решетки в сечении пакета.

Постоянные факторы: толщина шпона, его качество, шероховатость, влажность, вязкость клея, расход клея, давление прессования, температура плит пресса, продолжительность склеивания под давлением и продолжительность снижения давления.

Уровни варьирования переменных факторов и численные значения постоянных факторов, количество опытов, повторений и наблюдений отражены в разработанной методической сетке экспериментов.

В ходе эксперимента были собраны и затем склеены пакеты шпона обычной фанеры и фанеры, имеющей в структуре шпоновую решетку. Шпоновую решетку собирали из полос шпона различной ширины (15 и 30 мм), проклеенных и непроклеенных между собой. В экспериментальных исследованиях также рассматривалось влияние места расположения шпоновой решетки в сечении композиционного древесного материала. На рисунке 4 изображены варианты расположения шпоновой решетки в пакете.

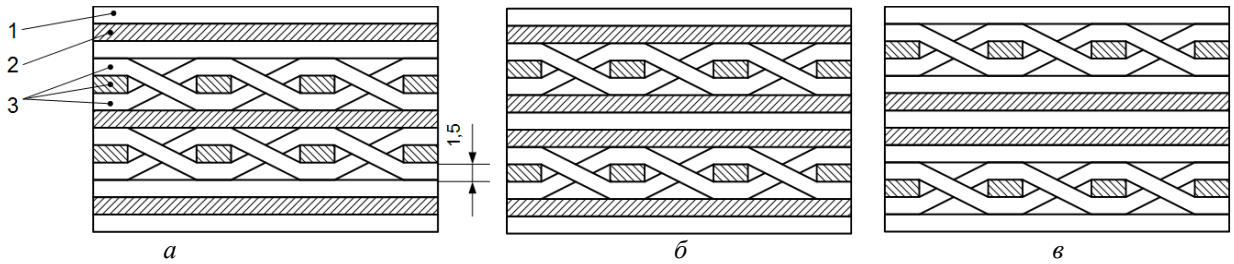


Рис. 4 – Расположение шпоновой решетки в сечении пакетов:
а – шпоновая решетка находится в 4 и 6 слоях; *б* – шпоновая решетка находится в 3 и 7 слоях; *в* – шпоновая решетка находится в 2 и 8 слоях; *1* – продольный лист шпона; *2* – поперечный слой шпона;
3 – полосы шпона в шпоновой решетке

Сравнительные показатели механических испытаний обычной фанеры и фанеры со шпоновой решеткой приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Механические свойства материала

Наименование	Предел прочности, МПа			
	при изгибе		при скалывании	
	вдоль	поперек	вдоль	поперек
1. Фанера из лиственницы марки ФК	59	35	1,2	-
2. Материал со шпоновой решеткой: 2.1 с непроклеенными полосами шириной 30 мм	51,7	53,8	0,61	3,0
2.2 с проклеенными полосами шириной 30 мм	54,5	47,8	2,12	4,24
2.3 с непроклеенными полосами шириной 15 мм	56,5	45,5	2,06	3,77
2.4 с проклеенными полосами шириной 15 мм	66,1	64,75	2,76	5,73

Относительное изменение прочности фанеры в зависимости от места расположения шпоновой решетки в ее сечении приведено в таблице 2.

Таблица 2 – Относительное изменение прочности фанеры в зависимости от места расположения шпоновой решетки в ее сечении

Вид испытания	Уменьшение прочности в % относительно обычной фанеры в слоях сечения			
	4 и 6	3 и 7	2 и 8	0
Предел прочности при статическом изгибе вдоль волокон, МПа	30,5	30,3	31,8	100
Предел прочности при статическом изгибе поперек волокон, МПа	31,9	30,2	22,9	100

Эксперименты показали, что проклеивание полос шпона в шпоновой решетке и их ширина существенно влияют на прочность фанеры. Для учета влияния ширины полос шпоновой решетки в методику расчетов было введено понятие плотности шпоновой решетки ($\alpha = b / a$). Увеличению прочности фанеры способствует проклеивание полос шпона и

уменьшение их ширины. Использование шпоновой решетки в структуре пакета снижает прочность материала на изгиб. Место расположения шпоновой решетки в структуре пакета (для принятых условий эксперимента) практически не влияет на прочность материала при изгибе.

Заключение

Таким образом, результаты исследований показывают, что данная методика дает возможность рассчитывать указанные характеристики для различных структур композиционного анизотропного древесного материала: от древесной плиты до фанеры, включая шпоновую решетку или нет. Методика позволяет определить геометрические характеристики применяемого материала в случае использования комбинированной структуры. Количество слоев шпона и других материалов, а также порядок их расположения может быть любым, позволяющим оптимальным образом решать соответствующие задачи. Помимо этого, рассмотренная методика оценки прочности и деформативности такого композиционного материала может служить основой для прогнозирования его прочностных свойств по свойствам входящих в него структурных элементов.

Однако проверка надежности приведенных в разработанной методике формул в достаточном объеме в работе не проводилась. Проведенный расчет для случая 2.3 (см. таблицу 1) показал превышение расчетного значения прочности при испытании вдоль волокон на 18,3 %.

На наш взгляд, предлагаемые материалы найдут свое место как в строительстве, так и в других областях промышленности. При этом использование шпоновой решетки позволяет не только более рационально использовать древесину, но и регулировать свойства изготовляемых клееных материалов. В дальнейшем, однако, необходимо учесть в методике результаты экспериментальных исследований, показавших влияние ширины полос шпона и их склеивания между собой на прочность создаваемого композиционного анизотропного древесного материала. Кроме того, надо иметь в виду, что использование шпоновой решетки в структуре пакета снижает прочность материала на изгиб в среднем приблизительно на 30,0 % как вдоль, так и поперек волокон. Однако, изменением прочности материала можно управлять, регулируя расположение шпоновой решетки в структуре пакета фанеры и количество продольных и поперечных слоев относительно его оси симметрии.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года [Электронный ресурс] : [утверждена распоряжением Правительства РФ № 312-р от 01.02.2021] // Гарант – информационно-правовое обеспечение. – URL: http://www.garant.ru (дата обращения: 10.07.2021).

2. Вилин И. «Дом дальневосточника» – наш новый проект / И. Вилин // Тихоокеанская звезда. – 2-3 апреля 2021. – № 59 (28817) – 60 (28818). – С. 1.

3. Рябухин П. Б. Экономико-математическое моделирование оценки эффективности деятельности предприятий лесопромышленного комплекса / П. Б. Рябухин // Системы. Методы. Технологии. – 2020. – № 4 (48). – С. 139–144.

4. Исаев С. П. Совершенствование конструктивно-технологической системы возведения наружных стен деревянных малоэтажных зданий / С. П. Исаев // Journal of Advanced Research in Natural Science. – 2020. – № 10. – С. 59–63.

5. Исаев С. П. Совершенствование технологии стенового материала малоэтажного домостроения / С. П. Исаев, О. Ю. Еренков // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2020. – № 3. – С. 12–15.

6. Чубинский А. Н. Направления использования физических методов контроля структуры и свойств древесины / А. Н. Чубинский, А. А. Тамби, А. А. Федяев и др. // Системы Методы Технологии. – 2015. – № 2 (26). – С. 152–158.

7. Щербаков А. С. Некоторые вопросы теории прочности и деформативности арболита / А. С. Щербаков // Научные труды МЛТИ. Технология древесных пластиков и плит. – 1980. – Вып. 127. – С. 5–20.

8. Щербаков А. С. Основы повышения качества арболита на древесных заполнителях : дис. … докт. техн. наук : 05.21.05 :защищена 20.11.81 : утв. 31.05.82 / Щербаков Анатолий Сергеевич. – М., 1981. – 494 с.

9. Одинокова О. А. Конструктивные особенности клееных древесных плит / О. А. Одинокова, О. И. Бегунков // Прогрессивные строительные конструкции для условий Дальнего Востока: сборник научных трудов. – Хабаровск: Изд-во Хаб. гос. техн. ун-та, 1994. – С.61–63.

10. Базаров С. М. Элементы основ механики древесной среды / С. М. Базаров, А. Н. Чубинский, И. В. Бачериков и др. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2020. – Вып. 231. – С. 141–150.

11. ГОСТ 99-2016. Шпон лущеный. Технические условия. – Введ. 2018–04–01. – М.: Стандартинформ, 2017. – 11 с.

12. ГОСТ 14231-88. Смолы карбамидоформальдегидные. Технические условия. – Введ. 1989–07–01. – М.: ИПК Издательство стадартов, 2003. – 14 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Strategija razvitija lesnogo kompleksa Rossijskoj Federacii do 2030 goda [Strategy for the forestry complex development of the Russian Federation until 2030] [Electronic resource] : [approved by the order of the Russian Government № 312-r on 01.02.2021] // Garant – informacionno-pravovoe obespechenie. – URL: http://www.garant.ru (accessed: 10.07.2021). [in Russian]

2. Vilin I. «Dom dal'nevostochnika» – nash novyj proekt [The house of the far east's human is our new project] / I. Vilin // Tihookeanskaja zvezda [Pacific star]. –2-3 April 2021. – № 59 (28817) – 60 (28818). – P. 1. [in Russian]

3. Rjabuhin P. B. Jekonomiko-matematicheskoe modelirovanie ocenki jeffektivnosti dejatel'nosti predprijatij lesopromyshlennogo kompleksa [Economic and mathematical modeling of performance evaluation of timber industry enterprises] / P. B. Rjabuhin // Sistemy. Metody. Tehnologii [Systems. Methods. Technologies]. – 2020. – № 4 (48). – P. 139–144. [in Russian]

4. Isaev S. P. Sovershenstvovanie konstruktivno-tehnologicheskoj sistemy vozvedenija naruzhnyh sten derevjannyh malojetazhnyh zdanij [Improvement of the structural and technological system for the construction of external walls of wooden low-rise buildings] / S. P. Isaev // Journal of Advanced Research in Natural Science. – 2020. – № 10. – P. 59–63. [in Russian]

5. Isaev S. P. Sovershenstvovanie tehnologii stenovogo materiala malojetazhnogo domostroenija [Technology improvement of wall material for low-rise house building] / S. P. Isaev, O. Ju. Erenkov // Remont. Vosstanovlenie. Modernizacija [Repair. Reconditioning. Modernization]. – 2020. – № 3. – P. 12–15. [in Russian]

6. Chubinskij A. N. Napravlenija ispol'zovanija fizicheskih metodov kontrolja struktury i svojstv drevesiny [Directions of using physical methods for controlling the structure and properties of wood] / A. N. Chubinskij, A. A. Tambi, A. A. Fedjaev et al. // Sistemy Metody Tehnologii [Systems. Methods. Technologies]. – 2015. – № 2 (26). – P. 152–158. [in Russian]

7. Shherbakov A. S. Nekotorye voprosy teorii prochnosti i deformativnosti arbolita [Some questions of the theory of strength and deformability of wood concrete] / A. S. Shherbakov // Nauchnye trudy MLTI. Tehnologija drevesnyh plastikov i plit [Scientific works of MLTI. Technology of wood plastics and boards]. – 1980. – Issue 127. – P. 5–20. [in Russian]

8. Shherbakov A. S. Osnovy povyshenija kachestva arbolita na drevesnyh zapolniteljah [Fundamentals of improving the quality of wood concrete based on wood fillers] : dis. … PhD in Engineering : 05.21.05 : defense of the thesis 20.11.81 : approved 31.05.82 / Shherbakov Anatolij Sergeevich. – M., 1981. – 494 p. [in Russian]

9. Odinokova O. A. Konstruktivnye osobennosti kleenyh drevesnyh plit [Constructive features of glued wood boards] / O. A. Odinokova, O. I. Begunkov // Progressivnye stroitel'nye konstrukcii dlja uslovij Dal'nego Vostoka: sbornik nauchnyh trudov [Progressive building structures for the conditions of the Far East: collection of scientific papers]. – Habarovsk: Publishing house of Hab. gos. tehn. un-ta, 1994. – P.61–63. [in Russian]

10. Bazarov S. M. Jelementy osnov mehaniki drevesnoj sredy [Elements of the basics of wood environment mechanics] / S. M. Bazarov, A. N. Chubinskij, I. V. Bacherikov et al. // Izvestija Sankt-Peterburgskoj lesotehnicheskoj akademii [Bulletin of the St. Petersburg Forestry Academy]. – 2020. – Issue 231. – P. 141–150. [in Russian]

11. GOST 99-2016. Shpon lushhenyj. Tehnicheskie uslovija [Cut veneer. Specifications]. – Introdused 2018–04–01. – M.: Standartinform, 2017. – 11 p. [in Russian]

12. GOST 14231-88. Smoly karbamidoformal'degidnye. Tehnicheskie uslovija [Urea-formaldehyde resins. Specifications]. – Introdused 1989–07–01. – M.: IPK Publishing house of standarts, 2003. – 14 p. [in Russian]

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.110.8.008

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ MATHCAD ПРИ ИЗУЧЕНИИ ТЕХНИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН

Научная статья

Воронцов К.К.*

Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» (МЭИ), Москва, Россия

* Корреспондирующий автор (voro1t1ckir[at]yandex.ru)

Аннотация

В представленной статье рассматривается возможность применения системы Mathcad при изучении технических дисциплин, когда требуется выполнять большое число математических операций и вычислений различного уровня сложности. Поэтому для получения определенных результатов был предложен алгоритм решения поставленной технической задачи при использовании системы Mathcad. В процессе выполнения расчетов были изучены возможности данной среды решать системы линейных уравнений несколькими способами, отображать выходную информацию графическим способом. Решение задачи в системе Mathcad было найдено быстрым, удобным и простым способом, что позволило снизить временные затраты на проведение однообразных вычислений вручную.

Ключевые слова: Mathcad, уравнение, ток, напряжение, несимметрия.

APPLICATION OF THE MATHCAD SYSTEM IN STUDYING OF TECHNICAL DISCIPLINES

Research article

Vorontsov K.K.*

Moscow Power Engineering Institute (MPEI), Moscow

* Corresponding author (voro1t1ckir[at]yandex.ru)

Abstract

The article examines the possibility of using Mathcad in studying technical disciplines when it is required to perform a large number of mathematical operations and calculations of various levels of complexity. Therefore, in order to obtain certain results, the article proposes an algorithm for solving the technical problem based on Mathcad. In the process of performing calculations, the authors study the capabilities of this environment to solve systems of linear equations in several ways and to graphically display output data. Solving problems via Mathcad is found to be a fast, convenient and simple way that allows for reducing the time spent on performing monotonous calculations manually.

Keywords: Mathcad, equation, current, voltage, dissymmetry.

Введение

В процессе изучения технических дисциплин студентам приходится сталкиваться со многими трудностями, начиная с понимания законов, правил, теорем и заканчивая применением полученных знаний и умений на практике. Обычно такой способ работы предусматривает возможность решения задач различной сложности, расчетных работ, которые предполагают большой объем математических вычислений. В результате для получения определенного ответа на поставленный вопрос задачи требуется выполнить множество однотипных операций, в ходе которых возможно появление ошибок, что в дальнейшем может привести к неправильному результату в конце решения.

В настоящее время существует большое количество разнообразных программных комплексов, пакетов программ, которые предоставляют пользователю без знаний каких-либо языков программирования возможность работать в выбранной среде. Одной из таких сред является Mathcad, предназначенный для выполнения на компьютере расчетов, снабженный простым в освоении и в работе графическим интерфейсом и предоставляемый пользователю инструменты для работы с формулами, числами, графиками и текстами. Исходя из представленных возможностей можно сделать вывод о том, что применение этой системы для решения ряда задач технического направления является исключительно удобным. Поэтому и была поставлена задача исследовать возможность применимости системы Mathcad при решении поставленной задачи. Теперь перейдем к описанию основного этапа проведенной работы [1].

Основная часть

Для того чтобы показать взаимосвязь между математическими описаниями, выполненными в Mathcad, и техническими дисциплинами, обратимся к решению одной из типичных задач курса "Теоретические основы электротехники". Дана симметричная трехфазная цепь, питающаяся от трехфазного генератора с симметричной системой ЭДС, фазные обмотки которого соединены в звезду. В результате короткого замыкания фаз А и В на землю в цепи возникает поперечный несимметричный участок (см. рисунок 1).

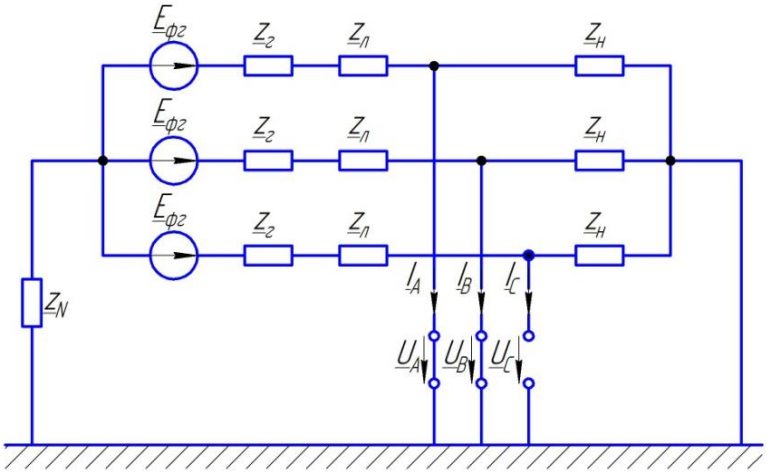


Рис. 1 – Исходная схема

Методом симметричных составляющих нужно определить фазные токи и фазные напряжения несимметричного участка и построить векторные диаграммы найденных фазных токов и напряжений и их симметричных составляющих.

Численные данные по элементам рассматриваемой схемы: $\underline{Z}_{Г1}= j\cdot 24$ Ом, $\underline{Z}_{Г2} = j\cdot 19$ Ом, $\underline{Z}_{Г0} = j\cdot 9$ Ом, $\underline{Z}_{Л1} = 5+j\cdot 5$ Ом, $\underline{Z}_{Л2} = 3+j\cdot 4$ Ом, $\underline{Z}_{Л0} = 1+j\cdot 3$ Ом, $\underline{Z}_{Н1} = 40+j\cdot 30$ Ом, $\underline{Z}_{Н2} = 50+j\cdot 40$ Ом, $\underline{Z}_{Н0} = 25+j\cdot 5$ Ом, $E_{фг} = 127$ В, $\underline{Z}_N = 5$ Ом.

Прежде чем переходить к решению задачи, приведем некоторую теоретическую информацию. Метод симметричных составляющих является одним из основных методов, применяемых для расчета несимметричных режимов в линейных электрических системах. В его основе лежит возможность представления несимметричной системы ЭДС, напряжений или токов суммой трех симметричных систем и замена по принципу наложения расчета несимметричного режима работы трехфазной цепи расчетом трех симметричных режимов.

В соответствии с методом симметричных составляющих любую несимметричную трехфазную систему ЭДС, напряжений или токов можно представить суммой трех симметричных трехфазных систем: прямой, обратной и нулевой последовательности. Эти системы называют симметричными составляющими данной несимметричной трехфазной системы [2, С. 4], [3, С. 329].

Расчет несимметричного режима методом симметричных составляющих, как правило, содержит следующие основные этапы:

1) Представление несимметричных систем напряжений, токов и ЭДС суммой их симметричных составляющих;

2) Замена исходной схемы, работающей в несимметричном режиме, тремя схемами замещения: прямой, обратной и нулевой последовательности, работающими в симметричных режимах, с учетом вида несимметрии;

3) Расчет этих симметричных схем замещения для одной фазы и определение симметричных составляющих токов и напряжений;

4) Расчет по симметричным составляющим искомых токов и напряжений в исходной схеме [2, С. 8].

Согласно представленному выше алгоритму приступим к решению поставленной задачи.

1. Произведем замену исходной схемы при несимметричном режиме работы тремя схемами замещения, работающими в симметричном режиме с учетом вида несимметрии. Схемы замещения строятся согласно [2, С. 18-19, 26], в работе будут представлены лишь вычисления по каждой из схем.

Параметры схемы прямой последовательности:

$$\underline{Z}_1 = ((\underline{Z}_{Г1}+\underline{Z}_{Л1})\cdot\underline{Z}_{Н1})/(\underline{Z}_{Г1}+\underline{Z}_{Л1}+\underline{Z}_{Н1}) = 8{,}562+j\cdot 17{,}886 \text{ Ом} \quad (1)$$

$$\underline{E}_{Э1} = (E_{фг}/(\underline{Z}_{Г1}+\underline{Z}_{Л1}))/((1/(\underline{Z}_{Г1}+\underline{Z}_{Л1}))+1/\underline{Z}_{Н1}) = 82{,}345-j\cdot 23{,}296 \text{ В} \quad (2)$$

Параметры схемы обратной последовательности:

$$\underline{Z}_2 = ((\underline{Z}_{Г2}+\underline{Z}_{Л2})\cdot\underline{Z}_{Н2})/(\underline{Z}_{Г2}+\underline{Z}_{Л2}+\underline{Z}_{Н2}) = 5{,}783+j\cdot 17{,}088 \text{ Ом} \quad (3)$$

Параметры схемы нулевой последовательности:

$$\underline{Z}_0 = ((\underline{Z}_{Г0}+\underline{Z}_{Л0}+3\cdot\underline{Z}_N)\cdot\underline{Z}_{Н0}) / (\underline{Z}_{Г0}+\underline{Z}_{Л0}+3\cdot\underline{Z}_N +\underline{Z}_{Н0}) = 10{,}335+j\cdot 4{,}975 \text{ Ом} \quad (4)$$

2. Для каждой из представленных схем замещения составим уравнения по второму закону Кирхгофа [4, С. 32-33]:

$$\begin{cases} \underline{Z}_1\cdot\underline{I}_1+\underline{U}_1=\underline{E}_{Э1} \\ \underline{Z}_2\cdot\underline{I}_2+\underline{U}_2=0 \\ \underline{Z}_0\cdot\underline{I}_0+\underline{U}_0=0 \end{cases} \quad (5)$$

3. Полученная система имеет в своем составе три уравнения и шесть неизвестных величин. Значит необходимо добавить еще три уравнения, которые будут характеризовать конкретный вид несимметрии - короткое замыкание фаз А и В на землю.

$$\begin{cases} \underline{U}_A = 0 \\ \underline{U}_B = 0 \\ \underline{I}_C = 0 \end{cases} \tag{6}$$

4. Запишем окончательный вид системы уравнений и перейдем к ее решению.

$$\begin{cases} \underline{Z}_1 \cdot \underline{I}_1 + \underline{U}_1 = \underline{E}_{Э1} \\ \underline{Z}_2 \cdot \underline{I}_2 + \underline{U}_2 = 0 \\ \underline{Z}_0 \cdot \underline{I}_0 + \underline{U}_0 = 0 \\ \underline{U}_1 + \underline{U}_2 + \underline{U}_0 = 0 \\ a^2 \cdot \underline{U}_1 + a \cdot \underline{U}_2 + \underline{U}_0 = 0 \\ a \cdot \underline{I}_1 + a^2 \cdot \underline{I}_2 + \underline{I}_0 = 0 \end{cases} \tag{7}$$

На этом можно считать подготовительный этап работы законченным. Теперь можно переходить в систему Mathcad и разрешить представленную систему уравнений. Для этого составим согласно (7) матрицу коэффициентов и матрицу свободных членов [5, С. 34-45], [6, С. 34], чтобы воспользоваться в дальнейшем матричным способом решения системы уравнений [5, С. 52-54].

$$A := \begin{pmatrix} Z1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & Z2 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & Z0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & a_2 & a_1 & 1 \\ a_1 & a_2 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 8.562 + 17.886i & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 5.783 + 17.088i & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 10.355 + 4.975i & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & -0.5 - 0.866i & -0.5 + 0.866i & 1 \\ -0.5 + 0.866i & -0.5 - 0.866i & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Рис. 2 – Матрица коэффициентов

$$B := \begin{pmatrix} EЭ1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 82.345 - 23.296i \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Рис. 3 – Матрица свободных коэффициентов

Решение полученной системы выглядит следующим образом:

$$IU := A^{-1} \cdot B, \tag{8}$$

$$IU = \begin{pmatrix} 0{,}852 - j \cdot 3{,}048 \\ 0{,}98 - j \cdot 0{,}899 \\ -0{,}945 - j \cdot 1{,}863 \\ 20{,}521 - j \cdot 12{,}443 \\ -21{,}037 - j \cdot 11{,}55 \\ 0{,}516 + j \cdot 23{,}994 \end{pmatrix} \tag{9}$$

либо

$$IU = lsolve(A, B) = \begin{pmatrix} 0{,}852 - j \cdot 3{,}048 \\ 0{,}98 - j \cdot 0{,}899 \\ -0{,}945 - j \cdot 1{,}863 \\ 20{,}521 - j \cdot 12{,}443 \\ -21{,}037 - j \cdot 11{,}55 \\ 0{,}516 + j \cdot 23{,}994 \end{pmatrix} \tag{10}$$

Можно данную систему решить при помощи операторов *Given* и *Find* [6, С. 218-221], [7, С. 39-41], [8] при которых нет необходимости в записи матриц коэффициентов:

Given

$$\begin{aligned} &\underline{Z}_1 \cdot \underline{I}_1 + \underline{U}_1 = \underline{E}_{Э1} \\ &\underline{Z}_2 \cdot \underline{I}_2 + \underline{U}_2 = 0 \\ &\underline{Z}_0 \cdot \underline{I}_0 + \underline{U}_0 = 0 \\ &\underline{U}_1 + \underline{U}_2 + \underline{U}_0 = 0 \\ &a^2 \cdot \underline{U}_1 + a \cdot \underline{U}_2 + \underline{U}_0 = 0 \\ &a \cdot \underline{I}_1 + a^2 \cdot \underline{I}_2 + \underline{I}_0 = 0 \end{aligned},$$

$$IU := \text{Find}\,(I1, I2, I0, U1, U2, U0) \rightarrow \begin{pmatrix} 0{,}852 - j \cdot 3{,}048 \\ 0{,}98 - j \cdot 0{,}899 \\ -0{,}945 - j \cdot 1{,}863 \\ 20{,}521 - j \cdot 12{,}443 \\ -21{,}037 - j \cdot 11{,}55 \\ 0{,}516 + j \cdot 23{,}994 \end{pmatrix}. \tag{11}$$

При возможности извлечения информации из строк и столбцов матрицы с результатами, можно перейти к окончательному оформлению ответа, заключающего в себя значения симметричных составляющих токов и напряжений, их модулей, а также их углов:

$I_1 := IU_0 = 0.852 - 3.048i$ A $\quad |I_1| = 3.165$ A $\quad \arg(I_1)\cdot\frac{180}{\pi} = -74.377$ град

$I_2 := IU_1 = 0.98 - 0.899i$ A $\quad |I_2| = 1.33$ A $\quad \arg(I_2)\cdot\frac{180}{\pi} = -42.532$ град

$I_0 := IU_2 = -0.945 - 1.863i$ A $\quad |I_0| = 2.089$ A $\quad \arg(I_0)\cdot\frac{180}{\pi} = -116.89$ град

$U_1 := IU_3 = 20.521 - 12.443i$ B $\quad |U_1| = 23.999$ B $\quad \arg(U_1)\cdot\frac{180}{\pi} = -31.231$ град

$U_2 := IU_4 = -21.037 - 11.55i$ B $\quad |U_2| = 23.999$ B $\quad \arg(U_2)\cdot\frac{180}{\pi} = -151.231$ град

$U_0 := IU_5 = 0.516 + 23.994i$ B $\quad |U_0| = 23.999$ B $\quad \arg(U_0)\cdot\frac{180}{\pi} = 88.769$ град

Рис. 4 – Определение симметричных составляющих токов и напряжений в среде *Mathcad*

Теперь необходимо определить токи и напряжения в месте несимметрии за счет представления несимметричных систем (*I, U*) тремя системами симметричных параметров. Это необходимо задать в активном окне системы Mathcad, после получить результаты и сравнить их с (6):

$IA := I_1 + I_2 + I_0 = 0.888 - 5.811i$ A $\quad |IA| = 5.878$ A $\quad \arg(IA)\cdot\frac{180}{\pi} = -81.312$ град

$IB := a_2\cdot I_1 + a_1\cdot I_2 + I_0 = -3.722 + 0.222i$ A $\quad |IB| = 3.729$ A $\quad \arg(IB)\cdot\frac{180}{\pi} = 176.595$ град

$IC := a_1\cdot I_1 + a_2\cdot I_2 + I_0 = 0$ A $\quad |IC| = 0$ A $\quad \arg(IC)\cdot\frac{180}{\pi} = 0$ град

$UA := U_1 + U_2 + U_0 = 0$ B $\quad |UA| = 0$ B $\quad \arg(UA)\cdot\frac{180}{\pi} = 0$ град

$UB := a_2\cdot U_1 + a_1\cdot U_2 + U_0 = 0$ B $\quad |UB| = 0$ B $\quad \arg(UB)\cdot\frac{180}{\pi} = 0$ град

$UC := a_1\cdot U_1 + a_2\cdot U_2 + U_0 = 1.547 + 71.981i$ B $\quad |UC| = 71.998$ B $\quad \arg(UC)\cdot\frac{180}{\pi} = 88.769$ град

Рис. 5 – Расчет токов в месте несимметрии в среде *Mathcad*, где a_1 соответствует оператору трехфазной системы *a*

Заключение

Решение задачи в среде *Mathcad* демонстрирует, насколько может быть полезно изучить возможности данной программы применительно к изучению технических дисциплин. Благодаря *Mathcad* появляется возможность свести к минимуму рутинную счетную работу, тем самым значительно сократить время на решение конкретных поставленных задач, снизить вероятность появления вычислительных ошибок. Однако, следует не забывать, что программа служит для облегчения процессов расчетов, при этом пользователь программой *Mathcad* должен знать, каким образом поставленную задачу можно решить.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Ерохин С. В. Примеры использования системы "Mathcad" в дисциплине "Электротехника" / С. В. Ерохин, Н. Д. Денисов-Винский // Энергобезопасность и энергосбережение. Математика. - 2010. - №2 (32). - С. 29-33.

2. Ушакова Н. Ю. Метод симметричных составляющих: методические указания к самостоятельному изучению раздела курса ТОЭ и к выполнению расчетно-графического задания / Н. Ю. Ушакова, Л. В. Быковская; Оренбургский гос. ун-т. - Оренбург : ОГУ, 2010. - 59 с.

3. Демирчян К. С. Теоретические основы электротехники. В 3-х т. Учебник для вузов. Том 1 / К. С. Демирчян, Л. Р. Нейман, Н. В. Коровин и др. - 4-е изд. - СПб.: Питер, 2003. - 463 с. ISBN 5-94723-620-6.

4. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи : учебник / Л. А. Бессонов. - 11-е изд., перераб. и доп. - М.: Гардарики, 2007. - 701 с. ISBN 5-8297-0046-8.

5. Новиковский Е. А. Учебное пособие "Работа в системе MathCAD" / Е. А. Новиковский. - Барнаул : Типография АлтГТУ, 2013. - 114 с.

6. Кирьянов Д. В. Mathcad 15/Mathcad Prime 1.0 / Д. В. Кирьянов. - СПб.: БХВ-Петербург, 2012. - 432 с. ISBN 978-5-9775-0746-2.

7. Калмыкова С. И. Самоучитель работы с универсальной математической системой Mathcad / С. И. Калмыкова. - Волгогр. гос. с.-х. акад. - Волгоград, 2006. - 72 с.

8. Воскобойников Ю. Е. Основы вычислений и программирования в пакете MathCAD : учеб. пособие / Ю. Е. Воскобойников, А. Ф. Задорожный, Л. А. Литвинов и др. ; под ред. Ю. Е. Воскобойникова ; Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т (Сибстрин). - Новосибирск : НГСАУ (Сибстрин), 2012. - 212 с. ISBN 978-5-7795-0589-5.

9. Удрис А.П. Векторные диаграммы и их использование при наладке и эксплуатации устройств релейной защиты и автоматики / А. П. Удрис. - М.: НТФ «Энергопрогресс», 2006. - 64 с.

10. Применение системы Mathcad при изучении дисциплины "ТОЭ" [Электронный ресурс]. – URL : https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/3859/Primenenie_MathCAD_v_reshenii_zadach_ehlektrotekhniki.pdf?sequence=1&isAllowed=y (дата обращения 23.07.2021).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Erokhin S. V. Primery ispol'zovanija sistemy "Mathcad" v discipline "Ehlektrotekhnika" [Examples of using the "Mathcad" system in the discipline "Electrical Engineering"] / S. V. Erokhin, N. D. Denisov-Vinsky // Ehnergobezopasnost' i ehnergosberezhenie. Matematika [Energy security and energy saving. Mathematics.] - 2010. - №2 (32). - pp. 29-33 [in Russian]

2. Ushakova N. Yu. Metod simmetrichnykh sostavljajushhikh: metodicheskie ukazanija k samostojatel'nomu izucheniju razdela kursa TOEh i k vypolneniju raschetno-graficheskogo zadanija [The method of symmetric components: methodological guidelines for the independent study of the section of the course of the Theoretical Foundations of Electrical Engineering and for the implementation of the calculation and graphic problems] / N. Yu. Ushakova, L. V. Bykovskaya; Orenburg State University. - Orenburg : OSU, 2010. - 59 p. [in Russian]

3. Demirchyan K. S. Teoreticheskie osnovy ehlektrotekhniki. V 3-kh t. Uchebnik dlja vuzov. Tom 1 [Theoretical foundations of electrical engineering. In 3 volumes. Textbook for universities. Volume 1] / K. S. Demirchyan, L. R. Neumann, N. V. Korovin et al. - 4th ed. - St. Petersburg: Peter, 2003. - 463 p. ISBN 5-94723-620-6 [in Russian]

4. Bessonov L. A. Teoreticheskie osnovy ehlektrotekhniki. Ehlektricheskie cepi : uchebnik [Theoretical foundations of electrical engineering. Electrical circuits: textbook] / L. A. Bessonov. - 11th ed., revised and expanded-M.: Gardariki, 2007. - 701 p. ISBN 5-8297-0046-8 [in Russian]

5. Novikovsky E. A. Uchebnoe posobie "Rabota v sisteme MathCAD" [The textbook "Working in the MathCAD system"] / E. A. Novikovsky. - Barnaul: Publishing house of Altai State Technical University, 2013. - 114 p. [in Russian]

6. Kiryanov D. V. Mathcad 15/Mathcad Prime 1.0 / D. V. Kiryanov. - St. Petersburg: BKhV-Petersburg, 2012. - 432 p. ISBN 978-5-9775-0746-2 [in Russian]

7. Kalmykova S. I. Samouchitel' raboty s universal'nojj matematicheskojj sistemojj Mathcad [Self-help guide for working with the universal mathematical system Mathcad] / S. I. Kalmykova. - Volgograd State Agricultural University. - Volgograd, 2006. - 72 p. [in Russian]

8. Voskoboynikov Yu. E. Osnovy vychislenijj i programmirovanija v pakete MathCAD : ucheb. posobie [Fundamentals of computing and programming in the MathCAD package: a manual] / Yu. E. Voskoboynikov, A. F. Zadorozhny, L. A. Litvinov et al.; edited by Yu. E. Voskoboynikova ; Novosibirsk State Architectural Institute. - Novosibirsk: NGSAU (Sibstrin), 2012. - 212 p. ISBN 978-5-7795-0589-5 [in Russian]

9. Udris A. P. Vektornye diagrammy i ikh ispol'zovanie pri naladke i ehkspluatacii ustrojjstv relejjnojj zashhity i avtomatiki [Vector diagrams and their use in the setup and operation of relay protection and automation devices] / A. P. Udris. - M.: NTF «Ehnergoprogress»", 2006. - 64 p. [in Russian]

10. Primenenie sistemy Mathcad pri izuchenii discipliny "TOEh" [Application of the Mathcad system in the study of the discipline "Theoretical Foundations of Electrical Engineering"] [Electronic resource]. – URL : https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/3859/Primenenie_MathCAD_v_reshenii_zadach_ehlektrotekhniki.pdf?sequence=1&isAllowed=y (accessed 23.07.2021) [in Russian]

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.110.8.009

РАЗРАБОТКА МЕХАТРОННОГО МОДУЛЯ С УРАВНОВЕШИВАЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ И СОЗДАНИЕ РОБОТА НА ЕГО ОСНОВЕ

Научная статья

Головин М.А.[1, *], Шестаков К.Д.[2], Сафаров В.Д.[3]
[1] ORCID: 0000-0002-7063-1284;
[1, 2, 3] Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия;
[1] Федеральный научный центр реабилитации инвалидов им Г.А. Альбрехта Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия;

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

Аннотация

Использование инвалидного кресла-коляски оператором приводит к компенсаторным движениям корпуса. В ходе исследования предложена конструкция мехатронного модуля шасси инвалидного кресла-коляски для стабилизации сиденья (платформы) и система управления стабилизацией относительно угла к горизонту. Для получения точного сигнала отклонения сиденья используются датчики расстояния и инерциальное измерительно устройство. Разработана методика расчета пружины пружинного аккумулятора и кинематическая модель мехатронного модуля и робота. Показано, что использование нелинейного пружинного аккумулятора с синусной моментной характеристикой на базе цилиндрических пружин приводит к уменьшению затрат энергии при стабилизации.

Ключевые слова: робот, стабилизация, пружинный аккумулятор.

DEVELOPMENT OF A MECHATRONIC MODULE WITH A BALANCING DEVICE AND A ROBOT BASED ON IT

Research article

Golovin M.A.[1, *], Shestakov K.D.[2], Safarov V.D.[3]
[1] ORCID: 0000-0002-7063-1284;
[1, 2, 3] Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia;
[1] Federal Scientific Center of Rehabilitation of the Disabled named after G.A. Albrecht of the Ministry of Labour and Social Protection of the Russian Federation, St. Petersburg, Russia

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

Abstract

The manual use of a wheelchair leads to compensatory movements of the body. The article proposes a design of the mechatronic module of wheelchair chassis for seat (platform) stabilization and a stabilization control system relative to the angle to the horizon. To obtain an accurate signal of seat inclination, distance sensors and an inertial measuring device are used. The study also introduces a method for calculating the spring of a spring accumulator and a kinematic model of a mechatronic module and a robot. It is shown that the use of a nonlinear spring accumulator with a sine moment characteristic based on cylindrical springs leads to a decrease in energy costs during stabilization.

Keywords: robot, stabilization, spring accumulator.

Введение

Мобильность лиц с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) в XXI веке является острой проблемой в условиях возрастающей урбанизации [1, С. 104]. Для ее решения проводится адаптация существующей городской инфраструктуры с целью повышения мобильности [2, С. 67]. В то же время, например, не существует инвалидных кресел-колясок, которые предназначены для самостоятельного движения на эскалаторах, часто встречаемых в городском пространстве.

Лицам с ОВЗ для компенсации нарушений опорно-двигательного аппарата могут назначаться соответствующие технические средства реабилитации, такие как - трости, протезы, инвалидные кресла-коляски и др. Кресла-коляски могут иметь электропривод, а также источник энергии, преобразователь мощности, микроконтроллер, устройство ввода, мотор и редуктор. Прогулочные коляски предназначены для перемещения не только в помещении, но и на улице, поэтому важно, чтобы кресло-коляска имела удобную и надежную систему управления.

Для повышения комфорта при движении на колесном транспортном средстве по неровной поверхности предложены различные технические решения. Однако, только небольшое количество электрических инвалидных колясок пригодно для полноценного самостоятельного использования инвалидами в городской среде, в частности – из-за отсутствия систем очувствления [3, С. 64]. Большинство инвалидных колясок подходят только для перемещения по поверхностям с малыми углами въезда и съезда – до 10^0.

Стабилизация сиденья ИКК при перемещении по неровным поверхностям и лестницам является предметом большого количества исследований [4, С.90], [5, С.243], [6, С.81]. Отдельно рассматриваются различные компоненты подобных систем [7, С. 96]. При этом практически не уделяется внимания вопросу организации меньшего потребления энергии при их эксплуатации. Применение в системе стабилизации компенсатора способно обеспечить экономию энергии и позволит повысить запас хода.

Медико-социальный эффект результата работы заключается в обеспечении лиц с ОВЗ более комфортными и безопасными средствами передвижения на эскалаторах и пандусах без необходимости совершать физиологические движения компенсации. Практическим результатом исследования является макет робота (инвалидной коляски).

Применение результатов в практике медицинской реабилитации возможно для повышения мобильности пользователей в условиях продолжающейся урбанизации. Например, в Санкт-Петербурге и Москве на каждой станции

метрополитена дежурит специальная команда сотрудников, для оказания помощи маломобильной категории граждан. Разработка подобных систем сможет уменьшить нагрузку на региональные бюджеты.

Цель работы – разработка мехатронного модуля с поступательным движением исполнительного механизма и рекуперацией энергии и робота на его основе.

Методы и принципы исследования

При проведении исследования были использованы методы объектно-ориентированного взаимодействия человека и ЭВМ, методы цифровой электроники, принципы проектирования мехатронных устройств и методы структурного программирования. Робот построен на базе платформы Arduino. Измерение нагрузки проводилось с использованием платформы MyDAQ, NI, и датчика тока LA 55-P в ПО LabView 2019. Модель построена в среде Simulink, Matlab.

Объект изучения: шасси инвалидного кресла-коляски. Предмет изучения: стабилизация сиденья при движении по неровным поверхностям и в условиях перепада высот между осями.

Основные результаты

Модульный принцип проектирования является основополагающим при проектировании транспортных средств в настоящее время [8, С. 24]. Работа модуля стабилизации заключается в поступательном перемещении выходного звена – мотор-колеса.

Модуль стабилизации с системой уравновешивания представлен на рисунке 1. Уравновешивающее устройство состоит из шарнирно соединенных рычагов 1 и 2 длиной r, образующих двухзвенник:

$$r = OO_1 = O_1O_2 = OO_3$$

На раме шарнирно установлен блок O_3, на котором запасован гибкий элемент 3, соединенный с пружинами 4. Пружины 4, гибкий элемент 3 и блок O_3 формируют пружинный аккумулятор. Рычаг 1 шарнирно соединен с мотор-колесом 5. Мотор-редуктор с необратимой передачей соединен со звеном 2. и шкив 7, зафиксированный на оси O_1, имеют передаточное число 2:1 и с ремнем 8 образуют зубчатую ременную передачу.

При отклонении сиденья (платформы) от заданного положения формируются управляющие сигналы включения мотор-редуктора. Они сообщают вращательное движение звену 2 и, через ременную передачу, звену 1. Таким образом обеспечивается поступательное движение мотор-колеса 5 в вертикальной плоскости. При этом производится уравновешивание полезной нагрузки за счет работы пружин 4 и достигается уменьшение затрат энергии.

При необходимости подъема или опускания рамы на поверхности с сложным или переменным рельефом производится ее перемещение, в том числе для обеспечения ее высоты не менее допустимой.

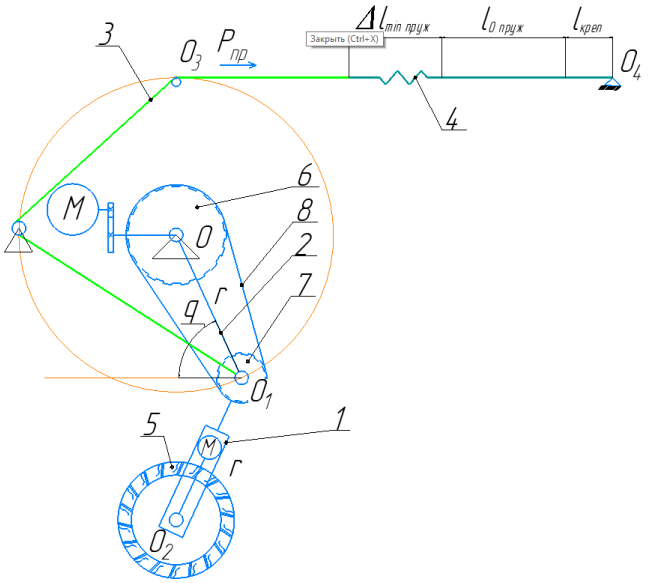


Рис. 1 – Структурная схема модуля с системой уравновешивания:
1, 2 – шарнирно соединенне рычаги; *3* – гибкий элемент; *4* – пружины; *5* – мотор-колесо; *6* – неподвижно закрепленный шкив; *7* – шкив; *8* – ремень

Пружинный аккумулятор можно расположить в произвольном конструктивно выгодном месте. Методика его расчета сводится к определению характеристик основного элемента – пружины (рисунок 2).

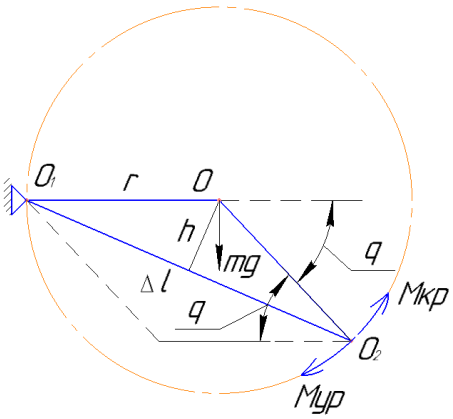


Рис. 2 – Схема модуля стабилизации:
O – ось вращения плеча OO_2; O_1 – точка закрепления пружины (гибкого нерастяжимого элемента); O_2 – ось вращения шкива 7; *r* – расстояние OO_1 и OO_2; Δl – удлинение пружины; *q* – угол отклонения плеча OO_2 от положения устойчивого равновесия пружинного аккумулятора; mg – вес нагрузки; $M_{ур}$ – момент, создаваемый пружиной в точке O_2; $M_{кр}$ – момент, создаваемый нагрузкой в точке O_2; *h* – плечо момента $M_{кр}$, создаваемого пружиной

Определим плечо пружины h:

$$h = r\sin\frac{q}{2}$$

Момент уравновешивания нагрузки $M_{ур}$:

$$M_{ур} * \dot{q} = mg\dot{\Delta l},$$

где:

$$\dot{\Delta l} = 2r\dot{\cos}\frac{q}{2} = -2r\,sin\frac{q}{2} * \dot{q}$$

$$M_{ур} = \frac{-mg2r\,sin\frac{q}{2} * \dot{q}}{\dot{q}} = mg(-2r\,sin\frac{q}{2})$$

Момент вращения $M_{кр}$, обусловленный действием пружины:

$$M_{кр} = P_{пр} * h$$

Мощность пружины определяется по формуле:

$$P_{пр} = c * \Delta l$$

Учитывая, что:

$$\Delta l = O_1O_2 = 2r\cos\frac{q}{2}$$

подставим это выражение в формулу расчета мощности пружины:

$$P_{пр} = 2cr\cos\frac{q}{2}$$

Тогда момент вращения $M_{кр}$:

$$M_{кр} = c * 2r\cos\frac{q}{2} * r\sin\frac{q}{2} = cr^2 * 2\cos\frac{q}{2}\sin\frac{q}{2} = cr^2\sin q$$

Задача системы уравновешивания состоит в компенсации момента Мкр. Таким образом, уравняем возникающие моменты:

$$M_{кр} = M_{ур}$$

$$cr^2\sin q = mg(-2r\,sin\frac{q}{2})$$

Следовательно, жесткость пружины равна:

$$c = \frac{2mg\,sin\frac{q}{2}}{r\,sin\,q}$$

где n – количество витков.

Таким образом, на основании характеристик модуля: массы модуля с полезной нагрузкой m, длины звена r, диапазона рабочего угла $q \in (q_{min}; q_{max})$ возможно подобрать пружину. ГОСТ регламентируют жесткость одного витка пружины, соответственно:

$$C_1 = \frac{c}{n}$$

где n – количество витков пружины.

Расчет усилия пружины:

$$P_{max} = C_1 * f_1$$

Диссипативные свойства пружинных аккумуляторов можно оценивать коэффициентом потерь φ.

$$\varphi = \frac{A_1 + A_2}{V_{max}} = \frac{2\psi cr^2 + 4rcf(d + d_1)}{2cr^2} = \psi + \frac{2f(d + d_1)}{r}$$

где ψ – коэффициент рассеяния;

f – коэффициент трения;

d_1 – диаметр осей шарнирных соединений пружины в точках O_1 и O_2;

d – диаметр оси шарнирного соединения в точке O.

Первая геометрическая передаточная функция кривошипно-кулисного механизма равна:

$$\prod'_{ш}(q) = \frac{r\sin q}{2\sqrt{1 - \cos q}}$$

Реализовать пружинный аккумулятор с синусной моментной характеристикой и углом поворота 2π невозможно, но пружинный аккумулятор с гибким элементом позволяет реализовать моментную характеристику близкую к синусной (конструктивно учитывается радиус блока).

Исходя из медико-технических требований знаем минимальную ($h_{мин}$) и максимальную ($h_{макс}$) высоту сиденья ИКК. Соответственно, работа двухзвенника будет совершаться в определенном диапазоне угла сгибания q:

$$q \in (q_{мин}; q_{макс})$$
$$h_{мин} = r\sin q_{макс}$$
$$h_{макс} = r\sin q_{мин}$$

Примем, что длины плеч двухзвенника обеспечивают изменение угла q в диапазоне от 120 до 170 градусов. Изменение угла q в рассматриваемом диапазоне можно аппроксимировать как линейную функцию:

$$M = -0.0139q + 2.5688$$

Рассмотрим кинематику робота (рисунок 3).

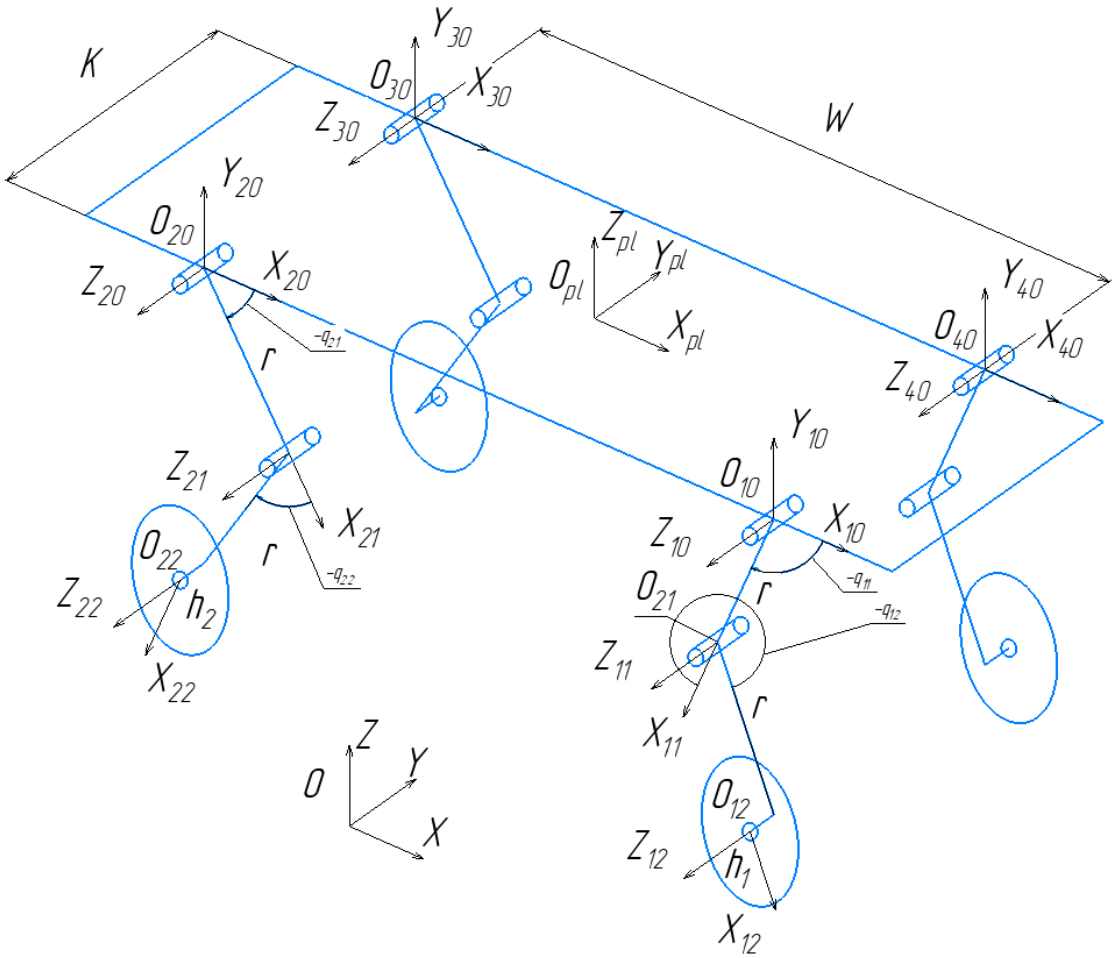


Рис. 3 – Кинематическая схема робота с четырьмя мехатронными модулями стабилизации

Движение в суставах двухзвенников и вращение колес осуществляется параллельно раме. Определим положение рамы относительно глобальной системы координат [9, С.6]:

$$A_{pl} = \begin{pmatrix} R(\varphi,\theta,\psi) & \begin{matrix} x_{pl} \\ y_{pl} \\ z_{pl} \end{matrix} \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

где:

вектор $(x_{pl} y_{pl} z_{pl})^T$ - вектор, определяющий положение начала отсчета O_{pl} относительно глобальной системы координат;

$\varphi, \theta, \psi -$ углы Эйлера;

$R(\varphi,\theta,\psi) -$ матрица поворота, которая определяет ориентацию системы координат, связанную с платформой [10, С. 47]:

$$R(\varphi,\theta,\psi) = R_z(\varphi) R_{y'}(\theta) R_{z''}(\psi)$$

В то же время, с платформой связаны еще четыре системы координат. Смещение начала отсчета O_{i0} относительно системы координат, находящейся в центре платформы, будет определяться вектором $(x_i\ y_i\ z_i)^T$, где i — номер модуля. Переход от систем координат O_{i0} к системе координат O_{pl} можно осуществить за счет преобразования:

$$A_{Oi} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & x_i \\ 0 & 0 & 1 & y_i \\ 0 & -1 & 0 & z_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

В таблице 1 приведены значения компонент вектора $(x_i\ y_i\ z_i)^T$.

Таблица 1 – Координаты смещения модулей относительно центра платформы

Номер ноги	x_i	y_i	z_i
1	W/2	-K/2	0
2	-W/2	-K/2	0
3	-W/2	K/2	0
4	W/2	K/2	0

Введем системы координат, связанные со звеньями модулей, определенные согласно правилам Денавита–Хартенберга. Номера звеньев j отсчитываются от рамы: 1 — верхнее звено, 2 — нижнее звено. Значения параметров приведены в таблицах 2,3.

Таблица 2 – Параметры систем координат первого звена

Сочленение i	d_i	a_i	q_i	$\propto_i$
1	0	r	π	0
2	h_2	r	2π	0

Таблица 3 – Параметры систем координат второго звена

Сочленение i	d_i	a_i	q_i	$\propto_i$
1	0	r	$\pi/2$	0
2	h_2	r	$\pi/2$	0

Используя таблицы 2 и 3, можно составить матрицы перехода между звеньями. Матрица перехода от системы координат j-го звена к системе координат (j – 1)-го звена для i-й ноги имеет вид [10, С. 69]:

$$A_i(d_i, a_i, q_i, \propto_i) = \begin{pmatrix} \cos q_i & -\cos \propto_i \sin q_i & \sin \propto_i \sin q_i & a_i \cos q_i \\ \sin q_i & \cos \propto_i \cos q_i & -\sin \propto_i \cos q_i & a_i \sin q_i \\ 0 & \sin \propto_i & \cos \propto_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Положение конца каждой из ног вычисляется после перемножения соответствующих матриц. Матрица перехода от системы координат конца i-й ноги к глобальной системе координат определяется выражением:

$$T^i = A_{pl} A_{Oi} \prod_{j=1}^{4} A_i$$

Рассмотрим алгоритм работы в одной плоскости.

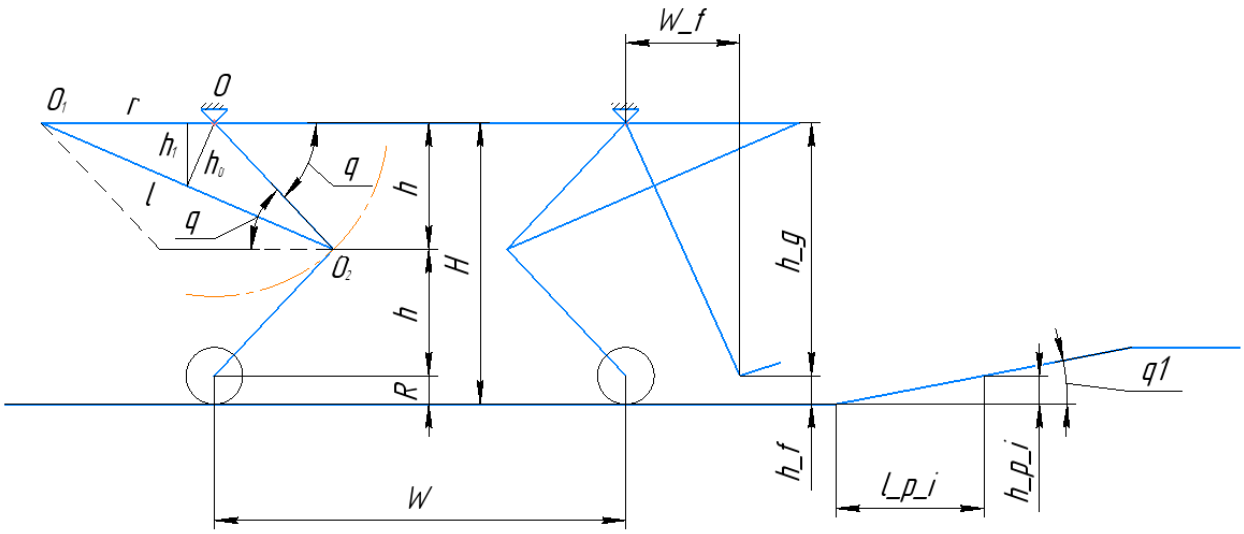


Рис. 4 – Схема модуля подвески инвалидного кресло-коляски на базе двухзвенника

Высота точки крепления ноги:

$$\mathrm{H} = 2\mathrm{r} \sin \mathrm{q} + \mathrm{R}$$

Угол поворота звена двухзвенника:

$$\mathrm{q} = \arcsin\left(\frac{\mathrm{H} - \mathrm{R}}{2\mathrm{r}}\right)$$

Установленный в системе датчик высоты работает с частотой 40 Гц, что при скорости линейного движения 1 м/с обеспечивает необходимую скорость обновления информации о наличии препятствий. Наличие пандуса по ходу движения определяется как накопление информации об уменьшении высоты до поверхности, на основании чего высчитывается угол его наклона q1.

Для разработанного модуля построена модель в среде моделирования Simscape Multibody, MATLAB. Макет системы, выполненный на базе контроллера Arduino, представлен на рисунке 5.

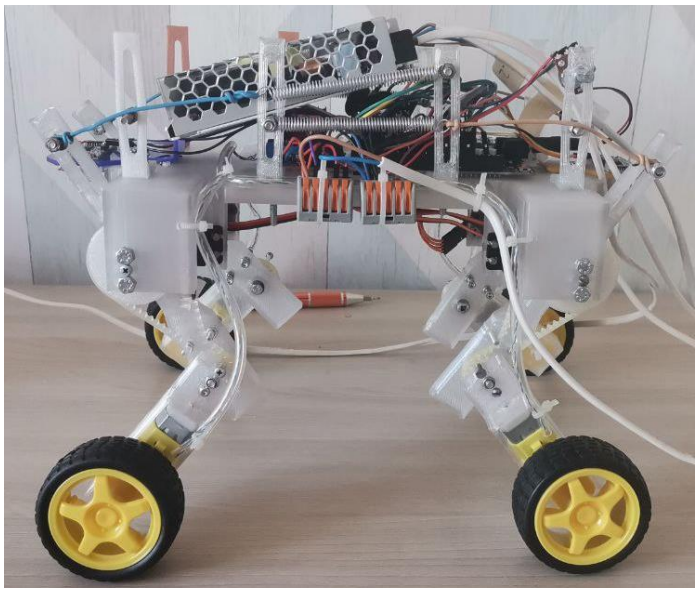


Рис. 5 – Лабораторный макет с мехатронными модулями стабилизации с системой уравновешивания

На графике 6 представлены результаты натурного моделирования изменения высоты макета – задающий сигнал, нагрузочная характеристика и значения с сенсоров.

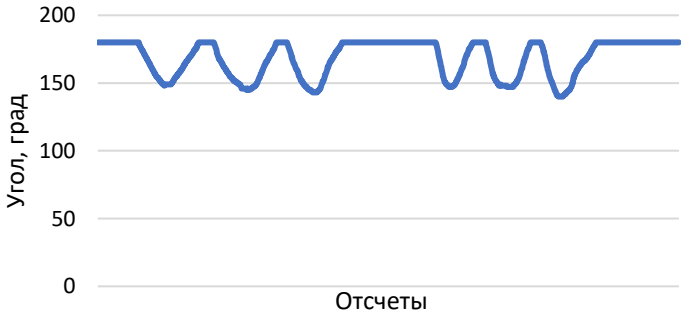


Рис. 6.1 – Результаты исследования изменения высоты рамы: задающий сигнал сгибания модулей стабилизации высоты

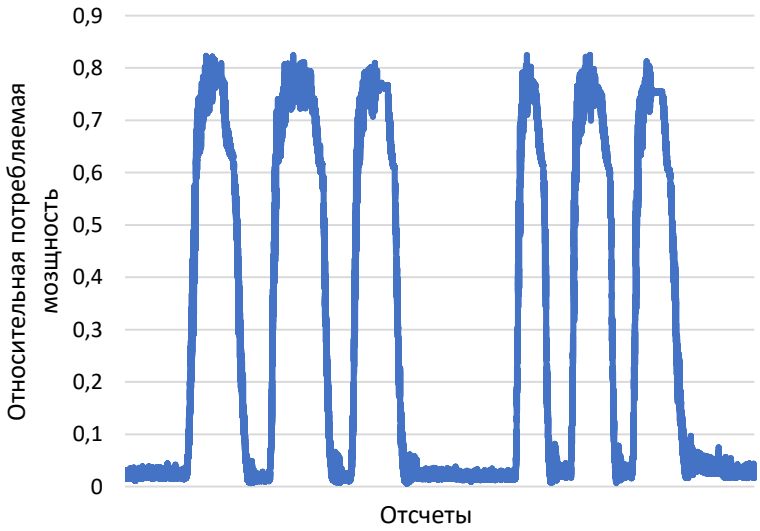


Рис. 6.2 – Результаты исследования изменения высоты рамы: график потребляемой мощности, NI myDAQ

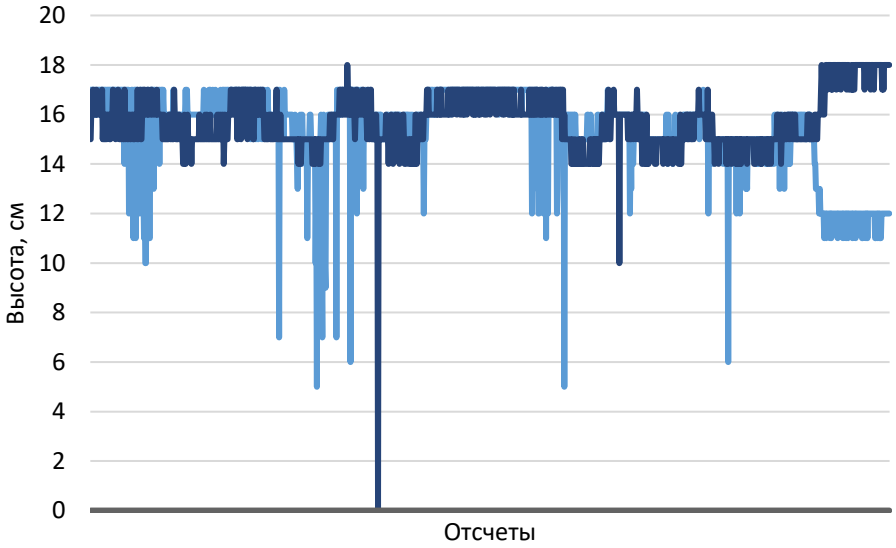


Рис. 6.3 – Результаты исследования изменения высоты рамы: значения с датчиков высоты

Первые три задающих сигнала отрабатывались с пружинным аккумулятором, но без полезной нагрузки, следующие 3 – с полезной нагрузкой. Анализ рисунка 11 показывает, что, несмотря на ограничения системы измерения, в первом случае (без полезной нагрузки) в процессе опускания приводы модулей стабилизации работали на растяжение пружин и изменение высоты происходило с небольшой задержкой, а при подъеме платформы в исходное положение работа приводов заканчивалась после достижения исходной высоты. С полезной нагрузкой (при уравновешивании крутящего момента пружин) – опускание платформы происходило быстрее, а подъем платформы происходил с минимальными затратами энергии за счет скомпенсированных веса полезной нагрузки и усилия пружин. Установлено, что затраты энергии на работу двигателей модулей стабилизации при работе пружинных аккумуляторов и наличии полезной нагрузки, меньше, чем при отсутствии полезной нагрузки.

Результаты

В результате проведенного исследования разработана математическая модель модуля стабилизации с пружинными аккумуляторами и робота на основе четырех модулей. Разработана методика расчета пружины пружинного аккумулятора. Проведено исследование работы пружинных аккумуляторов на макете робота.

Представленная тема является перспективной для дальнейшего совершенствования системы управления и исследования полноразмерного макета.

Финансирование

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90262.

Funding

The reported study was funded by RFBR, project number 19-38-90262.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Velho R.. Transport accessibility for wheelchair users: A qualitative analysis of inclusion and health / R. Velho // International Journal of Transportation Science and Technology. – 2019. - Vol. 8 - Is. 2 – P. 103-115.

2. Sze N. N. Access to urban transportation system for individuals with disabilities / N. N. Sze, K. M. Christensen // IATSS Research. – 2017. – 41. - P. 66–73.

3. Sukerkar K. Smart Wheelchair: A Literature Review / K. Sukerkar, D. Suratwala, A. Saravade et al. // International Journal of Informatics and Communication Technology. 2018. - Vol.7. - No.2. P. 63-66.

4. Quaglia G. Design of a self-leveling cam mechanism for a stair climbing wheelchair / G. Quaglia, M. Nisi // Mechanism and Machine Theory. – 2017. – 112. – P. 84–104.

5. Candiottia J. Design and evaluation of a seat orientation controller during uneven terrain driving / J. Candiottia, H. Wanga, C.-S. Chunga et al. // Medical Engineering and Physics. – 2016. – 38. – P. 241–247.

6. Jamin N. F. Two-Wheeled Wheelchair Stabilization Control Using Fuzzy Logic Controller Based Particle Swarm Optimization / N. F. Jamin, N. A. Ghani // 2016 IEEE International Conference on Automatic Control and Intelligent Systems (I2CACIS). – 2016. – P. 78-83.

7. Xu W. Torque optimization control for electric vehicles with four in-wheel motors equipped with regenerative braking system / W. Xu, H. Chen, H. Zhao et al. // Mechatronics. – 2019. - Vol. 57. P. 95-108.

8. Andreev V. The Principle of Full Functionality – the Basis for Rapid Reconfiguration in Heterogeneous Modular Mobile Robots / V. Andreev, V. Kim, P. Pletenev // Proceedings of the 28th DAAAM International Symposium. - 2017. - P. 23-28.

9. Антонов А.В. Решение задач кинематики и динамики для трехопорного колесно-шагающего робота / А.В. Антонов, С.А. Воротников // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. №3(684). 2017. С. 4-11.

10. Зенкевич С.Л. Основы управления манипуляционными роботами / С.Л. Зенкевич, А.С. Ющенко // Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. - 2004. - 480 с.

Список литературы на английском языке / References in English*

1. Velho R. Transport accessibility for wheelchair users: A qualitative analysis of inclusion and health / R. Velho // International Journal of Transportation Science and Technology. – 2019. - Vol. 8 - Is. 2 – P. 103-115.

2. Sze N. N. Access to urban transportation system for individuals with disabilities / N. N. Sze, K. M. Christensen // IATSS Research. – 2017. – 41. - P. 66–73.

3. Sukerkar K. Smart Wheelchair: A Literature Review / K. Sukerkar, D. Suratwala, A. Saravade et al. // International Journal of Informatics and Communication Technology. 2018. - Vol.7. - No.2. P. 63-66.

4. Quaglia G. Design of a self-leveling cam mechanism for a stair climbing wheelchair / G. Quaglia, M. Nisi // Mechanism and Machine Theory. – 2017. – 112. – P. 84–104.

5. Candiottia J. Design and evaluation of a seat orientation controller during uneven terrain driving / J. Candiottia, H. Wanga, C.-S. Chunga et al. // Medical Engineering and Physics. – 2016. – 38. – P. 241–247.

6. Jamin N. F. Two-Wheeled Wheelchair Stabilization Control Using Fuzzy Logic Controller Based Particle Swarm Optimization / N. F. Jamin, N. A. Ghani // 2016 IEEE International Conference on Automatic Control and Intelligent Systems (I2CACIS). – 2016. – P. 78-83.

7. Xu W. Torque optimization control for electric vehicles with four in-wheel motors equipped with regenerative braking system / W. Xu, H. Chen, H. Zhao et al. // Mechatronics. – 2019. - Vol. 57. P. 95-108.

8. Andreev V. The Principle of Full Functionality – the Basis for Rapid Reconfiguration in Heterogeneous Modular Mobile Robots / V. Andreev, V. Kim, P. Pletenev // Proceedings of the 28th DAAAM International Symposium. - 2017. - P. 23-28.

9. Antonov A.V. Reshenie zadach kinematiki i dinamiki dlja trehopornogo kolesno-shagajushhego robota [The solution of kinematics and dynamics problems for a tricycle wheel-walking robot] / A.V. Antonov, S. A. Vorotnikov // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Mashinostroenie [Izvestia of higher educational institutions. Mechanical engineering]. No. 3(684). 2017. pp. 4-11. [in Russian]

10. Zenkevich S. L. Osnovy upravlenija manipuljacionnymi robotami [Fundamentals of manipulative robot control] / S. L. Zenkevich, A. S. Yushchenko // Publishing House of Bauman Moscow State Technical University. - 2004. - 480 p. [in Russian]

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.110.8.010

РАЗРАБОТКА МЕДИЦИНСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С ЭЛЕМЕНТАМИ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В КАРДИОЛОГИИ

Научная статья

Демченко М.В.[1, *], Фирюлина М.А.[2], Каширина И.Л.[3]
[1, 2, 3] Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

* Корреспондирующий автор (masha-vrn[at]yandex.ru)

Аннотация

Предлагаемое исследование посвящено описанию медицинской информационной системы (МИС), разработанной с целью сопровождения врача-кардиолога при обследовании и лечении пациентов с профильной патологией (заболеваниями сердечно-сосудистой системы). Данная система предоставляет возможности мониторинга и хранения показателей состояния здоровья пациента, а также назначения медицинских консультаций и плановых посещений. Система включает модуль искусственного интеллекта, на данный момент предоставляющего возможности по ранней диагностике и прогнозированию риска магистрального атеросклероза у всех обратившихся пациентов, а также по прогнозированию смертности пациентов, перенесших инфаркт миокарда. Данный программный продукт разработан на основе платформы .NET с использованием Angular, СУБД MS SQL Server и моделей машинного обучения на языке Python.

Ключевые слова: информационная система, веб-приложение, .NET, MS SQL Server, Angular, Python, атеросклероз, машинное обучение, диагностическая модель.

DEVELOPMENT OF A HEALTH INFORMATION SYSTEM WITH DECISION SUPPORT ELEMENTS IN CARDIOLOGY

Research article

Demchenko M.V.[1, *], Firyulina M.A.[2], Kashirina I.L.[3]
[1, 2, 3] Voronezh State University, Voronezh, Russia

* Corresponding author (masha-vrn[at]yandex.ru)

Abstract

The study describes a health information system (HIS) developed for the purpose of accompanying a cardiologist during the examination and treatment of patients with special pathology (diseases of the cardiovascular system). This system provides opportunities for monitoring and storing indicators of the patient's health status as well as assigning medical consultations and scheduled visits. The system includes an artificial intelligence module, which currently provides opportunities for early diagnosis and prediction of the risk of major atherosclerosis in all patients who have applied, as well as for predicting the mortality of patients who have suffered a myocardial infarction. The software is developed on the basis of .NET using Angular, MS SQL Server DBMS and Python machine learning models.

Keywords: information system, web application, .NET, MS SQL Server, Angular, Python, atherosclerosis, machine learning, diagnostic model.

1. Введение

Автоматизация и повышение эффективности рабочих процессов медицинских учреждений является одной из наиболее актуальных задач здравоохранения в настоящее время. Одним из необходимых условий развития современной медицины является разработка, внедрение и поддержка высокоэффективных информационных систем, нацеленных на оптимизацию использования многих ресурсов при оказании медицинских услуг [1], [2]. При этом важным фактором является использование в подобных системах современных телемедицинских технологий. Возможности дистанционной диагностики, в частности, хронических заболеваний, позволяют отслеживать и предупреждать опасные и критические состояния здоровья пациента, снизить количество посещений и госпитализаций пациентов, а также динамически верифицировать и корректировать назначенное лечение.

Благодаря непрерывному процессу информатизации и цифровизации современного общества к настоящему моменту накоплено множество данных, пригодных для дальнейшего исследования и применения при разработке интеллектуальных систем поддержки принятия врачебных решений. Накопленные массивы медицинских данных являются ценным источником информации при разработке систем искусственного интеллекта на основе методов машинного обучения.

Применение моделей машинного обучения в целях прогнозирования риска сердечно сосудистых заболеваний является одной из актуальных тенденций современной медицины, поскольку предполагает дополнительные преимущества по сравнению с традиционными подходами. Качественные модели машинного обучения могут повысить эффективность прогнозирования рисков за счет выявления новых предикторов риска и изучения сложных взаимодействий между ними. При этом важнейшими этапами реализации потенциальных преимуществ машинного обучения являются выбор правильной модели и тщательная настройка ее гиперпараметров [3].

Таким образом, основной целью создания предлагаемой информационной системы является обеспечение работы врача-кардиолога при обследовании и лечении пациентов с заболеваниями сердечно-сосудистой системы с элементами поддержки принятия врачебных решений на основе искусственного интеллекта и функцией дистанционного мониторинга за состоянием больных.

Текущий этап разработки МИС подразумевает ее дальнейшую апробацию и сбор медицинских данных с целью последующей интеграции информационной системы в различных медицинских организациях.

2. Описание медицинской информационной системы

Разработанная в рамках данного этапа исследования МИС предназначена для использования врачами-специалистами и выполнена в соответствии с рядом функциональных требований.

Перечень реализованных функций МИС:

– Модуль для самостоятельной записи пациентов на прием.

– Автоматическое объединение различных типов («блоков») медицинской информации для конкретного пациента на определенный момент времени или за определенный временной интервал.

– Автоматический планировщик приема пациентов с перечнем поставленных заданий и отметками об их выполнении.

– Поддержка принятия врачебных решений в отдельных задачах диагностики и лечения с использованием искусственного интеллекта.

Необходимым требованием к разрабатываемой информационной системе является соответствие требованиям законодательства и нормативным актам по защите персональных и медицинских данных (медицинских баз данных), а также хранению медицинской информации.

Диаграмма взаимодействия основных компонентов данной системы приведена на рис. 1.

Основным элементом рассматриваемой системы является веб-приложение, состоящее из нескольких компонентов.

Веб-сервис (.NET Framework [4]), предоставляющий возможность взаимодействия пользовательского интерфейса с основной логикой приложения и базой данных путем REST – запросов.

Пользовательский интерфейс разработан с использованием Angular 12.0 [5] и определяет основные компоненты взаимодействия пользователя с функциональностью приложения и его поведение в интерактивном режиме.

Веб-сервис машинного обучения (Flask [6]), обеспечивающий возможность вызова моделей машинного обучения в интерактивном режиме и последующего получения результатов (прогнозирования риска исследуемых заболеваний). Используемые модели машинного обучения были предобучены с использованием средств языка и библиотек Python [7].

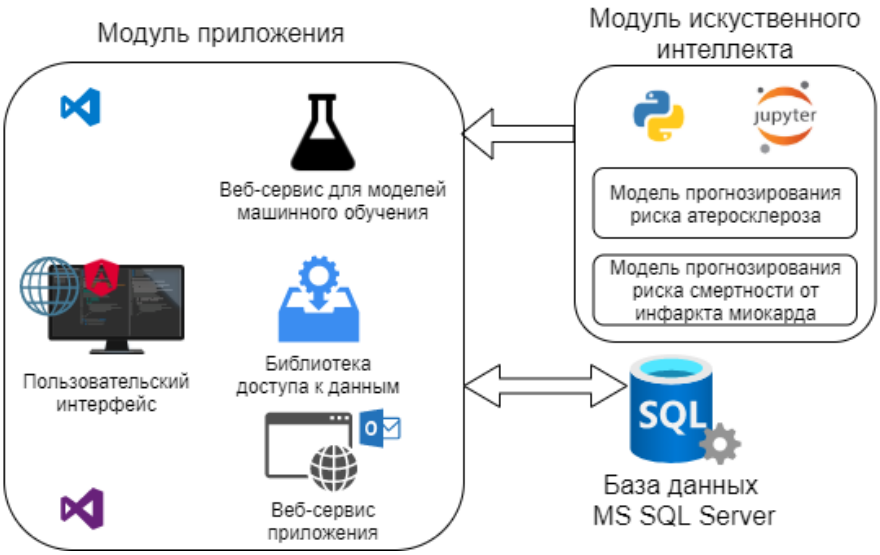


Рис. 1 – Описание информационной системы

Библиотека доступа к данным (.NET Framework) предоставляет доступ к основным репозиториям базы данных и позволяет оперировать основными сущностями приложения (считывать, добавлять, удалять, изменять). В качестве хранилища данных используется реляционная база данных MS SQL Server [8].

На рис. 2 представлены основные сущности используемой базы данных и их зависимости.

AspNetUsers – таблица пользователя приложения. Используется при авторизации в системе. Doctors – таблица врача. Для каждого доктора определены соответствующие часы приема (ConsultationHours), список назначенных консультаций (Appointments), а также отделение (Department), к которомму относится доктор (кардиологическое, терапевтическое и т.д.). Patients – таблица, содержащая сведения о пациентах. Items – словарь показателей (медицинских и др. параметров), фиксируемых при наблюдении за пациентом (статус курильщика, заболевания в анамнезе, рост, ИМТ, глюкоза, холестерин и т.д.) Measurements – таблица измерений показателей состояния здоровья пациента.

Список измерений используется как для визуального графического мониторинга текущего состояния обследуемого пациента, так и для прогнозирования риска атеросклероза и риска смертности от инфаркта миокарда (ИМ).

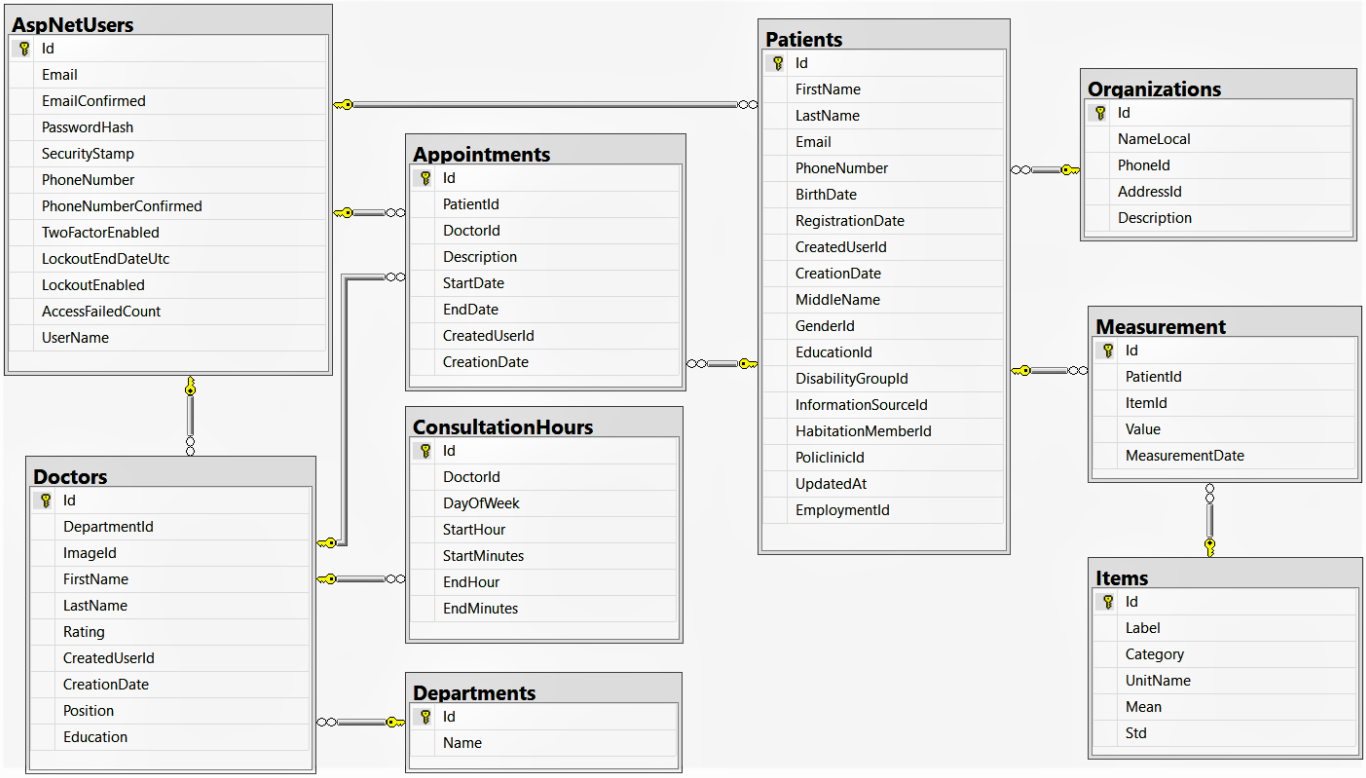


Рис. 2 – Описание базы данных информационной системы

Диаграмма вариантов использования приложения, иллюстрирующая основные функциональные и визуальные компоненты МИС, а также возможные действия пользователя (врача-кардиолога), приведена на рис. 3.

Рис. 3 – Диаграмма вариантов использования приложения

Блок «Расписание врача» предоставляет графические компоненты электронного расписания врача на день, неделю и месяц, позволяющие назначать медицинские консультации, плановые посещения, медицинские процедуры и т.д.

Блок «Карта пациента» содержит ряд функций, предназначенных для мониторинга показателей пациента, отслеживания истории посещений пациента, а также модуль для онлайн-прогнозирования риска атеросклероза и инфаркта миокарда на основании текущих показателей.

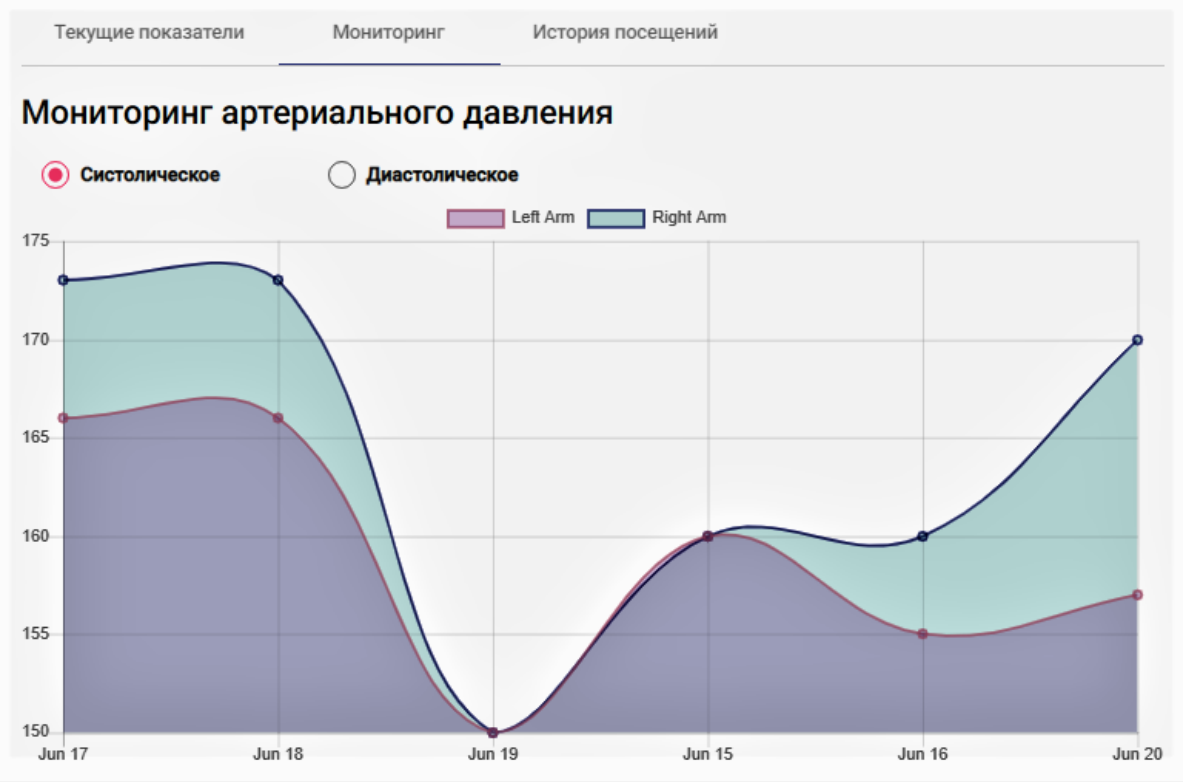


Рис. 4 – Мониторинг систолического артериального давления

Данные, показатели и измерения пациента отображаются в виде таблицы в блоке «Текущие показатели». Также в данном модуле предусмотрена возможность вызова методов прогнозирования риска заболеваний с последующим отображением вычисленных значений риска.

Блок «Мониторинг» предназначен для графического отображения измерений показателей пациента (систолическое, диастолическое давление, измеренное на левой и правой руках), что проиллюстрировано на рис. 4.

Блок «История посещений» отображает историю обращений пациента в медицинское учреждение. Сохраняется и отображается дата и время обращения, отделение (терапия, кардиология и др.), ФИО врача, тип (консультация, обследование и др.) и статус (назначено, отменено, завершено).

3. Описание модуля искусственного интеллекта

Значимым функциональным элементом разработанной системы является модуль искусственного интеллекта, включающий модели расчёта риска магистрального атеросклероза и риска смертности после инфаркта миокарда. Модели машинного обучения разработаны и могут использоваться независимо друг от друга, с учетом решения врача-кардиолога на основании анамнеза пациента. При этом планируется расширение данного модуля и разработка дополнительных диагностических моделей.

3.1. Прогнозирование смертности от ИМ

Прогнозирование смертности от инфаркта миокарда (ИМ) и выявление значимых факторов, влияющих на эту смертность, является актуальной задачей, так как на долю сердечно-сосудистых заболеваний ежегодно приходится больше смертей, чем на любую другую причину

К настоящему времени разработан ряд медицинских инструментов расчета риска прогнозирования смертности от ИМ, таких как, например, шкала GRACE, предназначенная для поддержки принятия медицинских решений и обладающая высокой эффективностью, однако имеющая ряд ограничений. Точность краткосрочного прогнозирования выживаемости по шкале GRACE в разных исследованиях составляет от 0.75 до 0.85 по метрике AUC-ROC. Такие существенные различия связаны, в частности, с использованием в этой шкале лабораторных и гемодинамических показателей, которые подвержены существенным изменениям в течении короткого периода времени.

Повышение устойчивости качества предлагаемой в данном исследовании модели расчета риска смертности от инфаркта миокарда по сравнению со шкалой GRACE обеспечивается тем, что в качестве независимых входных признаков данная модель не использует лабораторных и гемодинамических признаков, однако учитывает ряд заболеваний в анамнезе (сахарный диабет, фибрилляция предсердий, хроническая сердечная недостаточность, острое нарушение мозгового кровообращения и др.), социально-демографических и др. факторов, информация о которых обязательно предоставляется в региональные регистры ИМ и следовательно, может напрямую извлекаться из них (таблица 1).

Таблица 1 – Список измерений для модели прогнозирования риска смертности инфаркта миокарда (ИМ)

Название	Категория
Возраст	Социально-демографические
Пол	Социально-демографические
АГ (Артериальная гипертензия)	Анамнез
Диабет	Анамнез
ИМ (инфаркт повторный)	Анамнез
СД (сахарный диабет)	Анамнез
ФП (фибрилляция предсердий)	Анамнез
ОНМК (острое нарушение мозгового кровообращ.)	Анамнез
ХСН (Хроническая сердечная недостаточность)	Анамнез
Локализация возникновения ИМ	Анамнез
Время госпитализации/ измерения	Дата и время
Класс KILLIP	Анамнез
ТЛТ	Анамнез
ЧКВ (чрескожное коронарное вмешательство)	Анамнез
Атм. давление, температура, влажность	Погодные факторы

Также в предлагаемой модели учитывались погодные факторы, автоматически собираемые с сайта rp5.ru, так как в некоторых исследованиях отмечается их влияние на выживаемость пациентов [3], [9].

Предлагаемая модель расчета риска смертности от инфаркта миокарда предназначена для учета медицинскими сотрудниками пациентов с повышенной вероятностью летального исхода целью дальнейшего принятия мер по своевременному предотвращению критических ситуаций. Использование модуля прогнозирования риска смертности рекомендовано для всех пациентов, недавно перенесших ИМ. Если риск смертности от ИМ высокий (от 80%), пациенту требуется немедленная госпитализация, дополнительная диагностика, корректировка лечения, а также непрерывный мониторинг.

Подробное описание модели прогнозирования смертности от ИМ приведено в [9]. Для обучения модели использовались деперсонифицированные данные обо всех 11326 пациентах, которые поступили в 2015 – 2017 гг. в больницы Воронежской области с диагнозом ИМ, из них 1947 (17.2%) случаев было с летальным исходом. Анализ данных и разработка моделей проводилась на языке программирования Python версии 3.6. Для построения модели был выбран один из популярных методов – градиентный бустинг, одним из преимуществ которого является высокая производительность, что имеет важную роль при работе с большими массивами данных. Результатом работы модели является вероятностное значение риска смертности пациента от инфаркта миокарда в течение 21 дня после перенесенного ИМ (данный период связан с во-первых, временем наблюдения за пациентами в обучающей выборке и, во-вторых, с существенным снижением риска смертности после 21-го дня).

Точность (агрегированная метрика AUC ROC) предлагаемой модели составила 0.858, что выше точности прогнозирования выживаемости по шкале GRACE, представленной в большинстве исследований.

3.2. Прогнозирование риска атеросклероза

Атеросклероз является одной из основных причин поражения сосудов и ишемических поражений органов у 70% пациентов в возрасте 40 лет и у 17% пациентов в возрасте с 13-19 лет, требуя своевременной диагностики и лечения на ранних стадиях. Многие из существующих методов диагностики атеросклероза являются крайне эффективными, однако дорогостоящими или травматичными для пациента, и потому не всегда доступными в условиях рутинной работы клиники.

Возникновение атеросклероза связывают с нарушениями липидного и белкового обмена, которые провоцируют повышенное АД, уровень холестерина, а также – курение. Эти показатели учитываются в шкале SCORE, позволяющей прогнозировать риск смертности от сосудисто-сердечных заболеваний в течение 10 лет.

Несмотря на то, что данная шкала является достаточно достоверной и широко используется во всем мире, можно отметить ряд ее недостатков. Во-первых, она автоматически определяет в группу низкого риска пациентов младше 40 лет, а в группу высокого риска – лиц старше 65, следовательно, шкалу SCORE нельзя считать чувствительной для лиц младше 40 лет. Во-вторых, шкала не подходит для краткосрочного прогнозирования риска. В-третьих, она выдает оптимистически заниженные результаты в периоды приема пациентами медикаментов, снижающих артериальное давление и уровень холестерина в крови.

Предлагаемый модуль прогнозирования риска магистрального атеросклероза представляет собой альтернативный быстрый неинвазивный способ, позволяющий улучшить диагностику атеросклеротического поражения артерий на этапе скрининга. Модель расчёта риска атеросклероза является гибким инструментом ранней диагностики, учитывающим, помимо общепринятых предикторов, ряд клинических, антропометрических, социально-демографических, гемодинамических и лабораторных факторов. В случаях выявления высокого риска атеросклероза врачом-кардиологом принимается решение о тщательной, в частности, инвазивной диагностике пациента и дальнейшая корректировка лечения.

Подробное описание модели прогнозирования риска атеросклероза приведено в [12]. В качестве исходной выборки для ее обучения был использован набор данных, предоставленный ВОКБ №1, содержащий результаты диспансеризации 522 жителей Богучарского района Воронежской области, у которых, помимо обязательных процедур, методом многоканальной объемной сфигмографии выполнялось синхронное измерение систолического (САД) и диастолического (ДАД) артериального давления на верхних и нижних конечностях, вычислялась их разница, а также

автоматически рассчитывалось значение лодыжечно-плечевых индексов (ЛПИ) и показателей асимметрии на конечностях. Кроме того, фиксировались антропометрические, клинические, гемодинамические и др. показатели пациентов.

В результате работы с набором данных ВОКБ№ 1 была построена нейросетевая модель архитектуры MLP, качество которой оценивалось с помощью метрик чувствительности, специфичности и ROC AUC. На основании ряда входных диагностических параметров модель выдает в качестве результата вероятностное значение риска атеросклероза для пациента. В таблице 2 представлен список всех необходимых параметров для модели прогнозирования риска атеросклероза. Предполагается, что диагностика атеросклероза производится для каждого пациента при первичном обращении, а также может использоваться в скрининговых программах. При этом возможна, например, следующая интерпертация получаемой оценки.

1. Если риск атеросклероза высокий (от 60%), пациенту требуется дополнительная диагностика, корректировка лечения, а также мониторинг с установленным врачом регулярным интервалом (зависящим от величины риска).

2. Если риск атеросклероза средний (от 30% до 60%), возможны дополнительная диагностика, а также продолжение мониторинга с установленным врачом регулярным интервалом.

3. Если риск атеросклероза низкий (до 30%), интервал регулярного мониторинга может быть увеличен.

Таблица 2 – Список измерений для модели прогнозирования риска магистрального атеросклероза

Название	Категория
Возраст	Социально-демографические
Курильщик	Социально-демографические
Пол	Социально-демографические
АГ (артериальная гипертензия)	Анамнез
Диабет	Анамнез
Стенокардия	Анамнез
Аритмия	Анамнез
ИМ (перенесенный инфаркт миокарда)	Анамнез
СД (сахарный диабет)	Анамнез
ФП (фибрилляция предсердий)	Анамнез
ОНМК (острое наруш. мозгового кровообращения)	Анамнез
ХСН (Хроническая сердечная недостаточность)	Анамнез
Рост	Антропометрические
ИМТ	Антропометрические
Глюкоза	Лабораторные
Холестерин	Лабораторные
САДпр (систолич. артер. давление на правой руке)	Гемодинамические
ДАДпр (диастол. артер. давление на правой руке)	Гемодинамические
ПДпр (пульсовое давление на правой руке)	Гемодинамические
САДпр (систолич. артер. давление на правой руке)	Гемодинамические
ДАДпр (диастол. артер. давление на правой руке)	Гемодинамические
ПДлр (пульсовое давление на левой руке)	Гемодинамические
САДпн (систолич. артер. давление на правой ноге)	Гемодинамические
САДлн (систолич. артер. давление на левой ноге)	Гемодинамические
ЧСС (частота сердечных сокращений)	Гемодинамические

Точность (агрегированная метрика AUC ROC) предлагаемой модели составила 0.89.

4. Дальнейшее расширение информационной системы

Рассматриваемое приложение подразумевает дальнейшее расширение и доработку в соответствие с рядом запланированных функций в рамках общей информационной системы динамического наблюдения, длительного сопровождения и предупреждения пациентов с различными сердечно-сосудистыми заболеваниями (ССЗ) на основе телемедицинских технологий. Следующие этапы разработки предполагают создание информационной системы, позволяющей с использованием мобильных устройств осуществлять мониторинг данных клинического состояния пациента (уровень артериального давления (АД), частоты сердечных сокращений (ЧСС), массы тела, режима приема лекарственных средств), метеорологических факторов и на основе алгоритмов искусственного интеллекта вырабатывать индивидуальные для каждого подключенного к системе пациента рекомендации по коррекции терапии и предотвращению обострения ССЗ, в том числе проводя в нужный момент оповещение лечащего врача, территориальной медицинской организации или службы скорой медицинской помощи.

Перечень запланированных функций информационной системы:

– Облегченный перенос в приложение цифровых, текстовых и графических данных из различных сторонних медицинских протоколов и заключений, в том числе с использованием функции голосового ввода.

– Наличие гибко настраиваемых запросов для поиска данных по группам пациентов и по отдельным пациентам, в том числе с формированием различных статистических отчетов.

– Поддержка цифровой подписи.

– Интерактивный модуль дистанционного контроля с помощью отдельного мобильного приложения за состоянием пациента по выбранным параметрам и сценариям.

– Оценка краткосрочного прогноза на основании данных, полученных с помощью модуля дистанционного контроля за состоянием пациента.

– Расширение модуля искусственного интеллекта.

5. Заключение

В результате данного исследования была произведена разработка информационной системы, обеспечивающей автоматизацию рабочих процессов и поддержку принятия решений врача-кардиолога. Система предоставляет возможности хранения и мониторинга медицинских показателей пациентов, а также содержит модуль искусственного интеллекта для прогнозирования риска атеросклероза и инфаркта миокарда.

Таким образом, разработанная система представляет собой многофункциональный инструментарий с возможностью дистанционного мониторинга показателей состояния здоровья пациента и онлайн-диагностики.

Данная система предполагает доработку существующей функциональности по итогу запланированной апробации и дополнительного сбора данных, а также дальнейшее расширение с учетом исходных требований к полной версии программного продукта.

Финансирование

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-37-90029.

Funding

The reported study was funded by RFBR, project number 20-37-90029.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Хохлов Р. А. Применение телекоммуникационных технологий для повышения эффективности лечения артериальной гипертонии / Р. А. Хохлов, О. Ю. Лавлинская, О. С. Филатова // Врач-аспирант. – 2013. – Т. 56. – С. 167-174.

2. Хохлов Р. А. Применение информационных технологий для дистанционной терапии артериальной гипертонии / Р. А. Хохлов, О. Ю. Лавлинская и др. // Вестник Тамбовского университекта. Серия: Естественные и технические науки. – 2016. – Т. 21. – С. 2085-2092.

3. Alaa A. M. Cardiovascular disease risk prediction using automated machine learning: A prospective study of 423,604 UK Biobank participants / Ahmed M. Alaa, T. Bolton, E. Di Angelantonio et al. // PLoS One. – 2019. – Vol. 14, № 5. – P. e0213653. DOI: 10.1371/journal.pone.0213653.

4. Рихтер Дж. CLR via C#. Программирование на платформе Microsoft .NET Framework 4.5 на языке C# / Дж. Рихтер. – 4-е изд. – СПб.: Питер, 2013. – 896 с.

5. Файн Я. Angular и TypeScript. Сайтостроение для профессионалов / Я. Файн, А. Моисеев. – СПб.: Питер, 2018. – 464 с.

6. Документация Flask [Электронный ресурс] –https://flask.palletsprojects.com/en/2.0.x/ (дата обращения: 06.22.2021)

7. Документация Python [Электронный ресурс] – https://docs.python.org/3/ (дата обращения: 06.22.2021).

8. Бен-Ган И. Microsoft SQL Server 2008. Основы T-SQL / И. Бен-Ган. – СПб.: БХВ-Петербург, 2009. – 432 с.

9. Kashirina I. Building models for predicting mortality after myocardial infarction in conditions of unbalanced classes, including the influence of weather conditions / I. Kashirina, M. Firyulina // CEUR Workshop Proceedings. – 2020. – Vol. 2790, p. 188–197.

10. Хохлов Р. А. Предикторы атеросклеротического поражения артерий конечностей по данным кардиоангиологического скрининга взрослого населения / Р. А. Хохлов, А. Э. Гайдашев, Н. М. Ахмеджанов // Рациональная фармакотерапия в кардиологии. – 2015. – Т. 11,№5. – С. 470-476.

11. Хохлов Р. А. Использование многоканальной объемной сфигмографии для кардиоангиологического скрининга взрослого населения / Р. А. Хохлов, Н. И. Остроушко, А. Э. Гайдашев и др. // Рациональная фармакотерапия в кардиологии. – 2015. – Т. 11, №4. – С. 371-379. DOI: 10.20996/1819-6446-2015-11-4-371-379.

12. Demchenko M. V. The development of the atherosclerosis diagnostic models under conditions of unbalanced classes / M. V. Demchenko, I. L. Kashirina // J. Phys.: Conf. Ser. – 2020. – Vol. 1479, p. 012026. DOI: 10.1088/1742-6596/1479/1/012026.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Khokhlov R. A. Primenenie telekommunikacionnyh tehnologij dlja povyshenija jeffektivnosti lechenija arterial'noj gipertonii [Application of telecommunications technologies to improve the effectiveness of treatment of arterial hypertension] / R. A. Khokhlov, O. Yu. Lavlinskaya, O. S. Filatova // Vrach-aspirant [Doctor-postgraduate student]. - 2013. - Vol. 56. - pp. 167-174. [in Russian]

2. Khokhlov R. A. Primenenie informacionnyh tehnologij dlja distancionnoj terapii arterial'noj gipertonii [Application of information technologies for remote therapy of arterial hypertension] / R. A. Khokhlov, O. Yu. Lavlinskaya et al. // Vestnik Tambovskogo universitekta. Serija: Estestvennye i tehnicheskie nauki [Bulletin of the Tambov University. Series: Natural and Technical Sciences]. - 2016. - Vol. 21. - pp. 2085-2092. [in Russian]

3. Alaa A. M. Cardiovascular disease risk prediction using automated machine learning: A prospective study of UK Biobank participants 423,604 / Ahmed M. Alaa, T. Bolton, E. Di Angelantonio et al. // PLoS One. – 2019. – Vol. 14, No. 5. – P. e0213653. DOI: 10.1371/journal.pone.0213653.

4. Richter George. CLR via C#. Programmirovanie na platforme Microsoft .NET Framework 4.5 na jazyke C# [CLR via C#. Programming on the Microsoft platform .NET Framework 4.5 in C#] / J. Richter. - 4th ed. - St. Petersburg: Peter, 2013 – - 896 p. [in Russian]

5. Fine Ya. Angular i TypeScript. Sajtostroenie dlja professionalov [Angular and TypeScript. Site construction for professionals] / Ya. Fine, A. Moiseev. - St. Petersburg: Peter, 2018 – - 464 p. [in Russian]

6. Dokumentacija Flask [Flask Documentation] [Electronic resource] –https://flask.palletsprojects.com/en/2.0. x/ (accessed: 06.22.2021) [in Russian]

7. Dokumentacija Python [Python Documentation] [Electronic resource] – https://docs.python.org/3/ (accessed: 06.22.2021). [in Russian]

8. Ben-Gan I. Microsoft SQL Server 2008. Osnovy T-SQL [Microsoft SQL Server 2008. Fundamentals of T-SQL] / I. Ben-Gan. - St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2009 – - 432 p. [in Russian]

9. Kashirina I. Building models for predicting mortality after myocardial infarction in conditions of unbalanced classes, including the influence of weather conditions / I. Kashirina, M. Firyulina // CEUR Workshop Proceedings. – 2020. – Vol. 2790, p. 188–197.

10. Khokhlov R. A. Prediktory aterosklerotícheskogo porazhenija arteriĭ konechnosteĭ po dannym kardioangiologicheskogo skrininga vzroslogo naselenija [Predictors of atherosclerotic lesion of limb arteries according to cardioangiological screening of the adult population] / R. A. Khokhlov, A. E. Gaidashev, N. M. Akhmedzhanov // Racional'naja farmakoterapija v kardiologii [Rational pharmacotherapy in cardiology]. - 2015. - Vol. 11, No. 5. - pp. 470-476. DOI: 10.20996/1819-6446-2015-11-5-470-476. [in Russian]

11. Khokhlov R. A. Ispol'zovanie mnogokanal'noj ob#emnoj sfigmografii dlja kardioangiologicheskogo skrininga vzroslogo naselenija [The use of multichannel volumetric sphygmography for cardioangiological screening of the adult population] / R. A. Khokhlov, N. I. Ostroushko, A. E. Gaidashev et al. // Racional'naja farmakoterapija v kardiologii [Rational pharmacotherapy in cardiology]. - 2015. - Vol. 11, No. 4. - pp. 371-379. DOI: 10.20996/1819-6446-2015-11-4-371-379. [in Russian]

12. Demchenko M. V. The development of the atherosclerosis diagnostic models under conditions of unbalanced classes / M. V. Demchenko, I. L. Kashirina // J. Phys.: Conf. Ser. – 2020. – Vol. 1479, p. 012026. DOI: 10.1088/1742-6596/1479/1/012026.

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.110.8.011

РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ПОДРЕССОРИВАНИЯ КАБИНЫ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА В ЧАСТОТНОЙ ОБЛАСТИ

Научная статья

Сиротин П.В.[1], Лебединский И.Ю.[2, *], Жилейкин М.М.[3]
[1] ORCID: 0000-0002-7066-5062;
[2] ORCID: 0000-0002-4348-6990;
[1, 2] Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, Новочеркасск, Россия;
[3] Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, Москва, Россия

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

Аннотация

Статья посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию вибрационного состояния системы подрессоривания кабины зерноуборочного комбайна с несущей системой, испытывающей в процессе эксплуатации крутильные и изгибно-упругие деформации. Актуальность исследования обусловлена возникновением резонансов собственных колебаний конструкции с источниками силовых возмущений. Представлена математическая модель колебаний кабины на упругом основании, учитывающая нелинейные упругие и диссипативные свойства конструкции несущей системы кабины. Разработанная математическая модель реализована в среде Mathcad. Программный пакет MSC Adams использовался для расчета динамических свойств несущей системы с помощью встроенного модуля расчета методом конечных элементов Flex. Учет динамических свойств несущей системы в модели позволил точно рассчитать вибрационную нагруженность кабины. Верификация модели проводилась на основе анализа сходимости значений скорректированного виброускорения на кабине комбайна, а также диапазона колебаний в линейных направлениях, полученных экспериментальным и расчетным методами.

Ключевые слова: виброизоляция, математическое моделирование, зерноуборочный комбайн, подвеска кабины, система подрессоривания, безопасность рабочего места оператора.

CALCULATION OF THE SUSPENSION SYSTEM OF A COMBINE HARVESTER CAB IN FREQUENCY DOMAIN

Research article

Sirotin P.V.[1], Lebedinsky I.Yu.[2, *], Zhileykin M.M.[3]
[1] ORCID: 0000-0002-7066-5062;
[2] ORCID: 0000-0002-4348-6990;
[1, 2] Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russia;
[3] Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

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

Abstract

The article is devoted to the theoretical and experimental study of the vibration state of the suspension system of a transport-technological machine cab with the supporting system experiencing torsional and bending elastic deformations during operation. The given relevance of the study is due to the occurrence of resonances of natural vibrations of a structure with the sources of power disturbances. A mathematical model of cab vibrations on an elastic foundation is presented, which takes into account the nonlinear elastic and dissipative properties of the structure of the cab carrier system. The developed mathematical model was realized in the Mathcad. The MSC Adams software package was used to calculate the dynamic properties of the carrier system with a built-in finite element calculation module Flex. Taking into account the dynamic properties of the supporting system in the model made it possible to calculate accurately the vibration load of the cab. The model was verified based on the analysis of the convergence of the values of the full-corrected vibration acceleration on the cab of the harvesting combine, as well as the vibration range in linear directions obtained by experimental and calculation methods.

Keywords: vibration isolation, mathematical modeling, combine harvester, suspension device, suspension system, workplace safety.

Introduction

A widespread problem of modern transport and technological machines (TTM) is a high level of vibration loading of the cab, its frame and panels, with the vibrations acting on the cab in the broadband range of frequencies perceived by humans. This creates uncomfortable conditions for the operator, who is constantly suffers from vibration and noise [1], [2], [3]. To analyze this problem, one of the most vibroactive machines, a high-performance combine harvester (CH), was investigated. Earlier, the experimental studies had helped to identify the features of the vibration loads formation on the CH cab. They were owing to a significant difference in the total value of vibration accelerations of the cab in the front and rear connecting points of the cabin to the carrier system. It is shown that these differences are due to elastic deformations of the carrier system of bending and torsional forms, however, at present, the vibration protection systems TTM are being designed without considering these features, that, in some cases, does not allow achieving the required level of vibration protection [4]. The aim of the study is to develop a mathematical model of the suspension system of the CH cabs, taking into account the dynamic properties of the load-carrier system.

The suspension system of the cab in the most existing vehicles and transport-technological machines consists of four vibration-isolating mounts connecting the cab with its carrier system by elastic-viscous connectors, the carrier system being an absolutely rigid element of the machine structure [5], [6]. These circumstances enable to see that the kinematic effects on the

cab are distributed symmetrically along its mounting points. Then, the schematic diagram of the cab suspension system will be as shown in Figure 1.

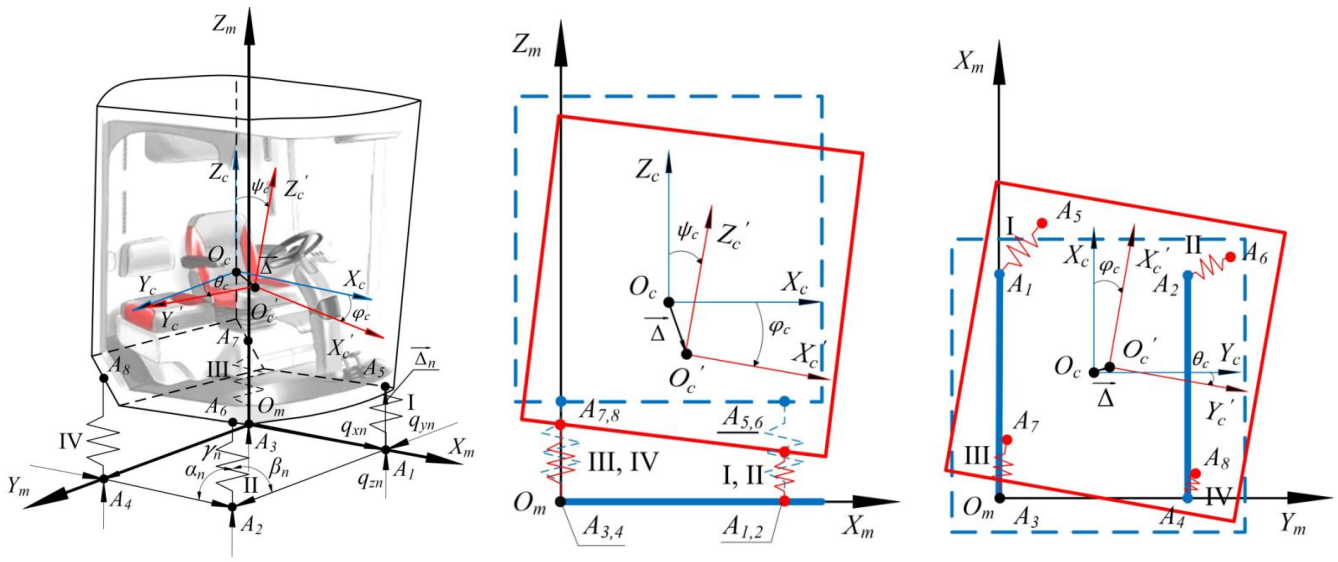


Fig. 1 – Schematic diagram of the combine harvester cab suspension system (*a*) and design diagrams of this system (*b*-side view, *c*-top view):
$O_m X_m Y_m Z_m$ – fixed coordinate system connected by the body of the machine; $O_c X_c Y_c Z_c$ – fixed coordinate system connected with the cab mass center with origin at the cab mass center O_c; $O_c' X_c' Y_c' Z_c'$ – movable coordinate system connected with the cab mass center with the origin at the cab mass center O_c', after turning; n – number of vibration isolating support for cab suspension, $n = \mathrm{I, II, III, IV}$; j – quantity of vibration-isolating cab suspension support, $j = 4$; A_1, A_2, A_3, A_4 –mount points to the supporting system, respectively, I, II, III, IV-th vibration isolation support of the cab suspension; A_5, A_6, A_7, A_8 – mount points to the cab, respectively, I, II, III, IV-th vibration isolating support for the cab suspension; $\alpha_n, \beta_n, \gamma_n$ – angles of inclination of the n- th vibration isolating support relative to the X_c, Y_c, Z_c axes of the fixed coordinate system $O_c X_c Y_c Z_c$; q_{xn}, q_{yn}, q_{zn} – kinematic input action on the n- th support of the cab in a fixed coordinate system $O_m X_m Y_m Z_m$; $\varphi_c, \psi_c, \theta_c$ – the angles of the cab rotation, respectively, pitch, roll, course in the coordinate system $O_c X_c Y_c Z_c$; $\vec{\Delta}$ – vector of displacement of the cab mass center relative to the position of static equilibrium in the coordinate system $O_c X_c Y_c Z_c$

For a mathematical description, the dynamic model of the sprung cab was considered as a rigid body connected to the carrier system by means of j - vibration-isolating cab supports, which have characteristics of elasticity, damping and dry friction. Each elastic, damping force or dry friction force is schematized as three uniaxial force components. The sprung cab is ideally seen as an absolutely rigid body that has six degrees of freedom. Six generalized coordinates - three coordinates of the cab mass center and three angles of the coordinate axes rotation rigidly connected to the cab relative to the fixed coordinate axes X_c, Y_c, Z_c determine its position in space. The main central axes of inertia of the cabin $X_c' Y_c' Z_c'$ are taken as the movable coordinate axes, in the position of its static equilibrium coinciding with the axes of the coordinate system X_c, Y_c, Z_c connected with the cab mass center. The displacement of the cab mass center relative to the static equilibrium position is set by the projections of the displacement vector $\vec{\Delta}$ onto the moving coordinate axes $X_c' Y_c' Z_c'$, and the rotation of the moving coordinate system relative to the fixed one is given by the Euler – Krylov angles φ_c, ψ_c, θ_c. The dynamic model of the cab vibrations is described by the differential Newton-Euler equations, which are most convenient for numerical implementation; the cab suspension system is a system with one rigid body having six degrees of freedom:

$$\begin{cases} M_c \dfrac{d^2 x_c}{dt^2} = \sum\limits_1^j \lambda_{xn} + \sum\limits_1^j R_{xn} + \sum\limits_1^j T_{xn}, \\ M_c \dfrac{d^2 y_c}{dt^2} = \sum\limits_1^j \lambda_{yn} + \sum\limits_1^j R_{yn} + \sum\limits_1^j T_{yn}, \\ M_c \dfrac{d^2 z_c}{dt^2} = \sum\limits_1^j \lambda_{zn} + \sum\limits_1^j R_{zn} + \sum\limits_1^j T_{zn}, \\ J_x \dfrac{d^2 \psi_c}{dt^2} + (J_x - J_y) \dfrac{d\varphi_c}{dt} \dfrac{d\theta_c}{dt} = \sum\limits_1^j (\lambda_{zn} \cdot y_n - \lambda_{yn} \cdot z_n) + \sum\limits_1^j (R_{zn} \cdot y_n - R_{yn} \cdot z_n) - \sum\limits_1^j (T_{zn} \cdot y_n - T_{yn} \cdot z_n), \\ J_y \dfrac{d^2 \varphi_c}{dt^2} + (J_x - J_z) \dfrac{d\psi_c}{dt} \dfrac{d\theta_c}{dt} = \sum\limits_1^j (\lambda_{xn} \cdot z_n - \lambda_{zn} \cdot x_n) + \sum\limits_1^j (R_{xn} \cdot z_n - R_{zn} \cdot z_n) - \sum\limits_1^j (T_{zn} \cdot z_n - T_{zn} \cdot x_n), \\ J_z \dfrac{d^2 \theta_c}{dt^2} + (J_y - J_x) \dfrac{d\psi_c}{dt} \dfrac{d\varphi_c}{dt} = \sum\limits_1^j (\lambda_{yn} \cdot x_n - \lambda_{xn} \cdot y_n) + \sum\limits_1^j (R_{yn} \cdot x_n - R_{xn} \cdot y_n) + \sum\limits_1^j (R_{yn} \cdot x_n - R_{xn} \cdot y_n), \\ \dfrac{d\psi}{dt} = \omega xc \cos\varphi + \omega zc \sin\varphi; \\ \dfrac{d\theta}{dt} = \dfrac{\omega zc \cos\varphi - \omega xc \sin\varphi}{\cos\psi}; \\ \dfrac{d\varphi}{dt} = \omega yc - tg\psi \cdot (\omega zc \cos\varphi - \omega xc \sin\varphi). \end{cases} \quad (1)$$

where M_c – cab mass;

x_c, y_c, z_c – displacement of the cab mass center in the directions of the axes X_c, Y_c, Z_c respectively, of the coordinate system $O_c X_c Y_c Z_c$

λ_{xn}, λ_{yn}, λ_{zn} – elastic characteristic of the elastic element of the *n*- vibration-isolating support of the cab suspension in the axes directions, respectively X_c, Y_c, Z_c of the coordinate system $O_c X_c Y_c Z_c$;

R_{xn}, R_{yn}, R_{zn} – damping characteristic of the damping element of the *n*- vibration isolating support of the cab suspension in the axes directions, respectively X_c, Y_c, Z_c of the coordinate system $O_c X_c Y_c Z_c$;

T_{xn}, T_{yn}, T_{zn} – "dry" friction characteristic of the *n*- vibration isolating support of the cab suspension in the axes directions, respectively X_c, Y_c, Z_c of the coordinate system $O_c X_c Y_c Z_c$;

x_n, y_n, z_n – coordinates of the mount point of the supporting system to the *n*- vibration-isolating support of the cabin suspension in the coordinate system $O_c X_c Y_c Z_c$.

$\omega_{xc}, \omega_{yc}, \omega_{zc}$ – the projection of the angular velocity vector of cabin oscillation on the axis of the fixed coordinate system $O_c X_c Y_c Z_c$.

For the calculation it is necessary to determine $\vec{\Delta}_n = \{\Delta_{xn}; \Delta_{yn}; \Delta_{zn}\}$. This is the deflection vector of the *n*- vibration-isolating support of the cab suspension in the coordinate system $O_c X_c Y_c Z_c$.

The vibrations of the cab are considered small and, therefore, it is permissible to use the expression:

$$\begin{cases} \vec{\Delta}_{nx} = (q_{xn} - x_n + y_n \sin\theta_c - z_n \sin\varphi_c)\cos\alpha_n, \\ \vec{\Delta}_{ny} = (q_{yn} - y_n + z_n \sin\psi_c - x_n \sin\theta_c)\cos\beta_n, \\ \vec{\Delta}_{nz} = (q_{zn} - z_n + x_n \sin\varphi_c - y_n \sin\varphi_c)\cos\psi_c, \end{cases} \quad (2)$$

where q_{xn}, q_{yn}, q_{zn} are determined experimentally by measuring the vibration under the *n*- vibration-isolating support of the cab suspension in the coordinate system $O_c X_c Y_c Z_c$. Experimental studies were carried out in July 2020 in the fields of the Milyutinsky district in the Rostov region of the Russian Federation. In this study, the kinematic input action was measured in the operating mode of the CH in the form of vibration accelerations under the *n*- vibration isolating support in the time domain. Then the measured signal was processed using double integration with the removal of trends at each iteration by eliminating the harmonic components of the signal at frequencies up to 1.5 Hz. [7].

If we represent $\lambda_{xn}, \lambda_{yn}, \lambda_{zn}$ in vector form, $\vec{\lambda}_n = \{\lambda_{xn}; \lambda_{yn}; \lambda_{zn}\}$

$\vec{\lambda}_n$ is calculated as follows:

$$\vec{\lambda}_n(\vec{\Delta}_n) = \{c_{xn}\Delta_{xn}; c_{yn}\Delta_{yn}; c_{zn}\Delta_{zn}\}, \quad (3)$$

where c_{xn}, c_{yn}, c_{zn} are the elastic rigidity of the *n*- elastic element of the vibration-isolating support for the cab suspension in the coordinate system $O_c X_c Y_c Z_c$, determined experimentally using special-purpose equipment [8], [9].

If we represent R_{xn}, R_{yn}, R_{zn} in vector form, $\vec{R}_n = \{R_{xn}; R_{yn}; R_{zn}\}$.

$\vec{R}_n$ is calculated as follows:

$$R_n(\vec{\dot{\Delta}}_n) = \{k_{xn}\dot{\Delta}_{xn}; k_{yn}\dot{\Delta}_{yn}; k_{zn}\dot{\Delta}_{zn}\}, \tag{4}$$

where $\vec{\dot{\Delta}}_n = \{\dot{\Delta}_{xn}; \dot{\Delta}_{yn}; \dot{\Delta}_{zn}\} = \left\{\frac{d\Delta_{xn}}{dt}; \frac{d\Delta_{yn}}{dt}; \frac{d\Delta_{zn}}{dt}\right\}$ – the vector of the deflection rate of the *n*- vibration isolation support of the cab suspension in the coordinate system $O_c X_c Y_c Z_c$; k_{xn}, k_{yn}, k_{zn} – damping coefficients of the *n* - damping element of the vibration-isolating support of the cab suspension in the axes directions X_c, Y_c, Z_c respectively, in the coordinate system $O_c X_c Y_c Z_c$, determined experimentally using special-purpose equipment [8], [9].

If we represent T_{xn}, T_{yn}, T_{zn} in vector form, $\vec{T}_n = \{T_{xn}; T_{yn}; T_{zn}\}$. .

$\vec{T}_n$ is calculated as follows:

$$T_n(\vec{\dot{\Delta}}_n) = \{b_{xn}\dot{\Delta}_{xn}; b_{yn}\dot{\Delta}_{yn}; b_{zn}\dot{\Delta}_{zn}\}, \tag{5}$$

where b_{xn}, b_{yn}, b_{zn} – damping coefficients of the *n*- dry friction element of the vibration-isolating support of the cab suspension in the axes directions X_c, Y_c, Z_c, respectively, in the coordinate system $O_c X_c Y_c Z_c$, determined experimentally using special-purpose equipment [8], [9].

The kinematic input action on the *n*-vibration isolating support of the cab consists of the projections of the vector $\vec{q}_n$ on the X_c, Y_c, Z_c axes in the coordinate system $O_c X_c Y_c Z_c$. In vector form $\vec{q}_n = \{q_{xn}; q_{yn}; q_{zn}\}$.

The developed mathematical model was programmed and solved in the Mathcad software. The criterion for the adequacy of the model is the value of the total root mean square (RMS) vibration acceleration on the cab (a_v) standardized by ISO 2631-1: 1997 [10].

The total RMS vibration acceleration on the cab (a_v) was found by the formula:

$$a_v = \sqrt{(1,4 \cdot a_{xw})^2 + (1,4 \cdot a_{yw})^2 + a_{zw}^2}, \tag{6}$$

where a_{wx}, a_{wy}, a_{wz} are root-mean-square values of vibration accelerations in the range of normalized frequencies in the directions of the X_c, Y_c, Z_c axes in the coordinate system $O_c X_c Y_c Z_c$.

$$\begin{cases} a_{xw} = \sqrt{\sum i(W_{xi} \cdot x_{ci})^2}, \\ a_{yw} = \sqrt{\sum i(W_{yi} \cdot x_{ci})^2}, \\ a_{zw} = \sqrt{\sum i(W_{zi} \cdot x_{ci})^2}. \end{cases} \tag{7}$$

where W_{xi}, W_{yi}, W_{zi} – weight coefficient for the *i*- octave vibration frequency band in the directions of the X_c, Y_c, Z_c axes in the coordinate system $O_c X_c Y_c Z_c$.

x_{ci}, y_{ci}, z_{ci} – the maximum value of vibration acceleration in the *i*-octave vibration frequency band in the directions of the X_c, Y_c, Z_c axes in the coordinate system $O_c X_c Y_c Z_c$.

As a result of modeling the vibrations of the combine harvester cab with a basic suspension system without taking into account the elastic deformations of the carrier system, the value $a_v = 0,409 м/с^2$, while the experimentally obtained value $a_v = 0,440 м/с^2$. Thus, the accuracy of the model was 93%. The model error of 7% allows the calculation, but to refine the model it is necessary to obtain an error of no more than 3%. In order to identify the source of error, the spectra of operating vibrations on the cab obtained experimentally and by using simulation were compared (Fig. 2).

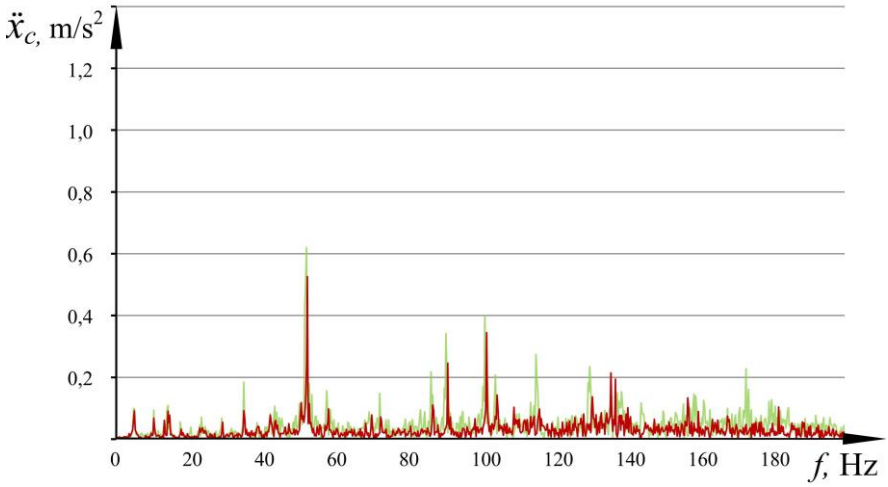


Fig. 2.1 – Spectra of the acting vibration on the combine harvester cab along the X-axis, obtained as a result of modeling without taking into account the elasticity of the carrier system (*red*) and experimental research (*green*)

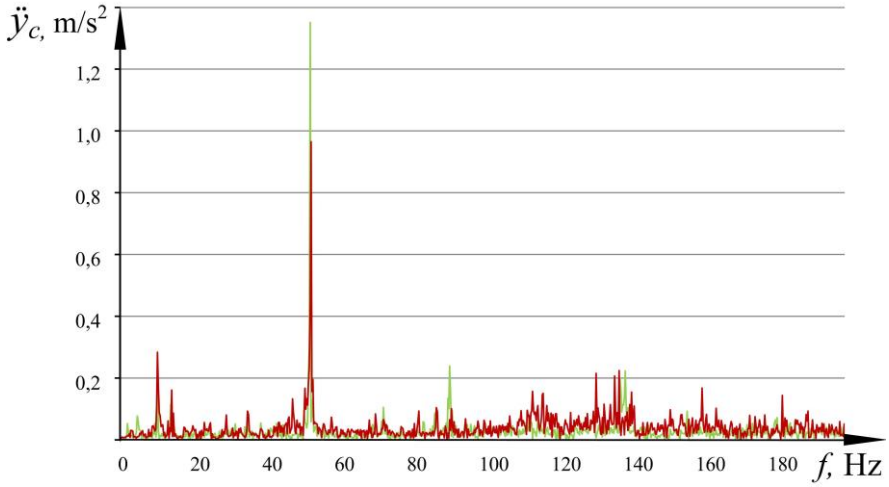


Fig. 2.2 – Spectra of the acting vibration on the combine harvester cab along the Y-axis, obtained as a result of modeling without taking into account the elasticity of the carrier system (*red*) and experimental research (*green*)

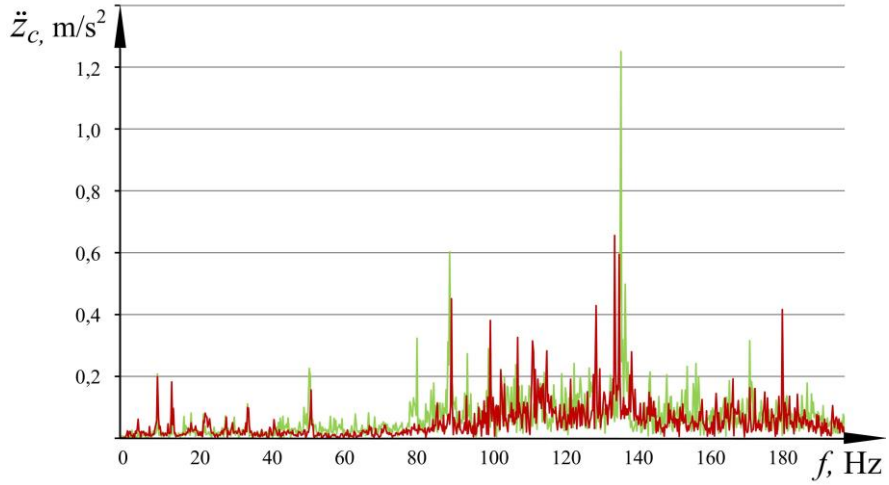


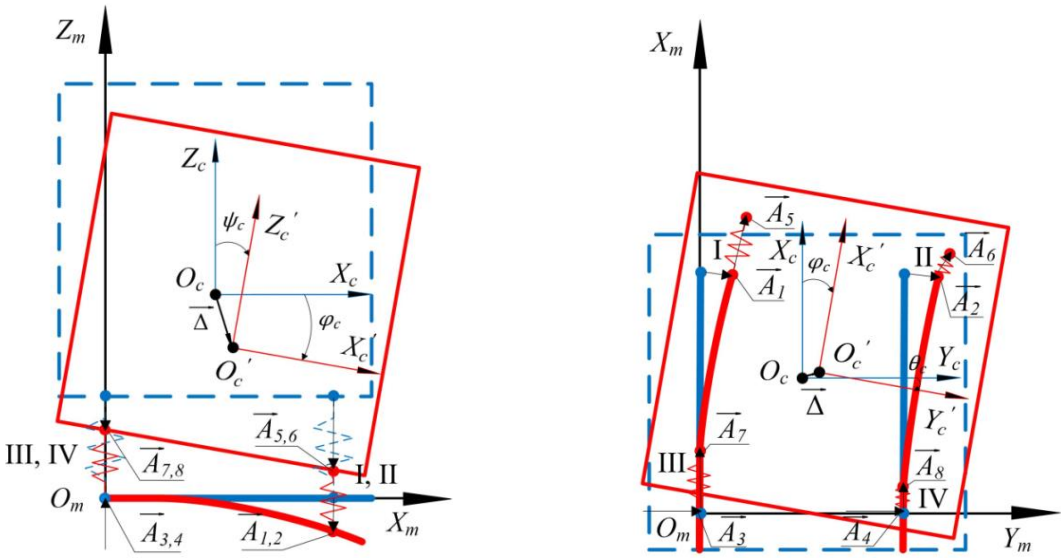
Fig. 2.3 – Spectra of the acting vibration on the combine harvester cab along the Z-axis, obtained as a result of modeling without taking into account the elasticity of the carrier system (*red*) and experimental research (*green*)

The analysis of the graphs in Fig. 2 shows that the vibration spectrum obtained by calculation at the cab mass center along the X_c axis of the coordinate system $O_c\ X_c\ Y_c\ Z_c$ conforms the experiment. However, the vibration spectrum in the Y_c and Z_c directions is insufficiently adequate to the experiment in particular narrow-band ranges, with 50-56 Hz being for Y_c axis and 130-140 Hz - for Z_c axis. Earlier in [4], the reason for this phenomenon was considered and established, namely the elastic properties of the cab carrier system, which experiences torsional and bending elastic deformations at resonance frequencies due to the activity of vibration sources.

Therefore, in order to increase the convergence of the results of simulation and experiment, it is necessary to consider the oscillatory process occurring in the suspension system of the cab, taking into account the dynamics of two subsystems – cab vibration isolation, including vibration isolation supports, and the subsystem of the cab supporting structure. Then the suspension

system of the cab can be seen as a set of interacting deformable and non-deformable bodies and is described by a hybrid dynamic model [11], [12], [13].

Taking into account the elasticity of the carrier system, the design diagram of the cab suspension system is shown in Fig. 3.



a *b*

Fig. 3 – Design diagrams of the cab suspension system of a combine harvester with the elasticity of the carrier system: *a* – side view; *b* – bottom view

In the design scheme in Fig. 3 additional designations are introduced:

$\vec{A}_{1,2} = \left\{x_{1,2}; y_{1,2}; z_{1,2}\right\}$ – displacement vector of the mount points of the I, II - (front) supports, respectively, to the cab carrier system, describing the deformation of the subframe, on the axis connected with the combine body of the coordinate system $O_m X_m Y_m Z_m$;

$\vec{A}_{3,4} = \left\{x_{3,4}; y_{3,4}; z_{3,4}\right\}$ – displacement vector of the mount points of the III, IV- (rear) supports, respectively, to the cab carrier system on the axis connected to the cab mass center of the coordinate system $O_c X_c Y_c Z_c$;

$\vec{A}_{5,6} = \left\{x_{5,6}; y_{5,6}; z_{5,6}\right\}$ – displacement vector of the mount points of the I, II - (front) supports, respectively, to the cab on the axis connected to the cab mass center of the coordinate system $O_c X_c Y_c Z_c$;

$\vec{A}_{7,8} = \left\{x_{7,8}; y_{7,8}; z_{7,8}\right\}$ – displacement vector of the mount points of the III, IV - (rear) supports, respectively, to the cab on the axis connected to the cab mass center of the coordinate system $O_c X_c Y_c Z_c$.

The camber vector of the rear cab suspension supports $\vec{\Delta}_{III,IV} = \left\{\Delta_{xIII,IV}; \Delta_{yIII,IV}; \Delta_{zIII,IV}\right\}$ is calculated similarly to expression (2).

The camber vector of the front cab suspension supports $\vec{\Delta}_{I,II} = \left\{\Delta_{xI,II}; \Delta_{yI,II}; \Delta_{zI,II}\right\}$ can be obtained from the relation:

$$\vec{\Delta}_{I,II} = \vec{A}_{5,6} - (\vec{A}_{3,4} + \vec{B}\vec{A}_{1,2}), \tag{8}$$

where $\vec{B}$ - direction cosine matrix

$$\vec{B} = \begin{Bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \cos\theta_c \cos\varphi_c - \sin\psi_c \sin\varphi_c \sin\theta_c & -\cos\psi_c \sin\theta_c & \sin\varphi_c \cos\theta_c + \cos\varphi_c \sin\psi_c \sin\theta_c \\ \sin\theta_c \cos\varphi_c + \cos\theta_c \sin\varphi_c \sin\psi_c & \cos\psi_c \cos\theta_c & \sin\varphi_c \sin\theta_c - \sin\psi_c \cos\theta_c \cos\varphi_c \\ -\cos\psi_c \sin\varphi_c & \sin\psi_c & \cos\varphi_c \cos\psi_c \end{Bmatrix} \tag{9}$$

The complexity of the calculation lies in the fact that $\vec{\Delta}_{I,II}$ is a frequency-related value connected with a decrease in the quality factor of the elastic vibrational system at the natural vibration frequencies. Therefore, it is advisable to calculate the vibration propagation along the cab carrier system in the frequency domain. For this, the measured vibration signal at points 3 and 4 on the cab carrier system in the time domain $\vec{A}_{3,4}(t)$ is transferred to the frequency domain using the fast Fourier transform; the amplitudes of displacements from the frequency $\vec{A}_{3,4}(f)$ are determined for a wide range of operating frequencies [5], [7].

Taking into account the elasticity of the cab carrier system in the directions of the Y_m and Z_m axes of the coordinate system $O_m X_m Y_m Z_m$, the carrier system can be represented by a single-mass oscillatory system with two degrees of freedom in the

directions of linear deformations $y_{1,2}$ and $z_{1,2}$ as a component $\vec{A}_{1,2}$, describing the deformation of the front point of the cab subframe. Then, the differential equations of forced vibrations of the cab carrier system can be represented in vector form in the frequency domain:

$$\begin{cases} M_{s+c}\dfrac{\partial^2\vec{A}_1(f,t)}{\partial t^2}+2\vec{b}_s\dfrac{\partial^2\vec{A}_1(f,t)}{\partial t}+\vec{c}_s\vec{A}_1(f,t)=M_m\dfrac{\partial^2\vec{A}_3(f,t)}{\partial t^2}, \\ M_{s+c}\dfrac{\partial^2\vec{A}_2(f,t)}{\partial t^2}+2b_s\dfrac{\partial^2\vec{A}_2(f,t)}{\partial t}+\vec{c}_s\vec{A}_2(f,t)=M_m\dfrac{\partial^2\vec{A}_4(f,t)}{\partial t^2}, \end{cases} \quad (10)$$

where, M_{s+c} –weight of the subframe and cab at the front point of the carrier system;

$c_s=\{c_{xs};c_{ys};c_{zs}\}$ – stiffness matrix of the cab subframe in the directions of the axes X_m, Y_m, Z_m, respectively, of the coordinate system $O_m X_m Y_m Z_m$;

$b_s=\{b_{xs};b_{ys};b_{zs}\}$ – damping matrix of the cab subframe in the directions of the axes X_m, Y_m, Z_m, respectively, of the coordinate system $O_m X_m Y_m Z_m$.

The stiffness matrix of the cab subframe c_s can be found from the expression [14]:

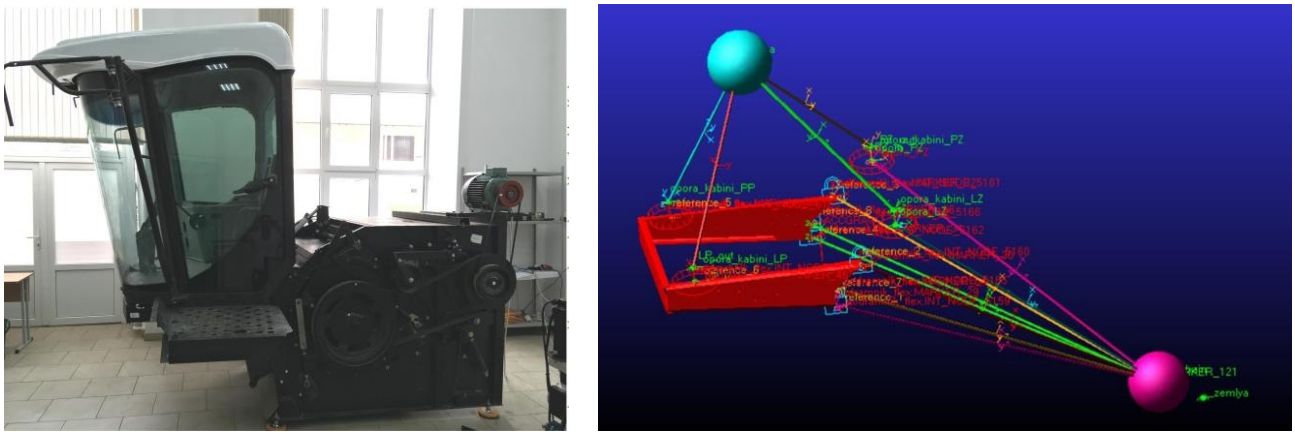
$$c_s=\frac{3EJ_s}{l_s^3}, \quad (11)$$

where E – Young's modulus;

l_s – beam length;

J_s – moment of inertia of the corresponding beam section in the coordinate system $O_m X_m Y_m Z_m$,.

Equation 11 is applicable for calculating the stiffness of the structures in the form of beams or spars with constant cross-section, but this often does not match the topology of real structures that have a complex shape due to functional, mass-dimensional and technological limitations. Calculation of damping of a complex structure is also extremely laborious and gives significant errors. Therefore, it is reasonable to use the finite element method, for calculating the characteristics of stiffness c_s and damping b_s of the cab carrier system. On the basis of the investigated suspension system of the CH cab (Fig. 1 a), an equivalent simulation model was developed in the software complex for dynamic analysis of mechanical systems "MSC Adams" using the module for calculating the dynamics of deformable structures by the finite element method "Flex" (Fig. 1 b). In the model, the subframe design and the physical and mechanical properties of the material it is made from conform to the CH prototype. The subframe is connected to the machine mass center by rigid links with the locked position of the connected nodes. The mass-inertial characteristics of the cab and the elastic-dissipative properties of vibration-isolating cab supports are also taken into account.



a *b*

Fig. 4 – Test bench for studying the combine harvester cab suspension system (*a*) and the equivalent model of the cab suspension system in the MSC Adams software package (*b*)

Using simulation, the stiffness of the subframe is calculated $c_s=\{c_{xs};c_{ys};c_{zs}\}=\{-;700\cdot10^3;1600\cdot10^3\}\dfrac{N}{m}$, as well as the dynamic damping coefficient $b_s(f)$, which is a frequency-relation function of the frequency of forced oscillations of the carrier system.

The calculated values of c_s and $b_s(f)$ are used to solve the system of equations 10, as a result the corrected values of the deformations of the subframe at the front points $\vec{A}_{1,2}(f)$, in the frequency domain are obtained, which are used in expression 8

to calculate $\vec{\Delta}_{I,II}$. . Thus, the deformation of the cab subframe at the front points in the cab coordinate system $O_m X_m Y_m Z_m$ is added to the deformation of the front cab supports.

By solving expressions 8 – 10, an input vibration signal to the suspension system of the cab in the frequency domain, which differs in the front and rear points due to the elastic deformations of the cab supporting system, was obtained.

As a result of vibration simulation of the grain harvester cab taking into account the elasticity of the carrier system - $a_v = 0,446 м / c^2$; the experimentally obtained value $a_v = 0,440 м / c^2$. Thus, with regard for the elasticity of the carrier system it became possible to increase the accuracy of the model by 5.7%, from 93 to 98.7%. Also, to verify the model in the full spectrum of operating frequencies, the vibration spectra on the cab were compared (Fig. 5).

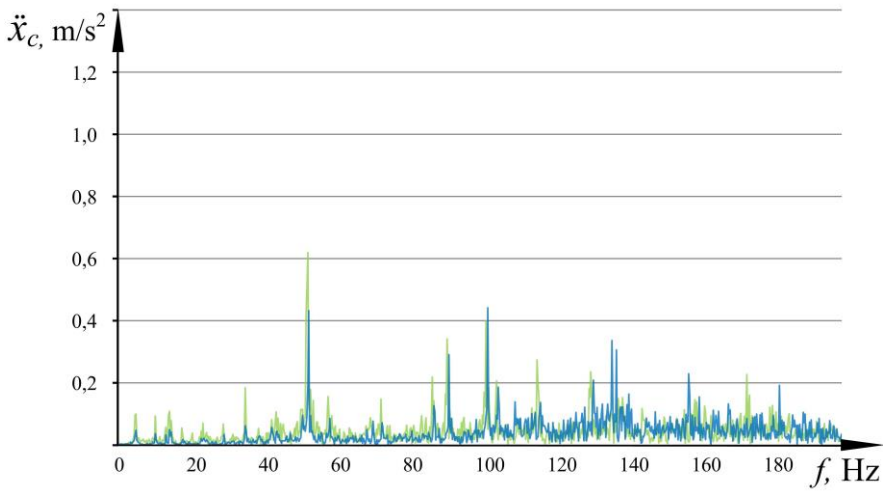


Fig. 5.1 – Spectra of acting vibration on the combine harvester cabin along the X-axis, obtained as a result of simulation taking into account the elasticity of the carrier system (*blue*) and experimental research (*green*)

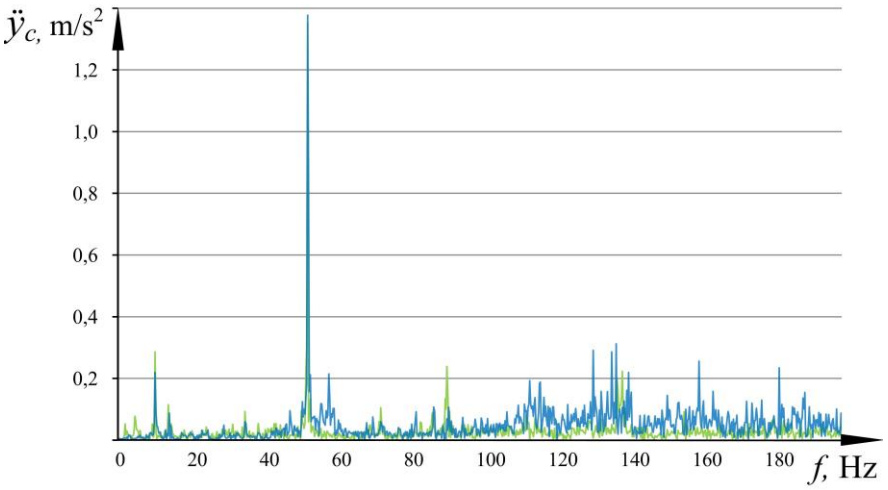


Fig. 5.2 – Spectra of acting vibration on the combine harvester cabin along the Y-axis, obtained as a result of simulation taking into account the elasticity of the carrier system (*blue*) and experimental research (*green*)

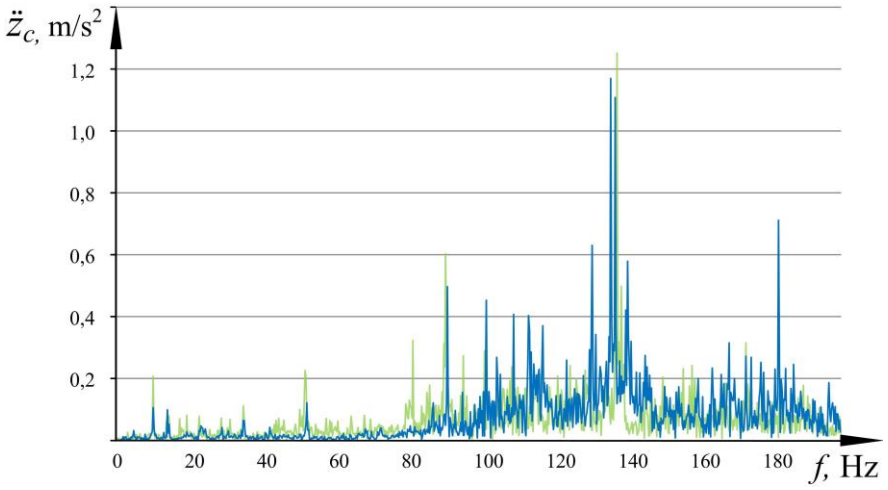


Fig. 5.3 – Spectra of acting vibration on the combine harvester cabin along the Z-axis, obtained as a result of simulation taking into account the elasticity of the carrier system (*blue*) and experimental research (*green*)

The studies carried out prove the influence of the dynamic properties of the supporting system on the formation of vibration loading of the workplace. Taking into account the results obtained, the creation of effective TTM suspension systems can have three main approaches in terms of the dynamics of carrier systems:

1. creation of a sufficiently rigid support system, which will result in increasing its mass, will change the weight distribution of the vehicle and adversely affect the strength properties of the vehicle structure, as well as increase the material consumption and cost of the carrier system;

2. creation of carrier systems with specified dynamic properties, the parameters of which can be determined by the above method. This direction is more relevant for the vehicles under design;

3. attachment to the carrier system of additional vibrational subsystems, with inertial and dissipative influences. This solution is more relevant for the vehicles in service.

As a result, the theoretical and experimental studies of the dynamic loading of the carrier system and combine harvester cab made it possible to develop a mathematical model of the suspension system, which considers the dynamic properties of the carrier system and allows obtaining the results of the cab vibration load calculation with an accuracy of 98,7% based on the total RMS corrected value of vibration acceleration on the cab. The developed model enabled to study the efficiency of the facilities for vibration dynamic damping of the cab carrier system that in this case amounted to 5,4%. The results of the simulation were verified with experimental data obtained through field tests of the CH and bench experimental studies. The obtained tools in the form of mathematical models and theoretical relations can be useful in practice when designing the vehicles of new generations with improved operational characteristics, as well as in modernization of existing vehicles in terms of meeting sanitary requirements for vibration conditions.

Conclusion

1) It was ascertained that, in the transport-technological machines, carrier systems undergo bending and torsional elastic deformations during operation, which are due to the coincidence of the natural vibration frequencies of the carrier system structure with the vibration frequencies generated by active technological equipment, which must be taken into account when researching and designing suspension systems.

2) A mathematical model of vibrations of a mobile technological machine’s cab was developed, factoring in the nonlinear elastic-dissipative properties of the structure of the cab supporting system. This made it possible to increase the accuracy of the results of the vibration load simulation of the cab by the full root-mean-square corrected value of vibration accelerations on the cab by 5.7% in contrast to the model, which does not consider dynamics of the carrier system.

Финансирование

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90315.

Funding

The work has been carried out within the framework of studies supported by the Russian Foundation for Basic Research "RFBR" within the framework of the Project No. 19-38-90315.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Сиротин П.В. Анализ виброакустической нагруженности рабочего места операторов зерноуборочных комбайнов / П.В. Сиротин, И.Ю. Лебединский, В.В. Кравченко // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. – 2018. – №1 (53). – С. 113–121.

2. Abdul-Aziz A. Vibration transmission by combine harvester to the driver at different operative conditions during paddy harvest / A. Abdul-Aziz, A. Almosawi, Ayad J. ALkhafaji et al. // International Journal of Science and Nature. – 2016. – Vol. 7. – P. 127-133.

3. Jahanbakhshi A. Vibrations analysis of combine harvester seat in time and frequency domain / A. Jahanbakhshi, B. Ghamari, K. Heidarbeigi // Journal of Mechanical Engineering and Sciences. – 2020. – Vol. 14(1). P. 6251–6258. DOI:10.15282/jmes.14.1.2020.04.0489

4. Sirotin P.V. Combine harvester threshers operator workplace vibration load study and substantiation their secondary cushioning systems design principles / P.V. Sirotin, I.Yu. Lebedinsky, M. I. Sysoev // AIP Conference Proceedings. – 2019. – Vol. 2188, 050030. DOI:10.1063/1.5138457

5. Черненко А. Б. Пневматические системы вторичного подрессоривания кабин многоосных автомобилей : монография / А. Б. Черненко, Б. Г. Гасанов. – Юж.-Рос. Гос. Техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск : ЮРГТУ (НПИ), 2012. – 156 с.

6. Лебединский И.Ю. Принципы создания систем подрессоривания кабин транспортно-технологических самоходных машин / И.Ю. Лебединский, П.В. Сиротин, А.Б. Черненко и др. // Современные наукоемкие технологии. – 2019. – № 2. – С. 105–109.

7. Bendat J. Random Data: Analysis and Measurement Procedures / J. Bendat, A. Pearsol. – New York: Wiley, 1971. – 240 p.

8. Пат. 188124 Российская Федерация, МПК G 01 N 3/08. Стенд для статических испытаний виброизоляторов / Сиротин П. В., Лебединский И. Ю.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО "Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова» – № 2018143941; заявл. 11.12.2018; опубл. 29.03.2019; Бюл. № 10 (II ч.). – 4 с.

9. Sirotin P.V. Test Bench for Vibration Isolation Systems / P.V. Sirotin, I.Y. Lebedinskii, M.M. Zhileikin et al. / Russ. Engin. Res. – 2020. – Vol. 40. – P. 551–555. DOI:10.3103/S1068798X20070229

10. ISO 2631–1997. Mechanical vibration and shock-evaluation of human exposure to whole-body vibration-Part 1: General requirements. – Publication date: 1997-05-01. – International Organization for Standardization, 1997. – 31 p.

11. Сиротин П.В. Обоснование и анализ применения гибридных динамических моделей для исследования систем подрессоривания кабин зерно- и кормоуборочных комбайнов / П.В. Сиротин, И.Ю. Лебединский // Вестник аграрной науки Дона. – 2018. – № 42. – С. 39-48.

12. Rideout G. Simulating coupled longitudinal, pitch and Bounce Dynamics of Trucks with Flexible Frames / G. Rideout // Modern Mechanical Engineering. – 2012. – Vol. 2. – P. 176-189. DOI:10.4236/mme.2012.24023

13. Warwas K. Modelling Articulated Vehicles with a Flexible Semi-Trailer / K. Warwas, I. Adamiec-Wojcik // The Archive of Mechanical Engineering. – 2013. – Vol. 80. – P. 389-407.

14. Писаренко Г.С. Справочник по сопротивлению материалов / Г.С. Писаренко, А.П. Яковлев, В.В. Матвеев; под общ. ред. Г.С. Писаренко – 2-е изд. – Киев : Наук. думка, 1988. – 736 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Sirotin P.V. Analiz vibroakusticheskoj nagruzhennosti rabochego mesta operatorov zernouborochnyh kombajnov [Analysis of vibroacoustic loading of the operator’s workplace of grain harvesters] / P.V. Sirotin, I. Yu. Lebedinsky, V.V. Kravchenko / Sovremennye naukoemkie tehnologii. Regional'noe prilozhenie. [Modern high technology. Regional application]. – 2018. – №1 (53). – P. 113-121. [in Russian]

2. Abdul-Aziz A. Vibration transmission by combine harvester to the driver at different operative conditions during paddy harvest / A. Abdul-Aziz, A. Almosawi, Ayad J. ALkhafaji et al. // International Journal of Science and Nature. – 2016. – Vol. 7. – P. 127-133.

3. Jahanbakhshi A. Vibrations analysis of combine harvester seat in time and frequency domain / A. Jahanbakhshi, B. Ghamari, K. Heidarbeigi // Journal of Mechanical Engineering and Sciences. – 2020. – Vol. 14(1). P. 6251–6258. DOI:10.15282/jmes.14.1.2020.04.0489

4. Sirotin P.V. Combine harvester threshers operator workplace vibration load study and substantiation their secondary cushioning systems design principles / P.V. Sirotin, I.Yu. Lebedinsky, M. I. Sysoev // AIP Conference Proceedings. – 2019. – Vol. 2188, 050030. DOI:10.1063/1.5138457

5. Chernenko A.B. Pnevmaticheskie sistemy vtorichnogo podressorivanija kabin mnogoosnyh avtomobilej : monografija [Pneumatic systems of secondary suspension of multi-axle vehicles’ cabs : monograph] / A.B. Chernenko, B.G. Gasanov. – Juzh.-Ros. Gos. Tehn. un-t (NPI). – Novocherkassk: JuRGTU (NPI), 2012. – 156 p. [in Russian]

6. Lebedinsky I.Yu. Principy sozdanija sistem podressorivanija kabin transportno-tehnologicheskih samohodnyh mashin [Principles of design of cab suspension systems for transport and technological self-propelled machines] / P.V. Sirotin, A.B. Chernenko et al. // Sovremennye naukoemkie tehnologii [Modern science-intensive technologies] – 2019. – № 2. – P. 105–109. [in Russian]

7. Bendat J. Random Data: Analysis and Measurement Procedures / J. Bendat, A. Pearsol. – New York: Wiley, 1971. – 240 p.

8. Pat. 188124 Russian Federation, MPK G 01 N 3/08. Stend dlja staticheskih ispytanij vibroizoljatorov [Bench for static tests of vibration isolators] / Sirotin P.V., Lebedinsky I.Yu.; the applicant and patentee Federal State-Budget Educational Institution of Higher Education "Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI)". – № 2018143941; appl. 11/12/2018; publ. 29.03.2019; Bul. Number 10 (II h.). – 4 p.

9. Sirotin P.V. Test Bench for Vibration Isolation Systems / P.V. Sirotin, I.Y. Lebedinskii, M.M. Zhileikin et al. / Russ. Engin. Res. – 2020. – Vol. 40. – P. 551–555. DOI:10.3103/S1068798X20070229

10. ISO 2631–1997. Mechanical vibration and shock-evaluation of human exposure to whole-body vibration-Part 1: General requirements. – Publication date: 1997-05-01. – International Organization for Standardization, 1997. – 31 p.

11. Sirotin P.V. Obosnovanie i analiz primenenija gibridnyh dinamicheskih modelej dlja issledovanija sistem podressorivanija kabin zerno- i kormouborochnyh kombajnov [Justification and analysis of the use of hybrid dynamic models for the study of cab suspension systems of grain- and forage harvesters] / P.V. Sirotin, I.Yu. Lebedinsky // Vestnik agrarnoj nauki Dona. [Bulletin of Agrarian Science of the Don Region]. – 2018. – № 42, Vol. 2. – P. 39–48. [in Russian]

12. Rideout G. Simulating coupled longitudinal, pitch and Bounce Dynamics of Trucks with Flexible Frames / G. Rideout // Modern Mechanical Engineering. – 2012. – Vol. 2. – P. 176-189. DOI:10.4236/mme.2012.24023

13. Warwas K. Modelling Articulated Vehicles with a Flexible Semi-Trailer / K. Warwas, I. Adamiec-Wojcik // The Archive of Mechanical Engineering. – 2013. – Vol. 80. – P. 389-407.

14. Pisarenko G.S. Spravochnik po soprotivleniju materialov [Handbook on resistance of materials] / G.S. Pisarenko, A.P. Yakovlev, V.V. Matveev ; edited by G.S. Pisarenko. - 2nd edition. – Kiev : Nauk. Dumka, 1988. – 736 p. [in Russian]

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.110.8.012

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СИЛЬНОТОЧНОГО СОЕДИНИТЕЛЯ НА ПРЕДМЕТ ЕГО ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ В ТЕЧЕНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Научная статья

Рахманов И.[1, *], Кириллов И.В.[2]
[2] ORCID: 0000-0001-6184-5013;
[1] Московский энергетический институт, Москва, Россия;
[2] АО «Уфимское агрегатное производственное объединение», Москва, Россия

* Корреспондирующий автор (RakhmanovI[at]mpei.ru)

Аннотация

В рамках данной работы был разработан электрический соединитель, который выдерживает ток в 2 кА. Целью настоящей работы было создание универсального эффективного электрического соединителя для сильноточного оборудования подстанций промышленных предприятий. Примерами такого оборудования служат силовые контакторы и автоматические выключатели с номинальным током до 2000 А. Гипотеза настоящего исследования сведена к тому мнению, что применение ламельного разбиения контактной поверхности позволит получить стабильную и определённую температурную картину в местах подключения сильноточных аппаратов к сети и нагрузке. В рамках данной работы выдвинутая гипотеза была опробована экспериментальной методикой согласно ГОСТ и компьютерным моделированием в Comsol Multiphysics.

Ключевые слова: Электрический контакт, переходное сопротивление электрического контакта, нагрев электрического контакта, Comsol Multiphysics, ГОСТ – 10434-2003.

AN INVESTIGATION OF AN ELECTRIC HIGH-CURRENT CONNECTOR REGARDING ITS THERMAL STATE OVER LONG PERIODS OF TIME

Research article

Rakhmanov I.[1, *], Kirillov I.V.[2]
[2] ORCID: 0000-0001-6184-5013;
[1] Moscow Power Engineering Institute", Moscow, Russia;
[2] JSC "UAPO" (AO "UAPO"), Moscow, Russia

* Corresponding author (RakhmanovI[at]mpei.ru)

Abstract

The study introduces an electrical connector that can withstand a current of 2 kA. The purpose of this study is to create an efficient universal electrical connector for high-current equipment of substations of industrial enterprises. Examples of such equipment are power contactors and circuit breakers with a rated current of up to 2000 A. The hypothesis of this study is reduced to the opinion that the use of lamellar splitting of the contact surface will allow for obtaining a stable and definite temperature picture in the places where high-current devices are connected to the network and load. Within the framework of this study, the proposed hypothesis is tested by an experimental method according to GOST and computer modeling in Comsol Multiphysics.

Keywords: Electrical contact, transient resistance of electrical contact, heating of electrical contact, Comsol Multiphysics, GOST-10434-2003.

Введение

Проблема электрического контакта [1], [2] была есть и будет актуальна всегда. Особо она актуальна при соединении сильноточных аппаратов и нагрузок с сетью. Кроме того, соединения шин в сильноточных НКУ представляют собой аналогичную и боле сложную задачу. Особенно остро проблема контакта стоит при кабельных сильноточных соединениях в НКУ В этой связи существует великое множество технических решений, которые призваны обеспечить надлежащий электрический контакт, переходное сопротивление которого будет столь малым, что тепловыделение в области контакта будет наименьшим при заданном токе.

Так, например, существуют решения по снижению уровня нагрева шин, которые заключаются в нанесении прорезей и отверстий в различных их конфигурациях [3], [4]. Даже расположение шин относительно друг друга в пространстве имеет значение [5].

Наряду с такими достаточно простыми решениями существуют и более сложные способы решения задачи по уменьшению уровня нагрева электрических контактных соединений. Так, например, в МГТУ имени Н.Э Баумана [6] было проведено исследование на предмет влияния шин с зубчатыми контактными поверхностями. Гипотезой данного исследования являлось уменьшение контактного сопротивления за счёт увеличения площади контакта как посредством увеличения точек соприкосновения, так и посредством развитой поверхности мест соприкосновения двух проводников.

В рамках настоящей работы проведено исследование на основе эксперимента, методика которого продиктована ГОСТ 17441-84 [7]. Согласно данному стандарту, эмпирическая часть исследования проводилась внутри области, огороженной картонными стенками. Назначение таких стенок заключается в обеспечении условий естественной конвекции. Кроме того, каждое испытание проводилось в течение восьми часов. Однако, после прошествия четырёх часов, температура контакта была установившейся [8].

На сегодняшний момент времени существуют различные способы решения задачи сильноточного контакта [9]. Среди прочих существуют решения, использующие серебряное покрытие, чрезмерно сильное контактное нажатие, разбиение контактных частей [10]. Кроме того, существуют специальные смазки, которые сводят на нет микрошороховатости на контактных площадях соединяемых электрических проводников.

Конструкция соединителя

На рисунке 1 изображён исследуемый в данной работе электрический соединитель. Он состоит из массива ламелей, которые осуществляют электрическую связь между сильноточными аппаратами с нагрузкой и сетью. Одна из таких ламелей изображена на рисунке 2. Соединитель разбит на три секции, каждая из которых затянута собственным винтом с усилием 50 Нм, который ввинчен в соответствующую гайку прямоугольного сечения. Под каждой гайкой расположена плоская пружина, которая, как и электрический соединитель в целом, имеет ламельное разбиение. Это разбиение выполнено таким образом, что под каждым зубец ом пружины размещена контактная ламель. Таким образом, каждая ламель находится под механическим давлением и, электрический контакт имеет равномерное распределение по поверхностям соединяемых электрических проводников. Также, соединитель снабжён четырьмя рёбрами жёсткости для обеспечения надлежащей прочности. Помимо этого, каждая ламель покрыта слоем серебра, который нанесён на неё методом гальванического покрытия.

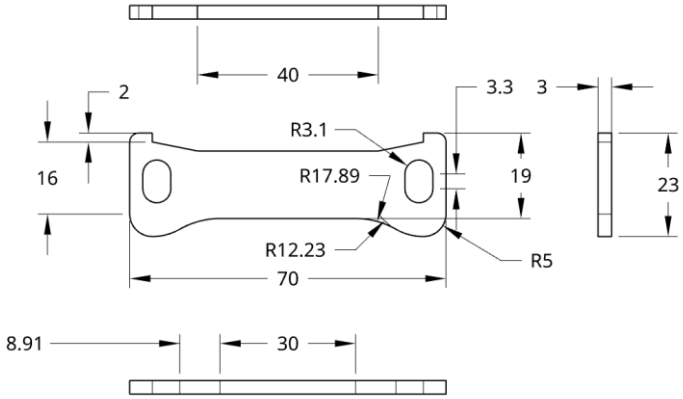


Рис. 1 – Размеры контактной пластины в миллиметрах

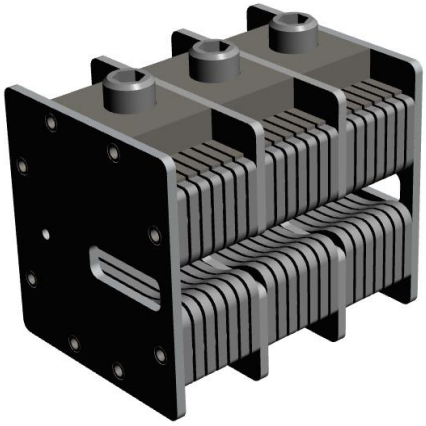


Рис. 2 – Исследуемый электрический соединитель

Помимо электрических аппаратов, данный соединитель способен соединять и электрические шины, как это показано на рисунке 3. Настоящий электрический соединитель универсален и позволяет соединять шины как ортогональные по отношению друг к другу, так и шины, которые расположены на одной оси симметрии. Также, стоит отметить, что одним из достоинств исследуемого электрического соединителя является простота монтажа электрических аппаратов. При классическом подходе к монтажу электрических аппаратов (при замене одного на другой) необходимо выполнять монтажные отверстия тяжеловесным дыроколом для шин. Рассматриваемый электрический соединитель позволяет выполнять монтаж электрических аппаратов без специальной подготовки места установки.

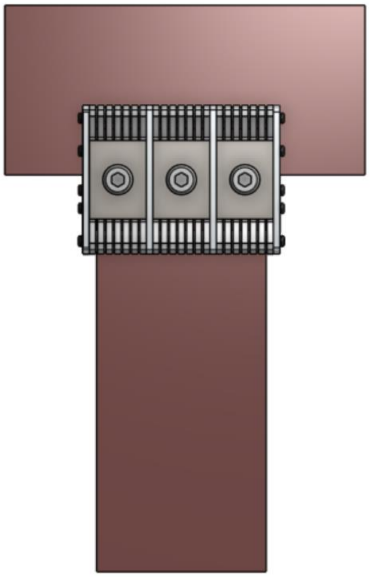


Рис. 3 – Соединение двух перпендикулярных шин

Экспериментальное исследование

В рамках данной работы были проведены опыты на нагрев электрического соединителя при токе 1700 А и сечении кабеля 300 квадратных миллиметров.

Испытательный стенд в действии изображён на рисунках 4 и 5. Под чёрными зажимами, которые расположены на шинах находятся термопары, которые снимали показания температуры во время эксперимента и передавали их на мультиметр. Нагрев стенда фиксировался до входа в зону контакта и после неё. Сам стенд состоял из трёх шин сечением 80 миллиметров на 10 миллиметров, двух или четырёх кабелей сечением по 300 квадратных миллиметров

Рис. 4 – Испытательный стенд в работе

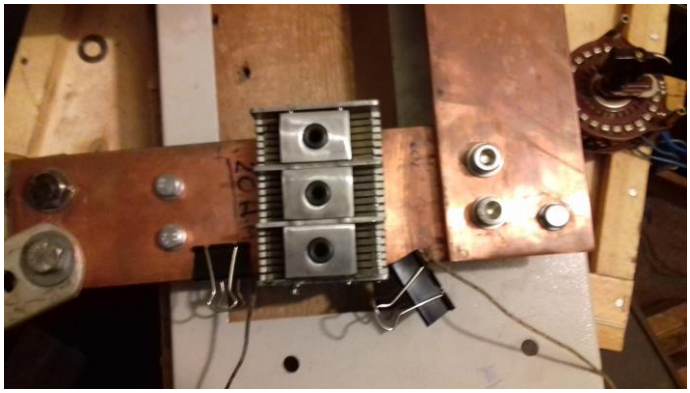


Рис. 5 – Испытательный стенд в работе, вид сверху

В ходе испытаний были получены зависимости температуры до входа в контактную зону и после неё, которые изображены на рисунке 6. Испытания проводились согласно методике, описанной в ГОСТ. Однако, на рисунке 6 представлены данные проведения опыта за первые четыре часа, потому как по прошествии этих часов температура нагрева обрела установившееся своё значение. На рисунке 5 также видно, что нагрев стенда остановился на 231 минуте проведения опыта при температуре 65 C°

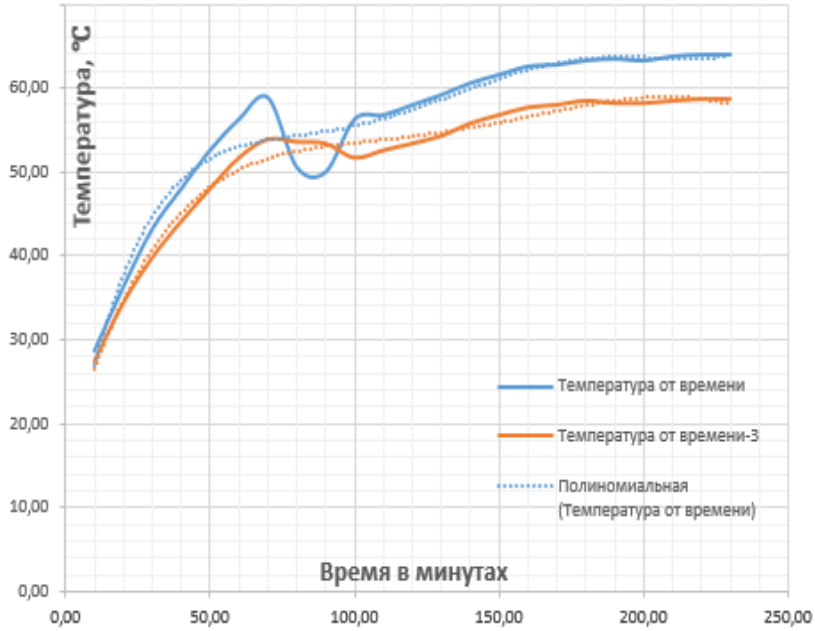


Рис. 6 – Экспериментальная зависимость температуры от времени

Согласно рисунку 5, температура испытательного стенда не превышает 65 (достигает 58,6 С°и 63,9 С° до и после соединения, соответственно) градусов по Цельсию, что соответствует государственному стандарту.

В результате проведённых опытов было определено косвенным образом сопротивление электрического соединителя согласно формуле 1. Расчёт формулы показал, что переходное сопротивление при соединении испытуемым электрическим соединителем двух шин составляет 10.2 мкОм. Такой результат обусловлен не тоько развитой площадью контакта засчёт ламелий, но и засчёт серебряного покрытия этих ламелей, а также усилия в 50 Нм.

$$R = \rho(1 + \alpha\vartheta)\frac{L}{S} \tag{1}$$

Где:
α – температурный коэффициент сопротивления;
ϑ – температура;
L – длина проводника;
S – площадь проводника.

Компьютерное моделирование

Компьютерное моделирование проводилось в рамках данного исследования для получения сравнительной картины с опытными данными и для более детальной картины нагрева электрического соединителя.

Моделирование проводилось в программном пакете Comsol Multiphysics. В качестве объекта моделирования в данной работе выступает четверть электрического соединителя с соблюдением симметрии расчёта с целью упростить поставленную ЭВМ задачу. Картина температурного распределения представлена на рисунке 7.

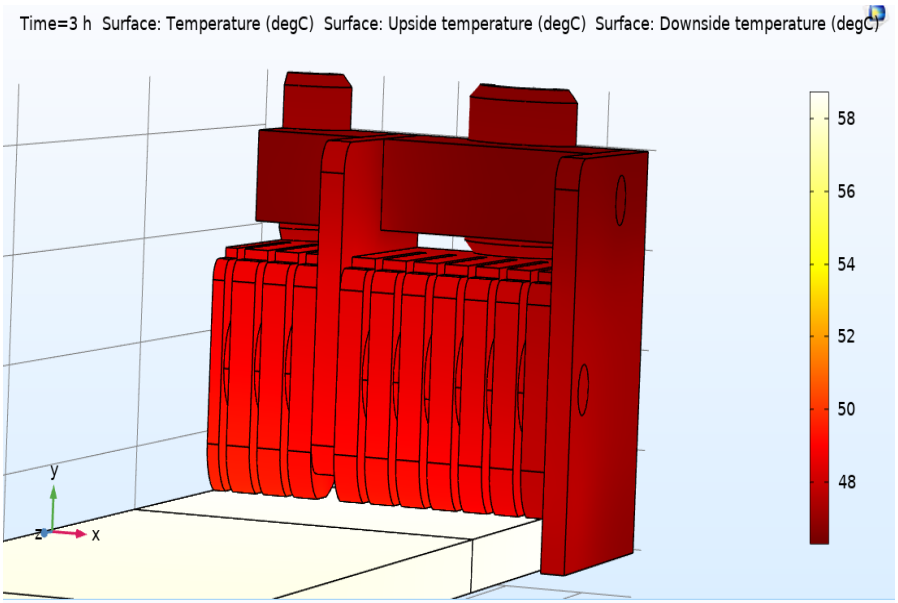


Рис. 7 – Температурное распределение по электрическому соединителю

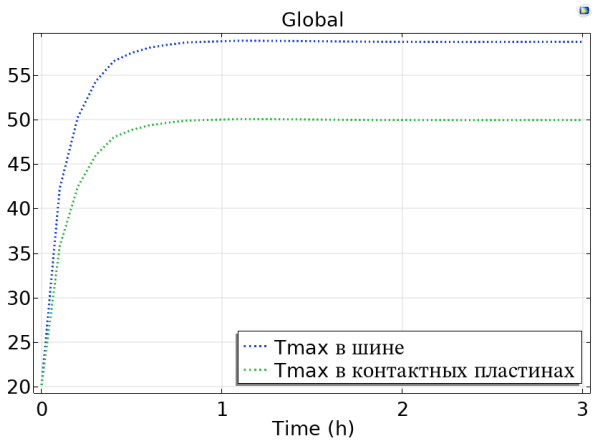


Рис. 8 – Температурная кривая, полученная путём компьютерного моделирования

Нетрудно видеть, что температура, согласно рисунку 7 и рисунку 8, не превышает 60 градусов по шкале Цельсия. При этом, сопротивление данной части соединителя составило 27,855 мкОм. Беря во внимание все четыре части соединителя, его электрическое сопротивление составило 13.93 мкОм.

Выводы

Проведённый эксперимент показал удовлетворительные качества исследуемого электрического соединителя. Температура его нагрева является безопасной как для изоляции подводимых и отводимых кабелей, их изоляции, а также для обслуживающего персонала. Также, компьютерное моделирование, с малой долей расхождения, показало справедливость полученных экспериментальных данных.

Таким образом, исследованный электрический соединитель способен работать на токе в 1600 А в качестве устройства соединения сильноточных электрических аппаратов с сетью и нагрузкой, а также в качестве устройства соединения электрических сильноточных шин.

В качестве же достоинств исследованного изделия можно отметить его универсальность, низкое переходное сопротивление и удобство монтажа оборудования с его помощью.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. ГОСТ – 10434-2003 Соединения контактные электрические. Классификация. Общие технические требования. – Введ. 03.02.82: ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» ,-М. : 2007- 15 с.

2. ГОСТ 8865-93 Системы электрической изоляции. Оценка нагревостойкости и классификация. – Введ. 01.01.95: ИПК Издательство стандартов» ,-М. : 2003- 5 с.

3. Tzeneva R. Bolted busbar connections with longitudinal slots / R. Tzeneva, Ya. Slavtchev, N. Mastorakis et al. 2010. [Electronic resource]. – URL: https://clck.ru/WgYyH (accessed 12.06.2021)

4. Tzeneva R. New connection design of high power bolted busbar connections / R. Tzeneva, Ya. Slavtchev, V. Mladenov. 2007. [Electronic resource]. – URL: https://clck.ru/WgZ5e (accessed 12.06.2021)

5. Lotiya J. Thermal analysis and optimization of temperature rise in busbar joints configuration by FEM / J. Lotiya // 6th IEEE Power India International Conference (PIICON), 2014, pp. 1-5, DOI: 10.1109/POWERI.2014.7117684.

6. Solovyeva L. Novel Electrical Joints Using Deformation Machining Technology Part I: Computer Modeling / L. Solovyeva, N. Zubkov, B. Lisowsky et al. // in IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, vol. 2, no. 10, pp. 1711-1717, Oct. 2012, DOI: 10.1109/TCPMT.2012.2207723.

7. Афанасьев В.В. Справочник по расчёту и конструированию контактных частей сильноточных электрических аппаратов / В.В. Афанасьев. – Ленинград: Энергоатомиздат, 1988. - 385 с.

8. ГОСТ 17441-84 Соединения контактные электрические. Правила приёмки и методы испытаний. – Введ. 29.11.84 : АО «Кодекс»,-М. : 1990- 20 с.

9. Курбатов П.А. Электрические аппараты учебник и практикум для академического бакалавриата / П.А. Курбатов. – Москва: ООО «Издательство ЮРАЙТ», 2018 - 247 с.

10. Францевич И.Н. Сильноточные электрические контакты, издательство / И.Н. Францевич – Киев: «Наукова Думка», 1970 - 159 с.

Список литературы на английском языке / References in English

References

1. GOST – 10434-2003 Soedinenija kontaktnye ehlektricheskie. Klassifikacija. Obshhie tekhnicheskie trebovanija [Electrical contact connections. Classification. General technical requirements]. - Introduced 03.02.82: Federal State Unitary Enterprise "STANDARTINFORM", Moscow: 2007-15 p. [in Russian]

2. GOST 8865-93 Sistemy ehlektricheskojj izoljacii. Ocenka nagrevostojjkosti i klassifikacija [Electrical insulation systems. Assessment of heat resistance and classification]. - Introduced 01.01.95: IPK Publishing house of standarts, - M.: 2003-5 p. [in Russian]

3. Tzeneva R. Bolted busbar connections with longitudinal slots / R. Tzeneva, Ya. Slavtchev, N. Mastorakis et al. 2010. [Electronic resource]. – URL: https://clck.ru/WgYyH (accessed 12.06.2021)

4. Tzeneva R. New connection design of high power bolted busbar connections / R. Tzeneva, Ya. Slavtchev, V. Mladenov. 2007. [Electronic resource]. – URL: https://clck.ru/WgZ5e (accessed 12.06.2021)

5. Lotiya J. Thermal analysis and optimization of temperature rise in busbar joints configuration by FEM / J. Lotiya // 6th IEEE Power India International Conference (PIICON), 2014, pp. 1-5, DOI: 10.1109/POWERI.2014.7117684.

6. Solovyeva L. Novel Electrical Joints Using Deformation Machining Technology Part I: Computer Modeling / L. Solovyeva, N. Zubkov, B. Lisowsky et al. // in IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, vol. 2, no. 10, pp. 1711-1717, Oct. 2012, DOI: 10.1109/TCPMT.2012.2207723.

7. Afanasyev V. V. Spravochnik po raschjotu i konstruirovaniju kontaktnykh chastejj sil'notochnykh ehlektricheskikh apparatov [Handbook on the calculation and design of contact parts of high-current electrical devices] / V. V. Afanasyev. - Leningrad: Energoatomizdat, 1988. - 385 p. [in Russian]

8. GOST 17441-84 Soedinenija kontaktnye ehlektricheskie. Pravila prijomki i metody ispytanijj [Electrical contact connections. Acceptance rules and test methods] [Electronic resource]. - Introduced. 29.11.84: JSC "Kodeks", - Moscow: 1990-20 p. [in Russian]

9. Kurbatov P. A. Ehlektricheskie apparaty uchebnik i praktikum dlja akademicheskogo bakalavriata [Electrical devices textbook and practical course for academic bachelor's degree] / P. A. Kurbatov. - Moscow: OOO « Publishing house JuRAJjT», 2018-247 p. [in Russian]

10. Frantsevich I. N. Sil'notochnye ehlektricheskie kontakty [High-current electrical contacts] / I. N. Frantsevich-Kyiv: "Naukova Dumka", 1970-159 p. [in Russian]

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.110.8.013

МОДЕЛИРОВАНИЕ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ СЕМЯН ЧИА

Научная статья

Новикова Ж.В.[1, *], Лавринович Д.С.[2], Сергеева С.М.[3]
[1] ORCID 0000-0001-8652-4777;
[2] ORCID 0000-0002-6606-6032;
[3] ORCID 0000-0003-3873-6139;
[1, 3] Московский государственный университет пищевых производств, Москва, Россия;
[2] Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва, Россия

* Корреспондирующий автор (novikova[at]mgupp.ru)

Аннотация

В статье рассмотрена проблема расширения ассортимента хлебобулочных изделий, обеспечивающих профилактику неинфекционных болезней. Хлебобулочные изделия являются продуктами регулярного потребления в рационе питания населения России. Семена чиа, применяемые в качестве растительного компонента в хлебобулочных изделиях, являются источником биологически активных веществ: растительного белка, клетчатки, Омега-3 и Омега-6 полиненасыщенных жирных кислот, магния, кальция, фосфора. Исследования проведены в области проектирования рецептурных составов и технологий новых видов хлебобулочных изделий. Создание рецептур новых хлебобулочных изделий основывается на изучении закономерностей показателей качества готовых изделий в зависимости от количества внесенного нового сырьевого компонента. Определено влияние семян чиа на органолептические и физико-химические показатели хлебобулочного изделия булочки сдобной (бриошь) при хранении. Анализ химического состава хлебобулочного изделия булочки сдобной (бриошь) позволил сделать вывод, что изделия, вырабатываемые с применением семян чиа обладают высокой пищевой ценностью.

Ключевые слова: хлебобулочные изделия, булочка сдобная, бриошь, семена чиа.

MODELLING OF BREAD AND FLOUR PRODUCT RECIPES WITH THE USE OF CHIA SEEDS

Research article

Novikova Zh.V.[1, *], Lavrinovich D.S.[2], Sergeeva S.M.[3]
[1] ORCID 0000-0001-8652-4777;
[2] ORCID 0000-0002-6606-6032;
[3] ORCID 0000-0003-3873-6139;
[1, 3] Moscow State University of Food Production, Moscow, Russia;
[2] National University of Science and Technology "MISIS", Moscow, Russia

* Corresponding author (novikova[at]mgupp.ru)

Abstract

The article explores the problem of expanding the range of bread and flour products that provide prevention of non-infectious diseases. Bread and flour products are products of regular consumption in the diet of the population of Russia. Chia seeds, which are used as a vegetable component in bread and flour products, contain biologically active substances, such as vegetable protein, dietary fibre, polyunsaturated omega-3 and omega-6 fatty acids, magnesium, calcium and phosphorus. Research in recipe composition and bread and flour product design has been carried out. The development of recipes for new bread and flour products is based on studying the regularities of the finished product quality indicators, depending on the quantity of the new raw material added. The impact of chia seeds on the organoleptic and physical-chemical indicators of the sweet bun (brioche) during storage has been determined. The analysis of the chemical composition of the sweet bun (brioche) has led to the conclusion that the goods produced with chia seeds possess a high nutritional value.

Keywords: baked goods, sweet bun, Brioche, Chia seeds.

Introduction

The diet of each person is an important component of maintaining the health of the population. The lifestyle of modern man has an impact on the development of pathological eating habits, such as having excessively high-calorie dinners, consuming foods high in salt, sugar, fat content, taking long breaks between meals. The inhabitants of megacities fail to receive minor components of food throughout the year, which in turn increases the risk of developing alimentary-dependent metabolic disorders and diseases. An integrated approach to solving the problem of disease prevention is provided by designing recipes and technologies of products enriched with vitamins, dietary fiber and biologically active additives. Satisfying consumer demand for affordable high-quality products is becoming an urgent task.

The issue of nutrition correction is relevant for the Russian Federation. Government policy in the framework of the implementation of the "Action Plan of the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Wellbeing for the Period up to 2024" and " the Strategy for improving the quality of food products in the Russian Federation until 2030 " focused on providing nutritious food, preventing diseases, increasing the life expectancy and improving the quality of life of the population, stimulating the development of production and circulation of food products of appropriate quality on the market [3], [4].

Healthy diet is becoming a trend in modern society, which indicates the readiness of people to use healthy products in their diet. Companies in the catering industry are responding to consumer demands by expanding their range of familiar dishes. For example, there are a great number of varieties of burgers - from the classic, using traditional raw materials, to the original with the addition of various specific ingredients today. One of the main ingredients of the Burger is a bun, it takes around 40% of the mass of the ready-to-eat meals.

Considering the historically high share of the grain group in the consumer basket of the Russian population, researches in the development of recipe compositions and technologies for new types of bread and flour products in particular with the use of non-traditional plant raw materials, rich in useful substances necessary for the human body are becoming important. Famous scientists such as L. Ya. Auerman, T. G. Bogatyreva, A. A. Kochetkova, N. V. Labutina, L. I. Puchkova, R. D. Polandova, T. B. Tsyganova and others were developing and improving bread and flour products for a healthy diet [1], [6].

An analysis of their work and their own researches has shown that one of the most promising raw materials is Chia seeds, which have a positive effect on the structural and mechanical properties of half-finished products and finished products [2].

Chia seeds contain biologically active substances and are used as a vegetable component in flour products. Chia seeds allow you to obtain a product that has not only high organoleptic properties, but also enriched with essential substances [9].

It is clear, that the development of recipes for baked goods using chia seeds is of great theoretical and practical interest and creates the conditions for expanding the range of special foods with high quality, nutritional and biological value.

The aim of this research was to demonstrate the use of vegetable raw materials in the manufacture of baked goods.

Methods

To conduct laboratory research mathematical modelling of the sweet bun (brioche) recipe was carried out using the simplex method and MS Excel software. The optimization parameter was the content of macronutrients, fiber, omega-3 and omega-6 fatty acids. As a result of the mathematical modeling, 4 variants of the ratios of the variable components which correspond to the specified conditions were obtained (Table 1).

Table 1 – Brioche sample recipes

Raw materials	Raw material consumption per 100 kg of flour, kg				
	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5
fancy white wheat flour	100	95	90	85	80
chia seeds	-	5	10	15	20
butter	24	24	24	24	24
hen's egg	22	22	22	22	22
first sugar	17	17	17	17	17
pressed yeast	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
edible salt	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75

Note: Sample 1 – control sample of the sweet bun (brioche); Sample 2 – 5% wheat flour replaced by chia seeds (TU 9761-005-11602363-2016); Sample 3 – 10% wheat flour replaced by chia seeds; Sample 4 – 15% wheat flour replaced by chia seeds; Sample 5 – 20% wheat flour replaced by chia seeds

Given the fact that chia seeds can affect the structure and properties of both the dough and the finished product, 90–95°C water was poured over them 10 minutes in advance.

The dough was mixed in a kneading machine at a medium speed for 10–15 minutes until the desired development of gluten was achieved. Then the prepared chia seeds were introduced into the dough at a slow speed. The dough was made using the technology of long-term cold fermentation for 8 hours at a temperature of 4 ± 2 °C.

When introducing chia seeds in the amount of 5% and 10%, no significant effect on the structural and mechanical properties of the dough was observed. Introducing chia seeds in the amount of 15% and 20% made the dough firmer and less stretchy.

The dough was then cut, shaped and left to rise for 60-90 minutes at a temperature of 18 ± 2 ° C. The products were baked in the baker's rack at a temperature of 190 to 200 ° C for 12 to 15 minutes.

To determine the effect of chia seeds on the storage of products during the guaranteed shelf life, the study samples were placed for storage. Freshness was assessed 3, 8, 16, 24 hours after baking. The quality of the control and study samples was assessed according to the regulated quality indicators (GOST 24557-89): mass fraction of moisture, porosity and acidity. The degree of the crumb staleness was determined according to the method of 5C on the device (indenter "cylinder 36"), a piece of crumb with a weight of 5 ± 0.2 g was taken for the examination.

The swelling of the crumb (ml 1 g dry matter) was determined by the amount of water which was absorbed by the crumb after 5 minutes.

Crum friability was determined by the particles of crumbs formed as a percentage when the crumb sample was shaken (15 minutes at a speed of 190 to 250 rpm).

The analysis of the food and energy value of products was carried out using the calculation method [7].

Results and discussion

The development of recipes for new bread and flour products is based on the regularity of the quality indicators for finished products, depending on the quantity of the unconventional raw material added. The organoleptic estimation of the study samples enables us to draw conclusions about the influence of the ingredients introduced on the appearance, the color of the crust and the condition of the crumb of the product. However, the additives have no visible influence on changes in the taste and smell of baked products. As a result of the tasting analysis, the highest total score for Sample No. 3 was obtained, which was characterized by a required shape, a light brown crust color interspersed with chia seeds, as well as a crumb clarity, a sweet taste and a characteristic aroma for a rolls and buns.

The effect of chia seeds on the quality of the products during storage was monitored by changes in the organoleptic and physicochemical parameters (mass fraction of moisture, swelling, crumb friability, acidity and porosity). The results are shown in Figure 1-5.

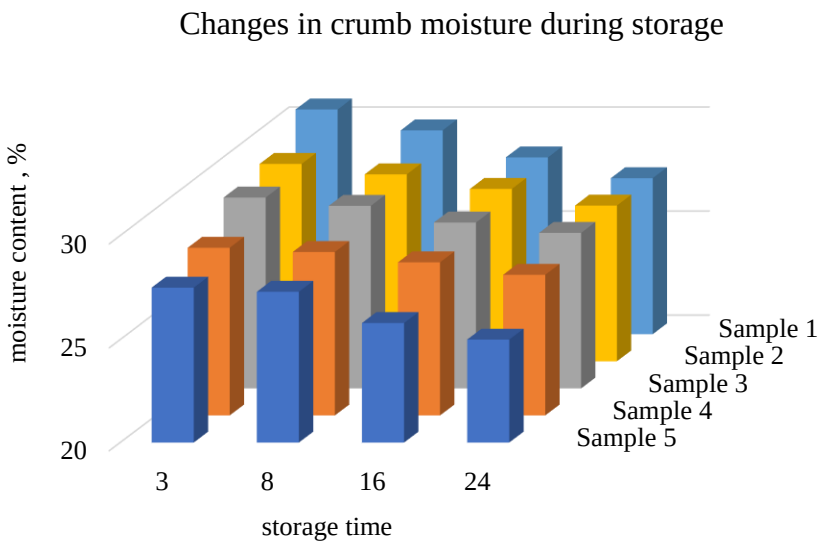


Fig. 1 – The influence of the addition of chia seeds on the physico-chemical parameters in the storage of buns (brioches)

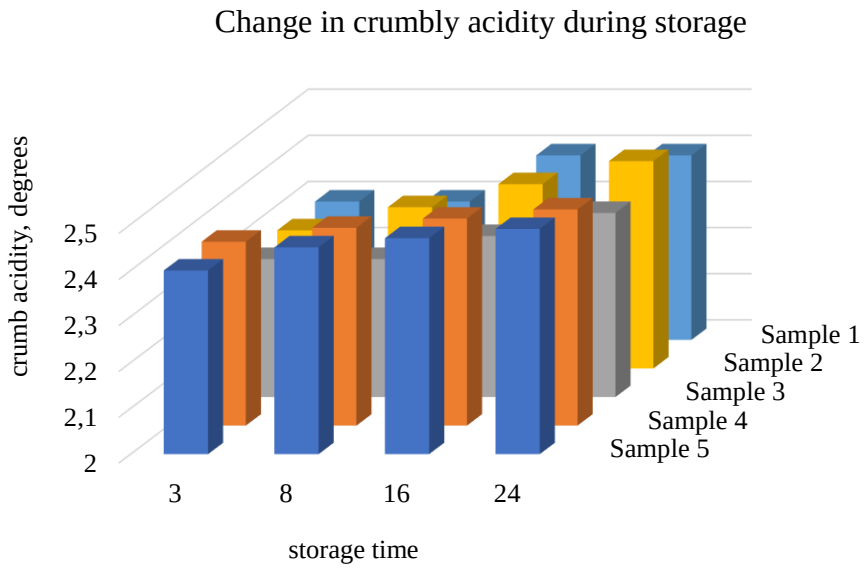


Fig. 2 – The influence of the addition of chia seeds on the physico-chemical parameters in the storage of buns (brioches)

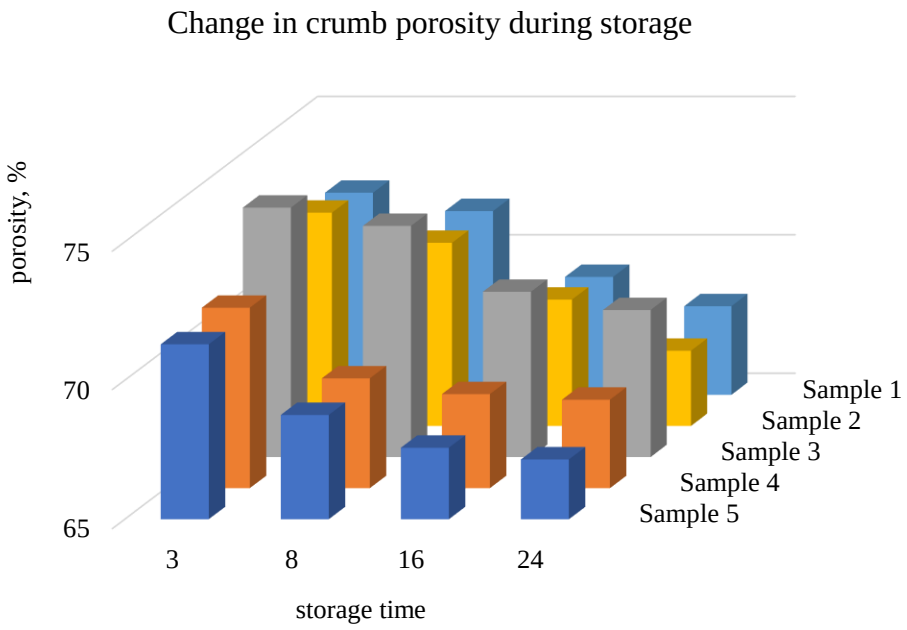


Fig. 3 – The influence of the addition of chia seeds on the physico-chemical parameters in the storage of buns (brioches)

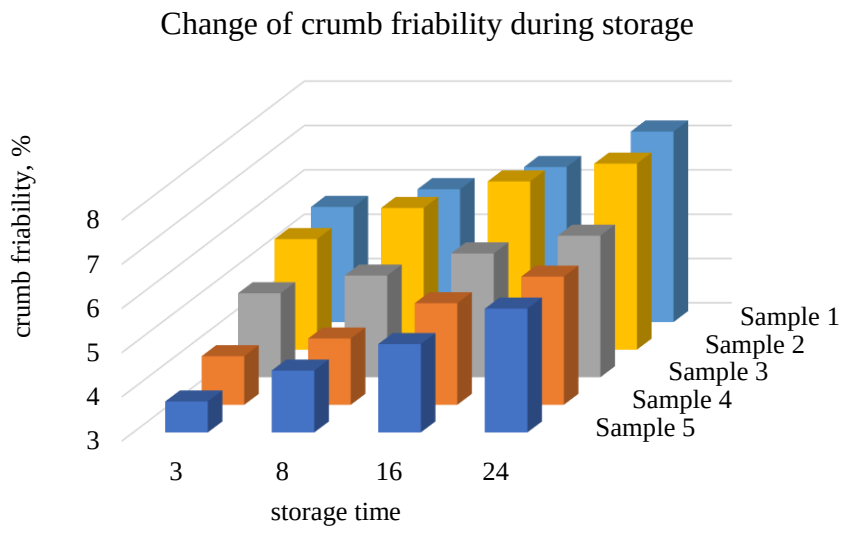


Fig. 4 – The influence of the addition of chia seeds on the physico-chemical parameters in the storage of buns (brioches)

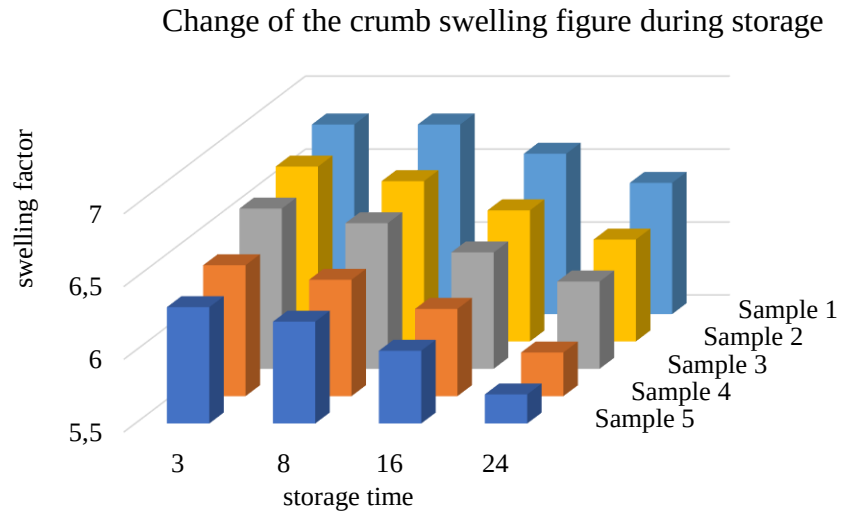


Fig. 5 – The influence of the addition of chia seeds on the physico-chemical parameters in the storage of buns (brioches)

After 8 hours of storage, no significant changes in the organoleptic properties were found in all study samples. After 16 hours, the samples showed a decrease in crumb elasticity and an increase in crumb friability, to a lesser extent the changes in sample 3 were expressed. After 24 hours of storage, all samples became stiffer and the crumb less elastic. When using chia seeds in an amount of 10% by weight of the flour in the product, however, a decrease in the characteristics such as taste, smell, crumb elasticity and friability were less noticeable. Even though all study samples are of better quality compared to the control sample in terms of organoleptic and physicochemical indicators, sample 3 shows higher indicators during the storage, affects the product's consumer properties. The chemical composition of the control and study sample 3 (Table 2) were analyzed [5], [7], [8].

Table 2 – Comparative properties of the basic nutrient content and the energy value of finished products per 65 grams

Nutrient materials	Study sample 1		Study sample 3	
	contents in 1 serving	daily requirement, %	contents in 1 serving	daily requirement, %
Proteins, g.	5,8	7,7	6,1	8,1
Fats, g	7,8	9,4	9,1	11
Carbohydrates, g.	35,1	9,6	34,1	9,3
Dietary fibers, g.	1,5	5,0	3,0	10,0
Omega-3 polyunsaturated fatty acid, g.	0,04	3,8	0,9	87,9
Omega-6 polyunsaturated fatty acid, g.	0,5	12,9	0,8	19,2
Nutrition value, kcal	230,9	9,2	236,8	9,5

It is known that chia seeds are characterized by a high content of proteins, polyunsaturated fatty acids and dietary fiber, which determines the high nutritional value of products produced when they are used. Dietary fiber is classified as an essential micronutrient that fulfills important physiological functions in the human body. The fiber content in the study sample is twice that of the control sample and covers 10 % of the daily requirement. Thus, the high content of polyunsaturated omega-3 and omega-6 fatty acids in chia seeds, which are required to support cognitive abilities, heart and vascular function, the daily needs by 87.9 % and 19.2 % cover.

Conclusions

The use of chia seeds in bread and flour product recipes not only offers prospects for expanding the range and taste diversity of the dietary habits of the population, but also provides the products with a functional orientation and suitability for people who adhere to a healthy lifestyle.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Губенко, Г. Ю. Перспективы комплексного использования регионального нетрадиционного растительного сырья при производстве пищевых продуктов / Г. Ю. Губенко, Л. А. Маюрникова, Л. П. Рубчевская // Пищевая промышленность. – 2016. – № 4. – С. 23–27.
2. Новикова, Ж. В. Разработка булочных изделий для здорового питания с применением растительного сырья / Ж. В. Новикова, С. М. Сергеева, Е. В. Муханов // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2020. – Т. 82. – № 4(86). – С. 188-195. – DOI 10.20914/2310-1202-2020-4-188-195.
3. План деятельности Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека на период до 2024 года (утв. Роспотребнадзором 01.02.2019). // КонсультантПлюс : [Электронный ресурс]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_332104/ (дата обращения: 18.06.2020).
4. Распоряжение Правительства РФ от 29.06.2016 N1364-р «Об утверждении Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года». // КонсультантПлюс : [Электронный ресурс]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_200636/ (дата обращения: 18.06.2020).
5. Семена чиа — USDA.GOV : [Электронный ресурс]. — URL: https://clck.ru/Wga4n (дата обращения: 18.06.2020).
6. Современные подходы к разработке рецептур безглютеновых хлебобулочных изделий / Л.В. Зайцева [и др.]. // Вопросы питания. – 2020. – № 1. – С. 77-85.
7. ТР ТС 022/2011. Технический регламент Таможенного союза. Пищевая продукция в части ее маркировки. // КонсультантПлюс : [Электронный ресурс]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_124614/ (дата обращения: 18.06.2020).
8. Тутельян, В. А. Химический состав и калорийность российских продуктов питания / В. А. Тутельян. — Москва : ДеЛи плюс, 2012. — 284 с. — Текст : непосредственный.
9. Bechthold, A. Chiasamen - Präkolumbisches Grundlebensmittel und modernes Novel Food / A. Bechthold // Ern'a'hrungs umschau. – 2015. – № 3. – С. 9-12.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Gubenko, G. Yu. Perspektivy kompleksnogo ispol'zovanija regional'nogo netradicionnogo rastitel'nogo syr'ja pri proizvodstve pishhevyh produktov [Prospects for the integrated use of regional non-traditional plant raw materials in food production] / G. Yu. Gubenko, L.A. Mayurnikova, L.P. Rubchevskaya // Pishhevaja promyshlennost' [Food industry] . - 2016. - No. 4. - P. 23–27. [in Russian]
2. Novikova, Zh. V. Razrabotka bulochnyh izdelij dlja zdorovogo pitanija s primeneniem rastitel'nogo syr'ja [Development of bakery products for a healthy diet using plant materials] / Zh. V. Novikova, S. M. Sergeeva, E. V. Muhanov // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernyh tehnologij [Voronezh State University of Engineering Technologies Bulletin] – 2020. – Vol. 82. – No 4(86). – P. 188-195. – DOI 10.20914/2310-1202-2020-4-188-195. [in Russian]
3. Plan dejatel'nosti Federal'noj sluzhby po nadzoru v sfere zashhity prav potrebitelej i blagopoluchija cheloveka na period do 2024 goda (utv. Rospotrebnadzorom 01.02.2019) [The plan of activities of the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare for the period up to 2024] (approved by Rospotrebnadzor on 02/01/2019). - // ConsultantPlus: [Electronic resource]. - URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_332104/ (accessed: 18.06.2020). [in Russian]
4. Rasporjazhenie Pravitel'stva RF ot 29.06.2016 N1364-r «Ob utverzhdenii Strategii povyshenija kachestva pishhevoj produkcii v Rossijskoj Federacii do 2030 goda» [Order of the Government of the Russian Federation of June 29, 2016 N1364-r "On approval of the Strategy for improving the quality of food products in the Russian Federation until 2030"]. // ConsultantPlus: [Electronic resource]. - URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_L AW_200636/ (accessed: 18.06.2020). [in Russian]
5. Semena chia [Chia seeds]// USDA.GOV: [Electronic resource]. - URL: https://clck.ru/Wga4n (accessed: 18.06.2020). [in Russian]
6. Sovremennye podhody k razrabotke receptur bezgljutenovyh hlebobulochnyh izdelij [Modern approaches to the development of recipes for gluten-free bakery products] / L.V. Zaitsev et al. // Voprosy pitanija [Nutritional issues] - 2020. - No. 1. - P. 77-85. [in Russian]
7. TR TS 022/2011. Tehnicheskij reglament Tamozhennogo sojuza. Pishhevaja produkcija v chasti ee markirovki [TR CU 022/2011. Technical regulations of the Customs Union. Food products in terms of their labeling] // ConsultantPlus: [Electronic resource]. - URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW _124614/ (accessed: 18.06.2020). [in Russian]
8. Tutelyan, V. A. Himicheskij sostav i kalorijnost' rossijskih produktov pitanija [Chemical composition and caloric content of Russian food products] / V. A. Tutelyan. - Moscow: DeLi plus, 2012 . – P 284. [in Russian]
9. Bechthold, A. Chiasamen Präkolumbisches Grundlebensmittel und modernes Novel Food [Pre-Columbian basic food and modern novel food] / A. Bechthold // Ernährungsumschau [Change of diet]. – 2015. – № 3. – P. 9-12. [in German]

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.110.8.014

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПШЕНИЧНО-КОНОПЛЯНОЙ МУКИ

Научная статья

Терентьев С.Е.[1], Лабутина Н.В.[2], Кандроков Р.Х.[3, *], Кусова И.У.[4], Рындин А.А.[5]
[3] ORCID: 0000-0003-2003-2918;
[1] Смоленская государственная сельскохозяйственная академия, Смоленск, Россия;
[2, 3, 4, 5] Московский Государственный Университет пищевых производств, Москва, Россия

* Корреспондирующий автор (nart132007[at]mail.ru)

Аннотация

Разработана инновационная технология получения композиционной пшенично-конопляной муки. Впервые показана возможность совместного размола пшенично-конопляной смеси, что позволило разработать технологию тритикалевой муки обогащенной незаменимыми жирными кислотами ω-3 (линоленовая кислота) и ω-6 (линолевая кислота). Разработана технологическая схема получения композиционной пшенично-конопляной муки, состоящая из 4-х драных и 3-х размольных систем. Разработана технология получения композиционной пшенично-конопляной муки, обогащенной полиненасыщенными жирными кислотами. Общий выход пшенично-конопляной муки оказался достаточно высоким и составил 73,9% с зольностью 1,26%. При введении 10% конопли в помольную смесь в полученной хлебопекарной пшенично-конопляной муке содержание жира повысилась на 391%, а содержание белка на 11,9%. По органолептическим показателям хлеб, полученный из обогащенной полиненасыщенными жирными кислотами композиционной пшенично-конопляной муки, оказался сопоставим с хлебом из сортовой пшеничной хлебопекарной муки. При этом, хлеб из пшенично-конопляной муки по объемному выходу оказался больше (357 см^3), чем из контрольной пшеничной муки (290 см^3).

Ключевые слова: пшеница, конопля, зерновая смесь, соотношение, выход, качество, пшенично-конопляная мука.

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR PRODUCING WHEAT AND HEMP FLOUR

Research article

Terentyev S.E.[1], Labutina N.V.[2], Kandrokov R.Kh.[3, *], Kusova I.U.[4], Ryndin A.A.[5]
[3] ORCID: 0000-0003-2003-2918;
[1] Smolensk State Agricultural Academy, Smolensk, Russia;
[2, 3, 4, 5] Moscow State University of Food Production, Moscow, Russia

* Corresponding author (nart132007[at]mail.ru)

Abstract

The current article introduces an innovative technology for producing composite wheat and hemp flour. For the first time, the study demonstrates the possibility of joint grinding of a wheat-hemp mixture, which makes it possible to develop a technology of triticale flour enriched with the essential fatty acids ω-3 (linolenic acid) and ω-6 (linoleic acid). Also, the article introduces a technological scheme for the production of composite wheat-hemp flour consisting of 4 ragged and 3 grinding systems as well as a technology for producing composite wheat-hemp flour enriched with polyunsaturated fatty acids. The study demonstrates that the total yield of wheat and hemp flour proves to be quite high and amounts to 73,9% with an ash content of 1,26%. When introducing 10% of hemp into the grinding mixture, the fat content in the resulting baking wheat-hemp flour increases by 391%, and the protein content increases by 11,9%. According to organoleptic indicators, the bread obtained from the composite wheat-hemp flour enriched with polyunsaturated fatty acids is comparable to bread made from graded wheat baking flour. At the same time, bread from wheat-hemp flour Is larger in volume output (357 cm^3) than from control wheat flour (290 cm^3).

Keywords: wheat, hemp, grain mixture, ratio, yield, quality, wheat-hemp flour.

Введение

Продукты переработки зерновых культур в виде различных изделий на основе пшеничной муки составляют значительную долю в рационе питания населения нашей страны. Однако химический состав продуктов питания полученных, на основе традиционных технологий, характеризуются недостаточной сбалансированностью по питательной ценности и биологической эффективности [1]. В связи с этим, требуется разработка продуктов питания с повышенной пищевой и питательной ценностью на зерновой основе добавлением семян масличных культур (конопля) [2], [3], [9], [10]. Семена конопли отличаются высокой пищевой ценностью, при этом они богаты незаменимыми жирными аминокислотами (НЖК), витаминами A, D, E и группы B, микроэлементами (кальций, железо, натрий), пищевыми волокнами [4], [5]. По пищевой ценностью с коноплей может соперничать только соя, при этом, качество протеинов в семенах конопли гораздо выше, они близки по составу к протеинам человеческой крови. Кроме того, семена конопли являются экологически безопасным продуктом, так как на посевах конопли не используют гербицидов — это растение благодаря своей жизнеспособности прекрасно сама справляется с болезнями и вредителями.

Характерной особенностью семян конопли является высокое содержание жира от 32,5 до 51,5% с содержанием полиненасыщенных жирных кислот (семейства ω-3, ω-6) от 40 до 50% и высокое содержание белка от 20 до 30% с хорошо сбалансированным аминокислотным составом [7], [8]. Соотношение полиненасыщенных незаменимых жирных кислот (НЖК) ω-3 (линолевая кислота), ω-6 (линоленовая кислота) в масле, полученной из семян конопли, относится к наиболее оптимальным для человеческого организма и рекомендуется для употребления людьми, страдающими сердечно-сосудистыми заболеваниями и расстройствами нервной системы. Необходимость обогащения тритикалевой муки полиненасыщенными жирными кислотами обосновывается еще тем, что в человеческом организме не синтезируются ω-3 и ω-6 жирные кислоты в связи с отсутствием ферментной системы. [1], [5], [7], [9].

Целью разработка способа получения композиционной муки повышенной биологической ценности из поликомпонентных зерновых смесей с одной стороны из традиционных видов зернового сырья (пшеница) и семян масличной культуры (конопля) с другой.

Материалы и методы исследования

Исследования по разработке способа получения композиционной пшенично-конопляной муки и определению ее хлебопекарных свойств были проведены на кафедре «Технология переработки сельскохозяйственной продукции» Смоленской государственной сельскохозяйственной академии и на кафедре «Зерна, хлебопекарных и кондитерских технологий» ФГБОУ ВО «МГУПП». В качестве объекта исследований использовали зерно озимой пшеницы сорта «Тимирязевская Юбилейная» урожая 2020 года и семена конопли сорта «Сурская» того же года. Пшеница сорта «Тимирязевская Юбилейная» выведена селекционерами лаборатории селекции и семеноводства полевых культур ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева и обладает хорошими мукомольными свойствами. Основные физико-химические и химические показатели исходного зерна пшеницы сорта «Тимирязевская Юбилейная» следующие: влажность – 12,4%, натура – 778 г/л, зольность – 1,81%, содержание белка – 12,7%, содержание клейковины – 23,6%, качество клейковины – 72 единиц прибора, стекловидность – 53% и число падения - 278 секунд.

Шелушение исходного зерна пшеницы проводили на лабораторном универсальном шелушителе зерна «Сатаке» (Япония). Измельчение помольной смеси шелушенного зерна пшеницы и семян конопли проводили на мельницах лабораторного помола МЛП-4 с нарезными вальцами и МЛП-4 с микрошероховатыми вальцами.

Для анализа основных показателей полученной пшенично-конопляной муки были использованы следующие стандартные методы: зольности – по ГОСТ 27494-87, влажности – по ГОСТ 13586.5-2015, белка по ГОСТ 10846-91, жира по ГОСТ 27670-88, количества и качества клейковины по ГОСТ Р 51412-99, определение водопоглощения и реологических свойств по ГОСТ Р 51414-99, пробные лабораторные выпечки и оценка качества хлеба из пшеничной муки – по ГОСТ 27669-88.

Результаты исследования

На первом этапе исследований провели шелушение исходного зерна пшеницы с удалением 15,1% семенных, плодовых оболочек и, частично, алейронового слоя. Как известно, оболочки пшеницы обладают лучшей сорбционной способностью, чем эндосперм. Учитывая это обстоятельство, исходное зерно пшеницы прошелушили для того, чтобы минимизировать потери полиненасыщенных жирных кислот и белка, содержащихся в семенах конопли, при получении пшенично-конопляной хлебопекарной муки.

На втором этапе исследований провели помол исходной композитной пшенично-конопляной смеси, состоящей из 90% шелушенного зерна пшеницы и 10% семян конопли, в хлебопекарную муку. В отличие от традиционных хлебопекарных помолов не использовали гидротермическую обработку зерна пшеницы, т.к. увлажненное зерно хуже сорбирует жир, содержащийся в семенах конопли. Технологическая схема помола состояла их 4-х драных и 3-х размольных систем. Режим измельчения на драных системах характеризовался извлечением круподунстовых продуктов и муки на I драной системе в количестве 50,9%, на II драной системе – 39,3% и на III драной системе – 61,4%. Суммарный выход пшенично-конопляной муки на драных системах составил 17,7%.

Режим измельчения промежуточных продуктов исходной смеси на размольных системах с получением пшенично-конопляной муки характеризовался извлечением на 1-ой размольной системе в количестве 69,9%, на 2-ой размольной системе – 63,4% и на 3-ой размольной системе – 71,4%. Суммарный выход пшенично-конопляной муки на трех размольных системах составил 56,2%. Общий выход пшенично-конопляной муки на драных и размольных системах составил 73,9% с учетом удаленных оболочек при предварительном шелушении исходного зерна пшеницы.

Показатели качества продуктов переработки исходного зерна пшеницы и пшенично-конопляной помольной смеси представлены в таблице 1. Из таблицы видно, что при введении 10% конопля с исходную помольную смесь удалось повысить содержание жира в хлебопекарной пшенично-конопляной муке, в основном за счет полиненасыщенных жирных кислот, на 391%, а содержание белка на 11,9%. Кроме того, пшенично-конопляная мука отличается повышенной зольностью, в связи с тем, что частички оболочек при измельчении пшенично-конопляной смеси попали в муку.

Таблица 1 – Показатели качества продуктов переработки пшенично-конопляной смеси и контрольного образца пшеницы

Наименование продукта	Влажность, %	Зольность, %	Содержание жира, %	Содержание белка, %	Содержание сырой клейковины,%	Качество сырой клейковины, е. пр.	Число падения, сек.
Мука пшеничная	14,0	0,71	1,17	11,2	16,8	67	128
Мука пшенично-конопляная	13,8	1,55	4,58	13,5	18,8	70	113

На третьем, заключительном этапе исследований определяли реологические и хлебопекарные свойства полученной пшеничной и пшенично-конопляной муки, результаты которых представлены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 – Реологические показатели пшеничной и пшенично-конопляной муки

Наименование продукта	Реологические показатели муки				
	ВПС, %	Время образо вания, с	Устойчи вость теста, с	Разжиже ние теста, е.ф.	Валоримет рическая оценка, %
Мука пшеничная	51,3	1,0	0,5	150	36
Мука пшенично-конопляная	51,5	3,5	3,5	135	52

Хлеб, выпеченный из пшенично-конопляной муки, имел объёмный выход 357 см^3/100 г муки, а хлеб, выпеченный из пшеничной муки, имел объёмный выход 290 см^3/100 г муки. Поверхность хлеба из пшенично-конопляной муки гладкая, глянцевая, цвет корки светло-коричневый. Поверхность хлеба из пшеничной муки неровная, с наличием шероховатостей, цвет корки золотисто-коричневый. Оба образца имели удовлетворительную оценку внешнего вида хлеба. Мякиш у всех хлебов светлый, хорошо эластичный. Пористость хлеба из пшенично-конопляной мелкая, толстостенная, равномерная хлеба из пшеничной крупная, толстостенная, равномерная. Оба образцы хлеба отличались низкой оценкой мякиша по сравнению с оценкой внешнего вида (см. рис. 1).

Таблица 3 – Хлебопекарные свойства пшеничной и пшенично-конопляной муки

Показатели качества	Хлеб из пшеничной муки	Хлеб из пшенично-конопляной муки
Объемный выход	290 см^3	357 см^3
Поверхность хлеба	Шероховатая, бугристая	Гладкая, глянцевая
Форма хлеба	Полуовальная	Овальная
Цвет корки	Золотисто-коричневый	Светло-коричневый
Пористость	Крупная, неравномерная, толстостенная	Мелкая, толстостенная, равномерная
Эластичность	Эластичный, быстро восстанавливаемый	Эластичный, быстро восстанавливаемый
Цвет мякиша	Светлый с желтым оттенком	Светло-сероватый
Вкус и запах	Приятный, специфический для пшеничного хлеба	Вкусный, с приятным послевкусием, особая, чуть более плотная консистенция, но легко расщепляемая

Рис. 1 – Внешний вид хлеба из пшеничной муки (*справа*) и пшенично-конопляной муки (*слева*)

Заключение

Таким образом, по результатам проведенных исследований впервые разработана технология получения композиционной пшенично-конопляной муки, обогащенной полиненасыщенными жирными кислотами.

Общий выход пшенично-конопляной муки оказался достаточно высоким и составил 73,9% с зольностью 1,26%.

При введении 10% конопля с исходную помольную смесь удалось повысить содержание жира в хлебопекарной пшенично-конопляной муке, в основном за счет полиненасыщенных жирных кислот, на 391%, а содержание белка на 11,9%.

Хлеб из пшенично-конопляной муки по объемному выходу оказался больше (357 см^3), чем из контрольной пшеничной муки (290 см^3).

По органолептическим показателям хлеб, полученный из обогащенной полиненасыщенными жирными кислотами композиционной пшенично-конопляной муки, оказался сопоставим с хлебом из сортовой пшеничной муки.

Благодарности

Авторы выражают благодарность генеральному директору ООО «Витапром» Марку Михайловичу Веллеру за предоставленные семена конопли.

Acknowledgement

The authors express their gratitude to the General Director of Vitaprom LLC Mark Mikhailovich Weller for the provided hemp seeds.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Бубнова А. А. Использование семян посевной конопли в специализированных пищевых продуктах / А. А. Бубнова // Хлебопродукты. - 2019. - № 7. - С. 48-50. DOI: 10.32462/0235-2508-2020-29-7-48-50.

2. Григорьев С. В. Жирно-кислотный состав семян конопли среднерусского экотипа / С. В. Григорьев, О. В. Григорьев, С. Л. Гордиенко // Сельскохозяйственная биология. – 2006. - № 3. – С. 49-52.

3. Григорьев С. В. Масла конопли и хлопчатника образцов коллекции ВИР как источник функциональных пищевых ингредиентов / С. В. Григорьев, Т. В. Шеленга, К. В. Илларионова // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2019. – Т. 180. - № 3. – С. 38-43.

4. Зубцов В. А. Гидроколлойды семян льна и конопли в функциональных и специализированных пищевых продуктах / В. А. Зубцов, Д. П. Ефремов, Е. В. Зубцова // Актуальная биотехнология. - 2018. - № 1 (26). - С. 369-373.

5. Кабанова Ю. В. Разработка каш быстрого приготовления с использованием семян чиа / Ю. В. Кабанова, М. В. Резникова, Л. А. Надточий // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». - 2016. - № 3. - С. 3-12.

6. Лукин А. А. Перспективы применения конопляной муки в технологии производства хлеба / А. А. Лукин, А. В. Зимин // Вестник современных исследований. - 2017. - № 9-1 (12). - С. 1-4.

7. Попов В. С. Жирнокислотный состав масел конопли и хлопчатника и перспективы их использования в пищевой промышленности и функциональном питании / В. С. Попов, С. В. Григорьев, К. В. Илларионова и др. // Аграрная Россия. - 2019. - № 8. - С. 9-15.

8. Савина Т. С. Технологические свойства обогащенных композитных смесей с применением продуктов переработки семян конопли / Т. С. Савина, Т. П. Красулина, Т. П. Садыгова и др. // Сурский вестник. - 2019. - № 4 (8). - С. 58-61.

9. Kandrokov R. H. Effective technological scheme for processing triticale grain into high-quality baker’s grade flour / R. H. Kandrokov, G. N. Pankratov, E. P. Meleshkina et al. // Foods and Raw Materials, 2019, vol. 7, no. 1, pp. 107-117. DOI: 10.21603/2308-4057-2019-1-107-117.

10. Kolpakova V. V. Relationship of the functional properties of dry wheat gluten with amino acid composition and its quality indicators / V. V. Kolpakova, V. A. Kovalenok // Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2019;81(1):173-180. DOI: 10.20914/2310-1202-2019-1-173-180.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Bubnova A. A. Ispol'zovanie semyan posevnoj konopli v specializirovannyh pishchevyh produktah [The use of seeds of sowing hemp in specialized food products] / A. A. Bubnova // Hleboprodukty [Bread products]. - 2019. - No. 7. - P. 48-50. DOI: 10.32462 / 0235-2508-2020-29-7-48-50.

2. Grigoriev S. V. ZHirno-kislotnyj sostav semyan konopli srednerusskogo ekotipa [Fatty acid composition of hemp seeds of the Central Russian ecotype] / S. V. Grigoriev, O. V. Grigoriev, S. L. Gordienko // Sel'skohozyajstvennaya biologiya [Agricultural biology]. - 2006. - No. 3. - P. 49-52.

3. Grigoriev S. V. Masla konopli i hlopchatnika obrazcov kollekcii VIR kak istochnik funkcional'nyh pishchevyh ingredientov [Hemp and cotton oils from the VIR collection as a source of functional food ingredients] / S. V. Grigoriev, T. V. Shelenga, K. V. Illarionova // Trudy po prikladnoj botanike, genetike i selekcii [Works on applied botany, genetics and breeding]. - 2019. - Vol. 180. - No. 3. - P. 38-43.

4. Zubtsov V. A. Gidrokollojdy semyan l'na i konopli v funkcional'nyh i specializirovannyh pishchevyh produktah [Hydrocolloids of flax and hemp seeds in functional and specialized food products[/ V. A. Zubtsov, D. P. Efremov, E. V. Zubtsova // Aktual'naya biotekhnologiya [Actual biotechnology]. - 2018. - No. 1 (26). - P. 369-373.

5. Kabanova Yu. V. Razrabotka kash bystrogo prigotovleniya s ispol'zovaniem semyan chia [Development of instant cereals using chia seeds] / Yu. V. Kabanova, M. V. Reznikova, L. A. Nadtochiy // Nauchnyj zhurnal NIU ITMO. Seriya «Processy i apparaty pishchevyh proizvodstv» [Scientific journal of NRU ITMO. Series "Processes and Apparatus for Food Production"]. - 2016. - No. 3. - P. 3-12.

6. Lukin A. A. Perspektivy primeneniya konoplyanoj muki v tekhnologii proizvodstva hleb [Prospects for the use of hemp flour in bread production technology] / A. A. Lukin, A. V. Zimin // Vestnik sovremennyh issledovanij [Bulletin of modern research]. - 2017. - No. 9-1 (12). - P. 1-4.

7. Popov V. S. ZHirnokislotnyj sostav masel konopli i hlopchatnika i perspektivy ih ispol'zovaniya v pishchevoj promyshlennosti i funkcional'nom pitanii [Fatty acid composition of hemp and cotton oils and the prospects for their use in the food industry and functional nutrition] / V. S. Popov, S. V. Grigoriev, K. V. Illarionova et al. // Agrarnaya Rossiya [Agrarian Russia]. - 2019. - No. 8. - P. 9-15.

8. Savina T. S Tekhnologicheskie svojstva obogashchennyh kompozitnyh smesej s primeneniem produktov pererabotki semyan konopli [Technological properties of enriched composite mixtures with the use of hemp seed processing products] / T. S. Savina, T. P. Krasulina, T. P. Sadygova et al. // Surskij vestnik [Surskiy Vestnik]. - 2019. - No. 4 (8). - P. 58-61.

9. Kandrokov R. H. Effective technological scheme for processing triticale grain into high-quality baker's grade flour / R. H. Kandrokov, G. N. Pankratov, E. P. Meleshkina et al. // Foods and Raw Materials, 2019, vol. 7, no. 1, pp. 107-117. DOI: 10.21603/2308-4057-2019-1-107-117.

10. Kolpakova V. V. Relationship of the functional properties of dry wheat gluten with amino acid composition and its quality indicators / V. V. Kolpakova, V. A. Kovalenok // Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2019;81(1):173-180. DOI: 10.20914/2310-1202-2019-1-173-180.

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.110.8.015

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ОБРАБОТКЕ ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ ПЛАСТИН

Научная статья

Хохлова М.В.[1], Дагаев А.В.[2], Майоров Е.Е.[3,] *, Арефьев А.В.[4], Гулиев Р.Б.[5], Громов О.В.[6]

[1] ORCID: 0000-0002-0714-0132;
[2] ORCID: 0000-0002-4017-6663;
[3] ORCID: 0000-0002-7634-1771;
[4] ORCID: 0000-0002-2860-790X;
[5] ORCID: 0000-0002-2812-1774;
[6] ORCID: 0000-0001-6725-6877;

[1] Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург, Россия;
[2] Ивангородский гуманитарно - технический институт (филиал) Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения», Ивангород, Россия;
[3, 4, 5, 6] Университет при Межпарламентской Ассамблее ЕврАзЭС, Санкт-Петербург, Россия

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

Аннотация

В работе показана актуальность исследования оптико-электронной системы для получения информации о различных изменениях поверхности объектов с голографических пластин. Целью экспериментальных исследований явилось проверка работоспособности разработанной системы фазовых измерений. Контролю подлежали регистрируемые на двухэкспозиционных голографических пластинах элементарные смещения поверхностей твердых предметов. Получена информация о изменениях фазы выходного сигнала при зондировании голографических пластин, которая дает возможность оценить погрешность измерений вектора смещения. Найдены значения линейных смещений латунного элемента с обработанной поверхностью. Приведены данные погрешности измерений для оптико-электронной системы при измерении элементарных смещений поверхности объекта на голографических пластинах.

Ключевые слова: модулятор, кварцевый резонатор, интерференционное поле, голографическая пластина, фотоприемник, вектор смещения.

AN INVESTIGATION OF THE OPTOELECTRONIC SYSTEM IN THE PROCESSING OF HOLOGRAPHIC PLATES

Research article

Khokhlova M.V.[1],Dagaev A.V.[2], Mayorov E.E.[3,] *, Arefyev A.V.[4], Guliev R.B.[5], Gromov O.V.[6]

[1] ORCID: 0000-0002-0714-0132;
[2] ORCID: 0000-0002-4017-6663;
[3] ORCID: 0000-0002-7634-1771;
[4] ORCID: 0000-0002-2860-790X;
[5] ORCID: 0000-0002-2812-1774;
[6] ORCID: 0000-0001-6725-6877;

[1] A.F. Mozhaysky's Military-Space Academy, Saint Petersburg, Russia;
[2] Ivangorod Humanitarian and Technical Institute, branch of the Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Ivangorod, Russia;
[3, 4, 5, 6] University of the Interparliamentary Assembly of the EurAsEC, Saint Petersburg, Russia

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

Abstract

The current article demonstrates the relevance of studying an optoelectronic system for obtaining information about various changes in the surface of objects from holographic plates. The purpose of the experimental studies was to test the operability of the developed system of phase measurements. The elementary displacements of the surfaces of solid objects recorded on two-exposure holographic plates were the main focus of the testing. The authors obtain Information on changes in the phase of the output signal when probing holographic plates, which makes it possible to estimate the measurement error of the displacement vector. The values of linear displacements of a brass element with a treated surface are found, and the data of measurement errors for the optoelectronic system when measuring elementary displacements of the object surface on holographic plates are presented.

Keywords: modulator, quartz resonator, interference field, holographic plate, photodetector, displacement vector.

Введение

В последние годы огромное внимание уделяется развитию промышленного комплекса России. Это означает, что появляются высокотехнологичные производства, которые нуждаются в высокоточных измерительных приборах и системах. Поэтому методы и средства научных исследований играют ключевую роль для развития различных производств. Особую нишу занимают оптико-механические и оптико-электронные методы измерений [1], [2]. Эти методы зарекомендовали себя, как методы получения достоверных результатов эксперимента. В этой области наиболее универсальными методами исследований являются методы когерентной оптики, а именно методы голографической интерферометрии [3], [4]. Эти методы позволяют исследовать напряженно-деформированные состояния объектов сложной формы. Голографическая интерферометрия является высокоинформативным и высокоточным инструментом получения информации о состоянии поверхности различных объектов исследования [5], [6]. Современный уровень

развития вычислительной техники и компьютеризация научных исследований позволяют проводить качественный анализ и количественную интерпретацию полученных экспериментальных данных [7], [8].

Анализ научной литературы по воспроизведению искомой информации с голографических пластин показал, что наиболее точными и информативными являются фазоизмерительные гетеродинные системы, в которых фазовые характеристики интерференционного поля трансформируется в фазу электрического сигнала [9], [10], [11]. Измерение последней осуществляется с применением электронной аппаратуры. Использование указанного технического решения позволяет в значительной степени снизить погрешность измерений и расширить диапазон определяемых величин.

Постановка задачи

Восстановление волновых фронтов, зарегистрированных на голограмме, осуществлялось с использованием излучения лазера 1 (ЛГ–79). Принцип гетеродинной интерферометрии реализовался с применением двухчастотного излучения, формируемого блоком 3. Последний построен на основе интерферометра Маха-Цендера, в плечах которого размещались акусто-оптические модуляторы 6 и 7 (использовались устройства типа МЛ–201). Модуляторы возбуждались напряжением ВЧ-генераторов 8 и 9. Сформированным двухчастотным излучением освещалась голограмма 13. Голограмма устанавливалась с возможностью перемещения в своей плоскости и в направлении, перпендикулярном плоскости, а также — с возможностью вращения вокруг двух взаимно перпендикулярных осей, лежащих в ее плоскости. Для проведения фазовых измерений необходимо наличие двух каналов — опорного и измерительного. В схеме сигнал опорного канала формировался из света, прямопрошедшего голограмму 13. Такой подход удобно использовать в случае, когда геометрия освещения голограммы в процессе эксперимента остается неизменной. В противоположном случае для формирования опорного сигнала использовалось излучение, отраженное от светоделителя 11. Измерительный канал формировался в направлении распространения света, дифрагированного на голограмме. С целью обеспечения повышенной стабильности параметров возбуждающего сигнала в ВЧ-генераторах использовались кварцевые резонаторы с частотами $f_8 = 62002$ кГц и $f_9 = 62105$ кГц.

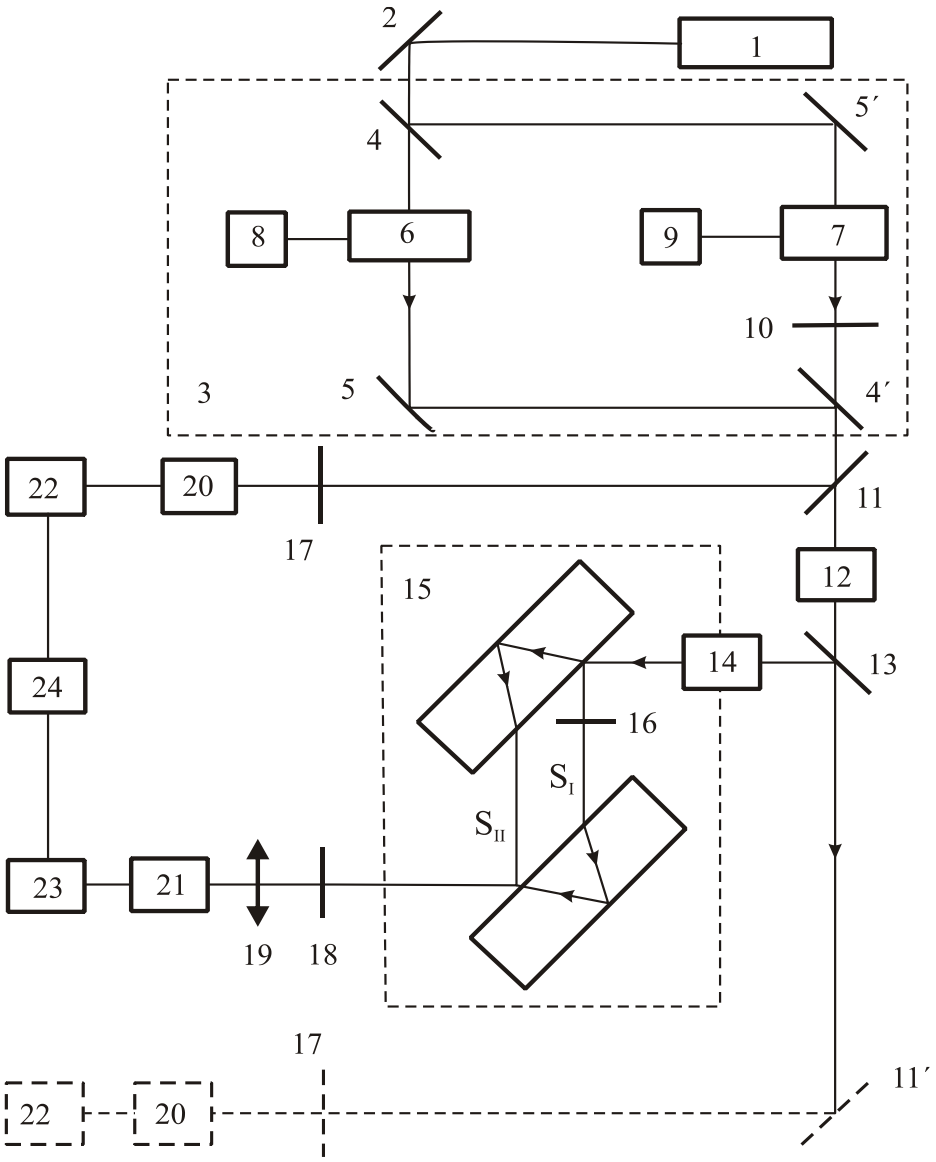


Рис. 1 – Схема экспериментальной установки:
1 – лазер; *2, 5, 5', 11* – зеркала; *3* – блок формирования двухчастотного излучения; *4, 4', 11* – светоделители; *6, 7* – акустооптические модуляторы; *8, 9* – ВЧ-генераторы; *10, 16* – полуволновые пластинки; *12, 14* – оборачивающие призмы; *13* – голограмма; *15* – интерферометр сдвига; *17, 18* – поляроиды; *19* – линза; *20, 21* – фотоприемники; *22, 23* – усилители; *24* – измеритель разности фаз

Скорость распространения возбужденной акустической волны в модуляторе равна $\nu_м$. Шаг первой гармоники образующейся акустической решетки равен [3], [13], [14]

$$\lambda_M = \frac{\nu_M}{f_B}, \tag{1}$$

где $f_в$ – частота возбуждающего сигнала.

Частота первой гармоники светового сигнала f_g на выходе движущейся со скоростью $\nu_м$ периодической структуры с шагом $\lambda_м$ равна

$$f_g = \frac{\nu_M}{\lambda_M} \tag{2}$$

Сравнивая (1) и (2), получим, что частота интерференционного сигнала Ω будет равна $\Omega = f_9 - f_8 = 103$ кГц

Электрические сигналы с выходов фотоприемников 20 и 21 обоих каналов после усиления подаются на входы измерителя разности фаз (использовался прибор фазометр Ф2–16). Резонансные усилители 22, 23 настроены на частоту интерференционного сигнала 103 кГц.

При сканировании голограммы фаза информационного сигнала изменяется за счет смещения. Фаза опорного сигнала не меняется независимо от величины и ориентации смещения точек поверхности контролируемого объекта. Поэтому показания измерителя разности фаз изменяются в соответствии с изменением вектора смещения.

Настройка системы заключается в согласовании вектора смещения, зарегистрированного на голограмме, с вектором сдвига, вносимого интерферометром. С этой целью на первом этапе производится согласование ориентаций векторов посредством вращения оборачивающей призмы 12. Контроль настройки осуществляется по максимуму сигнала фотоприемника 21. Затем производится согласование по величине смещения посредством настройки интерферометра. Критерий настройки также заключается в достижении наибольшей величины сигнала фотоприемника 21.

Исследование случайных изменений фазы

При исследовании фазы сигнала при зондировании голографической пластинки можно оценить влияния спекл-шума и обусловленной этим фактором возможной погрешности измерений вектора смещения [12], [13], [14], [15].

На голографической пластине регистрировалось однородное смещение объекта: объект между экспозициями смещался в своей плоскости как твердое целое. При воспроизведении голографическая пластина перемещалась относительно восстанавливающего пучка в плоскости установки. При этом регистрировались пространственное положение голограммы и соответствующее значение фазы выходного сигнала. Измерения проводились при различных апертурах восстанавливающего пучка. Результаты исследований показаны на рис. 2 и рис. 3.

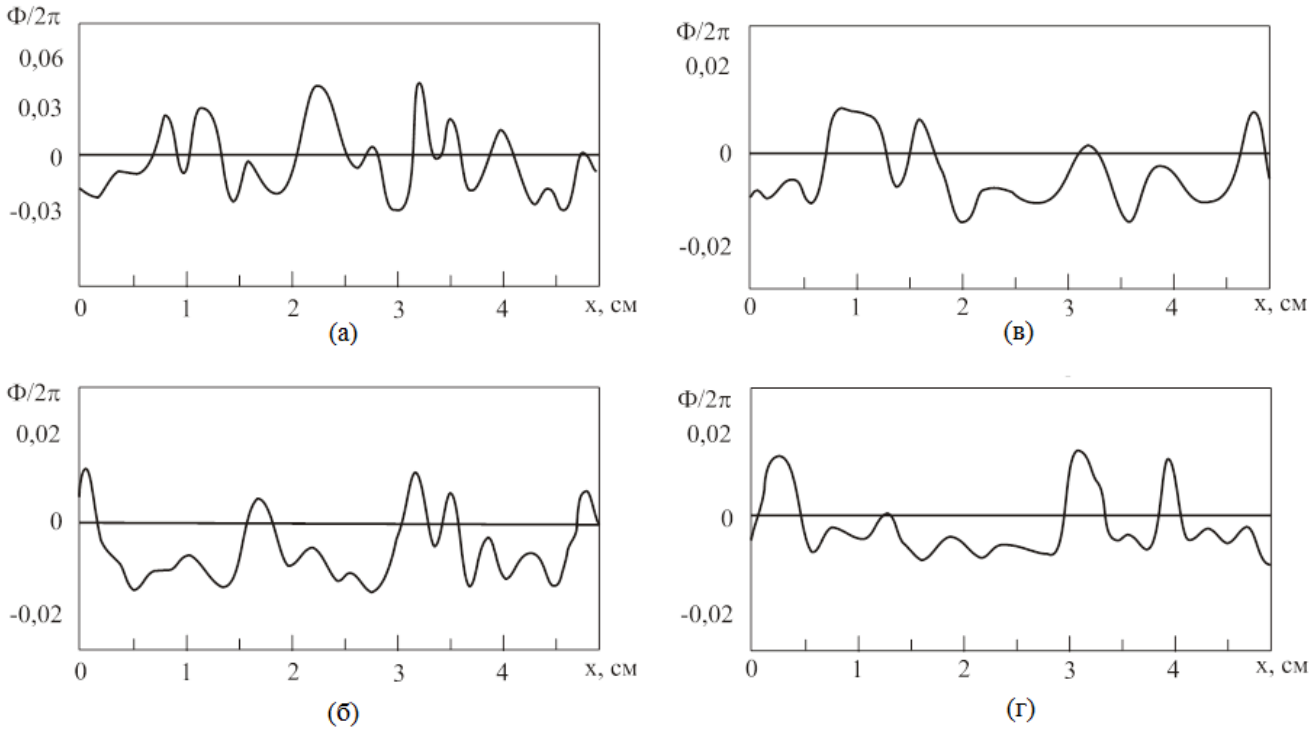


Рис. 2 – Изменение фазы сигнала при различных апертурах восстанавливающего пучка D:
(а) – D = 1,5 мм; *(б)* – D = 2 мм; *(в)* – D = 2,5 мм; *(г)* – D = 3 мм

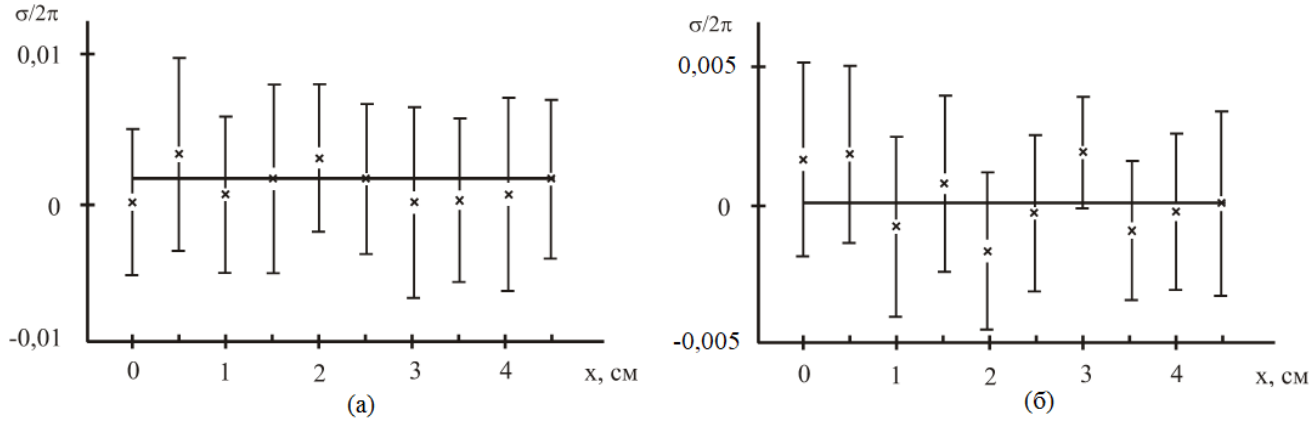


Рис. 3 – Среднеквадратичное отклонение фазы сигнала от среднего значения при перемещении голограммы:
(а) – D = 2 мм; *(б)* – D = 3 мм

На рисунке 2 представлен процесс сканирования для различных размеров восстанавливающего пучка. На графиках видна степень усреднения изменения фазы по координате сканирования для разных диаметров восстанавливающего пучка, а также спекл-зависимость измерений.

На рисунке 3 представлена информация о изменении фазы сигнала после усреднения по 10 реализациям для каждой точки (доверительная вероятность 0,95). Как следует из графиков, среднеквадратичное отклонение фазы сигнала для диаметра пучка 3 мм не превышает 0,005·2π рад.

Оценка величины смещения

На голографической пластине записывалось линейное смещение объекта (латунный элемент с обработанной поверхностью). Смещение объекта производилось с помощью столика с микрометрической подвижной частью (ОСК–2). В качестве независимого контроля использовался датчик линейных смещений 1МИГ с ценой деления 1 мкм. Получение информации производилась с учетом априорных данных об ориентации искомого вектора смещения.

При определении величины смещения *d* решалась следующая система уравнений [3], [13], [14]:

$$\Phi_1 = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin\alpha_1, \qquad \Phi_2 = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin\alpha_2, \tag{3}$$

где α_1, α_2 – различные направления освещения, Φ_1, Φ_2 – соответствующие показания измерителя разности фаз, λ – длина волны восстанавливающего излучения.

Из (3) получаем

$$d = \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{\frac{2\pi}{\lambda}\left(\sin\alpha_2 - \sin\alpha_1\right)}$$

Изменение угла освещения выполнялось с помощью оборачивающей призмы 12 (рис. 1). Отметим, что в этом случае опорный сигнал системы измерений формировался с использованием излучения, отраженного от светоделителя 11.

Результаты измерений и определения величины смещения показаны на рисунке 4.

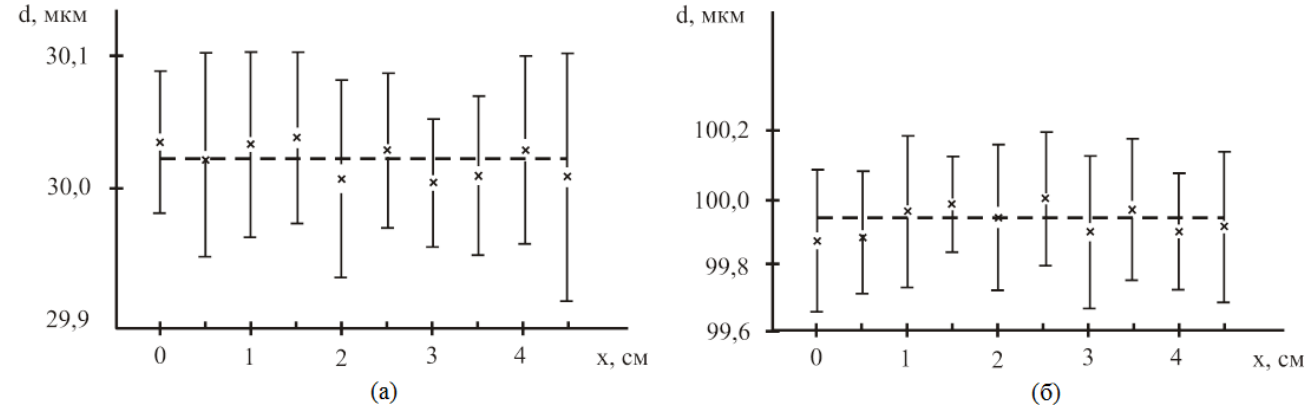


Рис. 4 – Результаты измерения перемещения объекта:
(а) –d = 30 мкм; *(б)* – d = 100 мкм.

Таким образом, результаты измерений хорошо согласуются с величиной контрольного отсчета по датчику линейных перемещений. Также, из рисунка 4. видно, что величина среднеквадратичного отклонения от среднего значения не превосходит для d = 30 мкм – 0,1 мкм, для d = 100 мкм – 0,25 мкм.

Заключение

Разработана и описана экспериментальная установка оптико-электронной системы измерения элементарных смещений на голографических пластинах. Получена информация о изменениях фазы выходного сигнала при зондировании голографических пластин, которая дает возможность оценить погрешность измерений вектора смещения. Найдены значения линейных смещений латунного элемента с обработанной поверхностью. Приведены данные погрешности измерений для оптико-электронной системы при измерении элементарных смещений поверхности объекта на голографических пластинах. Проведенные исследования представляют интерес для прикладной физики и оптического приборостроения.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Вест Ч. Голографическая интерферометрия / Ч. Вест.– М.: Мир, 1982. – 504 с.
2. Креопалова Г.В. Оптические измерения / Г.В. Креопалова, Н.Л. Лазарева, Д.Т. Пуряев.– М.: Машиностроение. 1987. – 264 с
3. Александров Е.Б. Исследование поверхностных деформаций с помощью голограммной техники / Е.Б. Александров, А.М. Бонч-Бруевич // Журнал Технической Физики. – 1967. – Т.37. – Вып.2 – С.360-365.
4. Островский Ю.И. Голографическая интерферометрия / Ю.И. Островский, М.М. Бутусов, Г.В. Островская. – М.: Наука, 1977. – 339 с.
5. Козачок А.Г. Голографические методы исследования в экспериментальной механике / А.Г. Козачок.- М.: Машиностроение, 1984., – 176 с.
6. Pomarico J. Digital recording and numerical reconstruction of holograms: a new method fpr displaying light in flight / J. Pomarico, U. Schnars // Appl. Opt. – 1995. – Vol.34. – №7. – P.8095-8099.
7. Yamaguchi I. Three-dimensional microscopy and measurement by phase-shifting digital holography / I. Yamaguchi // Prpc. SPIE. – 2001. – Vol.4607. – P.153-160.
8. Furlong C. Sensivity, accuracy, and precision issues in opto-electronic holography based on fiber optics and high spatial and high digital resolution cameras / C. Furlong, J. Yokum // Prpc. SPIE. – 2002. – Vol.777. – P.77-84.
9. Baltiysky S. Characterization of microelectromechanical systems by digital holography method / S. Baltiysky, I. Gurov, S. De Nicola et al. // Imaging Sci. J. – 2006. – V.54. – P.103-110.
10. Bruno L., Poggialini A. Phase shifting speckle interferometry for dynamic phenomena / L. Bruno, A. Poggialini // Opt. Exp. – 2008. – V.16. – №7. – P.4665-4670.
11. Майоров Е.Е. Исследование интерферометра сдвига в фазоизмерительных приборах и системах расшифровки голографических интерферограмм / Е.Е. Майоров, А.В. Дагаев, С.В. Пономарев и др. // Научное приборостроение. – 2017. – Т. 27. – № 2. – С.32-40.
12. Майоров Е.Е. Измерение геометрических параметров эритроцитов с помощью голографической интерферометрии / Е.Е. Майоров, М.С. Туровская, Л.И. Шаламай и др. // Медицинская техника. – 2018. – №6. – С. 44-46.
13. Хопов В.В. Исследование и применение интерферометрии сдвига для обработки голографических интерферограмм и спекл-фотографий диффузно отражающих объектов: канд. Диссер / В.В. Хопов. – 1984. – 135с.
14. Цыганкова Г.А. Исследование разработанного интерферометра поперечного сдвига для настройки интерференционных полос при обработке интерферограмм / Г.А. Цыганкова, Е.Е. Майоров, Т.А. Черняк и др. // Приборы. 2021. № 2. С. 20-25.

Список литературы на английском языке / References in English

1. West C. Golograficheskaja interferometrija [Holographic interferometry] / C. West-Moscow: Mir, 1982 – 504 p. [in Russian]
2. Kreopalova G. V. Opticheskie izmerenija [Optical measurements] / G. V. Kreopalova, N. L. Lazareva, D. T. Puryaev - M.: Mashinostroenie. 1987. – 264 p. [in Russian]
3. Aleksandrov E. B. Issledovanie poverkhnostnykh deformacijj s pomoshh'ju gologrammnojj tekhniki [Investigation of surface deformations using hologram technology] / E. B. Aleksandrov, A. M. Bonch-Bruevich // Zhurnal Tekhnicheskojj Fiziki [Journal of Technical Physics]. - 1967. - Vol. 37. - Issue 2-pp. 360-365 [in Russian]
4. Ostrovsky Yu. I. Golograficheskaja interferometrija [Holographic interferometry] / Yu. I. Ostrovsky, M. M. Butusov, G. V. Ostrovskaya. - M.: Nauka, 1977. – 339 p. [in Russian]
5. Kozachok A. G. Golograficheskie metody issledovanija v ehksperimental'nojj mekhanike [Holographic research methods in experimental mechanics] / A. G. Kozachok-Moscow: Mashinostroenie, 1984–, - 176 p. [in Russian]
6. Pomarico J. Digital recording and numerical reconstruction of holograms: a new method fpr displaying light in flight / J. Pomarico, U. Schnars // Appl. Opt. – 1995. – Vol.34. – №7. – P.8095-8099.
7. Yamaguchi I. Three-dimensional microscopy and measurement by phase-shifting digital holography / I. Yamaguchi // Prpc. SPIE. – 2001. – Vol.4607. – P.153-160.
8. Furlong C. Sensivity, accuracy, and precision issues in opto-electronic holography based on fiber optics and high spatial and high digital resolution cameras / C. Furlong, J. Yokum // Prpc. SPIE. – 2002. – Vol.777. – P.77-84.

9. Baltiysky S. Characterization of microelectromechanical systems by digital holography method / S. Baltiysky, I. Gurov, S. De Nicola et al. // Imaging Sci. J. – 2006. – V.54. – P.103-110.

10. Bruno L., Poggialini A. Phase shifting speckle interferometry for dynamic phenomena / L. Bruno, A. Poggialini // Opt. Exp. – 2008. – V.16. – №7. – P.4665-4670.

11. Mayorov E. E. Issledovanie interferometra sdviga v fazoizmeritel'nykh priborakh i sistemakh rasshifrovki golograficheskikh interferogramm [Investigation of the shift interferometer in phase measuring devices and systems for decoding holographic interferograms] / E. E. Mayorov, A. V. Dagaev, S. V. Ponomarev // Nauchnoe priborostroenie [Scientific instrumentation]. - 2017. - Vol. 27. - No. 2 – p. 32-40 [in Russian]

12. Mayorov E. E. Izmerenie geometricheskikh parametrov ehritrocitov s pomoshh'ju golograficheskojj interferometrii [Measurement of geometric parameters of red blood cells using holographic interferometry] / E. E. Mayorov, M. S. Turovskaya, L. I. Shalamy, et al. // Medicinskaja tekhnika [Medical equipment]. - 2018. - No. 6. - pp. 44-46 [in Russian]

13. Khopov V. V. Issledovanie i primenenie interferometrii sdviga dlja obrabotki golograficheskikh interferogramm i spekl-fotografijj diffuzno otrazhajushhikh ob"ektov [Research and application of shift interferometry for processing holographic interferograms and speckle photos of diffusely reflecting objects]: Candidate's thesis / V. V. Khopov - 1984 – 135 p. [in Russian]

14. Tsygankova G. A. Issledovanie razrabotannogo interferometra poperechnogo sdviga dlja nastrojjki interferencionnykh polos pri obrabotke interferogramm [Investigation of the developed transverse shift interferometer for tuning interference fringes when processing interferograms] / G. A. Tsygankova, E. E. Mayorov, T. A. Chernyak, et al. / Pribory [Instruments]. 2021. № 2., pp. 20-25 [in Russian]

АРХИТЕКТУРА / ARCHITECTURE

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.110.8.016

ОСОБЕННОСТИ ТЕРРИТОРИАЛЬНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ФОРМИРОВАНИЯ ПРИМОРСКИХ САНАТОРНО-КУРОРТНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ ЮГА РОССИИ

Научная статья

Маркина К.Г.[1, *], Моргун Н.А.[2]

[1, 2] Академия архитектуры и искусств Южного Федерального Университета, Ростов-на-Дону, Россия

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

Аннотация

В этой статье рассматриваются особенности территориально-функционального формирования проектировании санаториев характерные на территории Юга России. Рассмотрена зависимость расположения санатория относительно близости к акватории моря и территориально-функциональной организации санаторно-курортного отдыха. В основу анализа санаторно-курортных учреждений были приняты во внимание территории г. Сочи и Крымского полуострова. Выявлены основные тенденции в функционально-планировочной организации существующих санаториев согласно каждой выделенной особенности. Сформулированы основные типы санаторно-курортных комплексов в зависимости от территориальных характеристик и общие положения в их функциональном формировании.

Ключевые слова: санаторий, санаторно-курортное учреждение, бальнеологические учреждения, СПА-отели, санаторий-профилакторий.

FEATURES OF THE TERRITORIAL AND FUNCTIONAL FORMATION OF SEASIDE HEALTH RESORT INSTITUTIONS IN THE SOUTH OF RUSSIA

Research article

Markina K.G.[1, *], Morgun N.A.[2]

[1, 2] Academy of Architecture and Arts of the Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

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

Abstract

The article discusses the features of the territorial and functional formation of the design of health resorts in the South of Russia. The authors examine the dependence of the location of the health resorts on the proximity to the sea area and the territorial and functional organization of recreation. The analysis of health resort institutions was based on Sochi and the Crimean Peninsula. The main trends in the functional and planning organization of existing health resorts are identified according to each highlighted feature. The main types of health resort complexes are formulated depending on the territorial characteristics and general provisions in their functional formation.

Keywords: health resort, health resort institution, balneological institutions, SPA hotels, health resort clinic.

Введение

Современная тенденция в санаторно-курортной практике направлена на улучшение качества лечения и эффективности отдыха. В связи с этим, санатории представляют более широкий набор рекреационных услуг, обеспечивающих выбор различных форм отдыха, разнообразие обслуживания для различных групп населения, а также организацию рекреационного обслуживания направленное на активный, подвижный образ жизни на отдыхе. Такое функциональное решение позволяет сделать более насыщенными различные формы рекреационной деятельности и повысить их эффективность [1, С. 9-11].

Изменение подхода к санаторно-курортной практике влечет за собой и изменение в территориально-функциональном формировании санаторно-курортных учреждений. Исходя из предъявляемых требований к комплексному подходу оказания лечебно-оздоровительных услуг, санаторий следует рассматривать с точки зрения понятия санаторно-курортный комплекс.

Основной текст

Санаторно-курортный комплекс (СКК) - это совокупность учреждений санаторного лечения, отдыха и обслуживающих предприятий, предназначенная для удовлетворения потребностей в оздоровлении определенных групп населения путем использования уникальных природных, социально-экономических и культурно-исторических ресурсов конкретной территории [2], [3]. Таким образом, в составе СКК выделяются два основных функциональных блока: собственно лечебно-оздоровительный санаторно-курортного назначения и обслуживающие подсобные функции, представляющие собой его инфраструктурные элементы.

Градостроительные условия местности, как внешний фактор, непосредственно влияют на проектирование санаторно-курортных учреждений. Решения генеральных планов при этом задают баланс проектируемых площадей под основные функциональные блоки (спальных корпусов, столовых, культурно-зрелищных, лечебных центров и дополнительных оздоровительных блоков) и открытых природно-оздоровительных парков на территории СКК.

Структура генплана и функциональное зонирование территории СКК являются выражением его хозяйственной и природно-лечебной деятельности. Лечебно-оздоровительные парки и сады СКК представляют собой лечебницы под открытым небом основываясь на современных принципах ландшафтотерапии [3, С. 11-16]. Особенностью этого санаторно-курортного парка является то, что, наряду с обязательным сохранением общего природного фона для отдыха, предусматривается возможность проведения всех необходимых процедур, физкультурных занятий с разной степенью

нагрузки на организм, а также создается благоприятная обстановка для свободного повседневного общения отдыхающего [4, С. 106], [5, С. 83].

Генеральный план санатория представляет карту-схему территории здравницы с выделенными на ней функциональными зонами и размещенными в них зданиями, сооружениями, парковой территорией и маршрутами терренкуров. Генеральный план должен определить планировочную композицию всего СКК в целом. Функционально-планировочное решение комплекса устанавливает взаимосвязь всех основных групп помещений, необходимых для санаторно-курортного лечения (см. рисунок 1.): административных, санаторно-оздоровительных, спальных, хозяйственно-бытовых, включающий столовую и иных пунктов питания и досугово-развлекательного центра.

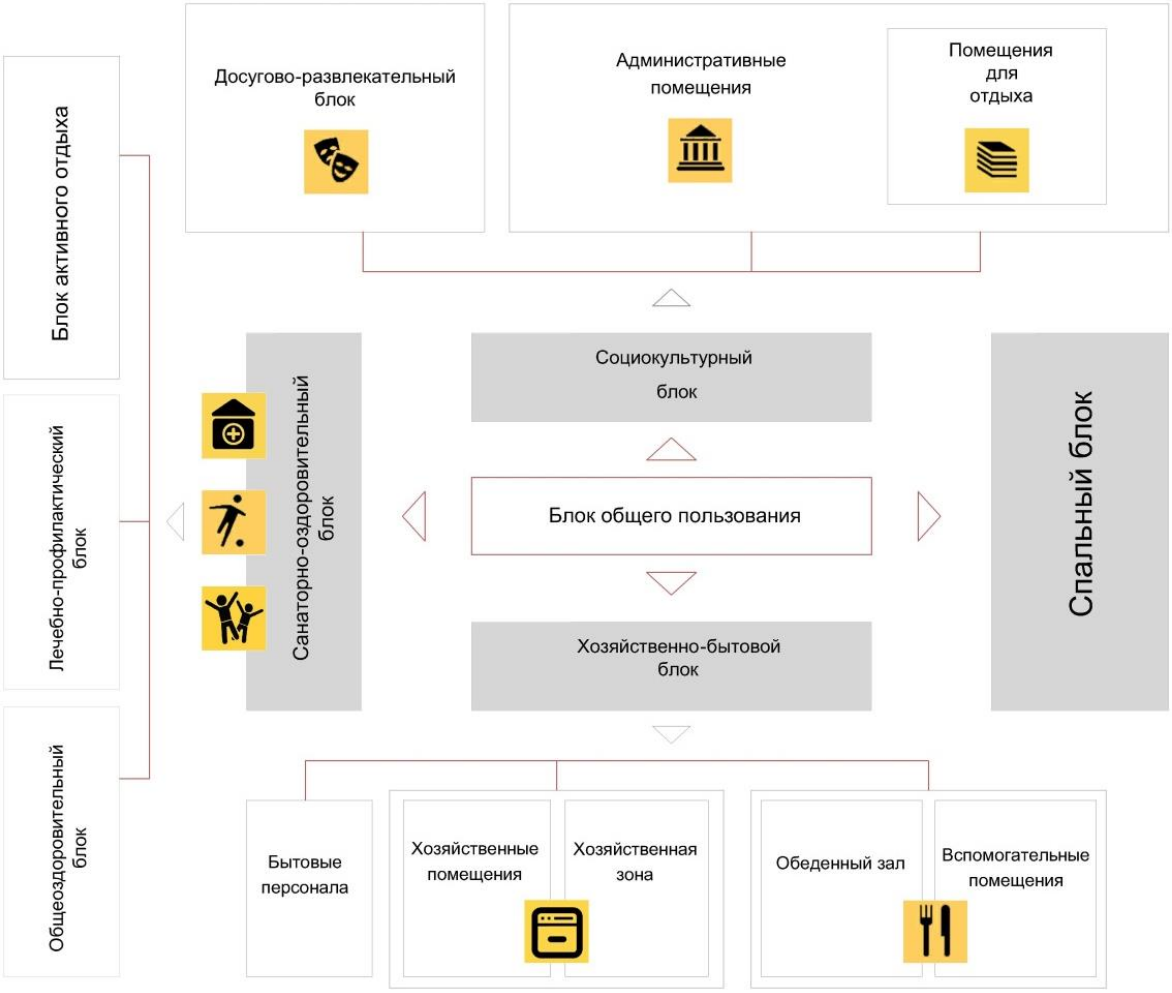


Рис. 1 – Взаимосвязь основных функциональных групп СКК

Здания и сооружения комплекса курортно-оздоровительных учреждений размещают в соответствии с принятым проектным решением функционального зонирования территории, учитывающим благоприятные условия участка застройки, а также особенности организации и эксплуатации комплекса согласно нормативным требованиям.

В зависимости от градостроительного уровня и места расположения санаторно-курортных учреждений (см. рисунок 2) меняется территориально-функциональное решение непосредственно самого СКК.

Рис. 2 – Классификация санаторно-курортных учреждений

Расположение СКК относительно рекреационных зон характеризуется следующими особенностями [6. С. 7-11]:

Тип А - размещение вблизи акватории моря на наиболее ценных территориях с позиции градостроительного, экологического, медицинского и эстетического аспектов. СКК по своей структуре является монокомплексом, который представляет по своей структуре единый многофункциональный общекомплексный и административно-хозяйственный центр для обслуживания рекреантов и осуществляет все необходимые услуги для лечения и дополнительный доступ к общественным местам отдыха (Рисунок 1).

Такое расположение имеет выгодное положение для СКК, т.к. непосредственная близость к акватории упрощает организацию доступа отдыхающих к береговой линии даже при сложном рельефе. Сокращается радиус к культурно-досуговым и развлекательным учреждениям города.

Однако в исторически сложившейся градостроительной ситуации как в г. Сочи СКК не имеют большой территории для организации парковых зон и спортивно-оздоровительных комплексов. В таком случае при плотно застроенной территории рекреационной зоны санаторные комплексы, расположенные по береговой линии следует рассматривать во взаимосвязи друг с другом. Это необходимо учитывать при расположении торгово-бытового обслуживания СКК.

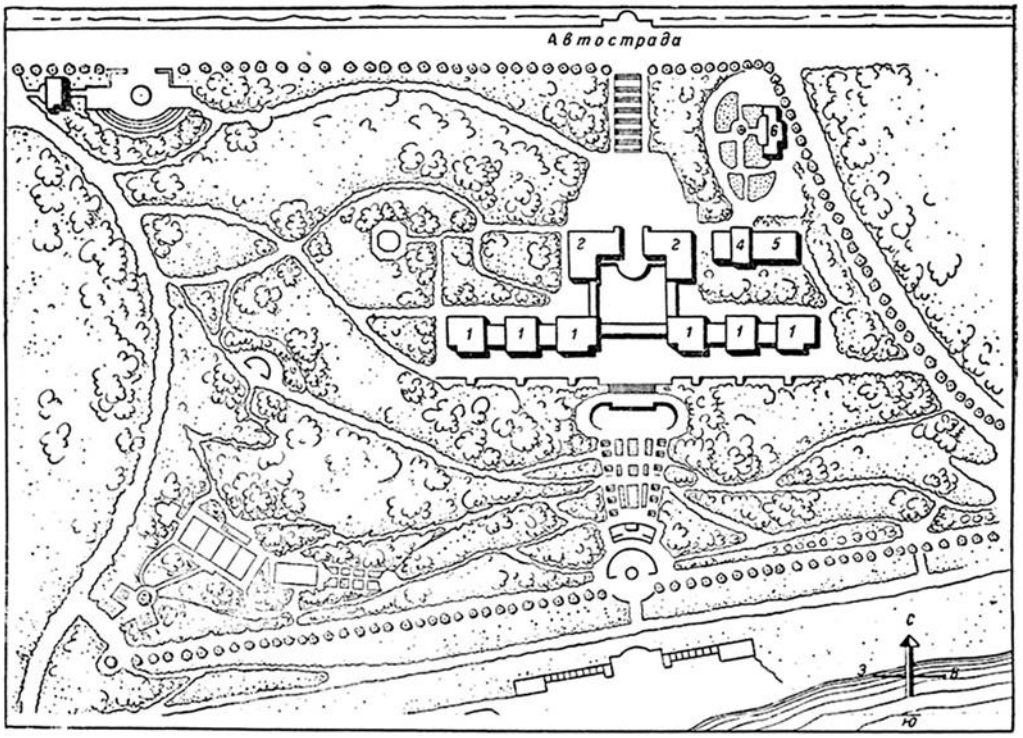


Рис. 3 – Санаторий «Наука» схема территориально-функциональной организации. Сочи:
1– спальные корпуса; *2* –хозяйственно-бытовое обслуживание; *4, 5*– общесанаторное обслуживание

Памятник архитектуры «Санаторий «Наука», главный корпус, 1937 г., арх. А.В. Самойлов» расположен на береговой линии Черного моря в Хостинском районе города-курорта Сочи является примером размещения санатория вблизи акватории моря с ценрализованной территориально-функциональной организацией. В 2014 году на этом месте открыт «Swissotel Resort Сочи Камелия», к этому времени исторические здания были снесены, и воссоздан только главный корпус санатория, однако изначальное решение по организации территории максимально сохранено (Рисунок 3).

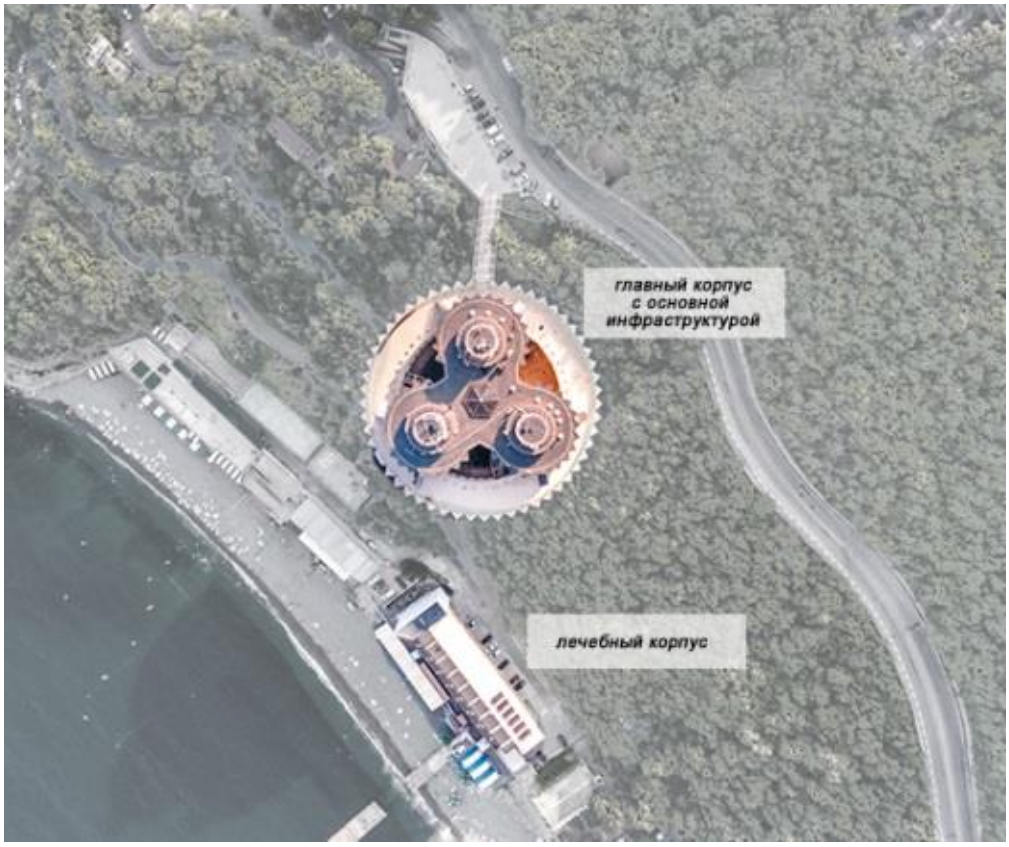


Рис. 4 – Санаторий «Курпаты» схема территориально-функциональной организации

Здание санатория «Курпаты» в Крыму также представляет первый тип расположения. Структура СКК представлена главным корпусом с основной инфраструктурой на 500 мест, бальнеологическая лечебница и врачебные кабинеты располагаются в отдельном корпусе медицинского центра, также предусмотрен подогреваемый бассейн с морской водой (закрытого типа, для межсезонья) и дополнительные досуговые функции.

Тип Б - размещение на участках, отдаленных от общегородских и поселковых центров с целью создания условий для полноценного отдыха и лечения.

Такое расположение дает большую возможность развития спортивно-оздоровительного блока, парковой зоны и дополнительных функциональных блоков для СКК, т.к. территориальный потенциал позволяет учитывать полный спектр необходимых санаторно-курортных услуг. Благодаря возможности оборудования дополнительных крытых и открытых плавательных бассейнов СКК компенсирует удаленность от морской акватории и реализует возможность круглогодичного использования.

При таком расположении СКК общекомплексное и административно-хозяйтсвенное обслуживание может состоять из одного или нескольких блоков в зависимости от вместимости и существующей планировочной ситуации.

Также стоит отметить, что возможность включения дополнительных функциональных блоков, таких как СПА-центр, дополнительные спортивные сооружения для активного отдыха, игровые детские площадки и т.п. позволяют повысить привлекательность для рекреантов.

Парковая зона таких СКК имеет развитую систему для применения интересных ландшафтных решений терренкуров, аллей и мест отдыха. Торгово-бытовое обслуживание может осуществляться во взаимосвязи нескольких СКК расположенных на рекреационной зоне.

Важно отметить, что модернизация СКК на отдаленных от общегородских и поселковых центров осуществляется как правило в рамках существующих функциональных блоков.

Рис. 5 – Санаторий «Сочинский» схема территориально-функциональной организации. Сочи

Санаторий «Сочинский» (бывший санаторий им. Ворошилова) размещен на участке, отдаленном от общегородских и поселковых центров, при этом окружен дендропарком площадью 30 га. Лечебный блок состоит из 10 медицинских отделений, для проживания предназначены 5 корпусов различной этажности. Общесанаторные функциональные блоки имеют централизованную структуру обслуживания (Рисунок 5).

Тип В - периферийное размещение СКК с возможностью создания автономных лечебных пляжей.

Такое расположение наиболее благоприятно для создания полноценного СКК, ориентированного на современные требования и тенденции в оказании санаторно-курортных услуг.

Следует отметить, что СКК при периферийном положении являются развернутым полифункциональным комплексом, осуществляющим свою деятельность автономно. Территориально-функциональное решение представляет собой широкий спектр основных и дополнительных функциональных блоков. Принцип круглогодичной работы реализовывается полностью, при этом СКК может осуществлять свою деятельность как на существующих лечебно-природных ресурсах, так и на привозном материале. Кроме того, есть возможность выделения на территории парка дополнительных зон культурно-зрелищных учреждений или физкультурно-спортивных сооружений.

В комплексах на 3 тыс. мест и более целесообразно создавать несколько центров различного функционального назначения (лечебного, приемно-административного, культурно-массового, физкультурно-спортивного) (Рисунок 6). Приемно-административные центры следует размещать у вблизи въезда на территорию СКК, чтобы ограничить движение транспорта рекреантов, трансферов и т.п.

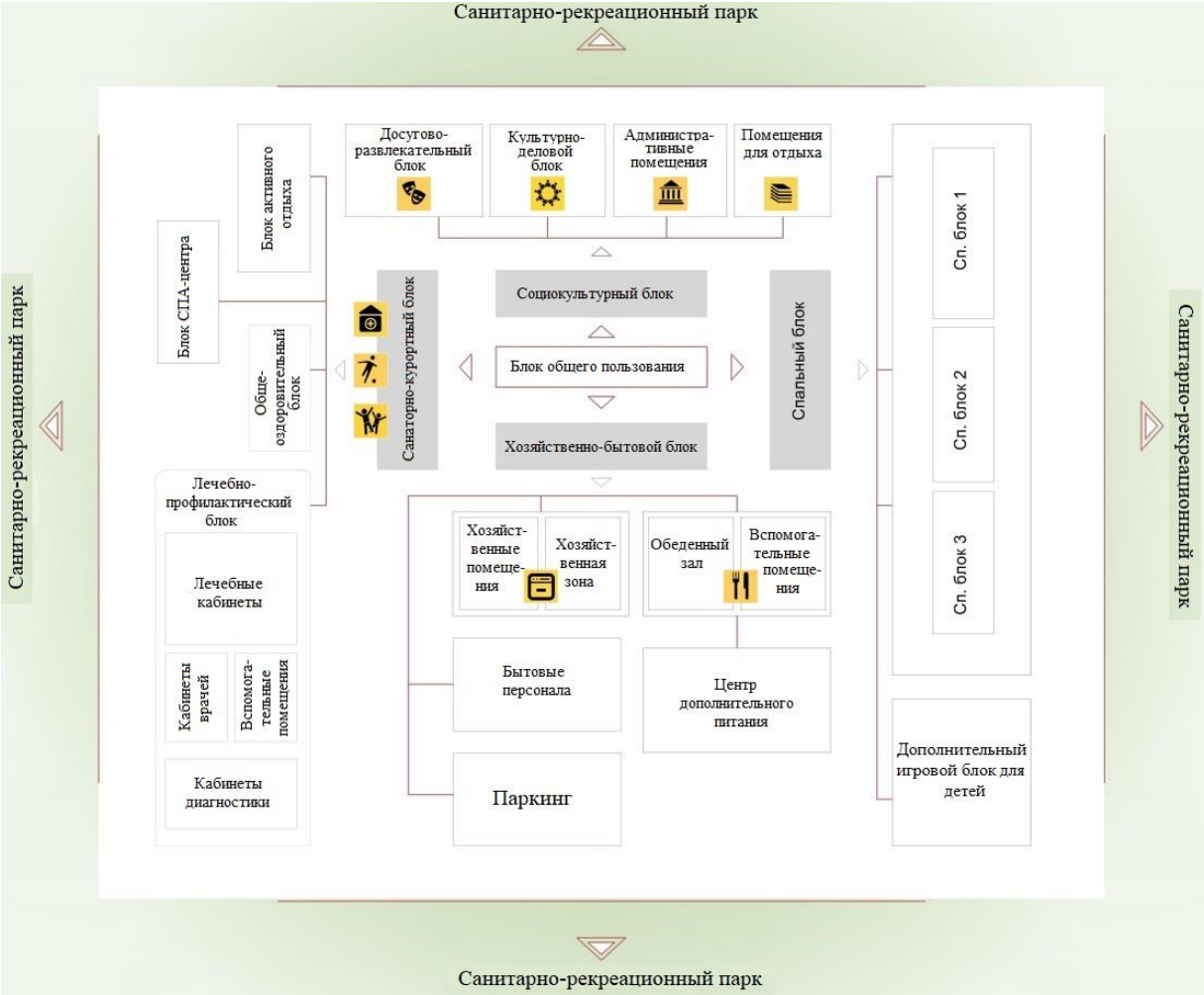


Рис. 6 – Взаимосвязь функциональных центров при периферийном расположении СКК

Спальный блок на территории периферийного СКК может быть разделен на несколько корпусов в зависимости от комфортабельности проживания. Они могут быть представлены: жилыми башнями от 7 этажей, блокированными домами и отдельно стоящими коттеджами. Организацию питания также для такого решения следует дифференцировать в несколько блоков для разделения потоков рекреантов.

Периферийное расположение СКК также позволяет предусмотреть территории для дальнейшего развития или модернизации существующих функциональных блоков.

Рис. 7 – Санаторий «Южное взморье» схема территориально-функциональной организации. Сочи, Адлеровский район

Санаторий «Южное взморье» является одним из примеров периферийного расположения СКК (см. рисунок 7). Инфраструктура санатория представлена: 5 многоэтажных корпусов и 5 вилл с номерным фондом более 600 номеров (единовременной вместимостью свыше 1200 человек), оздоровительный и СПА центры, банно-термальный комплекс, фитнес-центр, два теннисных корта и два бассейна с подогреваемой морской водой, 8 дополнительных пунктов питания, оборудованная пляжная зона, протяженностью более 380 м, культурно-деловой центр, досуговый центр для детей.

Рис. 8 – Санаторий «Саки» схема территориально-функциональной организации. Крым

Санаторий «Саки» является одним из примеров периферийного расположения СКК (см. рисунок 8). Территория санатория площадью в 17 га представляет рекреационный парк, воплощение садово-паркового искусства. Жилой комплекс лечебницы состоит из трех корпусов, открытый подогреваемый бассейн, спортивно-оздоровительные блоки, дополнительные развлекательные блоки и пункты питания, а также представлена развитая культурно-деловая функция [7].

Принципы четкого зонирования территории заложены в генеральных планах во всех городах-курортах на Черноморском побережье, причем часть из них специализируется по профилю в развитии сети санаторно-курортных учреждений.

Таким образом, береговая линия Крымского полуострова разделена на 3 района:

– Саки – позиционируется как специализированный детский курорт спинального профиля (лечение болезней опорно-двигательного аппарата);

– Евпатория представлена санаториями с возможностью пребывания с детьми, специализирующихся по спинальному профилю;

– Ялта – санатории направленные на лечение органов дыхания [8, С. 98].

В настоящее время почти все отдыхающие сосредотачиваются на побережье Южного берега Крыма на относительно неширокой полосе.

Территория Большого Сочи разделена на четыре района: Адлерский, Хостинский, Центральный и Лазаревский. Санаторно-курортный комплекс Сочи является крупнейшим в России. В городе сосредоточено более 50 процентов всего курортного потенциала Краснодарского края. Размещение санаторно-курортных учреждений в Сочи также традиционно идет вдоль береговой линии по Курортному проспекту и по улице Ленина (от микрорайона Мамайка до села Нижнеимеретинская Бухта, микрорайона Совхоз Россия).

В ходе изучения особенностей распределения и территориально-функциональной организации санаторно-курортных учреждений в городах Юга России сформулированы три основных типа СКК:

- Первый тип - СКК, расположенные в глубине курортной зоны. Особенности функционально-планировочной организации выражаются наличием большой парковой территории, всех основных групп помещений, повышенной вместимостью до 1500 человек и автономным собственным пляжем. На объемно-пространственном уровне характерным является преобладающий павильонный тип объемно-пространственной композиции, высота объемов санаторно-курортных учреждений до 7-9 этажей, большая удаленность от центра города. Строительство таких санаториев приходилась на 50-70е годы XX века.

- Второй тип - СКК, расположенные на территориальной границе курортно-рекреационной зоны и городской застройки. На функционально-планировочном и объемно-пространственной уровне санаторно-курортные учреждения данного типа делятся на два подтипа:

- подтип первый – рекреационно-парковая зона до 10 Га, наличие собственного автономного пляжа, вместимость до 1000 человек, блокированный тип объемно-пространственной композиции, близкое расположения к центру города;

- подтип второй - рекреационно-парковая зона до 5 Га; вместимость до 500 человек; отсутствие прямого доступа к акватории моря, перепад высот объемов санаторно-курортных учреждений от 5 до 11 этажей. Санатории этого типа строились, в основном, в 30-40е годы XX века, большая часть которых расположена на территории Сочи и Крыма.

- Третий тип - СКК, расположенные непосредственно в городской застройке.

Особенности функционально-планировочной и объемно-пространственной организации также выражаются в двух подтипах:

- подтип первый - рекреационно-парковая зона до 10 Га, наличие прямого доступа к акватории моря, вместимость до 700 человек, блокированный тип объемно-пространственной композиции, большая удаленность от центра города;

- подтип второй - рекреационно-парковая зона территория до 5 Га, либо ее отсутствие; отсутствие в составе группы культурно-массовых помещений; вместимость до 400 человек; отсутствие прямого доступа к акватории, централизованный тип объемно-пространственной композиции, перепад высот объемов санаторно-курортных учреждений от 5 до 11 этажей. Пик строительства санаториев данного типа приходится на 50-60е годы XX века, и большинство из них расположено на территории Крыма.

Заключение

Традиционное функциональное назначение санатория предполагало оказание оздоровительно-реабилитационных услуг (на основе применения преимущественно природных лечебных факторов) рекреантов. В условиях современных тенденций в санаторно-курортной практике и требованиям по экономической рентабельности, санаторий представляет собой значительно расширенный функциональный состав, ориентированный на разные слои населения. Как следствие, санатории становятся СКК с совершенствованной территориально-функциональной организацией и архитектурно-планировочным решением [9, С. 66-84], [10, С. 102-115].

Анализ этой ситуации позволяет определить целесообразность сложившейся структуры и основные черты перспективного развития СКК. Рациональное территориально-функциональное зонирование территории являются важным инструментом прогнозирования масштабов и внутритерриториального размещения нового строительства.

В ходе проведенного анализа санаторно-курортных учреждений в городах Юга России сформулированы три основных типа:

- Первый тип - СКК, расположенные в глубине курортной зоны. Пик строительства санаториев данного типа приходится на 50-70е годы XX века.

- Второй тип - СКК, расположенные на территориальной границе курортной зоны и городской застройки. Санатории данного типа строились, в основном, в 30-40е годы XX века, большая часть которых расположена на территории Сочи и Крыма.

- Третий тип - СКК, расположенный в городской застройке.

Пик строительства санаториев данного типа приходится на 50-60е годы XX века, и большинство из них расположено на территории Крыма.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Ветитнев А. М. Организация санаторно-курортной деятельности : учебное пособие / А. М. Ветитнев, Я.А. Войнова. — М. : Федеральное агентство по туризму, 2014. — 272 с.

2. Санаторно-курортное дело в России. [Электронный ресурс]. − Москва. – URL: https://otherreferats.allbest.ru/sport/d00179332.html, (дата обращения: 12.05.2021).

3. Труханов А.И. Эколого-генетические основы ландшафтотерапии / А.И. Труханов, Н.А. Жученко, А.В. Черкасов // Вестник восстановительной медицины. — 2013. — № №6, (58). — С. 12—19.

4. Веркалец И.М. Принципы и методы архитектурно-планировочной организации рекреационных ландшафтов с учетом эстетики природной окружающей среды / И.М. Веркалец // Architecture and Modern Information Technologies. – 2014. – №1 (26) [Электронный ресурс]. – URL: http://marhi.ru/AMIT/2014/1kvart14/verkalets/abstract.php (дата обращения: 12.05.2021)

5. Мозокина С.Л. Современные тенденции развития санаторно-курортной сферы РФ / С.Л. Мозокина // Теория и практика сервиса: экономика, социальная сфера, технологии. № 3 (21). 2014 С. 81-86

6. Вавилонская Т.В. Принципы проектирования туристско-рекреационных комплексов в условиях свободной экономической зоны / Т.В. Вавилонская, Ю.В. Салейкина // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2014. № 2 (15). С. 6-12.

7. Сайт Архитектура. История. Архитектура Крыма. Новый градостроительный этап [Электронный ресурс]. − М., 20.12.2017 – URL: http://www.alyoshin.ru/Files/publika/kilesso/kilesso_krim_7.html, (дата обращения: 12.05.2021)

8. Сочи: страницы прошлого и настоящего Текст. : Иллюстрированный сборник статей. Сочи, 2003. - С. 98-132.

9. Cohen M. Understanding the Global Spa Industry: Spa Mannagement / M. Cohen, G. Bodeker. Oxford, UK: Elsevier, 2009. 465 p

10. Tabacchi M.H. Current Research and Events in the Spa Industry / M.H. Tabacchi // Cornell Hospitality Quarterly. 2010. №51. P.102-117.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Vetitnev A. M. Organizacija sanatorno-kurortnojj dejatel'nosti : uchebnoe posobie [Organization of health resort activities : a textbook] / A. M. Vetitnev, Ya. A. Voynova. - M.: Federal'noe agentstvo po turizmu, 2014. - 272 p. [in Russian]

2. Sanatorno-kurortnoe delo v Rossii [Health resort business in Russia] [Electronic resource]. - Moscow. - URL: https://otherreferats.allbest.ru/sport/d00179332.html (accessed: 12.05.2021). [in Russian]

3. Trukhanov A. I. Ehkologo-geneticheskie osnovy landshaftoterapii [Ecological and genetic foundations of landscape therapy] / A. I. Trukhanov, N. A. Zhuchenko, A. V. Cherkasov // Vestnik vosstanovitel'nojj mediciny [Bulletin of restorative medicine]. — 2013. — № №6, (58). — pp. 12-19 [in Russian]

4. Verkalets I. M. Principy i metody arkhitekturno-planirovochnojj organizacii rekreacionnykh landshaftov s uchetom ehstetiki prirodnojj okruzhajushhejj sredy [Principles and methods of architectural and planning organization of recreational landscapes taking into account the aesthetics of the natural environment]. [Electronic resource] / I. M. Verkalets // Architecture and Modern Information Technologies. – 2014. – №1 (26). - URL: http://marhi.ru/AMIT/2014/1kvart14/verkalets/abstract.php (accessed: 12.05.2021). [in Russian]

5. Mozokina S. L. Sovremennye tendencii razvitija sanatorno-kurortnojj sfery RF [Modern trends in the development of the sanatorium and resort sector of the Russian Federation] / S. L. Mozokina // Teorija i praktika servisa: ehkonomika, social'naja sfera, tekhnologii [Theory and practice of the service: economy, social sphere, technologies]. No. 3 (21). 2014 pp. 81-86 [in Russian]

6. Babylonskaya T. V., Saleikina Yu. V. Principy proektirovanija turistsko-rekreacionnykh kompleksov v uslovijakh svobodnojj ehkonomicheskojj zony [Principles of designing tourist and recreational complexes in the conditions of a free economic zone] / T. V. Vavilonskaya, Yu. V. Saleykina // Vestnik SGASU. Gradostroitel'stvo i arkhitektura [Bulletin of the SSASU. Urban planning and architecture]. 2014. № 2 (15), pp. 6-12 [in Russian]

7. Sajjt Arkhitektura. Istorija. Arkhitektura Kryma. Novyjj gradostroitel'nyjj ehtap [Website Architecture. History. The architecture of the Crimea. New urban planning stage] [Electronic resource]. - M., 20.12.2017 - URL: http://www.alyoshin.ru/Files/publika/kilesso/kilesso_krim_7.html, free. (accessed: 12.05.2021). [in Russian]

8. Sochi: stranicy proshlogo i nastojashhego Tekst. : Illjustrirovannyjj sbornik statejj [Sochi: pages of the past and present : Illustrated collection of articles]. Sochi, 2003. - pp. 98-132 [in Russian]

9. Cohen M. Understanding the Global Spa Industry: Spa Mannagement / M. Cohen, G. Bodeker. Oxford, UK: Elsevier, 2009. 465 p

10. Tabacchi M.H. Current Research and Events in the Spa Industry / M.H. Tabacchi // Cornell Hospitality Quarterly. 2010. №51. P. 102-117.

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ / AGRICULTURAL SCIENCES

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.110.8.017

АНАЛИЗ МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ТУШИ ОВЕЦ КАТУМСКОЙ ПОРОДЫ

Научная статья

Дмитриева Т.О.*
ORCID: 0000-0002-1445-3698,
ООО СХП «Катумы», Ленинградская область, Россия

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

Аннотация

В статье исследуются показатели морфологической структуры туши баранчиков и валушков разного возраста катумской породы овец. Выявлены межгрупповые различия по коэффициенту мясности и площади мышечного глазка. При этом наибольший коэффициент мясности выявлен у баранчиков в возрасте 3 месяцев: он составил 6,13±0,52%, что на 16,8% больше, чем у баранчиков в возрасте 6 и 18 месяцев и на 33,6–43,7% больше, чем у валушков. Выявлены положительные изменения в степени развития костей у баранчиков к 18-месячному возрасту (вес костей составил 5,95±0,97 кг при массе охлажденной туши 35,91±2,14 кг), в отличие от группы валушков данного возраста (вес костей составил 4,42±0,37 кг при массе охлажденной туши 22,4±2,85 кг). Данные указывают на интенсивность обменных процессов в организме, положительную динамику мясной продуктивности у баранчиков до 18-месячного возраста, а у валушков до 4-месячного возраста. Таким образом, кастрация баранчиков катумской породы в возрасте 3 месяцев при отъеме является целесообразной при доращивании валушков до 4-месячного возраста с последующей реализацией на мясо.

Ключевые слова: катумская порода овец, морфологическая структура туши, масса полутуши, коэффициент мясности, площадь мышечного глазка.

AN ANALYSIS OF THE MORPHOLOGICAL STRUCTURE OF THE KATUMSKY SHEEP CARCASS

Research article

Dmitrieva T.O.*
ORCID: 0000-0002-1445-3698,
Katumi LLC (OOO SKhP "Katumi"), Leningrad Oblast, Russia

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

Abstract

The article examines the indicators of the morphological structure of the carcass of rams and wethers of different ages of the Katumsky sheep breed. The study determines the intergroup differences in the coefficient of meat content and the area of the muscle eye. At the same time, the highest meat content coefficient was detected in rams aged 3 months: it amounted to6.13±0.52%, which is 16.8% more than in rams aged 6 and 18 months and 33.6-43.7% more than in wethers. Positive changes were identified in the degree of bone development in rams by the age of 18 months (the bone weight equaled 5.95±0.97 kg with the mass of the cooled carcass of 35.91±2.14 kg), in contrast to the group of wethers of this age (the bone weight was 4.42±0.37 kg with the mass of the cooled carcass of 22.4±2.85 kg). The data indicate the intensity of metabolic processes in the body, the positive dynamics of meat productivity in rams of up to 18 months of age, and in wethers of up to 4 months of age. Thus, castration of Katumsky rams at the age of 3 months at weaning is advisable when growing the wethers up to 4 months of age with subsequent sale for meat.

Keywords: Katumsky sheep breed, morphological structure of the carcass, half-carcass weight, meat content coefficient, muscle eye area.

Введение

Сегодня актуальна разработка и применение эффективных методов увеличения и улучшения мясной продуктивности. Овцеводство России представляет собой специализированную отрасль животноводства с богатым генофондом, который насчитывает около 30 пород и породных групп овец [1], [3], [6]. Катумская порода овец является мясной породой, выведенной в Северо-Западном регионе России. Эффективность производства молодой баранины определяется не только способностью ягнят к интенсивному развитию, но и качеством получаемой от них продукции [2], [5], [11], [13].

Качество мяса и характеристики туши становятся все более актуальными параметрами для программ овцеводства из-за их экономической ценности [8], [9], [14]. Для более полной и объективной оценки мясных качеств овец необходимо провести убой животного. При этом уровень мясной продуктивности и качество продукции определяется по предубойной массе, массе туши и ее выходу, морфологическому и сортовому составу, показателям пищевой, биологической и энергетической ценности [7], [10]. Кроме того, важно оценивать и изучать влияние возраста животных при кастрации и убое на качественные характеристики получаемой продукции [12], [15].

Целью данного исследования была сравнительная оценка морфометрических параметров баранчиков и валушков катумской породы с 3 до 18-месячного возраста для определения периода, в котором будет максимально выражен потенциал мясной продуктивности.

Методы исследования

Научно-хозяйственная работа выполнялась в овцеводческом хозяйстве ООО СХП «Катумы» Всеволожского района Ленинградской области. Объектом исследования служили баранчики в возрасте 3 месяцев (n=10), 6 месяцев (n=10) и 18

месяцев (n=10) катумской породы, а также валушки в возрасте 4 месяцев (n=10), 6 месяцев (n=10) и 18 месяцев (n=10) катумской породы. С целью получения валушков кастрация баранчиков была проведена при отбивке в 3-месячном возрасте методом эластрации.

Опытные группы содержались на одинаковом рационе, который состоял из пастбищной травы вволю (свободный выпас), комбикорма (ячмень+овес) — 0,200–0,450 кг, в соответствии с возрастом. Питательная ценность рациона составляла энергетических кормовых единиц 0,8–1,25 и переваримого протеина 95–125,5 г в зависимости от возраста, что соответствовало зоотехническим нормам для молодняка овец мясо-шерстного направления продуктивности. Поедаемость грубых кормов составляла 95,5%, концентрированных – 100% по всем опытным группам.

Для изучения мясной продуктивности проводили контрольный убой баранчиков и валушков разных возрастов с разделкой туш и их обвалкой согласно методическим рекомендациям ГНУ СНИИЖК «Методика оценки мясной продуктивности овец» [1]. Для определения морфологического состава туши каждого срока убоя подвергались сортовой разрубке и обвалке в соответствии с ГОСТ Р 54367–2011. Для статистической обработки данных использовали пакет SPSS Statistics анализ первичной статистики. Вычисляли средние значения (M) величины каждого параметра, стандартную ошибку среднего (m) и коэффициент корреляции Пирсона. Исходя из особенностей выборки, достоверность полученных результатов оценивали с помощью непараметрического критерия Манна-Уитни для независимых выборок.

Результаты и обсуждения

Проведенная обвалка туш баранчиков и валушков катумской породы овец показала, что возраст и кастрация оказывают существенное влияние на их морфологический состав. Результаты взвешиваний показали, что более высокая абсолютная масса мякоти была у баранов 18-месячного возраста: 29,95±1,10 кг. Они превосходили по данному показателю своих сверстников-валушков на 39,9% ($p<0,05$). В возрасте 6 месяцев превосходство по данному показателю было у группы валушков: он составил 14,74±1,82 кг, что на 21,7% выше, чем у сверстников-баранчиков ($p<0,05$).

Масса костей в процентном соотношении к массе охлажденной туши у баранчиков в 3 месяца составила 14%, в 6 месяцев – 16% и в 18 месяцев – 16,5%, а у валушков в 4 месяца данный показатель составил 22%, в 6 месяцев – 19,7% и в 18 месяцев – 19,8% (таблицы 1, 2). У баранчиков отмечалось увеличение данного показателя с возрастом, что обусловлено пропорциональным ростом и развитием особей, а у валушков, наоборот, тенденция была отрицательная. Выявлены положительные изменения в степени развития костей у баранчиков к 18-месячному возрасту (вес костей составил 5,95±0,97 кг при массе охлажденной туши 35,91±2,14 кг), в отличие от группы валушков такого же возраста (вес костей составил 4,42±0,37 кг при массе охлажденной туши 22,4±2,85 кг). Таким образом, кастрация оказывает негативное влияние на рост и развитие баранчиков катумской породы, начиная с 6-месячного возраста.

Таблица 1 – Результаты контрольного убоя баранчиков катумской породы овец (показатели морфологической структуры туши)

Показатели	Ед.изм.	Баранчики 3 месяца (n=10)	Баранчики 6 месяцев (n=10)	Бараны 18 месяцев (n=10)
Живая масса при отборе	кг	28,48±2,89	45,10±2,23	77,95±2,24
Живая масса после голодной выдержки	кг	27,64±2,88	43,49±2,56	75,51±2,35
Вес парной туши	кг	13,71±1,61	16,57±0,82	38,14±1,10
Масса охлажденной туши	кг	8,98±1,09	13,80±2,10	35,91±2,14
Масса полутуши	кг	4,49±1,88	6,90±1,56	17,97±1,35
Всего жир	кг	0,53±0,07	0,57±0,03	2,60±0,07
Всего мякоть	кг	7,72±1,61	11,54±0,82	29,95±1,10
Всего кости	кг	1,26±0,09	2,26±0,81	5,95±0,97
Коэффициент мясности	%	6,13±0,52	5,10±0,72	5,03±0,55
Площадь мышечного глазка	$см^2$	12,50±0,15	24,50±0,25	28,00±0,85

Площадь мышечного глазка с возрастом увеличивалась в группе баранчиков с 12,5±0,15 $см^2$ при отбивке до 28,00±0,85 $см^2$ в 18-месячном возрасте, а у валушков в возрасте 4 месяцев была 18,00±0,95 $см^2$, что на 30,5% больше, чем у баранчиков при отбивке. Однако различий по данному показателю в группе валушков в возрасте 6 и 18 месяцев не было, и отставание от сверстников групп баранчиков было на 14,3% и 25%. Так как площадь мышечного глазка косвенно определяет содержание мяса в туше, то можно говорить о том, что у баранчиков рост и развитие мышечной массы увеличивается с возрастом, а у валушков нет.

Таблица 2 – Результаты контрольного убоя валушков катумской породы овец (показатели морфологической структуры туши)

Показатели	Ед.изм.	Валух 4 месяца (n=10)	Валух 6 месяцев (n=10)	Валух 18 месяцев (n=10)
Живая масса при отборе	кг	39,65±2,3	43,55±1,42	60,50±4,81
Живая масса после голодной выдержки	кг	38,22±2,4	42,13±1,25	58,35±5,46
Вес парной туши	кг	17,08±1,1	18,23±0,60	26,63±2,12
Масса охлажденной туши	кг	15,70±1,25	18,36±2,09	22,40±2,85
Масса полутуши	кг	7,85±1,75	9,18±1,06	11,20±1,95
Всего жир	кг	0,71±0,04	2,15±0,07	1,42±0,11
Всего мякоть	кг	12,14±1,01	14,74±1,82	17,98±1,19
Всего кости	кг	3,52±1,09	3,62±0,51	4,42±0,37
Коэффициент мясности	%	3,45±0,22	4,07±0,42	4,07±0,45
Площадь мышечного глазка	$см^2$	18,00±0,95	21,00±0,85	21,00±0,45

Анализ результатов контрольного убоя баранчиков катумской породы овец показал положительную двухстороннюю корреляцию массы охлажденной туши и всего веса мякоти (0,005; $p<0,01$), а также положительную двухстороннюю корреляцию массы охлажденной туши и всего веса кости (0,022; $p<0,05$). Установлена положительная двухсторонняя корреляция общего веса мякоти к кости по трем опытным группам баранчиков (0,027; $p<0,05$), и отрицательная по отношению к коэффициенту мясности (– 0,676; $p<0,05$).

Анализ результатов контрольного убоя валушков катумской породы овец показал положительную двухстороннюю корреляцию массы охлажденной туши и всего веса мякоти (0,035; $p<0,05$), а также положительную двухстороннюю корреляцию массы охлажденной туши и всего веса кости (0,193; $p<0,05$). Установлена положительная двухсторонняя корреляция общего веса мякоти к кости по трем опытным группам валушков (0,228; $p<0,05$), и положительная по отношению к коэффициенту мясности (0,374; $p<0,05$), в отличие от группы баранчиков.

Корреляционный анализ хозяйственно-полезных признаков дает возможность вести отбор животных с целью улучшения их продуктивных качеств. По мере увеличения живой массы и возраста молодняка замедляется синтез тканей, повышается расход кормов на получение прироста, изменяется химический и морфологический состав тела [4], [6], [13]. При сравнительном анализе результатов контрольного убоя овец катумской породы в возрасте 18 месяцев выявлено значительное превосходство баранчиков по показателям предубойной живой массы, массы после голодной выдержки, массы парной и охлажденной туши по отношению к группе валушков — на 22,39%, 22,73%, 30,18% и 37,62% соответственно.

Масса внутреннего жира в зависимости от возраста составила 0,53–2,6 кг. Ее увеличение у баранчиков отмечено в возрасте от 6 до 18 месяцев (на 78,1%), а у валушков в возрасте от 4 до 6 месяцев (на 66,9%). Таким образом, в возрасте 6 месяцев биологическая ценность мяса выше у баранчиков катумской породы овец. При этом более желательный морфологический состав туши был у баранчиков в 3-месячном возрасте, а у валушков в 6-месячном возрасте. Однако более желательный выход мякоти на один кг костей был у баранчиков в 3-месячном возрасте. Наибольший коэффициент мясности был выявлен у баранчиков в возрасте 3 месяцев: он составил 6,13±0,52%, что на 16,8% больше, чем у баранчиков в возрасте 6 и 18 месяцев, и на 33,6–43,7% больше, чем у валушков.

Заключение

Результаты исследования показали преимущество по морфологическому составу туши у группы баранчиков по отношению к группе валушков. При этом наибольший коэффициент мясности был выявлен у баранчиков в возрасте 3 месяцев: он составил 6,13±0,52%, что на 16,8% больше, чем у баранчиков в возрасте 6 и 18 месяцев и на 33,6–43,7% больше, чем у валушков. Таким образом, кастрация баранчиков катумской породы в возрасте 3 месяцев при отъеме является целесообразной при доращивании валушков до 4-месячного возраста с последующей реализацией на мясо.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Абонеев, В. В. Методика оценки мясной продуктивности овец / В. В. Абонеев, Ю. Д. Квитко, И. И. Селькин. – Ставрополь. – 2009. – 34 с.

2. Гаджиев, З. К. Мясные показатели овец карачаевской породы разных внутрипородных типов / З. К. Гаджиев, О. Р. Османова // Сборник научных трудов Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства. – 2017. – Т.1. – №10. – С. 59-61.

3. Галиева, З. А. Мясная продуктивность овец пород прекос и советский меринос разных сроков рождения / З. А. Галиев, Ш. Г. Усманов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – №1. – С. 122-124.

4. Гуткин, С. С. Биоконверсия протеина и энергии кормов в мясо, готовое к употреблению / С. С. Гуткин, Ф. Х. Сиразетдинов // Зоотехния. – 2001. – № 6. – С. 27–29.

5. Данилова, Л. В. Оценка мясной продуктивности и качества баранины, производимой в Саратовской области / Л. В. Данилова, С. В. Андреева, Т. Ю. Левина // Аграрный научный журнал. – 2016. – №5. – С. 57-62.

6. Дмитрик, И. И. Оценка мясных качеств молодняка овец ставропольской породы по комплексу свойств / И. И. Дмитрик, Е. Г. Овчинникова // Ветеринарная патология. – 2013. – №1 (43). – С. 74-78.

7. Ефимова, Н. И. Качественная оценка мясной продуктивности молодняка овец разного происхождения / Н. И. Ефимова, Г. В. Завгородняя, С. Н. Шумаенко, А. И. Штельмах // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2012. – №2. – С.45-48.

8. Забелина, М. В. Мясные и убойные показатели овец русской длиннотощехвостой породы в зависимости от полового диморфизма и возраста / М. В. Забелина, Е. И. Биркалова // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2015. – №3. – С. 9-11.

9. Колосов, Ю. А. Мясные качества чистопородных и помесных баранчиков разного происхождения / Ю. А. Колосов, Н. В. Широкова // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2012. – №3. – С. 44-46.

10. Лушников, В. П. Мясная продуктивность молодняка овец Волгоградской и Кавказской пород и их помесей с Северокавказской мясо-шерстной породой / В. П. Лушников, А. В. Молчанов, Д. В. Верхова // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2015. – №3. – С. 12-13.

11. Ульянов, А. Н. Скороспелость, мясная и шерстная продуктивность овец южной мясной породы / А. Н. Ульянов, А. Я. Куликова, С. Н. Баша // Ученые записки учреждения образования Витебская ордена Знак почета государственная академия ветеринарной медицины. – 2011. – Т.47. – №2-1. – С. 326-327.

12. Чамурлиев, Н. Г. Нагул баранчиков и валушков при производстве молодой баранины / Н. Г. Чамурлиев, О. В. Чапуркина, Е. . Ермолаева // В сборнике: Интеграция науки и производства – стратегия устойчивого развития АПК России в ВТО, материалы международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию Победы в Сталинградской битве. – 2013. – С. 323-325.

13. Юлдашбаев, Ю. А. Мясная продуктивность и качество баранины тонкорунных овец / Ю. А. Юлдашбаев, А. И. Ерохин, Е. А. Карасев // Достижения науки и техники АПК. – 2005. – №11. – С. 21-23.

14. Brito, Luiz Fernando. Genetic parameters for various growth, carcass and meat quality traits in a New Zealand sheep population / Luiz Fernando Brito, John C. McEwan, Stephen Miller et al. // Small Ruminant Research. – 2017. – №154. – P. 81-91.

15. Gkarane, V. Effect of castration and age at slaughter on sensory perception of lamb meat / Vasiliki Gkarane, Paul Allen, Rufielyn S. Gravador et al. // Small Ruminant Research. – 2017. – №157. – P. 65-74.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Aboneev, V. V. Metodika ocenki mjasnoj produktivnosti ovec [Methodology for assessing the meat productivity of sheep] / V. V. Aboneev, Yu. D. Kvitko, I. I. Selkin. - Stavropol. - 2009 – - 34 p. [in Russian]

2. Gadzhiev, Z. To. Mjasnye pokazateli ovec karachaevskoj porody raznyh vnutriporodnyh tipov [Meat indicators of sheep of the Karachay breed of different intra-breed types] / Z. To. Gadzhiev, O. R. Osmanova // Sbornik nauchnyh trudov Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta ovcevodstva i kozovodstva [Collection of scientific works of the All-Russian Scientific Research Institute of Sheep and Goat Breeding]. - 2017. - Vol. 1. - No. 10. - pp. 59-61. [in Russian]

3. Galieva, Z. But. Mjasnaja produktivnost' ovec porod prekos i sovetskij merinos raznyh srokov rozhdenija [Meat productivity of sheep of the Precos and Soviet merino breeds of different birth dates] / Z. But. Galiev, Sh. G. Usmanov // Izvestia of the Samara State Agricultural Academy. - 2014. - No. 1. - pp. 122-124. [in Russian]

4. Gutkin, S. S. Biokonversija proteina i jenergii kormov v mjaso, gotovoe k upotrebleniju [Bioconversion of protein and feed energy into ready-to-eat meat] / S. S. Gutkin, F. H. Sirazetdinov // Zootechniya. – 2001. - No. 6. - pp. 27-29. [in Russian]

5. Danilova, L. V. Ocenka mjasnoj produktivnosti i kachestva baraniny, proizvodimoj v Saratovskoj oblasti [Evaluation of meat productivity and quality of lamb produced in the Saratov region] / L. V. Danilova, S. V. Andreeva, T. Yu. Levina // Agrarnyj nauchnyj zhurnal [Agrarian Scientific Journal]. - 2016. - No. 5. - pp. 57-62. [in Russian]

6. Dmitrik, I. And. Ocenka mjasnyh kachestv molodnjaka ovec stavropol'skoj porody po kompleksu svojstv [Evaluation of meat qualities of young sheep of the Stavropol breed by a set of properties] / I. And. Dmitrik, E. G. Ovchinnikova // Veterinarnaja patologija [Veterinary pathology]. – 2013. – №1 (43). – Pp. 74-78. [in Russian]

7. Efimova, N. I. Kachestvennaja ocenka mjasnoj produktivnosti molodnjaka ovec raznogo proishozhdenija [Qualitative assessment of meat productivity of young sheep of different origin] / N. I. Efimova, G. V. Zavgorodnaya, S. N. Shumaenko, A. And. Shtelmakh // Ovcy, kozy, sherstjanoe delo [Sheep, goats, wool business]. - 2012. - No. 2. - pp. 45-48. [in Russian]

8. Zabelina, M. V. Mjasnye i ubojnye pokazateli ovec russkoj dlinnotoshhehvostoj porody v zavisimosti ot polovogo dimorfizma i vozrasta [Meat and slaughter indicators of Russian long-tailed sheep depending on sexual dimorphism and age] / M. V. Zabelina, E. And. Birkalova // Ovcy, kozy, sherstjanoe delo [Sheep, goats, wool business]. - 2015. - No. 3. - pp. 9-11. [in Russian]

9. Kolosov, Yu. But. Mjasnye kachestva chistoporodnyh i pomesnyh baranchikov raznogo proishozhdenija [Meat qualities of purebred and crossbred sheep of different origin] / Yu. But. Kolosov, N. V. Shirokova // Ovcy, kozy, sherstjanoe delo [Sheep, goats, wool business]. - 2012. - No. 3. - pp. 44-46. [in Russian]

10. Lushnikov, V. P. Mjasnaja produktivnost' molodnjaka ovec Volgogradskoj i Kavkazskoj porod i ih pomesej s Severokavkazskoj mjaso-sherstnoj porodoj [Meat productivity of young sheep of the Volgograd and Caucasian breeds and their hybrids with the North Caucasian meat and wool breed] / V. P. Lushnikov, A. V. Molchanov, D. V. Verkhova // Ovcy, kozy, sherstjanoe delo [Sheep, goats, wool business]. - 2015. - No. 3. - pp. 12-13. [in Russian]

11. Ulyanov, A. N. Skorospelost', mjasnaja i sherstnaja produktivnost' ovec juzhnoj mjasnoj porody [Precocity, meat and wool productivity of sheep of the southern meat breed] / A. N. Ulyanov, A. I. Kulikova, S. N. Basha // Uchenye zapiski uchrezhdenija obrazovanija Vitebskaja ordena Znak pocheta gosudarstvennaja akademija veterinarnoj mediciny [Scientific notes of the educational institution Vitebsk Order of the Badge of Honor State Academy of Veterinary Medicine]. - 2011. - Vol. 47. - No. 2-1 – - pp. 326-327. [in Russian]

12. Chamurliev, N. G. Nagul baranchikov i valushkov pri proizvodstve molodoj baraniny [Feeding of rams and boulders in the production of young mutton] / N. G. Chamurliev, O. V. Chapurkina, E. . Ermolaeva // V sbornike: Integracija nauki i proizvodstva – strategija ustojchivogo razvitija APK Rossii v VTO, materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, posvjashhennoj 70-letiju Pobedy v Stalingradskoj bitve [In the collection: Integration of science and production – a strategy for the sustainable development of the Russian agro-industrial complex in the WTO, materials of the international scientific and practical conference dedicated to the 70th anniversary of the Victory in the Battle of Stalingrad]. - 2013. - pp. 323-325. [in Russian]

13. Yuldashbayev, Yu. But. Mjasnaja produktivnost' i kachestvo baraniny tonkorunnyh ovec [Meat productivity and quality of lamb of fine-fleeced sheep] / Yu. But. Yuldashbayev, A. And. Erokhin, E. But. Karasev // Dostizhenija nauki i tehniki APK [Achievements of science and technology of the agro-industrial complex]. - 2005. - No. 11. - pp. 21-23. [in Russian]

14. Brito, Luiz Fernando. Genetic parameters for various growth, carcass and meat quality traits in a New Zealand sheep population / Luiz Fernando Brito, John C. McEwan, Stephen Miller et al. // Small Ruminant Research. – 2017. – №154. – P. 81-91.

15. Gkarane, V. Effect of castration and age at slaughter on sensory perception of lamb meat / Vasiliki Gkarane, Paul Allen, Rufielyn S. Gravador et al. // Small Ruminant Research. – 2017. – №157. – P. 65-74.

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.110.8.018

ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ УПЛОТНЕНИЯ СЫРОГО ФУРАЖНОГО ЗЕРНА НА КАЧЕСТВО БРОЖЕНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ ПРЕПАРАТОВ ДЛЯ ЕГО КОНСЕРВИРОВАНИЯ

Научная статья

Емельянова Е.В.*

Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, Княгинино, Россия

* Корреспондирующий автор (len.ryabukhina[at]yandex.ru)

Аннотация

Технология консервирования и анаэробного хранения плющеного сырого зерна, сходная с силосованием трав, достаточно хорошо изучена и широко применяется на практике. Вместе с тем имеющиеся отличия этих технологий не позволяют автоматически переносить известные положения технологии силосования на консервирование зерна. Неизвестно, как повлияет, например, разная степень уплотнения зерна на консервирующие свойства химических и биологических препаратов. В результате проведённых исследований нами было установлено, что наибольшее положительное влияние на качество брожения консервируемого сырого плющеного зерна ячменя со средней степенью уплотнения при закладке на хранение оказала порошкообразная сера, обеспечивая преимущество гомоферментативного молочнокислого брожения и преобладание молочной кислоты в общем количестве кислот брожения, а также лучшее подкисление корма в процессе заготовки и хранения.

Ключевые слова: сырое фуражное зерно, консервирование, препараты, кислотность, органические кислоты.

ON THE INFLUENCE OF THE DEGREE OF COMPACTION OF FEED GRAIN ON THE QUALITY OF FERMENTATION WHEN USING VARIOUS PREPARATIONS FOR ITS PRESERVATION

Research article

Emelyanova E.V.*

Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, Knyaginino, Nizhny Novgorod Oblast, Russia

* Corresponding author (len.ryabukhina[at]yandex.ru)

Abstract

Similar to grass silage, the technology of canning and anaerobic storage of flattened raw grain is sufficiently studied and is widely used in practice. At the same time, the existing differences between these technologies do not allow for an immediate application of the known provisions of the silage technology to grain canning. For instance, It is not known how different degrees of grain compaction will affect the preserving properties of chemical and biological preparations. The results of the research demonstrate that powdered sulfur has the greatest positive effect on the fermentation quality of canned raw flattened barley grain with an average degree of compaction when laying for storage, providing the advantage of homofermentative lactic acid fermentation and the predominance of lactic acid in the total amount of fermentation acids as well as better acidification of feed during harvesting and storage.

Keywords: raw feed grain, canning, preparations, acidity, organic acids.

Введение

Рационы высокопродуктивных сельскохозяйственных животных обладают повышенной концентрацией обменной энергии в сухом веществе и сбалансированы по другим элементам питания. Такую концентрацию энергии обеспечивают концентрированные корма, основной и неотъемлемой частью которых является фуражное зерно. Поэтому в современных условиях сельскохозяйственного производства на передний план выходит проблема наиболее полного сохранения качества зернофуражных кормов собственного приготовления от заготовки до скармливания [1].

Технология герметичного хранения сырого фуражного зерна с влажностью 30 % и более достаточно давно известна и сходна с силосованием тем, что консервирование корма обеспечивается органическими кислотами, получаемыми в ходе брожения. Наиболее желательным типом брожения при этом является молочнокислое. Молочная кислота обладает наибольшими подкисляющими свойствами и её образование происходят с наименьшими потери питательной ценности корма [2]. Однако между силосованием зелёной массы и консервированием сырого зерна имеются принципиальные отличия в силу специфичности способа сохранения последнего. Естественная консервируемость (силосуемость) сырого зерна существенно ниже, чем у трав из-за меньшей влажности и ограниченности содержания простых сахаров. Из-за низкого их содержания молочная кислота в таком сырье образуется медленно. Как показали проведённые исследования [3], [4], размер образования органических кислот в нём в 10 раз меньший, чем при силосовании. К тому же молочнокислые и другие бактерии, образующие в анаэробных условиях органические кислоты, консервирующие такое зерно, в составе эпифитной микрофлоры практически отсутствуют [5].

Вместе с тем при высоком содержании сухого вещества и крахмала сырое плющеное зерно является идеальным субстратом для развития дрожжей и плесени [6]. Это может привести к потере дорогостоящих зерновых кормов и стать причиной тяжёлых заболеваний скота (микотоксикозы). Поэтому при консервировании зерна повышенной влажности требуется использование специальных приёмов, которые предотвращаю развитие такой микрофлоры. К таким приёмам можно отнести обработку сырого зерна химическими или биологическими консервантами, применение которых некоторые авторы считают обязательным [7], [8].

Учитывая разницу по биохимическому составу, уровню содержания сухого вещества и другим параметрам между зернофуражом и силосной массой трав, можно предположить, что при использовании одних и тех же технологических приёмов результаты консервирования могут быть совершенно разными. В связи с этим целью наших исследований являлось определение влияния отдельных технологических приёмов на результаты консервирования сырого фуражного зерна.

Методы и принципы исследования

В лабораторных условиях изучали влияние химического консерванта «Промир», состоящего из 43-48 % муравьиной кислоты, 18-23 % пропионовой кислоты и 4-8 % формиата аммония, порошкообразной серы, содержание которой в препарате составляет 99,5 %, а кроме того, в нём также содержится 0,2% влаги и 0,05% золы (АС. 1099937) и биопрепарата Биосил НН, в состав которого включены молочнокислые бактерии *Lactobacillus casei* и *Lactococus lactic* на результаты консервирования сырого плющеного зерна ячменя. Доза внесения препарата «Промир» составляла 3 л/т, биологического препарата Биосил НН – 1 л/40 т, порошкообразной серы – 1 кг/т зерна. Зерно закладывалось на хранение в трёхкратной повторности в герметические ёмкости объёмом 1 дм^3 без принудительного уплотнения (самоуплотнение), со средней и сильной степенью трамбовки. Срок хранения – 4 месяца. Методика закладки лабораторного опыта общепринятая [9]. Обработка результатов исследования проведена методом вариационной статистики на PC Pentium IV с помощью стандартного набора статистических программ.

Основные результаты

Консервирование сырого фуражного зерна происходит за счёт образующихся при брожении в анаэробных условиях органических кислот, состав и удельная масса которых корректируется вносимыми добавками. В нашем исследовании наивысшая концентрация кислот брожения в сухом веществе консервированного зерна, в т.ч. молочной, наблюдалась при его хранении без добавок при сильном и среднем уплотнении и при самоуплотнении с препаратом «Промир», уксусной – при среднем и сильном уплотнении и хранении без добавок и с препаратом «Промир» при самоуплотнении и сильном уплотнении (см. таблицу 1). Следует отметить, что третьим по концентрации молочной кислоты в сухом веществе было зерно с порошкообразной серой, уложенной на хранение при средней степени уплотнения.

Таблица 1 – Кислотообразование

Показатель	Вариант консервирования	Степень уплотнения, % от сухого вещества		
		самоуплотнение	средняя	сильная
Сумма органических кислот	без добавок	0,82±0,21	1,26±0,01	1,39±0,06
	с «Промиром»	1,36±0,31	0,69±0,06	1,13±0,03
	с Биосилом НН	0,41±0,04	0,30±0,01	0,38±0,04
	с порошкообразной серой	0,49±0,05	0,81±0,07	0,61±0,06
В т.ч.: молочная	без добавок	0,36±0,02	0,51±0,05	0,78±0,04
	с «Промиром»	0,72±0,13	0,33±0,02	0,51±0,05
	с Биосилом НН	0,19±0,02	0,15±0,01	0,18±0,03
	с порошкообразной серой	0,24±0,01	0,55±0,05	0,41±0,05
уксусная	без добавок	0,45±0,06	0,75±0,04	0,61±0,12
	с «Промиром»	0,64±0,16	0,36±0,05	0,62±0,03
	с Биосилом НН	0,22±0,02	0,15±0,00	0,20±0,06
	с порошкообразной серой	0,21±0,04	0,24±0,02	0,20±0,01
Соотношение кислот: молочная/уксусная	без добавок	0,80/1,00	0,68/1,00	1,28/1,00
	с «Промиром»	1,12/1,00	0,92/1,00	0,82/1,00
	с Биосилом НН	0,86/1,00	1,00/1,00	0,90/1,00
	с порошкообразной серой	1,14/1,00	2,29/1,00	2,02/1,00

Масляная кислота в составе продуктов брожения консервированного зерна не была обнаружена, что говорит о высоком его качестве.

Кроме общего количества молочной кислоты в составе консервированного продукта интенсивность его подкисления обеспечивается доминированием этого продукта в составе всего объёма кислотообразования. В нашем случае наивысшее превосходство молочной кислоты над уксусной наблюдалось в составе зерна с порошкообразной серой, заложенного на хранение при среднем и максимальном уплотнении (см. таблицу 1). Самыми близкими по значению к этим вариантам хранения зерна были показатели сильно уплотнённого зерна без добавок. В остальных случаях преимущество было либо незначительным, либо отсутствовало.

Влияние массовой доли молочной кислоты в общем объёме кислотообразования на степень подкисления консервируемого зерна была подтверждена корреляционным анализом ($r=-0,651$; $P<0,01$), и в этом также нетрудно убедиться из данных, представленных в таблицах 1-2. Как уже отмечалось, наибольшее превосходство (более чем 2-кратное) содержания молочной кислоты над уксусной было при консервировании её порошкообразной серой и укладке на хранение со средней и сильной степенью уплотнения. Именно в этих вариантах хранения зерно оказалось наиболее подкисленным (см. таблицу 2).

Таблица 2 – Кислотность зерна

Степень уплотнения	Варианты консервирования			
	без добавок	с «Промиром»	с Биосилом НН	с порошкообразной серой
самоуплотнение	6,23±0,02	6,23±0,02	6,22±0,06	5,85±0,08
средняя	6,28±0,07	6,93±0,06	6,20±0,05	4,78±0,12
сильная	6,20±0,00	5,97±0,03	6,25±0,03	5,40±0,17

Сравнение показателей подкисления зерна со средним значением pH по опыту подтвердило указанную тенденцию. При всех способах уплотнения лучшее подкисление (значения ниже 1) обеспечивалось лишь при использовании порошкообразной серы, тогда как действие других препаратов на этот показатель было слабым (см. рисунок 1А).

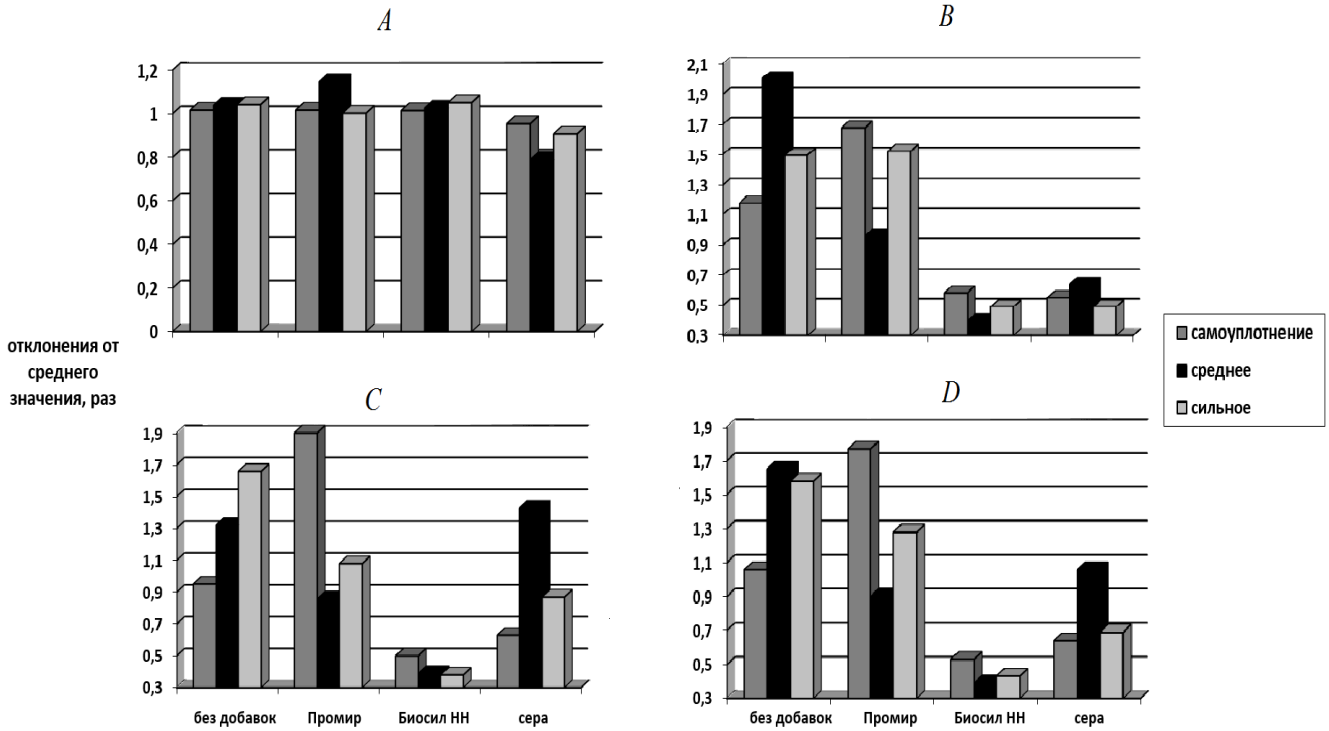


Рис. 1 – Влияние степени уплотнения на общее кислотообразование (*D*), размер синтеза молочной (*C*) и уксусной (*B*) кислот и подкисление зерна (*A*) при использовании разных консервирующих добавок

При усилении степени уплотнения зерна общее кислотообразование повышалось как при спонтанном брожении и использовании порошкообразной серы (см. таблицу 1), так и в среднем по всем вариантам опыта (см. рисунок 1D). При самоуплотнении наибольшее положительное отклонение от среднего значения (в 1,8 раза), отрицательное – с Биосилим НН (примерно в 2 раза). При среднем уплотнении выше средних значений содержание органических кислот было у зерна без добавок и с порошкообразной серой, при сильном – у зерна без добавок и с химическим консервантом «Промир».

Молочная кислота является наиболее желательным продуктом брожения при заквашивании кормов, так как от остальных кислот брожения отличается самой высокой подкисляющей способностью и её образование сопровождается наименьшими потерями питательной ценности исходного материала. При использовании химического консерванта «Промир» и молочнокислой закваски Биосил НН самое высокое содержание молочной кислоты в зерне отмечалось тогда, когда оно закладывалось на хранение без принудительного уплотнения, порошкообразной серы – при среднем и без добавок – при сильном уплотнении (см. таблицу 1). При этом кроме биопрепарата остальные виды добавок и самоконсервирование позволяли довести её содержание до значений, превышающих средние показатели по опыту (см. рисунок 1С).

Второй по значению в правильно законсервированном корме является уксусная кислота. Уксусная кислота образуется либо молочнокислыми бактериями из пентоз при гомоферментативном брожении, либо уксуснокислыми бактериями в аэробных условиях. Второй путь при консервировании зерна также вполне реален, учитывая долгое сохранение аэробных условий в межзерновом пространстве. Если при силосовании трав в силосохранилище в результате быстрого уплотнения растительной массы анаэробные условия возникают в течении нескольких часов после закладки, то при хранении влажного зерна они создаются только через 2-3 суток [10].

Наиболее высокое содержание этой кислоты, как правило, превосходящее средние значения по вариантам уплотнения (значения выше 1), отмечено в зерне с химическим консервантом «Промир» и в самоконсервированном при сильном уплотнении и при его отсутствии (см. рисунок 1В).

Консервирование зерна порошкообразной серой и использование для этих целей биопрепарата Биосил НН при закладке на хранение приводило к снижению содержания в нём уксусной кислоты ниже средних значений по опыту практически при всех способах уплотнения.

Обсуждение

Изменение степени уплотнения зерна по-разному сказывалось на ход брожения консервируемого сырого плющенного зерна с влажностью около 25 % при использовании различных химических и биологического препарата. Общее кислотообразование наиболее интенсивно происходило в самоконсервируемом зерне и его размеры возрастали при усилении степени уплотнения. При этом при самоуплотнении и средней интенсивности трамбовки в общем количестве кислот брожения преобладала уксусная кислота, при сильной – молочная. Такие изменения состава кислот, вероятно, можно объяснить уменьшением количества кислорода в межзерновом пространстве при усилении степени уплотнения и более быстром создании анаэробных условий, что активизирует молочнокислое брожение.

Уксуснокислые бактерии, как облигатные аэробы, способны развиваться только в присутствии кислорода воздуха. Меньшее образование уксусной кислоты в зерне при отсутствии трамбовки, вероятно, связано с конкуренцией этого вида бактерий за сахар с другой аэробной силосной микрофлорой, например, гнилостными бактериями.

При консервировании зерна препаратом «Промир» изменения содержания и соотношения кислот брожения было противоположным результатам консервирования зерна без добавок. При усилении степени уплотнения количество органических кислот в составе зерна по окончании срока хранения уменьшалось. Возможно, такой характер брожения объясняется тем, что в неуплотнённом зерне летучие жирные кислоты из состава препарата равномернее распределялись в массе зерна, что приводило к ингибированию, в первую очередь, порочных типов брожения, в т.ч. отчасти и уксуснокислого. Наибольшую ингибирующую способность препарат проявлял при средней степени уплотнения, при которой резко падало количество обнаруженных в зерне органических кислот. Дальнейшее усиление трамбовки уменьшало подавляющую способность химического консерванта, что приводило к увеличению образования органических кислот. При использовании консерванта «Промир» в зерне в среднем содержалось примерно столько же органических кислот, как и при спонтанном брожении зерна без добавок. Это может быть связано как при увеличении их количества за счёт состава самого консерванта, так и из-за активизации процессов брожения при его использовании.

Самое заторможенное течение процесса брожения наблюдалось при консервировании зерна с биопрепаратом Биосил НН. Усиление степени уплотнения зерна вначале снижало кислотообразование, а затем возвращало его к значениям самоуплотнения при некотором улучшении качества брожения – увеличении доли молочной кислоты в их общем количестве. Торможение процессов брожения могло быть обусловлено увеличением численности молочнокислых бактерий за счёт внесения закваски и усилением конкуренции с эпифитной микрофлорой за легкогидролизуемые сахара. Вместе с тем отсутствие осмотолерантных видов молочнокислых бактерий в составе закваски, медленное создание анаэробиоза и низкое содержание сахара в зерне не позволили направить молочнокислое брожение по гомоферментативному пути и добиться доминирования молочной кислоты в составе продуктов брожения. Из-за низкого содержания кислот брожения подкисление зерна во всех вариантах уплотнения было слабым.

Наиболее благоприятные условия для улучшения качества брожения сырого фуражного зерна при использовании порошкообразной серы сложились при средней степени его уплотнения при закладке на хранение. В этом случае образовалось самое большое по сравнению с использованием других добавок общее количество кислот брожения, в т.ч. молочной кислоты и обеспечена самая высокая доля этой кислоты в составе кислот брожения (около 2/3). Возможным объяснением этому может служить создание благоприятных условий для трансформации серы в различные соединения с консервирующими свойствами. В частности, такие соединения явились хорошими подкислителями, на что указывает усиление степени подкисления зерна с серой в сравнении с остальными вариантами его консервирования.

Заключение

Наиболее выраженным стимулирующим воздействием на подкисление зерна при средней степени уплотнения обладала порошкообразная сера. При её использовании существенно улучшалось качество брожения за счёт увеличения синтеза молочной кислоты и существенном преобладании её над остальными кислотами брожения. Комплексное влияние ингибирующих и подкисляющих свойств препарата и повышенного образования молочной кислоты при отсутствии масляной оказали наибольшее положительное влияние на успех консервирования сырого плющеного зерна.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Перекопский А. Н. Ресурсосберегающая технология производства фуражного зерна плющением и консервированием / А. Н. Перекопский // Экология и сельскохозяйственная техника: материалы 3-й научно-практической конференции СЗНИИМЭСХ. Санкт Петербург, 2002. Т. 2. С. 150–156.

2. Победнов Ю. А. Силосование люцерны с препаратами молочнокислых бактерий. / Ю. А. Победнов А. А. Мамаев, М. С. Иванова и др. // Животноводство и кормопроизводство. 2018. Том 101. № 1. С. 213-220.

3. Рамане, И. А. Консервирование влажного зерна / И. А. Рамане // Кормопроизводство. – 1983. – № 8.

4. Рамане, И. А. Консервирование сырого зерна в герметичной среде / И. А. Рамане // Технология заготовки кормов и кормление сельскохозяйственных животных. – Рига, 1974. – С. 41-44.

5. Кашеваров, Н. И. Научное обеспечение производства зернофуража в Сибири / Н. И. Кашеваров, В. Ф. Резников // Зернофураж в России. – М. - Киров: ОАО «Дом печати – Вятка», 2009. – С. 154-160.

6. Виноградов, В. Н. Использование зернофуража в кормлении молочного скота / В. Н. Виноградов, М. П. Кириллов, В. М. Дуборезов // Зернофураж в России. – М. - Киров: ОАО «Дом печати – Вятка», 2009. – С. 342-350.

7. Для заготовки влажного плющеного зерна злаковых и зернобобовых культур, кукурузы и корнажа // [Электронный ресурс]. – URL: http://lallemand.su/index.php?Itemid=25&id=16&option=com_content&task=view (дата обращения 06.01.2014)

8. Нефѐдов, Г. Г. Плющеное зерно – дёшево и качественно [Электронный ресурс]. – URL: http://www.dairynews.ru/dairyfarm/plyushchenoe-zerno-dyeshevo-i-kachestvenno.html (дата обращения 05.01.2014)

9. Проведение опытов по консервированию и хранению объемистых кормов: методические рекомендации / В.А. Бондарев, В.М. Косолапов, Ю.А. Победнов [и др.]. М.: ФГУ РЦСК, 2008. 67 с.

10. Эффективное консервирование плющеного зерна / Г. Ю. Лаптев, Н. И. Новикова, Е. А. Йылдырым и др. // Сельскохозяйственные вести. – 2017. – №3. – С. 38-39.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Perekopskiy A. N. Resursosberegayushchaya tekhnologiya proizvodstva furazhnogo zerna plyushcheniyem i konservirovaniyem [Resource-saving technology for the production of feed grain by flattening and canning] / A. N. Perekopskiy

// Ekologiya i sel'skokho-zyaystvennaya tekhnika [Ecology and agricultural technology]: materialy 3-y nauchno-prakticheskoy konferentsii SZNIIMESKH Saint Petersburg [materials of the 3rd scientific-practical conference SZNIIMESH. Saint Petersburg] 2002. – Vol. 2. – P. 150–156. [in Russian]

2. Pobednov YU.A. Silosova-niye lyutserny s preparatami molochnokislykh bakteriy [Silage of alfalfa with lactic acid bacteria preparations]. / YU. A. Pobednov, A. A. Mamayev, M. S. Ivanova et al. // Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo [Livestock and fodder production]. – 2018. – Vol. 101. – No. 1. – P. 213-220. [in Russian]

3. Ramane I. A. Konservirovaniye vlazhnogo zerna [Canning wet grain] / I. A. Ramane // Kormoproizvodstvo [Feed production]. – 1983. - No. 8. [in Russian]

4. Ramane I. A. Konservirovaniye syrogo zerna v germetichnoy srede [Preserving raw grain in an airtight environment] / I. A Ramane //Tekhnologiya zagotovki kormov i kormleniye sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh [Technology of feed preparation and feeding of agricultural animals]. – Riga, 1974. – P. 41-44 [in Russian]

5. Kashevarov N. I. Nauchnoye obespecheniye proizvodstva zernofurazha v Sibiri [Scientific support of grain fodder production in Siberia] / N. I. Kashevarov, V. F. Reznikov // Zernofurazh v Rossii [Grain fodder in Russia]. – M. - Kirov: OAO «Dom pechati – Vyatka» [M. - Kirov: JSC "House of the press - Vyatka] 2009. – P. 154-160. [in Russian]

6. Vinogradov V. N. Ispol'zovaniye zernofurazha v kormlenii molochnogo skota [The use of grain fodder in feeding dairy cattle] / V. N. Vinogradov, M. P. Kirillov, V. M. Duborezov // Zernofurazh v Rossii. [Grain forage in Russia]. – M. - Kirov: OAO «Dom pechati – Vyatka» [M. - Kirov: JSC "House of the press - Vyatka"] 2009. – P. 342-350. [in Russian]

7. Dlya zagotovki vlazhnogo plyushchenogo zerna zlakovykh i zernobobovykh kul'tur, kukuruzy i kornazha [For harvesting wet crimped grain of cereals and leguminous crops, corn and cornage] [Electronic resource]. - URL: http://lallemand.su/index.php?Itemid=25&id=16&option=com_content&task=view (accessed 01.06.2014) [in Russian]

8. Nefèdov, G. G. Plyushchenoye zerno – doshevo i kachestvenno [Stuffed grain - cheap and high quality] [Electronic resource]. - URL: http://www.dairynews.ru/ dairyfarm / plyushchenoe-zerno-dyeshevo-i-kachestvenno.html (accessed 01.05.2014) [in Russian]

9. Provedeniye opytov po konservirovaniyu i khraneniyu ob"yemistykh kormov: metodicheskiye rekomendatsii [Conducting experiments on canning and storing bulky feed: guidelines] / V.A. Bondarev, V.M. Kosolapov, Yu.A. Pobednov et al. – Moscow: FGU RCSK, 2008. – 67 p. [in Russian]

10. Effektivnoye konservirovaniye plyushchenogo zerna [Effective preservation of crimped grain] / G. Yu. Laptev, N. I. Novikova, E. A. Yildirim et al. // Sel'skokhozyaystvennyye vesti [Agricultural news]. – 2017. – No. 3. – P. 38-39 [in Russian].

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.110.8.019

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОТРАСЛИ РАСТЕНИЕВОДСТВА В ЗАБАЙКАЛЬСКОМ КРАЕ

Научная статья

Ким Л.В.[1], Назарова А.А.[2, *]
[2] ORCID: 0000-0002-6354-4457;
[1, 2] Тихоокеанский государственный университет (ТОГУ), Хабаровск, Россия

* Корреспондирующий автор (010851[at]pnu.edu.ru)

Аннотация

В статье рассмотрено современное состояние отрасли растениеводства Забайкальского края. Отдельно проанализировано использование такого невосполнимого ресурса и главного средства производства в сельском хозяйстве, как земля, в частности сельскохозяйственного назначения. Выявлено, что земли сельскохозяйственного назначения составляют 18,5% земельного фонда Забайкальского края. Рассмотрено производство основных сельскохозяйственных культур в разрезе категорий хозяйств. 68% сельскохозяйственной продукции производится в сельскохозяйственных предприятиях края. На основе ретроспективного анализа и действующих программ развития сельскохозяйственного производства и сельских территорий произведено прогнозирование развития отрасли растениеводства в крае. Сделаны выводы о перспективах развития отрасли в современных экономических условиях.

Ключевые слова: растениеводство, сельское хозяйство, картофель, овощи, зерновые культуры, валовой сельскохозяйственный продукт, урожайность, посевная площадь, земельных фонд.

THE CURRENT STATE AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF THE CROP PRODUCTION INDUSTRY IN ZABAYKALSKY KRAI

Research article

Kim L.V.[1], Nazarova A.A.[2, *]
[2] ORCID: 0000-0002-6354-4457;
[1, 2] Pacific National University, Khabarovsk, Russia

* Corresponding author (010851[at]pnu.edu.ru)

Abstract

The article examines the current state of the crop production industry of Zabaykalsky Krai. The current study conducts an analysis of using land an irreplaceable resource and the main means of production in agriculture, particularly for agricultural purposes. The study determines that agricultural land accounts for 18.5% of the land fund of the territory under study. The authors examine the production of the main agricultural crops in the context of farm categories. 68% of agricultural products are produced in the agricultural enterprises of the region. Also, the article includes a forecast of the development of the crop production industry in the region on the basis of a retrospective analysis and existing programs for the development of agricultural production and rural areas. Conclusions are drawn about the prospects for the development of the industry in the current economic context.

Keywords: crop production, agriculture, potatoes, vegetables, cereals, gross agricultural product, yield, sown area, land fund.

Введение

По данным Росеестра земельный фонд Забайкальского края на 01.01. 2021 года составил 43 189,2 тыс. га [4]. Основную часть территории Забайкальского края занимают земли лесного фонда – 73,9% и земли сельскохозяйственного назначения – 18,5%. Оставшаяся часть земель занята такими категориями как:

- земли промышленности, энергетики, транспорта, и иного несельскохозяйственного назначения – 3,1%;
- земли запаса – 2,7;
- земли особо охраняемых территорий и объектов – 0,9;
- земли населенных пунктов – 0,5;
- земли водного фонда – 0,3%.

Земли сельскохозяйственного назначения составляют 7978,5 тыс. га. В 2021 г. площадь сократилась на 900 га в сравнении с 2020 г. по причине перевода земель в другую категорию (земли промышленности).

В долгосрочном периоде прослеживается тенденция к увеличению площади земель сельскохозяйственного назначения: если в 2000 г. площадь составляла 6882,4 тыс. га., то в 2021 г. – 7979,4, т.е. прирост составил почти 16%. При этом за рассматриваемый период площадь пашни сократилась на 11,2%. Рассматривая динамику площадей кормовых угодий (сенокосов и пастбищ) можно сделать вывод об устойчивой положительной тенденции [6]. Рост площадей к 2021 г. в сравнении с 2000 г. составил 150% или 2076 тыс. га. Данное распределение земель сельскохозяйственного назначения по угодьям свидетельствует о животноводческом уклоне сельскохозяйственного производства.

Площадь несельскохозяйственных угодий в структуре земель сельскохозяйственного назначения в 2021 г. составила 1645,7 тыс. га и по сравнению с 2000 годом увеличилась на 9,2%.

По состоянию на 01.01.2021 г. в Забайкальском крае имеется 1666 крестьянских (фермерских) хозяйств, занимающих 1881 земельный участок общей площадью 260,5 тыс. га [4]. По сравнению с 2000 годом произошло уменьшение площади земель крестьянских (фермерских) хозяйств на 32,9 тыс. га, и количество уменьшилось на 207 хозяйств.

Количество личных подсобных хозяйств в Забайкальском крае составило 164 686 единиц, в сравнении с 2000 годом количество хозяйств значительно увеличилось (на 52264 единицы). Площадь личных подсобных хозяйств в крае составила 337,2 тыс. га.

Растениеводство в Забайкальском крае ведется в сложных природно-климатических условиях, которые характеризуются недостаточной теплообеспеченностью, острозасушливым весенним и раннелетним периодом, малоснежной и суровой зимой, большими амплитудами колебания температур, разнообразием и специфичностью почв, повсеместным проявлением их ветровой и водной эрозии. Все эти факторы ограничивают ассортимент возделываемых в Забайкальском крае культур [8]. Вся посевная площадь сельскохозяйственных культур Забайкальского края в 2020 г. в хозяйствах всех категорий составляла 188,3 тыс. га, что составляет 12,2% от уровня 1990 г. В сравнении с 2019 г. наблюдается рост на 5,1%. Более половины посевных площадей – 68,1% принадлежат сельскохозяйственным предприятиям, 23,1 – фермерским хозяйствам и 8,8% – хозяйствам населения.

Зерновые и зернобобовые культуры всегда занимали в структуре посевных площадей края более 50%. Посевные площади зерновых и зернобобовых культур в хозяйствах всех категорий снизились за период с 1990 г по 2020 г. на 88%, а в сравнении с 1995 г. – на 78,7%. Наибольшее количество посевных площадей сосредоточено в сельскохозяйственных предприятиях. В 1995 году на их долю приходилось 510,55 тыс. га посевов, что на 431,8 тыс. га или 84,6% больше, чем в 2020 году. В хозяйствах фермеров за этот же период площадь увеличилась на 55,2%. В хозяйствах населения зерновые и зернобобовые культуры начали выращивать только с 2005 г., и к 2020 г. их площадь увеличилась на 86,9%.

Валовые сборы зерновых и зернобобовых культур в сельскохозяйственных предприятиях Забайкальского края в 2020 году сократились на 79,3% в сравнении с 1995 годом.

Валовые сборы зерновых культур в хозяйствах всех категорий сократились с 3896,4 тыс. ц. в 1995 г. до 1105,9 тыс. ц. в 2020 г., при этом в крестьянских (фермерских) хозяйствах валовые сборы возросли на 68,0% [11].

Посевная площадь картофеля с 2000 по 2020 год во всех категориях хозяйств уменьшилась на 31,1%. За этот же период в сельхозпредприятиях посевная площадь картофеля сократилась на 50%, в хозяйствах населения – на 30,8%. В крестьянских (фермерских) хозяйствах посевная площадь картофеля не изменилась. Большая часть посевных площадей картофеля сосредоточена в хозяйствах населения, что является типичной тенденцией для российского картофелеводства [2].

Посевные площади овощей с 2000 по 2020 год также сократились: в хозяйствах всех категорий – на 62,2%, в сельхозпредприятиях – на 87,5%, в личных подсобных хозяйствах – на 57,1%, в крестьянских (фермерских) хозяйствах за этот период показатель не изменился.

Валовой сбор картофеля и овощей за период с 2000 по 2020 год уменьшился соответственно на 33,3% и 40,7%. В сельхозпредприятиях валовой сбор картофеля уменьшился на 32,4%, овощей на 69,2%. В крестьянских (фермерских) хозяйствах сбор картофеля увеличился на 26,8%, овощей на 76,1%. В хозяйствах населения сбор картофеля сократился на 34,3%, овощей на 46,1%.

Продуктивность культур играет одну из первых ролей в производстве продукции сельского хозяйства. Урожайность сельскохозяйственных культур во всех категориях хозяйств Забайкальского края невысокая, что напрямую зависит от природно-климатических условий, внесения минеральных и органических удобрений, приемов агротехники возделывания [6], [8]. Урожайность картофеля и овощей повысилась в основном за счет крестьянских хозяйств, где агротехнические приемы возделывания приближены к нормативным [5], [7].

В 2018 году Забайкальский край был присоединён к Дальневосточному федеральному округу. С 1 августа 2019 года в регионе начала действовать программа «Дальневосточный гектар». За два года в Забайкальском крае, где под программу было выделено 46% территории, землю получили более 3,7 тыс. человек. Около 76% участков используются под ИЖС, остальные – задействованы для ведения сельского хозяйства. На сайте «надальний восток.рф» представлены готовые бизнес-проекты, в том числе связанные с сельскохозяйственным производством. Данная тенденция может привести к ряду положительных последствий:

- введение в оборот неиспользуемых сельскохозяйственных земель;
- повышение плодородия почв;
- рост занятости населения;
- рост благосостояния населения и региона;
- повышение степени экономической свободы граждан.

В Забайкальском крае действует более 20 мер поддержки начинающих предпринимателе и пользователе «дальневосточных гектаров».

На данный момент Правительством РФ одобрен законопроект, позволяющий предпринимателям получать дополнительный гектар к уже имеющемуся, ожидается утверждение Законодательной Думой. Данный факт свидетельствует о явной эффективности данной государственной программы и ее перспективности.

С целью выявления слабых мест и разработки плана рационального использования земель сельскохозяйственного назначения был разработан прогноз развития растениеводства до 2030 г., на основе выявленных тенденций, анализа действующих программ развития [12] и поддержки сельскохозяйственных производителей в Российской Федерации и Забайкалье.

По прогнозным данным ожидается рост посевных площадей зерновых и зернобобовых культур в Забайкальском крае на 25,7% к 2030 году в хозяйствах всех категорий. Размещение производства зерновых и зернобобовых культур изменению не подвергнется, 64% посевных площадей по-прежнему будет сосредоточено в сельскохозяйственных предприятиях края.

В целях прогнозирования принято, что урожайность в сельскохозяйственных предприятиях стабилизируется к 2030 году на уровне 16 ц/га (при 13,5 ц/га в 2020 г.), в крестьянских (фермерских) хозяйствах – 18,4 ц/га (при 13,8 ц/га в 2020 г.). Производство зерновых и зернобобовых культур к 2030 г. может достичь уровня 3 784 тыс. тонн в хозяйствах всех категорий, 2 802 тыс. тонн в сельскохозяйственных организациях и 983 тыс. тонн в ЛПХ.

Производством картофеля и овощей в Забайкальском крае в основном занимаются фермерские хозяйства и хозяйства населения, в прогнозируемом периоде эта тенденция сохранится. Посевные площади картофеля в прогнозируемом периоде возрастут к 2030 году на 19% в хозяйствах всех категорий и составят 19,4 тыс. га. В сельскохозяйственных предприятиях прирост к 2030 году составит 30%, в фермерских хозяйствах – 66,6%, а в хозяйствах населения – 15,1%. Резервы для такого значительного увеличения площадей имеются, в частности благодаря программе «Дальневосточный гектар».

Урожайность картофеля в хозяйствах всех категорий составит 138 ц/га. Исходя из расчетов, валовое производство картофеля к 2030 году увеличится на 47,6% и составит 2684,4 тыс. тонн. в хозяйствах всех категорий.

Посевные площади овощей к 2030 году во всех категориях хозяйств возрастут на 22,2% и составят 1,8 тыс. га. В сельскохозяйственных организациях прогнозируется рост к 2030 г на 28,6%. В крестьянских (фермерских) хозяйствах посевы овощей возрастут к 2030 году на 33,3%. и составят 0,15 тыс. га. В хозяйствах населения посевные площади овощей к 2030 г. увеличатся на 14,3%. Валовые сборы овощей в хозяйствах всех категорий возрастут к 2030 году на 27,6% и составят 339,7 тыс. тонн.

Заключение

Текущее состояние растениеводства в Забайкальском крае довольно сложное, использование такого ограниченного ресурса, как земли сельскохозяйственного назначения не соответствует принципам рациональности, земли не рекультивируются и не восстанавливаются. Однако нововведения на законодательном уровне, введение в действие мер поддержки сельскохозяйственных товаропроизводителей, поддержка малых форм хозяйствования и выделение земель гражданам могут положительно сказаться на развитии отрасли.

Расчет прогнозных показателей отрасли растениеводства довольно оптимистичен, но в современных реалиях вполне достижим. При прогнозируемых уровнях производства край сможет самостоятельно обеспечить своих граждан картофелем и овощами в соответствии с новыми нормами потребления.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Аграрный сектор Дальнего Востока: проблемы и перспективы развития / общая редакция А. С Шелепа . – Хабаровск ; 2013 – 211 с.

2. Асеева Т. А. Сельское хозяйство Дальнего Востока: условия, проблемы и потенциал развития / Т. А. Асеева, Е. П. Киселев, Г. И. Сухомиров / под ред. Н. Е. Антоновой; Рос. акад. наук, Дальневост. отд-ние, Ин-т экон. исследований, Дальневосточный НИИ сельского хозяйства. – Хабаровск: «Издательство ТОГУ».– 2020. – 165 с.

3. Асеева Т. А. Современное состояние и перспективы развития отрасли растениеводства в южных территориях Дальнего Востока / Т. А. Асеева, А. А. Назарова // материалы секционных заседаний 55-й студенческой научно-технической конференции ТОГУ. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2015. – С. 265–271.

4. Доклад о состоянии и использовании земель в Забайкальском крае в 2020 году [Электронный ресурс]. – URL: https://rosreestr.gov.ru/site/ (дата обращения : 15.07.2021).

5. Ким Л. В. Научное обоснование решения продовольственных проблем в Дальневосточном федеральном округе: учебное пособие / Л. В. Ким //. – Хабаровск. – Издательство ТОГУ ; 2016. – 108 с.

6. Ким Л. В. Перспективы использования земель сельскохозяйственного назначения Забайкальского края / Л. В. Ким, А. Ю. Кондратьева // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного и дорожно-транспортного комплекса: материалы национальной научно-практической конференции. – Вып.20 . – Хабаровск – 2020. – С. 334-339.

7. Ким Л. В. Проблемы и перспективы отрасли растениеводства в Дальневосточном федеральном округе / Л. В. Ким, А. В. Вдовенко, А. А. Назарова // Дальневосточный аграрный вестник. – Вып.3(51). – Благовещенск – 2019. – С. 19–27.

8. Ким Л.В. Состояние производства продукции сельского хозяйства Забайкальского края в современных экономических условиях / Л. В. Ким // Материалы 60-й студенческой научно-технической конференции инженерно-строительного института ТОГУ. – Хабаровск.– 2020. – С. 148-145.

9. Киселев Е. П. Базовые основы формирования продовольственной безопасности Дальневосточного федерального округа / Е. П. Киселев, А. В. Вдовенко, Л. В. Ким и др. // Дальневосточный аграрный вестник. – Вып.1(45) . – Благовещенск – 2018.– С. 110-117.

10. Нормы потреблении продуктов питания в Российской федерации [Электронный ресурс]. – URL: https://www.rosminzdrav.ru/news/2016/08/26/3128-prikazom-minzdrava-rossii-utverzhdeny-rekomendatsii-po-ratsionalnym-normam-potrebleniya-pischevyh-produktov (дата обращения : 18.07.2021).

11. Официальный сайт Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Забайкальскому краю [Электронный ресурс]. – URL: https://chita.gks.ru/ (дата обращения : 18.07.2021)

12. Развитие сельского хозяйства и регулирование рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия от 25 апреля 2014 года № 237. Государственная программа [Электронный ресурс]. – URL: https://docs.cntd.ru/document/412700517 (дата обращения : 11.07.2021)

13. Agricultural sector of the Khabarovsk territory: status, problems and development prospects / Kim L. V., Nazarova A. A., Vdovenko V. A. // в сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2020. P. 12 – 16.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Agrarnyi sector Dalnego Vostoka : problema i perspectivy razvitiya [Agricultural sector of the Far East : problems and prospects of development] / obshaya redaczia [general edition] A. S. Shelepa . – Khabarovsk .; 2013 . – 211 p. [in Russian]

2. Aseeva T. A. Sel'skoe hozjajstvo Dal'nego Vostoka: uslovija, problemy i potencial razvitija [Agriculture of the Far East: conditions, problems and development potential] / T. A. Aseeva, E. P. Kiselev, G. I. Suhomirov / edited by N. E. Antonovoj; Russia academy of science, Far Eastern department, Econ. Research Inst., Far Eastern SRI of agriculture. – Khabarovsk:, Publishing PNU.– 2020. – 165 p. [in Russian]

3. Aseeva T. A. Sovremennoe sostojanie i perspektivy razvitija otrasli rastenievodstva v juzhnyh territorijah Dal'nego Vostoka [The current state and prospects for the development of the crop production industry in the southern territories of the Far East] / T. A. Aseeva, A. A. Nazarova // materialy sekcionnyh zasedanij 55-j studencheskoj nauchno-tehnicheskoj konferencii TOGU [materials of the breakout sessions of the 55th Student Scientific and Technical Conference of PNU] – Khabarovsk: Publishing PNU, 2015. – P. 265-271. [in Russian]

4. Doklad o sostojanii i ispol'zovanii zemel' v Zabajkal'skom krae v 2020 godu [Report on the state and use of land in the Trans-Baikal Territory in 2020] [Electronic resource]. – URL: https://rosreestr.gov.ru/site/ (accessed: 15.07.2021) [in Russian]

5. Kim L. V. Nauchnoe obosnovanie reshenija prodovol'stvennyh problem v Dal'nevostochnom federal'nom okruge: uchebnoe posobie [Scientific justification of the solution of food problems in the Far Eastern Federal District: a textbook] / L. V. Kim //. – Habarovsk. – Publishing PNU; 2016. – 108 p. [in Russian]

6. Kim L. V. Perspektivy ispol'zovanija zemel' sel'skohozjajstvennogo naznachenija Zabajkal'skogo kraja [Prospects for the use of agricultural lands of the Trans-Baikal Territory] / L. V. Kim, A. Ju. Kondrat'eva // Dal'nij Vostok: problemy razvitija arhitekturno-stroitel'nogo i dorozhno-transportnogo kompleksa: materialy nacional'noj nauchno-prakticheskoj konferencii [Far East: problems of development of architectural, construction and road transport complex: materials of the national scientific and practical conference]. – Issue 20. – Khabarovsk – 2020. — P. 334-339 [in Russian]

7. Kim L. V. Problemy i perspektivy otrasli rastenievodstva v Dal'nevo-stochnom federal'nom okruge [Problems and prospects of the crop production industry in the Far Eastern Federal District] / L. V. Kim, A. V. Vdovenko, A. A. Nazarova // Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik[Far Eastern Agrarian Bulletin]. – Vyp.3(51) . – Blagoveshhensk – 2019. – P. 19–27 [in Russian]

8. Kim L.V. Sostojanie proizvodstva produkcii sel'skogo hozjajstva Zabajkal'skogo kraja v sovremennyh jekonomicheskih uslovijah [The state of production of agricultural products of the Trans-Baikal Territory in modern economic conditions] / L. V. Kim // Materialy 60-j studencheskoj nauchno-tehnicheskoj konferencii inzhenerno-stroitel'nogo instituta TOGU [materials of the breakout sessions of the 60th Student Scientific and Technical Conference of PNU]. – Kyabarovsk – 2020. – P. 148-145. [in Russian]

9. Kiselev E. P. Bazovye osnovy formirovanija prodovol'stvennoj bezopasnosti Dal'nevostochnogo federal'nogo okruga [The basic foundations of the formation of food security in the Far Eastern Federal District] / E. P. Kiselev, A. V. Vdovenko, L. V. Kim, A. A. Nazarova // Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik [Far Eastern Agrarian Bulletin]. – Issue 1(45) . – Blagoveshhensk – 2018.– P. 110-117. [in Russian]

10. Normy potreblenii produktov pitanija v Rossijskoj federacii [Norms of food consumption in the Russian Federation] [Electronic resource]. – URL: https://www.rosminzdrav.ru/news/2016/08/26/3128-prikazom-minzdrava-rossii-utverzhdeny-rekomendatsii-po-ratsionalnym-normam-potrebleniya-pischevyh-produktov (accessed: 18.07.2021) [in Russian]

11. Oficial'nyj sajt Territorial'nogo organa Federal'noj sluzhby gosu-darstvennoj statistiki po Zabajkal'skomu kraju [The official website of the Territorial Body of the Federal State Statistics Service for the Trans-Baikal Territory] [Electronic resource]. – URL: https://chita.gks.ru/ (accessed: 18.07.2021) [in Russian]

12. Razvitie sel'skogo hozjajstva i regulirovanie rynkov sel'skohozjaj-stvennoj produkcii, syr'ja i prodovol'stvija ot 25 aprelja 2014 goda № 237. Gosudarstvennaja programma [Development of agriculture and regulation of markets of agricultural products, raw materials and food dated April 25, 2014 No. 237. State program [Electronic resource]. – URL: https://docs.cntd.ru/document/412700517 (accessed: 11.07.2021) [in Russian]

13. Agricultural sector of the Khabarovsk territory: status, problems and development prospects / Kim L. V., Nazarova A. A., Vdovenko V. A. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2020. P. 12 – 16.

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.110.8.020

ОСНОВНЫЕ РЫБОВОДНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОСЕТРОВЫХ РЫБ ПРИ СКАРМЛИВАНИИ КОРМОВ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ЖИРА

Научная статья

Осепчук Д.В.[1], Юрин Д.А.[2], Юрина Н.А.[3, *], Максим Е.А.[4], Данилова А.А.[5]

[1] ORCID: 0000-0003-4327-205X;
[2] ORCID: 0000-0003-1517-4858;
[3] ORCID: 0000-0003-2684-5020;
[4] ORCID: 0000-0003-1578-0145;
[5] ORCID: 0000-0001-9113-3850;
[1, 2, 3, 4, 5] Краснодарский научный центр по зоотехнии и ветеринарии, Краснодар, Россия

* Корреспондирующий автор (naden8277[at]mail.ru)

Аннотация

В ходе проведения эксперимента изучены основные рыбоводные показатели осетровых рыб, проведен морфометрический анализ, оценка развития внутренних органов, рассчитаны их индексы, выявлена связь между клиническим состоянием рыб. При скармливании кормов с высоким содержанием жира повышается конечная масса осетровых рыб на 10,0-23,9 %, коэффициент упитанности – на 12,6-31,6 %, снижаются затраты кормов на единицу продукции на 14,4-28,7 % молоди русско-ленского осетра, наблюдается повышение индексов массы печени на 13,9-17,8 %, селезенки - на 13,0 %, снижение индексов массы кишечника на 15,4-17,1 %. Увеличение процента скармливания форелевого корма вызывает ухудшения физиологического и поведенческого состояния рыбы.

Ключевые слова: осетровые, форелевый корм, содержание жира в корме, масса, прирост, развитие внутренних органов, клинические показатели.

THE MAIN FISH-FARMING INDICATORS OF STURGEON DURING HIGH-FAT CONTENT FEEDING

Research article

Osepchuk D.V.[1], Yurin D.A.[2], Yurina N.A.[3, *], Maksim E.A.[4], Danilova A.A.[5]

[1] ORCID: 0000-0003-4327-205X;
[2] ORCID: 0000-0003-1517-4858;
[3] ORCID: 0000-0003-2684-5020;
[4] ORCID: 0000-0003-1578-0145;
[5] ORCID: 0000-0001-9113-3850;
[1, 2, 3, 4, 5] Krasnodar Scientific Center for Animal Husbandry and Veterinary Medicine, Krasnodar, Russia

* Corresponding author (naden8277[at]mail.ru)

Abstract

The current article features a study of the main fish-farming indicators of sturgeon, morphometric analysis, assessment of the development of internal organs, calculation of their indices, and the relationship between the clinical condition of fish. When feeding with high-fat content, the final weight of sturgeon increases by 10.0-23.9%, the fatness coefficient increases by 12.6-31.6 %, feed costs per unit of production decrease by 14.4-28.7 % of young Russko-Lensky sturgeon breed, there is an increase in liver mass indices by 13.9-17.8 %, spleen indices are increased by 13.0 %, and a decrease in intestinal mass indices by 15.4-17.1 %. It is noted that an increase in the percentage of feeding trout causes deterioration of the physiological and behavioral state of the fish.

Keywords: sturgeon, trout feed, fat content in the feed, weight, growth, development of internal organs, clinical indicators.

Введение

Чтобы отрасль рыбоводства стабильно развивалась, необходимо неразрывный симбиоз науки и практики [6, С. 84-85], [8].

Перевод аквакультуры на интенсивную основу подразумевает использование полнорационных комбикормов, что в свою очередь не может не отражаться на обмене веществ рыбы, ускоряя его, а также на ее рост и продуктивность. Однако необходимо четко понимать физиологию рыбы и полноценно нормировать рационы, тщательно подбирая кормовые ингредиенты [1, С. 14], [2], [3, С. 94-95], [9, С. 178].

Множество заболеваний рыбы связано с неправильным подбором кормов или с несбалансированным питанием [5, С. 85-86], [10, С. 59-59].

В осетроводстве часто встречаются заболевания печени, проявляющиеся ее жировыми перерождениями и гепатозами [5, С. 85-86], [10, С. 59-59].

Цель исследований: определить основные рыбоводные показатели при скармливании кормов с повышенным содержанием жира.

Для выполнения поставленной цели выполнены следующие задачи:

1) изучены основные рыбоводные показатели осетровых рыб;
2) проведен морфометрический анализ рыбы;
3) изучено клиническое состояние особей осетровых.

Методы и принципы исследования.

Опыт проводили на сеголетках русско-ленского осетра по схеме:

– 1 группе молоди задавали полнорационный комбикорм осетровый (Осетровый ПК) размером гранул 3 мм, производства Aller Trident EX с содержанием белка 47,0 %, жира – 14,0 %, обменной энергии (ОЭ) – 21,1 МДж.

- 2 группа рыбы получала Осетровый ПК + 30% форелевого ПК Aller Silver (содержание белка при таком сочетании в 100 г составило: 46,4 %, жира – 15,8 %, обменной энергии – 21,5 МДж);

– 3 группа - Осетровый ПК + 50% форелевого ПК (белок – 46,0 %, жир – 17,0 %, ОЭ – 21,7 МДж);

– 4 группа получала Форелевый ПК (белок – 45,0 %, жир – 20,0 %, ОЭ –22,3 МДж).

Опыт продолжался 90 дней.

Компоненты корма Aller Trident EX: пшеница, пшеничная клейковина, рапсовое масло, рыбий жир, рыбная мука, соевый протеин, соя, дрожжи, кукурузная клейковина, подсолнечный протеин, витамины, премикс и минеральные добавки.

Компоненты корма Aller Silver: рыбная мука, рыбий жир, соевая мука, гемоглобиновая мука, гидролизованный протеин, рапс, пшеница, витамины и минеральные добавки.

Основными рыбоводными показателями, характеризующими интенсивность роста молоди рыбы, являются ее масса, затраты кормов на единицу прироста, коэффициент упитанности.

Исследования проводили по методике проведения опытов по кормлению рыбы, описанной в книге В.Я. Склярова (2008) [7, С. 124].

По окончанию опыта был проведен морфометрический анализ рыбы по 6 особей из каждой группы.

Статистическая обработка данных проведена на программе Microsoft Excel. Различия считали достоверными при P<0,05; P<0,01; P<0,001, относительно первой группы [4, С. 184].

Основные результаты

В ходе опыта увеличилась (P<0,001) конечная масса рыб во 2 группе на 10,0 %, в 3 группе – на 23,9 %, в 4 группе – на 13,3 % (рис. 1).

Затраты кормов на 1 кг прироста массы были ниже в опытных группах на 14,4, 28,7 и 18,2 %, соответственно.

Коэффициент упитанности молоди был выше на 12,6, 31,6 и 26,2 %, соответственно по группам, по сравнению с контролем.

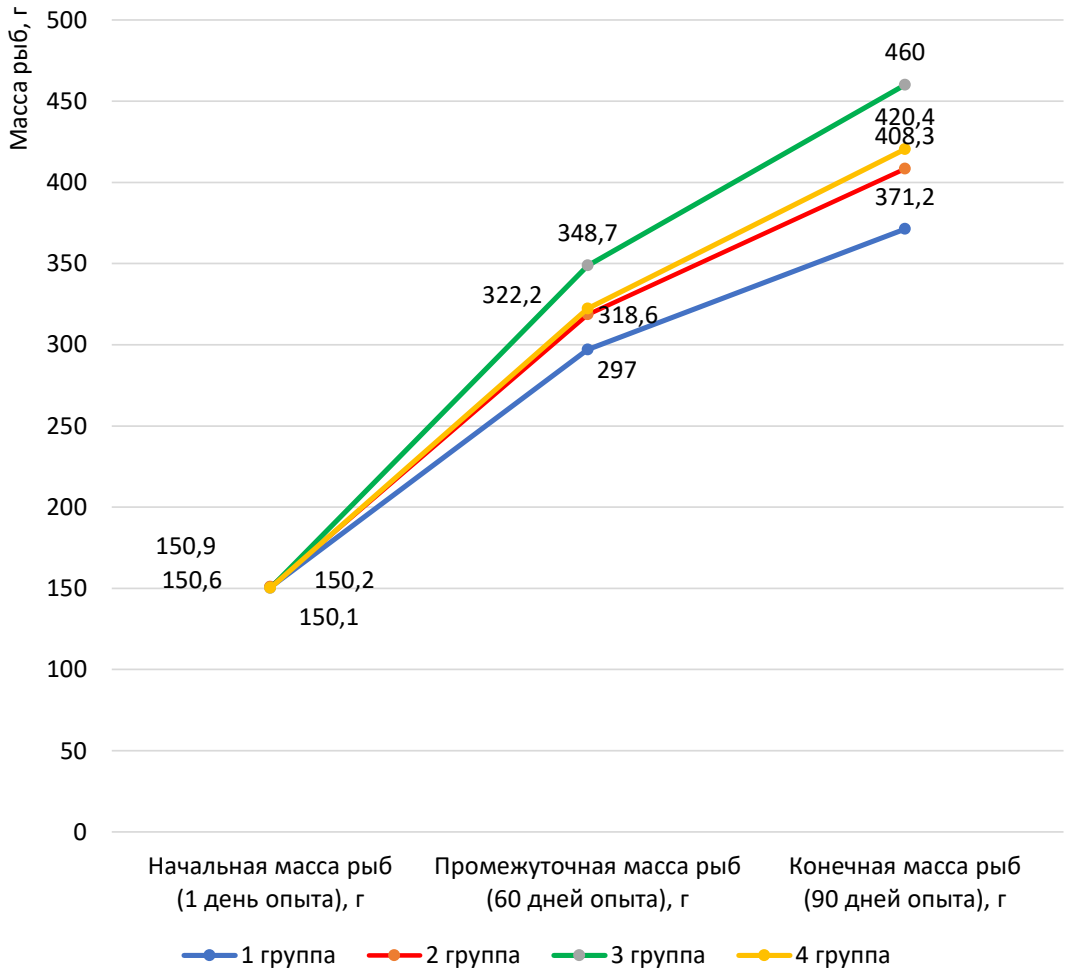


Рис. 1 – Масса рыбы по периодам опыта

Относительно массы потрошеной тушки увеличилась масса головы и плавников на 0,5-1,3 абс. % в 3 и 4 группах рыбы (P<0,001), кожи – на 0,6-0,7 % (P<0,01), что объяснимо накоплением в них жира. Снизилась масса хрящевой ткани на 0,4-0,8 % (P<0,05), мышечной – на 0,3-1,2 % (P<0,001) в опытных группах.

В 1 группе печень рыб имела насыщенный красный цвет и плотную консистенцию. Во 2 группе показатели находились в промежуточном состоянии. В 3 и 4 группах визуально выражен гепатоз: печень увеличена, имела

желтоватый и кремовый цвет, рыхлую консистенцию. При этом наблюдалось увеличение индексов печени в опытных группах: 1,01 – в контроле, во 2 группе – 1,08, в 3 – 1,15 (выше контроля на 13,9 % при P<0,001), в 4 группе – 1,19, (выше на 17,8 % при P<0,001). При гепатозах встречается повышение массы селезенки, что и проявилось в опытных группах: разница по индексу селезенки составила в 3 и 4 группах на 13,0 % выше (P<0,05) относительно контроля.

Наличие большого количества жира в корме вызывает более быстрое прохождение химуса по ЖКТ рыбы, что снизило индексы массы кишечника в 3 и 4 группах на 15,4 и 17,1 % (P<0,001) и желудка – на 7,4 и 9,0 % (P<0,01).

При проведении анализа развития внутренних органов обратили внимание на то, что при увеличении процента скармливания богатого жиром корма происходило ухудшение физиологического состояния рыбы, и соответственно проявлялись патологические изменения в печени:

– 1 группа: поведение характерное для данного вида рыб – преобладает движение у дна с равномерным поднятием к поверхности. Движения плавников равномерные, количество взмахов в минуту – 7-14. Возможно залегание на дне – это свойственно образу жизни. Питание происходит с захватом пищи в течении 3-5 минут, активно находят пищу, собирают со дна, частично могут захватывать в толще воды. Реагируют на освещение и интенсивность потока воды. Равномерно распределены по всему объёму бассейна, не образуют скоплений.

– 2 группа: у 10 % рыбы движения замедленные, взмахи плавников сокращаются до 2-6 в минуту. Присутствует реакция на пищу, но время ее захвата увеличивается до 10 минут. Возможно «зависание» рыбы у поверхности, иногда может быть отмечено вздутие брюшка, окрас головы светлее тела. При обнаружении нетипичного поведения рыбы в условиях хозяйств необходимо применение срочных мер по реабилитации рыбы. У части рыб наблюдается появление слабожелтого, сероватого пятна между грудными плавниками на брюшке.

– 3 группа: до 25 % рыбы находится в стадии «зависания», светлеет весь покров тела. До 30 % рыбы не могут адекватно захватывать пищу, притупляются реакции для ее нахождения в воде. 3 % рыб плавают на боку, иногда переворачиваясь вверх брюхом. Жабры некротизированы, анемичны. При пероральном приеме витамина С, гепатопротекторов или помещении на проток воды способны активизироваться. Гибель рыбы 2 %. Без принятия мер гибель может достигать 10 %. У половины рыб наблюдается появление желтого пятна (пигментированный участок) между грудными плавниками на брюшке.

– 4 группа: до 30 % рыбы плавают на боку в толще воды или лежат на дне в перевернутом состоянии, жаберные крышки судорожно сокращаются, движения плавников могут практически отсутствовать. Более половины рыб имеют интенсивно пигментированный участок брюшка желто-зеленого цвета между грудными плавниками на брюшке. Гибель рыбы достигает 6 %. Без принятия мер (гепатопротекторы) гибель рыбы может достигать 50 %.

Заключение

Применение форелевого корма в кормлении молоди русско-ленского осетра в бассейнах способствует увеличению темпа роста рыбы, что, казалось бы, стоило рекомендовать его к использованию для повышения скорости роста рыбы, но необходимы наблюдения за состоянием рыбы на предмет ожирения тканей печени и дальнейшего прогноза ее выращивания.

Финансирование

Исследования проведены в рамках гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых: «Разработка критериев оценки состояния печени осетровых рыб» МД-1439.2020.11.

Funding

The research was carried out within the framework of the grant of the President of the Russian Federation for state support of young Russian scientists: "Development of Criteria for Assessing the State of the Liver of Sturgeon" MD-1439.2020.11.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Васильева, Л.М. Основные направления развития осетроводства / Л.М. Васильева // Рибогосподарська наука України. – 2008. – № 1 (3). – С. 14-21.

2. Климова, Н.В. Аквакультура в России: проблемы и перспективы развития / Н.В. Климова, К.Е. Стрюкова [Электронный ресурс] URL: https://clck.ru/Wgguf. (дата обращения 02.04.2020).

3. Крючков, В.Н. Особенности патологической морфологии печени рыб в современных условиях / В.Н. Крючков, В.В. Дубовская, И.В. Фомин // Вестник астраханского государственного технического университета. 2006. № 3 (32). С. 94-100.

4. Лакин Г.Ф. Биометрия / Г.Ф. Лакин // Учебное пособие для биол. спец. вузов, 4-е изд., перраб. и доп.- М.: Высшая школа, 1990. – 352 с.

5. Пронина, Г.И. Патология печени рыб, вызванная парацетамолом / Г.И. Пронина, А.О. Ревякин, Н.Ю. Корягина и др. // Биомедицина. 2014. № 4. С. 85-88.

6. Расулов, М.М. Этапы становления и современное состояние осетроводства / М.М. Расулов, П.Г. Мусаев // Вестник Дагестанского государственного университета. – Серия 1: Естественные науки. – 2006. – № 4. – С. 84-94.

7. Скляров, В.Я. Корма и кормление рыб в аквакультуре / В.Я. Скляров. – Краснодар, 2008.

8. Стратегия развития аквакультуры в Российской Федерации на период до 2020 года. [Электронный ресурс] URL: http://www.aquaculture.ru (дата обращения 02.04.2020).

9. Сытова, М.В. Системный подход к обеспечению безопасности продукции товарного осетроводства / М.В. Сытова, Е.Н. Харенко, Н.В. Мовсесова и др. // Аквакультура европы и азии: реалии и перспективы развития и сотрудничества: Материалы международной научно-практической конференции. – Улан-Удэ, 2011. –С. 178-180.

10. Федорова, Н.Н. Морфологические особенности структурной организации печени волжских рыб / Н.Н. Федорова, М.П. Грушко, С.М. Исмаилова // Юг России: экология, развитие. 2014. Т. 9. № 4. С. 58-59.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Vasilyeva, L. M. Osnovnye napravlenija razvitija osetrovodstva [The main directions of the development of sturgeon breeding] / L. M. Vasilyeva // Ribogospodarska nauka Ukrainy [Fisheries Science of Ukraine]. – 2008. – № 1 (3). – pp. 14-21 [in Russian]

2. Klimova, N. V. Akvakul'tura v Rossii: problemy i perspektivy razvitija [Aquaculture in Russia: problems and prospects of development] [Electronic resource] / N. V. Klimova, K. E. Stryukova // URL: https://clck.ru/Wgguf (accessed: 02.04.2020) [in Russian]

3. Kryuchkov, V. N. Osobennosti patologicheskojj morfologii pecheni ryb v sovremennykh uslovijakh [Features of the pathological morphology of the liver of fish in modern conditions] / V. N. Kryuchkov, V. V. Dubovskaya, I. V. Fomin // Vestnik astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of the Astrakhan State Technical University]. 2006. № 3 (32), pp. 94-100 [in Russian]

4. Lakin G. F. Biometrija [Biometrics] / G. F. Lakin // teaching manual, 4th ed., revised and expanded-M.: Vysshaya shkola, 1990 – - 352 p. [in Russian]

5. Pronina, G. I. Patologija pecheni ryb, vyzvannaja paracetamolom [Pathology of the liver of fish caused by paracetamol] / G. I. Pronina, A. O. Revyakin, N. Yu. Koryagina et al. // Biomeditsina [Biomedicine]. 2014. № 4, pp. 85-88 [in Russian]

6. Rasulov, M. M. Ehtapy stanovlenija i sovremennoe sostojanie osetrovodstva [Stages of formation and the current state of sturgeon breeding] / M. M. Rasulov, P. G. Musaev // Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo universiteta. – Serija 1: Estestvennye nauki [Bulletin of the Dagestan State University. - Series 1: Natural Sciences]. - 2006. - No. 4. - pp. 84-94 [in Russian]

7. Sklyarov, V. Ya. Korma i kormlenie ryb v akvakul'ture [Feed and feeding of fish in aquaculture] / Sklyarov, V. Ya. - Krasnodar, 2008 [in Russian]

8. Strategija razvitija akvakul'tury v Rossijjskojj Federacii na period do 2020 goda [Strategy for the development of aquaculture in the Russian Federation for the period up to 2020] [Electronic resource] URL: http://www.aquaculture.ru (accessed: 02.04.2020) [in Russian]

9. Sytova, M. V. A Sistemnyjj podkhod k obespecheniju bezopasnosti produkcii tovarnogo osetrovodstva [Systematic approach to ensuring the safety of commercial sturgeon products] / M. V. Sytova, E. N. Kharenko, N. V. Movsesova et al. // Akvakul'tura evropy i azii: realii i perspektivy razvitija i sotrudnichestva: Materialy mezhdunarodnojj nauchno-prakticheskojj konferencii [Aquaculture of Europe and Asia: realities and prospects of development and cooperation: Proceedings of the international scientific and practical conference]. - Ulan-Ude, 2011. - pp. 178-180 [in Russian]

10. Fedorova, N. N. Morfologicheskie osobennosti strukturnojj organizacii pecheni volzhskikh [Morphological features of the structural organization of the liver of Volga fish] / N. N. Fedorova, M. P. Grushko, S. M. Ismailova et al. // Jug Rossii: ehkologija, razvitie [South of Russia: Ecology, Development]. 2014. Vol. 9. No. 4, pp. 58-59 [in Russian]

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.110.8.021

БИОТЕХНОЛОГИЯ ВОДОРОСЛЕЙ В АКВАКУЛЬТУРЕ

Обзорная статья

Руденко Р.А.[1,] *, Ткачева И.В.[2]

[1] Донской государственный аграрный университет, Персиановский, Россия;

[2] Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

* Корреспондирующий автор (6195756[at]mail.ru)

Аннотация

Микроводоросли - это очень разнообразная группа одноклеточных организмов, состоящая из простейших эукариот и прокариотических цианобактерий или сине-зеленых водорослей. Микроводоросли обладают уникальным экологическим статусом; будучи практически повсеместными в эвфотических водных нишах, они могут занимать экстремальные места обитания, начиная от тропических коралловых рифов и заканчивая полярными регионами, и вносят вклад в половину фотосинтетической активности земного шара. Кроме того, они составляют основу пищевой цепи для более 70% мировой биомассы. Микроводоросли являются ценным экологическим и биотехнологическим ресурсом, и цель этого обзора - изучить использование технологий in vitro для сохранения и устойчивого использования этой замечательной группы организмов. В первой части обзора оценивается важность методов in vitro в поддержании и сохранении микроводорослей и описывается центральная роль коллекций культур в прикладных исследованиях водорослей. Во второй части исследуется применение технологий микроводорослей in vitro, особенно в контексте аквакультуры и биотехнологии. Особое внимание уделяется использованию экономически важных продуктов из водорослей, включая корм для аквакультуры, производство биомассы для сектора здравоохранения, зеленые удобрения, пигменты, витамины, антиоксиданты и антимикробные агенты. Также оценивается вклад микроводорослей в исследования окружающей среды; например, они играют важную роль в качестве индикаторных организмов при оценке воздействия на окружающую среду. Точно так же для тестирования экотоксичности используются специальные коллекционные штаммы микроводорослей.

Ключевые слова: микроводоросли, аквакультура, кормление, рацион, рыбоводство.

ALGAE BIOTECHNOLOGY IN AQUACULTURE

Review article

Rudenko R.A.[1,]*, Tkacheva I.V.[2]

[1] Don State Agrarian University, Persianovsky, Rostov Oblast, Russia;

[2] Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

* Corresponding author (6195756[at]mail.ru)

Abstract

Microalgae are a very diverse group of unicellular organisms consisting of protozoan eukaryotes and prokaryotic cyanobacteria or blue-green algae. Microalgae have a unique ecological status; while being almost ubiquitous in euphotic zones, they can occupy extreme habitats, ranging from tropical coral reefs to polar regions, and contribute to half of the photosynthetic activity of the globe. In addition, they form the basis of the food chain for more than 70% of the world's biomass. Microalgae are a valuable ecological and biotechnological resource, and the purpose of this review is to study the use of in vitro technologies for the conservation and sustainable use of this remarkable group of organisms. The first part of the review assesses the importance of in vitro methods in the maintenance and preservation of microalgae and describes the central role of culture collections in applied algae research. The second part examines the application of microalgae technologies in vitro, particularly in the context of aquaculture and biotechnology. Special attention is paid to the use of economically important algae products, including feed for aquaculture, biomass production for the health sector, green fertilizers, pigments, vitamins, antioxidants and antimicrobial agents. The contribution of microalgae to environmental studies is also evaluated; for example, they play an important role as indicator organisms in environmental impact assessment. Similarly, special collection strains of microalgae are used to test ecotoxicity.

Keywords: microalgae, aquaculture, feeding, diet, fish farming.

Введение

Приведенный обзор имеет высокую актуальность в сфере товарного производства и кормления рыбы, поскольку в существующей литературе автору не удалось найти подобной информации.

Микроводоросли - это микроскопические пресноводные или морские организмы, которые играют ключевую роль в природе в качестве источника пищи для высших животных (зоопланктон, рыба), для переноса питательных веществ в водных пищевых сетях и для балансового обмена CO2 между океаном и атмосферой. Микроводоросли - это микроскопические пресноводные или морские организмы. Они представляют собой очень разнообразную группу, размер которой варьируется от нескольких сотых миллиметра до нескольких десятых миллиметра, принимает множество различных форм и существует поодиночке, цепочками или группами. Микроводоросли занимают очень широкий спектр местообитаний, включая формы, которые живут на открытом воздухе, в воде (фитопланктон) или на поверхности (бентос) и адаптированы к экстремальным физическим и химическим условиям (экстремальные температуры, соленость, pH). Хорошо известные природные явления, связанные с микроводорослями, включают цветение зеленых водорослей в пресноводных прудах или озерах летом и «красные приливы» в море.

Биотехнология микроводорослей включает:

- Углеродно-нейтральное производство биотоплива и производство биоэнергии;
- Улавливание и биоконверсия диоксида углерода (CO2) в промышленных процессах;

• Ингредиенты для здоровья и благополучия человека, включая эфирные масла омега-3, антиоксиданты и пигменты;

• Ингредиенты для кормов для аквакультуры и сельского хозяйства;

• Биоремедиация и повышение ценности сельскохозяйственных и промышленных стоков.

• Производители энергии и тяжелая промышленность, производящие CO2 в качестве побочного продукта (включая электростанции, работающие на ископаемом топливе и биомассе)

• Предприятия по очистке городских сточных вод;

• Крупные животноводческие предприятия, выбрасывающие сточные воды (как в сельском хозяйстве, так и в аквакультуре).

Применение микроводорослей

1. Аква-корм

Микроводоросли повсеместно используются в качестве источника корма в промышленных инкубаторах для выращивания молоди морской рыбы и моллюсков. Во всем мире существуют тысячи морских рыбоводных заводов, ежегодно производящих миллиарды мальков и моллюсков. Для этой цели было принято относительно небольшое количество (~ 6-10) видов микроводорослей, которые легко выращивать. В большинстве случаев микроводоросли выращиваются на месте персоналом инкубатория и передаются в живом виде личинкам рыб / моллюсков. В соответствии с этим сценарием возможности продаж инкубаториям в основном состоят из оборудования и расходных материалов, необходимых для производства микроводорослей: фотобиореакторов, насосов, освещения, питательных смесей и т. д. Тем не менее, для инкубаториев растет потребность в покупке патентованных концентратов микроводорослей для упрощения операции на месте. Эти концентраты поставляются компаниями, специализирующимися на крупномасштабном производстве и переработке микроводорослей.

Проблемы с использованием микроводорослей в качестве корма для аквакультуры:

Высокие затраты, связанные с выращиванием водорослей, риски загрязнения и временные колебания пищевой ценности водорослей по-прежнему создают проблемы для любой аквакультуры, зависящей от массовых культур одноклеточных водорослей. Чтобы преодолеть или уменьшить проблемы и ограничения, связанные с культурами водорослей, различные исследователи пытались заменить водоросли, используя искусственные диеты либо в качестве добавки, либо в качестве основного источника пищи. Для снижения потребности в выращивании водорослей на месте применяются различные подходы, включая использование консервированных водорослей, микрокапсулированных кормов и кормов на основе дрожжей. Есть дополнительные возможности для развития сектора за счет внедрения продуктов более высокого качества, поскольку широко признано, что существующие концентрированные продукты из микроводорослей по-прежнему не подходят для использования в инкубаториях с живыми микроводорослями.

2. Биологически активные добавки

Наиболее важными видами микроводорослей для этой цели являются *Dunaliella salina, Arthrospira sp, Chlorella sp* и *Aphanizomenon flosaquae*. В основном они производятся в открытых прудах или неглубоких каналах, но также и в закрытых фотобиореакторах в более северных широтах, включая Европу. Некоторые цианобактерии, например Arthrospira platensis и A. maxina, также продаются как цельные продукты, поскольку они особенно богаты белком (до 77% сухой массы) и содержат все незаменимые аминокислоты, ряд важных незаменимых жирных кислот (НЖК) и витамины. групп B, C, D и E.

3. ПНЖК и ВНЖК

Омега-3 - это натуральные масла морского происхождения, содержащие длинноцепочечные жирные кислоты серии n-3, такие как DHA (докозагексаеновая кислота) и EPA (эйкозапентаеновая кислота). Эти жирные кислоты считаются незаменимыми с точки зрения питания, поскольку они не могут быть синтезированы человеком и выполняют важные физиологические функции. Микроводоросли являются основным источником масел омега-3 в морской пищевой цепи, где они накапливаются, особенно в тканях жирных рыб, таких как анчоусы и сардины. Основным источником коммерчески доступных масел омега-3 в настоящее время является выловленная морская рыба, такая как жир печени трески, на долю которого приходится около 85% рынка по объему. Однако поставкам омега-3 из морских источников угрожают неблагоприятные условия окружающей среды, которые способствовали снижению уровней DHA в рыбьем жире, особенно из рыб южноамериканских вод, которые являются основными поставщиками рыбьего жира, а также истощают мировые рыбные запасы. Эти неблагоприятные экологические факторы в сочетании с истощением рыбных запасов способствуют росту мирового рынка омега-3 на основе водорослей, на долю которого в настоящее время приходится около 3% всего рынка омега-3. Масла омега-3 на основе микроводорослей также привлекают вегетарианцев, и этот подсектор рынка водорослевых масел растет.

Очистка сточных вод

В настоящее время хорошо известно, что микроводоросли обладают высоким потенциалом снижения содержания питательных веществ и органических веществ из сточных вод. Он широко используется для фиторемедиации в аквакультуре. Сообщалось о процентном удалении 75%, 84% и 89% аммиака, нитрита и фосфора соответственно. Комбинация очистки сточных вод и фиксации углекислого газа из водорослей обеспечивает преимущества в виде экономии химикатов для очистки воды и, как следствие, экологических выгод. Кроме того, предусмотрен путь для удаления ионов азота, фосфора и металлов из сточных вод, и этот путь обеспечивает биомассу водорослей, которую можно в дальнейшем использовать для производства биотоплива или других инновационных продуктов.

Заключение

Хотя интерес к биотопливу из микроводорослей во всем мире растет, вокруг него много шумихи. По мере развития сектора становится все яснее, что биотопливный компонент микроводорослей станет коммерчески жизнеспособным только в том случае, если биомасса будет полностью использована для производства всех компонентов с добавленной стоимостью. Однако в настоящее время область выработки натуральных продуктов из микроводорослей недостаточно развита, и, за исключением небольшого количества компонентов, практически нет полного анализа затрат на улучшение коммерциализации. Эта область, которая нуждается в согласованной поддержке в краткосрочной перспективе.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Шивокене Я.С. Численность и биомасса бактерий пищеварительного тракта прудовых рыб в зависимости от особенностей их питания / Я.С. Шивокене, О.П. Трепшене // Вопросы ихтиологии. - 1995.- Т.25, вып. 5. - С.821-827.
2. Шендеров Б.А. Медицинская микробная экология и функциональное питание / Б.А. Шендеров. – М.:, 1998. - 413 с.
3. Фермерская аквакультура: Рекомендации. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2007. – 192 с.
4. Абросимова Н.А. Липидная добавка для корма осетровых рыб / Н.А. Абросимова, Е.Г. Белов, Е.М. Саенко и др.- А.с. N 1585909 /СССР/. – 2010. – ДСП.- 9 с.
5. Антипов В.А. Эффективность и перспективы применения пробиотиков / В.А. Антипов, В.М. Субботин // Ветеринария. – 2009. - №12. – С. 12 – 16.
6. Баденко Л. В. Выращивание двухгодовика севрюги на искусственных кормах с применением антибиотиков / Л. В. Баденко, Ю. С. Велокопытин, Т.Ф. Шувалова // Науно-техн. информ. ВНJfро, 2007, N11.-С.56-65.
7. Баталова Т.А. Коррекция нормофлоры кишечника человека / Т.А. Баталова, Д.Н. Лазарева, Л.М. Голубева // Материалы науч. – практич. конф. – Уфа, 2013. – С. 14 -17.
8. Бергнер Х.Р. Научные основы питания сельскохозяйственных животных / Х.Р. Бергнер, Х.А. Кетц // Пер. с нем. М.: Колос, 2013.- 597 с.
9. Берман Ш. А. Исследования о роли антибиотиков в кормлении карпа / Ш. А. Берман.- Известия АН Латв. ССР, 2016, N3.- С.151-154.
10. Бондаренко Л.Г. Стартовый комбикорм для рыб / Л.Г. Бондаренко, И.А. Бурцев, Т.А. Орлова.- А.с. N 1084005 /СССР/.- 2017.
11. Butler N. The transition from fossil fuels, Sustainable Energy / N. Butler // Cambridge Energy Forum. 2006.
12. Day J.G. In vitro Culture and Conservation of Microalgae: Applications for Aquaculture, Biotechnology and Environmental Research / John G Day, Erica E, Benson, Roland A, Fleck // In Vitro Cellular & Developmental Biology Plant, 1999. 35(2): 127-136.
13. Olaizola M. Commercial development of microalgal biotechnology: from the test tube to the marketplace / M. Olaizola // Biomolecular Engineering, 2003. 20: 459-466.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Shivokene Ya. S. Chislennost' i biomassa bakterijj pishhevaritel'nogo trakta prudovykh ryb v zavisimosti ot osobennostejj ikh pitanija [The number and biomass of bacteria in the digestive tract of pond fish, depending on the characteristics of their nutrition] / Ya. S. Shivokene, O. P. Trepshene // Voprosy ikhtiologii [Issues of ichthyology]. - 1995. - Vol. 25, issue 5. - pp. 821-827 [in Russian]
2. Shenderov B. A. Medicinskaja mikrobnaja ehkologija i funkcional'noe pitanie [Medical microbial ecology and functional nutrition] / B. A. Shenderov. - M.: 1998. -413 p. [in Russian]
3. Fermerskaja akvakul'tura: Rekomendacii [Farm aquaculture: Recommendations]. - M.: FGNU "Rosinformagrotekh", 2007. - 192 p. [in Russian]
4. Abrosimova N. A. Lipidnaja dobavka dlja korma osetrovykh ryb [Lipid additive for sturgeon fish feed] / N. A. Abrosimova, E. G. Belov, E. m. Saenko, et al. - A. S. N 1585909 /USSR/. - 2010 – chipboard.- 9 p. [in Russian]
5. Antipov V. A. Ehffektivnost' i perspektivy primenenija probiotikov [The effectiveness and prospects of the use of probiotics] / V. A. Antipov, V. M. Subbotin // Veterinarija [Veterinary medicine]. - 2009. - No. 12. - pp. 12-16. [in Russian]
6. Badenko L. V. Vyrashhivanie dvukhgodovika sevrjugi na iskusstvennykh kormakh s primeneniem antibiotikov [Growing a two-year-old sevryuga on artificial feeds with the use of antibiotics] / L. V. Badenko, Yu. S. Velokopytin, T. F. Shuvalova - 2007, N11. - pp. 56-65 [in Russian]
7. Batalova T. A. Korrekcija normoflory kishechnika cheloveka [Correction of the normoflora of the human intestine] / T. A. Batalova // Materialy nauch. – praktich. konf. [Proceedings of the scientific and practical conference] - Ufa, 2013. - pp. 14 -17 [in Russian]
8. Bergner H. R. Nauchnye osnovy pitanija sel'skokhozjajjstvennykh zhivotnykh [Scientific bases of nutrition of farm animals] / H. R. Bergner, H. A. Ketz / Translation from German. Moscow: Kolos, 2013. - 597 p. [in Russian]
9. Berman Sh. A. Issledovanija o roli antibiotikov v kormlenii karpa [Research on the role of antibiotics in carp feeding].- Izvestia AN Latv. SSR, 2016, N3. - pp. 151-154. [in Russian]
10. Bondarenko L. G. Startovyjj kombikorm dlja ryb. [Starting compound feed for fish] / L. G. Bondarenko, I. A. Burtsev, T. A. Orlova. - A. S. N 1084005 /USSR/.- 2017 [in Russian]
11. Butler N. The transition from fossil fuels, Sustainable Energy / N. Butler // Cambridge Energy Forum. 2006.
12. Day J.G. In vitro Culture and Conservation of Microalgae: Applications for Aquaculture, Biotechnology and Environmental Research / John G Day, Erica E, Benson, Roland A, Fleck // In Vitro Cellular & Developmental Biology Plant, 1999. 35(2): 127-136.
13. Olaizola M. Commercial development of microalgal biotechnology: from the test tube to the marketplace / M. Olaizola // Biomolecular Engineering, 2003. 20: 459-466.

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.110.8.022

ПИТАНИЕ РЫБ В АКВАКУЛЬТУРЕ

Научная статья

Руденко Р.А.*

Донской государственный аграрный университет, Персиановский, Россия

* Корреспондирующий автор (6195756[at]mail.ru)

Аннотация

На протяжении многих лет качество воды было самым важным ограничением для производства рыбы. В последние годы был достигнут значительный прогресс в технологии жизнеобеспечения, поэтому питание все чаще рассматривается как ключевое ограничение на пути повышения эффективности производства, а также роста и размножения новых видов рыб. В аквакультуре первостепенное значение приобрело искусственное питание, сбалансированное по всем питательным веществам. Искусственное вскармливание - важная практика в аквакультуре, на которую приходится более 60% общих затрат.

Ключевые слова: аквакультура, кормление, рацион, рыбоводство.

FISH NUTRITION IN AQUACULTURE

Research article

Rudenko R.A.*

Don State Agrarian University, Persianovsky, Rostov Oblast, Russia

* Corresponding author (6195756[at]mail.ru)

Abstract

For many years, water quality has been the most important constraint for fish production. In recent years, significant progress has been made in life support technology, therefore nutrition is increasingly considered as a key constraint on the way to increase production efficiency, as well as the growth and reproduction of new fish species. In aquaculture, artificial nutrition balanced in all nutrients has become of paramount importance. Artificial feeding is an important practice in aquaculture, which accounts for more than 60% of total costs.

Keywords: aquaculture, feeding, diet, fish farming.

Введение

Индустрия аквакультуры как таковая росла значительными темпами за последние несколько десятилетий. В этот период она начала превращаться из искусства в науку, однако даже по сей день этот переход остается далеко не полным. Как и в других формах животноводства, корма и кормление являются важнейшими элементами в культуре водных животных. Затраты на корма считаются самыми высокими текущими затратами в аквакультуре, часто варьирующимися от 30% до 60%, в зависимости от интенсивности операционный деятельности [1]. Поэтому любое снижение затрат на корма за счет разработки новых рационов питания, селекции или другими прямыми или косвенными средствами имеет решающее значение для развития и благополучия отрасли. Большое значение придается простым рецептурам кормов, использованию нетрадиционных видов кормов, а также переработке отходов зерновой промышленности. В этой связи аспекты, связанные с кормами и кормлением, которые становятся все более важными для индустрии аквакультуры, являются неотъемлемой частью по улучшению экологической ситуации в целом.

Питательный состав рациона рыбы

Как правило, в рыбном рационе, очень много белка. Содержание белка в продуктах для мальков часто превышает 50% сырого протеина. По мере снижения темпов роста и старения рыбы соответственно снижается уровень белка в рационе. Уровень белка в рационах для взрослых часто приближается или превышает 40% сырого протеина, в то время как рационы для поддержания здоровья могут содержать всего 25-35% [2]. В дополнение к уменьшению содержания белка в пище по мере роста рыбы, размер частиц также должен быть изменен. Многим видам рыб, таким как карп, карась, белый амур и др. требуется животная пища, когда они вылупляются из личинок, потому что их ротовые части слишком маленькие. Другие же виды рыб достаточно велики, чтобы сразу же включить в их рацион комбикорм, не беспокоясь о расходах и трудозатратах, необходимых для получения животной пищи.

Рыбная мука должна быть основным источником белка в рыбном рационе. Есть незаменимые аминокислоты и жирные кислоты, которые присутствуют в рыбной муке, но не присутствуют в тканях наземных растений или животных. Недорогие рецептуры, в которых рыбная мука исключена и заменена менее дорогими белками из наземных источников (например, соевыми бобами), не рекомендуются для рыбы [3]. Рыбная мука и побочные продукты рыболовства имеют высокое содержание липидов, поэтому прогорклость может стать проблемой, если продукты не хранятся должным образом. Хранение кормов кратко обсуждается ниже.

В увеличении общей массы выращиваемой на откорм рыбы, важное значение имеет дополнительное подкормка, которая в обязательном порядке должна присутствовать в рационе, несмотря на наличие естественного питания. При выборе дневного рациона откармливаемых рыб, следует учитывать их природные особенности.

Специалисты рекомендуют принимать во внимание также такие показатели, как:

- температура воды;
- процент содержащегося в ней кислорода;
- коэффициент освещенности [4].

Помимо этого, учитывается наличие солей в водной среде, а также степень подвижности рыб и плотность заселения водоема.

Продукты, используемые для откорма рыб должны иметь оптимальное количество питательных веществ, так как они являются главным источником энергии и роста. В отличие от млекопитающих и птиц, рыбы не нуждается в большом количестве калорий.

Если проводить параллель по калорийности пищи, то для набора 1кг веса сельскохозяйственным животным необходимо получить более 7 - 9 килокалорий в сутки, в то время, как рыбам требуется в два раза меньше - от 4 000 до 5000 килокалорий.

Белок, как источник роста рыб

Содержание протеина в пище для рыб должно иметь оптимальный показатель по причине того, что он является основой для запуска полноценного процесса обмена веществ. Количество протеина для рыб в процентном содержании в общей массе сухого вещества рациона должно превосходить данный показатель, установленный для сельскохозяйственных животных. Рыбам требуется в два-три раза больше количества протеина, чем млекопитающим. Объем данного элемента составляет 35 - 60% от общего рациона [5].

В большом количестве белка особенно нуждается молодь рыбы, так как он способствует ее интенсивному росту. Если рассмотреть, сколько требуется белка на примере карпа, то молодым рыбкам, вес которых не превышает 1г, понадобится от 13 до 59 граммов белка в сутки, при весе свыше 1 грамма расчет производится следующим образом: от 4 до 7 г белка на килограмм массы одной рыбной особи.

Польза белка для рыбы объясняется богатством его состава. Он содержит несколько уникальных аминокислот:

- валин;
- треонин;
- метионин;
- лизин;
- аргинин;
- гистидин;
- фенилаланинтриптофан;

Каждая аминокислота выполняет определенную функцию – транспортную или строительную. Эксперимент показал, что при нехватке аминокислот, в течение 14 дней у рыбок нарушается аппетит, происходит задержка роста и возникают различные рыбные заболевания [6].

Рассчитать оптимальное количество белка в рационе несложно, если обращать внимание на температурный режим, при котором содержатся рыбы. Так, при среднем температурном показателе 8°С, будет достаточным содержание белка в пределах 40 – 42 % от общей массы сухого вещества рациона. Повышение температуры до 15 градусов вызывает необходимость в увеличении количества белка до 52 - 55%.

Жиры

Жиры - это приоритетный источник энергии для рыб. В результате их добавления в рацион можно получить уменьшение затрат белка и его перераспределение на функцию роста тела.

Жиры животного и растительного происхождения усваиваются рыбами на 90 - 95%. Для производителей крайне важным является обязательное соблюдение условий, благодаря которым потребности рыбы в полиненасыщенных жирных кислотах полностью покрываются за счет сбалансированного рациона.

Недостаток жиров приводит к приостановке роста тела, нарушению обменных процессов, обезвоживанию организма и уменьшению количества белка и жира у рыбы. В максимально сложных случаях возможно перерождение клеток печени, что приведет к циррозу.

Рассчитывая количество жиров в рационе рыбы, обязательно необходимо учитывается вид рыбы. Например, угорь и радужная форель восполняют потребности в жире при введении 0,5 процентов жирных кислот от общего количества корма. А карповым рыбам необходимо не менее 1% жиров в рационе [7].

Корма признаются эффективными, если повышение объема жиров оставляет содержание белка на нужном уровне.

Составляя рацион и определяя показатель жирности корма, учитывается отношение жира и протеина. Пропорция должна быть неизменной. Если объем одного элемента повышается, то также должен повышаться и объем второго элемента.

Жирная пища гарантирует быстрый набора веса рыбы и высокой жирности ее мяса. Важное значение этот показатель оказывает на таких видов рыб, как сом и угорь, а также форель.

Углеводы (клетчатка)

По нынешним рекомендациям, количество данных элементов не должно превышать 25% от общего содержание корма. Аналогичные микроэлементы - это источники энергии. Включая их в рацион необходимо учитывать такой параметр, как экономичность, потому что клетчатка это недорогой продукт.

Углеводы усваиваются по-разному у различных видов рыб. Сложно воспринимаются углеводы такими видами рыб, как лосось и форель. По этой причине, не следует перегружать их рацион углеводами.

Хранение кормов

Поскольку корма для рыб обычно содержат относительно большое количество рыбной муки и / или рыбьего жира, они очень чувствительны к прогорклости. Кроме того, аскорбиновая кислота очень летучая, но имеет решающее значение для нормального роста и развития большинства видов рыб. По этим причинам корма для рыб следует покупать часто, в идеале не реже одного раза в месяц, а по возможности - чаще. Корм следует хранить в прохладном, сухом месте

и никогда не держать на складе более трех месяцев. Охлаждение сухих кормов не рекомендуется из-за высокого содержания влаги в окружающей среде. Замораживание - приемлемый способ продления срока хранения [8].

Виды кормов

Измельченные корма для рыбы обычно продаются в виде сухих или полувлажных гранул или хлопьев. Пеллеты, как правило, являются наиболее полноценным питанием. Они уже приготовлены для потребления в пищу, не требуют дополнительной обработки и являют собой полноценный рацион. К недостаткам можно отнести возможность быстрого погружения на дно, если гранула не будет съедена. Кроме того, очень важен размер гранул. Может оказаться невозможным произвести частицу, достаточно маленькую для некоторых видов рыб, особенно для молоди. И наоборот, для более крупных видов рыб очень маленькие гранулы могут быть неприемлемыми. Полувлажные диеты мягкие и компактные. Многие из них дороги, но, как правило, представляют собой высококачественные диеты и могут быть отличным выбором для некоторых высокоценных видов рыб.

Хлопья широко используются в производстве декоративных рыб в течение многих лет, и их преимущество состоит в том, что они достаточно мягкие, чтобы их можно было съесть очень маленькой рыбой. Они тоже очень медленно тонут. К сожалению, объем, необходимый для удовлетворения пищевых потребностей животных, может быть несоразмерно большим.

Технологии, связанные с выращиванием живых кормов, быстро улучшаются. Это положительно сказывается на выращивании личинок, которое часто является узким местом для коммерциализации «новых» видов. Коловратки - это самый маленький живой корм, который обычно используется для выращивания личинок. Недавно вылупившиеся рассольные креветки крупнее, но все же довольно мелкие, и их обычно используют в рыбоводных заводах [9]. Культивируемые живые продукты могут быть источником высококачественного питания, но необходимо проявлять осторожность, чтобы избежать распространения инфекционных заболеваний. Использование продуктов питания, выловленных в дикой природе, также рискованно из-за возможности заноса болезней.

Заболевания, связанные с питанием

Заболевание, связанное с питанием, часто выявляется методом исключения. Другие объяснения проблемы исключаются, а затем критически оценивается программа кормления. Следует упомянуть несколько примеров заболеваний, связанных с питанием. К ним относятся голодание, сколиоз и алиментарная анемия. Каждый из них кратко обсуждается ниже.

Голод обычно является результатом плохого содержания и, во многих случаях, является следствием экологических проблем. Плохо спроектированная или обслуживаемая система может вызвать проблемы с качеством воды, связанные с заболеваемостью или смертностью рыб. Пытаясь исправить проблемы с качеством воды, технологи могут сократить потребление корма до такой степени, что у животных будет отрицательный калорийный баланс и они начнут терять вес. Если проблема станет хронической, может возникнуть голод [10].

Классической причиной сколиоза или «болезни сломанной спины» у рыб является дефицит аскорбиновой кислоты. Улучшения в производстве кормов, включая фосфорилирование витамина С, и хранении кормов, снизили заболеваемость сколиозом, вызванным питательными веществами. Тем не менее, дефицит аскорбиновой кислоты следует рассматривать как возможную причину сколиоза, и при оценке таких случаев требуется тщательный анализ практики кормления.

Заключение

Приготовление кормов должно осуществляться на основе логического подхода к простым рецептурам, которые должны быть привязаны к конкретному месту и ресурсам, с использованием большой доли альтернативных источников белка и должным учетом менее дорогих кормов для поддержки устойчивой и экономически обоснованной аквакультуры. Созданию региональных кормовых центров следует уделять должное внимание для понимания и выявления проблем фермеров, связанных с кормами, для их развития, которые могут иметь большое значение для производства улучшенных кормов на уровне рыбных хозяйств с помощью небольших комбикормовых заводов, особенно мелкими фермерами, на долю которых приходится больше чем 80%.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Шивокене Я.С. Численность и биомасса бактерий пищеварительного тракта прудовых рыб в зависимости от особенностей их питания / Я.С. Шивокене, О.П. Трепшене // Вопросы ихтиологии. - 1995.- Т.25, вып. 5. - С.821-827.
2. Шендеров Б.А. Медицинская микробная экология и функциональное питание / Б.А. Шендеров. – М.:, 1998. - 413 с.
3. Фермерская аквакультура: Рекомендации. – М.: ФГНУ "Росинформагротех", 2007. – 192 с.
4. Богатырев И.К. Использование биопрепаратов в кормлении животных для получения экологически чистого сырья / И.К. Богатырев // Сборник докладов третьей Международной конференции «Современное комбикормовое производство и перспективы его развития». Международная Промышленная Академия, 9 – 12 октября 2002 г. – М.: Птицепромиздат. – 2003. – С. 84 – 88.
5. Щербина М.А. Искусственные корма и технология кормления объектов промышленного рыбоводства. Рекомендации / М.А. Щербина, Н.А. Абросимова, Н.Т. Сергеева.- Ростов-на-Дону: Кн. изд-во, 2015.- 48 с.
6. Таранов М.Т. Биохимия кормов / М.Т. Таранов, А.Х. Сабиров. - М.: Агропромиздат, 1987. - 224с.
7. Шивокене Я.С. Численность и биомасса бактерий пищеварительного тракта прудовых рыб в зависимости от особенностей их питания / Я.С. Шивокене, О.П. Трепшене // Вопросы ихтиологии. -2015.- Т.25, вып. 5. - С.821-827.

8. Шивокене Я.С. Симбионтное пищеварение у гидробионтов и насекомых / Я.С. Шивокене. Вильнюс: Мокслас, 1989. - 223 с.

9. Тараканов Б.В. Использование микробных препаратов и продуктов микробиологического синтеза в животноводстве / Б.В. Тараканов. М.: ВНИИТЭИ агропром, 2007. – 47 с.

10. Ездаков А.В. Применение продуктов микробиологического синтеза в животноводстве / А.В. Ездаков, К.А. Калуянц, И.Г. Ливнях. – М.: Колос, 2010. – 129 с.

11. De Silva S.S. Fish Nutrition in Aquaculture / S.S. De Silva, T.A. Anderson, London, UK, 1998. 287 pp.

12. Lovell T. Nutrition and Feeding of Fish / T. Lovell. Van Nostrand Reinhold, New York, NY 1988. 260 pp.

13. Roberts, R.J. Nutritional pathology of teleosts // In: Fish Pathology, R.J. Roberts (Ed), Balliere-Tindall, London, 1989. Pp. 337-362.

14. Winfree R.A. Nutrition and feeding of tropical fish / R.A. Winfree // IN: Aquariology: The Science of Fish Health Management. J.B. Gratzek (ED).Tetra Press, Morris Plains, NJ 1992. Pp. 197-206.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Shivokene Ya. S. Chislennost' i biomassa bakterijj pishhevaritel'nogo trakta prudovykh ryb v zavisimosti ot osobennostejj ikh pitanija [The number and biomass of bacteria in the digestive tract of pond fish, depending on the characteristics of their nutrition] / Ya. S. Shivokene, O. P. Trepshene // Voprosy ikhtiologii [Issues of ichthyology]. - 1995. - Vol. 25, issue 5. - pp. 821-827 [in Russian]

2. Shenderov B. A. Medicinskaja mikrobnaja ehkologija i funkcional'noe pitanie [Medical microbial ecology and functional nutrition] / B. A. Shenderov. - M.:, 1998. -413 p. [in Russian]

3. Fermerskaja akvakul'tura: Rekomendacii [Farm aquaculture: Recommendations]. - M.: FGNU "Rosinformagrotekh", 2007. - 192 p. [in Russian]

4. Bogatyrev I. K. Ispol'zovanie biopreparatov v kormlenii zhivotnykh dlja poluchenija ehkologicheski chistogo syr'ja [The use of biological products in animal feeding to obtain environmentally friendly raw materials] / I. K. Bogatyrev // Sbornik dokladov tret'ejj Mezhdunarodnojj konferencii «Sovremennoe kombikormovoe proizvodstvo i perspektivy ego razvitija». Mezhdunarodnaja Promyshlennaja Akademija, 9 – 12 oktjabrja 2002 g. [Collection of reports of the third International Conference "Modern feed production and prospects for its development". International Industrial Academy, October 9-12, 2002]- Moscow: Ptitsepromizdat. - 2003. - pp. 84-88 [in Russian]

5. Shcherbina M. A. Iskusstvennye korma i tekhnologija kormlenija ob"ektov promyshlennogo rybovodstva. Rekomendacii [Artificial feeds and feeding technology of industrial fish farming facilities. Recommendations] / M. A. Shcherbina, N. A. Abrosimova, N. T. Sergeeva.- Rostov-on-Don: Publishing house, 2015. - 48 p. [in Russian]

6. Taranov M. T. Biokhimija kormov [Biochemistry of feed] / M. T. Taranov, A. Kh. Sabirov. - M.: Agropromizdat, 1987. - 224 p. [in Russian]

7. Shivokene Ya. S. Chislennost' i biomassa bakterijj pishhevaritel'nogo trakta prudovykh ryb v zavisimosti ot osobennostejj ikh pitanija [The number and biomass of bacteria in the digestive tract of pond fish, depending on the characteristics of their nutrition] / Ya. S. Shivokene, O. P. Trepshene // Voprosy ikhtiologii [Issues of ichthyology]. -2015. - Vol. 25, issue 5. - pp. 821-827 [in Russian]

8. Shivokene Ya. S. Simbiontnoe pishhevarenie u gidrobiontov i nasekomykh [Symbiotic digestion in hydrobionts and insects] / Ya. S. Shivokene. Vilnius: Mokslas, 1989. - 223 p. [in Russian]

9. Tarakanov B. V. Ispol'zovanie mikrobnykh preparatov i produktov mikrobiologicheskogo sinteza v zhivotnovodstve [The use of microbial preparations and products of microbiological synthesis in animal husbandry] / B. V. Tarakanov. Moscow: VNIITEI agroprom, 2007. - 47 p. [in Russian]

10. Ezdakov A.V. Primenenie produktov mikrobiologicheskogo sinteza v zhivotnovodstve [Application of products of microbiological synthesis in animal husbandry] / A. V. Ezdakov, K. A. Kaluyants, I. G. Livniakh. - M.: Kolos, 2010. - 129 p. [in Russian]

11. De Silva S.S. Fish Nutrition in Aquaculture / S.S. De Silva, T.A. Anderson, London, UK, 1998. 287 pp.

12. Lovell T. Nutrition and Feeding of Fish / T. Lovell. Van Nostrand Reinhold, New York, NY 1988. 260 pp.

13. Roberts, R.J. Nutritional pathology of teleosts // In: Fish Pathology, R.J. Roberts (Ed), Balliere-Tindall, London, 1989. Pp. 337-362.

14. Winfree R.A. Nutrition and feeding of tropical fish / R.A. Winfree // IN: Aquariology: The Science of Fish Health Management. J.B. Gratzek (ED).Tetra Press, Morris Plains, NJ 1992. Pp. 197-206.

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.110.8.023

ОПТИМИЗАЦИИ РОСТА РЫБЫ ПУТЕМ ИНТЕГРАЦИИ ДВУХ ОТРАСЛЕЙ

Научная статья

Юрин Д.А.[1], Осепчук Д.В.[2], Юрина Н.А.[3, *], Максим Е.А.[4], Данилова А.А.[5], Волкова С.А.[6]

[1] ORCID: 0000-0003-1517-4858;
[2] ORCID: 0000-0003-4327-205X;
[3] ORCID: 0000-0003-2684-5020;
[4] ORCID: 0000-0003-1578-0145;
[5] ORCID: 0000-0001-9113-3850;
[6] ORCID: 0000-0003-1525-4591;
[1-6] Краснодарский научный центр по зоотехнии и ветеринарии, Краснодар, Россия;
[6] Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, Краснодар, Россия

* Корреспондирующий автор (naden8277[at]mail.ru)

Аннотация

Аквакультура, особенно выращивание ценных пород рыб, на сегодняшний день развивается стремительными темпами. Перспективным и эффективным направлением становится аквапоника – совместное культивирование рыбы в бассейнах и растений. Целью исследований являлось: изучить рыбоводные показатели молоди осетровых рыб, всхожесть, урожайность и содержание сухого вещества зеленой массы петрушки в условиях применения разработанной системы аквапоники. В статье приводятся данные о изучении влияния выращивания зелени петрушки в бассейне на вертикальной аквапонической установке в рыбоводном бассейне. Установлено повышение насыщаемости кислородом вода в бассейне на 3,5 %, увеличение урожайности зеленой массы петрушки, по сравнению с грунтовой, на 7,3 %, повышение навески молоди осетровых рыб на 7,9 %, коэффициента упитанности – на 9,6 % и выживаемости – на 3,0 %.

Ключевые слова: аквапоника, осетровые рыбы, петрушка, масса рыбы, коэффициент упитанности, выживаемость, урожайность зеленой массы.

ON THE OPTIMIZATION OF FISH GROWTH BY INTEGRATING TWO INDUSTRIES

Research article

Yurin D.A.[1], Osepchuk D.V.[2], Yurina N.A.[3, *], Maksim E.A.[4], Danilova A.A.[5], Volkova S.A.[6]

[1] ORCID: 0000-0003-1517-4858;
[2] ORCID: 0000-0003-4327-205X;
[3] ORCID: 0000-0003-2684-5020;
[4] ORCID: 0000-0003-1578-0145;
[5] ORCID: 0000-0001-9113-3850;
[6] ORCID: 0000-0003-1525-4591;
[1-6] Krasnodar Research Center for Animal Husbandry and Veterinary Medicine, Krasnodar, Russia;
[6] Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

* Corresponding author (naden8277[at]mail.ru)

Abstract

Aquaculture, especially the cultivation of valuable fish species, is undergoing rapid development. Aquaponics, the joint cultivation of fish in swimming pools and plants, is becoming a promising and effective direction. The purpose of the research is to study the fish-breeding indicators in young sturgeon, germination, yield, and dry matter content of the green mass of parsley in the context of using the developed aquaponics system. The article presents data on the study of the influence of growing parsley greens in the pool on a vertical aquaponic installation in a fish-breeding pool. The study identifies an increase in the oxygen saturation of water in the pool by 3.5 %, an increase in the yield of green mass of parsley by 7.3 % compared with the soil mass, an increase in the weight of young sturgeon fish by 7.9 %, the fatness coefficient – by 9.6% and survival rate – by 3.0%.

Keywords: aquaponics, sturgeon fish, parsley, fish weight, fatness coefficient, survival rate, yield of green mass.

Введение

Аквакультура на современном этапе в Российской Федерации стремительно набирает обороты [1, С. 96]. При этом показывает свою эффективность совмещение отраслей рыбоводства, звероводства, агротуризма и аквапоники.

Совмещенное выращивание рыбы и растений – это полноценный перспективный бизнес, позволяющий получить дополнительную продукцию растениеводства и улучшить процессы жизнеобеспечения рыбы [3, С. 8].

Аквапоника позволяет очистить воду в бассейнах от биогенов, насытить ее кислородом. Аквапоника это усовершенствованная система гидропоники, придающая преимущества как рыбоводству, так и растениеводству [4, С.69]. Теоретически интеграция системы аквапоники может повысить рыбоводные показатели рыбы, продукты жизнедеятельности которых преобразуются растением в растворимые формы и позволяют очищенной воде возвращаться обратно в бассейн [7, С. 299], [10, С. 24].

Научная новизна и практическая значимость исследований. Впервые в условиях Краснодарского края будут изучены рыбоводные показатели молоди осетровых рыб и эффективность культивирования растений при выращивании в условиях систем аквапоники [8, С. 317], [9, С. 540].

Результаты, полученные по итогам данной научно-исследовательской работы, смогут быть внедрены в технологический процесс рыбоводных предприятий различных масштабов и форм собственности.

Целью исследований являлось: изучить рыбоводные показатели молоди осетровых рыб, всхожесть, урожайность и содержание сухого вещества зеленой массы петрушки в условиях применения разработанной системы аквапоники.

Для достижения цели поставлены и решены следующие задачи:

1) Изучены рыбоводные показатели молоди осетровых рыб (стербела) при применении разработанной вертикальной аквапонной системы (проанализированы выживаемость, скорость роста, приросты массы, коэффициент упитанности);

2) Оценить всхожесть, урожайность и содержание сухого вещества зеленой массы петрушки в условиях применения разработанной системы аквапоники.

Методы и принципы исследования

Исследования будут проведены в условиях рыбоводного предприятия ООО «Албаши» Ленинградского района Краснодарского края.

Для опытов будут использоваться сеголетки стербела (остеровые) по 200 штук в каждой группе и петрушка сорта «Итальянский гигант». Опыт продолжался

Определены рыбоводные показатели молоди осетровых рыб при применении аквапонной системы по методике, описанной В.Я. Скляровым (ВНИРО, 2008): выживаемость, скорость роста, приросты массы, коэффициент упитанности, кормовой коэффициент, проведен морфологический анализ [6, С. 110]. Качество растениеводческой продукции оценивали по методике Б.А. Доспехова [2, С.202].

Схема эксперимента при выращивании молоди рыбы была следующей: 1 группа – контрольная, рыба содержалась в бетонном бассейне. Во 2 группе рыба содержалась в бетонном бассейне с аквапонной системой (вертикальная установка), которая выполнена в виде цилиндров с отверстиями, расположенных по ярусам под острым углом относительно горизонтальной плоскости модулей, включающие в себя стаканчики с растениями с нейтральным пористым грунтом, при этом обеспечивается вертикальный слив воды. Вода за счет непрерывного стекания больше насыщается кислородом на 3,5 %, что является положительным моментом для роста рыбы.

Исследования по высадке петрушки сорта «Итальянский гигант» (схема эксперимента № 2) проводили в весенне-летний период 2020 г. с четырехкратной повторностью. В контроле – 1 группа, посадка посев семян петрушки была выполнена при соблюдении расстояния между растениями 30 см, глубиной посадки 1 см, количеством семян 0,5 г на 1 м^2 на экспериментальных площадках 5 м^2 на черноземе выщелоченном. При необходимости проводили прикорневой полив грунтовых растений и использовали минеральные удобрения: аммиачную селитру — 10 г на 1 м^2 и суперфосфат — 5 на 1 м^2.

Во 2 группе проводили посадку семян в стаканчики аквапонной вертикальной установки.

Для биометрической обработки применяли 30 растений из каждой группы. Для определения сухого вещества на современном приборе Эвлас 2М использовали 6 проб.

Статистическая обработка данных проведена на программе Microsoft Excel. Различия считали достоверными при P<0,05; P<0,01; P<0,001, относительно первой группы [5, С. 184].

Основные результаты

При поведении эксперимента на рыбе по схеме № 1 установлено повышение основных рыбоводных показателей молоди рыбы (табл. 1).

Таблица 1 – Показатели выращивания рыбы по группам

Группа	Показатели выращивания рыбы			
	Начальная масса, г	Конечная масса, г	Длина тела, см	Коэффициент упитанности по Фультону
1 (контроль)	212,10±1,75	380,28±3,93	24,83±0,28	2,71±0,11
2 (опыт)	211,80±1,84	410,27±4,51	24,96±0,17	2,96±0,06
В %	99,9	107,9	100,5	109,6
td	0,12	5,01	0,38	2,07

Примечание: P<0,05; P<0,01; P<0,001

Вода за счет непрерывного стекания была более насыщена кислородом (на 3,5 % выше, чем в бассейне без аквапонного устройства).

Выживаемость рыбы в контрольной группе составила 97,0 %, а в опытной –100 %, или выше на 3,0 %.

Начальная масса рыбы в обеих группах была примерно на одном уровне. В конце эксперимента массы рыбы оказалась во 2 группе – 410,27 г, что больше, по сравнению с 1 группой, на 7,9 % (P<0,001), длина тела молоди стербела во 2 группе имела тенденцию к увеличению на 0,5 %, при этом повысился коэффициент упитанности на 9,6 % (P<0,05). Валовой прирост массы рыбы в 1 группе составил 168,18 г, а среднесуточный – 1,87 г, в опытной группе валовой прирост составил 198,47 г, среднесуточный – 2,21 г (выше контроля на 18,2 %).

При проведении опыта по схеме № 2 выявлено, что семена петрушки проросли в аквапонном устройстве быстрее, чем в грунте: всходы определялись на 7 сутки, в грунте – на 14 сутки. Всхожесть семян составила в 1 группе 62,0 %, во 2 группе – 66,0 %. Вегетационный период зеленой массы петрушки составил 60 дней в обеих группах. Длина растений составляла в обеих группах 42 см. Масса корней у растений в 1 группе составила 8,4±0,2 г, во 2 группе – 8,1±0,1 г.

За весь цикл выращивания (3 среза), урожайность зеленой массы составила в контроле 1,65 кг на 1 м^2, в опытной группе: 1,77 кг, что выше на 7,3 %.

Количество сухого вещества в листьях растений (n=6) в 1 группе составило 16,5±0,4 %, во 2 группе – 12,6±0,5 % (P<0,001), или на 3,7 % ниже, однако, при дегустации продукции особых различий по аромату и вкусу зелени между образцами не было установлено.

Заключение

Исходя из полученных результатов эксперимента, применение разработанной вертикальной аквапонной установки для выращивания зелени петрушки при содержании осетровых рыб в бассейнах способствует не только получению дополнительной продукции растениеводства, но и положительно сказывается на выживаемости, росте и коэффициенте упитанности рыб, вероятно за счет повышения уровня кислорода в воде и снижения биогенных веществ за счет питания растений.

Финансирование

Исследования проведены в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых по теме: «Новый способ самооптимизации использования водной поверхности внутренних пресных водоемов при выращивании растений без грунта» МД-1886.2019.11.

Funding

The research was carried out within the framework of a grant from the President of the Russian Federation for state support of young Russian scientists on the topic: "A new method of self-optimization of the use of the water surface of internal fresh water bodies when growing plants without soil" MD-1886.2019.11.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Григорьев В.А. Опыт совместного выращивания клариевого сома (*Clarias gariepinus burchell, 1822*) и салата (*Lactuca sativa l.*) методом аквапоники / В.А. Григорьев, А.В. Ковалева, М.Н. Сорокина и др. // Естественные науки. – 2015. – № 4 (53). – С. 96–101.

2. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): Учебник для высших сельскохозяйственных учебных заведений / Б.А. Доспехов. – Стереотипное издание. Перепечатка с 5-го изд., доп. и перераб., 1985 г. – М.: Альянс, 2014. – 351 с.

3. Ковригин А.В. Разработка элементов инновационной автоматизированной аквапонной технологии производства сельскохозяйственной продукции / А.В. Ковригин, В.П. Кулаченко, Р.А. Исаев и др. // Белгородский агромир. – 2015. – №3. – С.8–10.

4. Курылева Н.В. Гидропоника - как метод выращивания зеленых культур / Н.В. Курылева, А.В. Юрина // Молодежь и наука. 2016. № 5. С. 69.

5. Лакин Г.Ф. Биометрия / Г.Ф. Лакин // Учебное пособие для биол. спец. вузов, 4-е изд., перраб. и доп.- М.: Высшая школа, 1990. – 352 с.

6. Скляров В.Я. Корма и кормление рыб в аквакультуре / В.Я Скляров: – М.: Изд-во ВНИРО, 2008. – 150 с.

7. Boxman S.E. Evaluation of water treatment capacity, nutrient cycling, and biomass production in a marine aquaponic system / S.E. Boxman, S.J. Ergas, M.A. Trotz et al. // Ecological Engineering. – 2018. – T.120 – C. 299–310.

8. Krymov V. Changesof Weight Indicatorsin Sturgeon Fish When Using Combined Feedswith Various Proteinand Fat Contentsin Closed Water Supply Installations / V. Krymov, D.A. Yurin, S.I. Kononenko et al. // International Journal of Pharmaceutical Research. Volume 10, Issue 4, Oct - Dec, 2018. P. 316-322.

9. Krymov V.G. Possibilities of Implementation of Polyculture for Optimization of Industrial Sturgeon Aquaculture on the Basis of Closed Water Supply Facilities / V.G. Krymov, M.S. Galicheva, M.P. Semenenko et al. // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. - November–December 2018. № 9(6). P.540-545.

10. Kodmany, K. The vertical farm: a review of developments and implications for the vertical city al / K. Kodmany // Buildings. – 2018. – Vol. 8. – № 2. – P. 24.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Grigoriev V. A. Opyt sovmestnogo vyrashhivanija klarievogo soma (Clarias gariepinus burchell, 1822) i salata (Lactuca sativa l.) metodom akvaponiki [Experience of joint cultivation of Clarias catfish (*Clarias gariepinus burchell, 1822*) and lettuce (*Lactuca sativa L.*) by aquaponics] / V. A. Grigoriev, A.V. Kovaleva, M. N. Sorokina et al. // Estestvennye nauki [Natural Sciences]. – 2015. – № 4 (53). – pp. 96-101 [in Russian]

2. Dospekhov B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskojj obrabotki rezul'tatov issledovanijj): Uchebnik dlja vysshikh sel'skokhozjajjstvennykh uchebnykh zavedenijj [The methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results): A textbook for higher agricultural educational institutions.] / B. A. Dospekhov. Reprint from the 5th edition, Revised and Expanded, 1985-Moscow: Alyans, 2014. - 351 p. [in Russian]

3. Kovrigin A.V. Razrabotka ehlementov innovacionnojj avtomatizirovannojj akvaponnojj tekhnologii proizvodstva sel'skokhozjajjstvennojj produkcii [Development of elements of innovative automated aquaponic technology for agricultural production] / A.V. Kovrigin, V. P. Kulachenko, R. A. Isaev [et al.]. // Belgorodskiy agromir [Belgorod Agriculture]. - 2015. - No. 3. - pp. 8-10 [in Russian]

4. Kuryleva N. V. Gidroponika - kak metod vyrashhivanija zelenykh kul'tur [Hydroponics-as a method of growing green crops] / N. V. Kuryleva, A. V. Yurina // Molodezh' i nauka [Youth and Science]. 2016. № 5. p. 69 [in Russian]

5. Lakin G. F. Biometriya [Biometrics] / G. F. Lakin // Uchebnoe posobie dlja biol. spec. vuzov [Textbook for biological universities], 4th ed., Revised and Expanded-M.: Vysshaya shkola, 1990 – 352 p. [in Russian]

6. Sklyarov V. Ya. Korma i kormlenie ryb v akvakul'ture [Feed and feeding of fish in aquaculture] / V. Ya Sklyarov: - M.: Publishing house of VNIRO, 2008. - 150 p. [in Russian]

7. Boxman S.E. Evaluation of water treatment capacity, nutrient cycling, and biomass production in a marine aquaponic system / S.E. Boxman, S.J. Ergas, M.A. Trotz et al. // Ecological Engineering. – 2018. – Vol.120 – C. 299–310.

8. Krymov V. Changesof Weight Indicatorsin Sturgeon Fish When Using Combined Feedswith Various Proteinand Fat Contentsin Closed Water Supply Installations / V. Krymov, D.A. Yurin, S.I. Kononenko et al. // International Journal of Pharmaceutical Research. Volume 10, Issue 4, Oct - Dec, 2018. P. 316-322.

9. Krymov V.G. Possibilities of Implementation of Polyculture for Optimization of Industrial Sturgeon Aquaculture on the Basis of Closed Water Supply Facilities / V.G. Krymov, M.S. Galicheva, M.P. Semenenko et al. // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. - November–December 2018. № 9(6). P.540-545.

10. Kodmany, K. The vertical farm: a review of developments and implications for the vertical city al / K. Kodmany // Buildings. – 2018. – Vol. 8. – № 2. – P. 24.

ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHARMACEUTICS

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.110.8.024

ИЗУЧЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ В ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

Научная статья

Григорьева Л.М.[1, *], Гареева А.М.[2], Ваганов М.Д.[3], Мезенцева И.А.[4]
[1, 2, 3, 4] Тюменский государственный медицинский университет, Тюмень, Россия

* Корреспондирующий автор (ludgri2015[at]yandex.ru)

Аннотация

Установлено, что содержание тяжелых металлов в лекарственных растениях зависит от экологической обстановки района заготовки. В Тюменской области вопросы поступления, накопления и содержания тяжелых металлов в лекарственных растениях, а также их переход из растительного сырья в водные и спиртовые извлечения недостаточно изучены. Целью работы являлось изучение содержания Pb, Cd, Zn, Cu, Mn в образцах сырья мать-и-мачехи, собранных в местах с различной степенью техногенной нагрузки и сравнение с сырьем, заготовленным на фоновой территории; изучение путей поступления и распределения тяжелых металлов по органам в пределах одного растения; выявление особенностей перехода тяжелых металлов из лекарственного растительного сырья в водные (настои) и спиртовые (настойки) извлечения. Следует отметить, что количество тяжелых металлов во всех пробах мать-и-мачехи оказалось в среднем на 40,7% выше, а Pb в 6 раз больше, чем в пробах сырья, заготовленного на условно фоновой территории, за исключением Cd, концентрация которого оказалась в некоторых случаях ниже и составила в среднем 29,1% от фоновой. Лекарственные растения, произрастающие в местообитаниях с повышенной техногенной нагрузкой, накапливают больше Zn в почвах и подземных органах, а в - условно чистых – в подземных органах и траве. Максимальное содержание Pb накапливается в почвах растений, произрастающих на фоновой территории, где оно не превышает ПДК, а на территории, подвергшейся техногенной нагрузке - максимальная концентрация 10,3±0,9 мг/кг отмечена в траве тысячелистника, что превышает допустимый уровень. Средний переход Zn в водные извлечения составил 30, 6%, а Cu – 19, 6%, в спиртовые извлечения Zn перешло в среднем 9,9 %, а Cu 11,5 %, что соответственно на 21% и 8% ниже, чем в настои.

Ключевые слова: техногенная нагрузка, условно фоновая территория, тяжелые металлы, поступление, накопление, содержание, переход, лекарственные формы.

A STUDY OF CONTAMINATION OF MEDICINAL PLANTS WITH HEAVY METALS IN TYUMEN OBLAST

Research article

Grigoryeva L.M.[1, *], Gareeva A.M.[2], Vaganov M. D.[3], Mezentseva I.A.[4]
[1, 2, 3, 4] Tyumen State Medical University, Tyumen, Russia

* Corresponding author (ludgri2015[at]yandex.ru)

Abstract

The study establishes that the content of heavy metals in medicinal plants depends on the ecological situation of the planting areas. In Tyumen Oblast, the issues of occurrence, accumulation and content of heavy metals in medicinal plants, as well as their transition from plant raw materials to water and alcohol extracts, are insufficiently studied. The aim of the research was to analyze the content of Pb, Cd, Zn, Cu, Mn in samples of Coltsfoot raw materials collected in places with different degrees of man-made load and comparison with raw materials harvested in the reference site; to study the ways of accumulation and distribution of heavy metals in organs within a single plant; to identify the features of the transition of heavy metals from medicinal plant raw materials to water (infusions) and alcohol (tinctures) extraction. It should be noted that the amount of heavy metal content in all Coltsfoot samples was on average 40.7% higher, and Pb was 6 times higher than in samples of raw materials harvested on the reference site, with the exception of Cd, the concentration of which was in some cases lower and averaged 29.1% of the reference site. Medicinal plants growing in habitats with increased man-made load accumulate more Zn in soils and underground organs, and in (nominally pure) underground organs and grass. The maximum Pb content accumulates in the soils of plants growing in the background area, where it does not exceed the threshold limit value, while in the territory subjected to man-made load the maximum concentration of 10.3±0.9 mg/kg is noted in yarrow weed, which exceeds the threshold limit. The average transition of Zn to water extracts amounted to 30.6%, and Cu equaled 19.6%, Zn transitioned to alcohol extracts on average 9.9%, and Cu 11.5 %, which is 21% and 8% lower than in infusions, respectively.

Keywords: man-made load, reference site, heavy metals, receipt, accumulation, content, transition, dosage forms.

Введение

В последнее время все большее внимание уделяется региональным особенностям накопления токсических веществ в лекарственных растениях. Наиболее опасными среди них являются тяжелые металлы. Установлено, что содержание токсичных металлов в лекарственном растительном сырье зависит от конкретной экологической обстановки района заготовки [1], [7]. Введение в эксплуатацию все новых предприятий, интенсивная разработка месторождений нефти и газа, все это, ведет к загрязнению лекарственных растений в Тюменской области. Следует отметить, что в данном регионе вопросам изучения содержания тяжелых металлов в дикорастущем лекарственном растительном сырье, пока уделяется мало внимания. Поэтому данная тема в настоящее время требует более глубокого изучения.

Основными путями поступления тяжелых металлов в лекарственные растения являются корневой и фолиарный (через листья) [1], [7]. Способность корней поглощать из почвы тяжелые металлы различна и зависит от свойств минерального субстрата и свойств самих ионов – металлов. Накопление последних отдельными органами растений

избирательно и зависит от их морфолого-биологических особенностей [1], [7]. Изучение поступления и распределения металлических элементов по различным органам в пределах одного и того же растения, представляет большой интерес для выбора в качестве лекарственного растительного сырья более безопасного органа и использования его для лечения.

Следует отметить полезное действие тяжелых металлов. В небольших количествах они необходимы для нормального протекания различных биохимических процессов, как в растениях, так и в организме человека. Очень трудно установить грань, когда металл оказывает полезное, а когда - вредное действие на тот или иной орган человека. Вопросу перехода тяжелых металлов из лекарственного растительного сырья в водные извлечения (настои) и спиртовые извлечения (настойки) придается большое значение так, как данные лекарственные формы наиболее часто используются для лечения хронических заболеваний.

В последнее время была утверждена нормативная документация (НД), регламентирующая содержание токсичных металлов Cd, Pb и As в лекарственном растительном сырье и фитопрепаратах [5]. На другие металлы НД не разработана. Для решения вопроса доброкачественности лекарственного растительного сырья в таком случае, пользуются значениями ПДК на объекты растительного происхождения, близкие по составу к лекарственным растениям, например, БАДы [6].

Целью исследования являлось изучение содержания Pb, Cd, Zn, Cu и Mn в листьях мать-и-мачехи, заготовленных в местообитаниях с различной степенью техногенной нагрузки и сравнение с образцами, собранными на условно чистой (фоновой) территории; изучение содержание тяжелых металлов в подземных и надземных органах растений: тысячелистника обыкновенного, горца птичьего, подорожника большого, мать-и-мачехи, заготовленных в местах с различной интенсивностью техногенной нагрузки, а также в почвах, где произрастали эти виды; изучение особенностей перехода тяжелых металлов: Pb, Cd, Zn, Cu из листьев мать-и-мачехи в водные и спиртовые извлечения.

Методы и принципы исследования

Работа проводилась с 2018 по 2021 год. Материалом для исследования служили листья мать-и-мачехи и подорожника; трава тысячелистника и горца птичьего; подземные органы: корни и корневища, выше перечисленных видов, а также почва, где произрастали данные растения, взятая на глубине 10-15 см. Образцы проб для анализа были собраны у видов, произрастающих в окрестностях г. Тюмени: в районе ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2, вдоль железной дороги, в районе нефтеперерабатывающего завода (НПЗ), в районе « Тура», на месте бывшего КСК и в окрестностях загородного парка (территория принята за условно фоновую). Настои и отвары были приготовлены по методикам Государственной Фармакопеи XIV издания (ГФ XIV) [2]. Определение тяжелых металлов в лекарственном растительном сырье, подземных органах и почвах проводили методом атомно-абсорбционной спектрометрии на спектрометре ContrAA300 согласно ГОСТ 32343-2013 [4] и ОФС 1530009.15 [5]. Содержания тяжелых металлов в фитопрепаратах проводили методом атомно-абсорбционной спектрометрии на спектрометре ContrAA300 по методике ГФ XIV [5] и количественного определения ПНДФ 14.1:2:4.214-06 [3].

Основные результаты

В настоящее время известно около 15 тыс. веществ-загрязнителей. Установлено, что для каждого вида растения характерно избирательное накопление различных металлов [1], [7].

Сравнительное определение содержания тяжелых металлов: Pb, Cd, Zn, Cu, Mn в образцах сырья мать-и-мачехи, собранных в местах с различной степенью техногенной нагрузки и на фоновой территории показало (табл.1), что содержание Pb колебалось от 0,16±0,019 мг/кг в пробах, собранных на фоновой территории до 1,96±0,23 мг/кг в сырье, заготовленном в районе НПЗ, при этом, все образцы сырья по содержанию Pb не превысили предельно допустимую концентрацию (ПДК) не более 6 мг/кг [5]. Количество цинка варьировало от 32,6±2,9 мг/кг в образцах сырья мать-и-мачехи, собранных на условно фоновой территории до 59,8±5,4 мг/кг - в районе НПЗ, в последнем случае отмечено незначительное превышение допустимого уровня содержания Zn (табл.1) По разным источникам, концентрация Zn не должна быть выше 50 мг/кг [6]. Минимальное содержание кадмия выявлено в образцах сырья, собранных в районе НПЗ - 0,14±0,015 мг/кг, а максимальное – вдоль железной дороги – 1,28±0,14 мг/кг, последнее превысило ПДК (не более 1 мг/кг), в остальных случаях количество Cd соответствовало требованиям НД.

Таблица 1 – Сравнительное содержание тяжелых металлов в листьях мать-и-мачехи, собранных в местах с различной степенью техногенной нагрузки

№ п/п	Место сбора мать-и-мачехи	Содержание тяжелых металлов, мг/кг				
		Cd	Zn	Pb	Cu	Mn
1	Район ТЭЦ 1	0,18±0,019	37,70±3,40	0,44±0,05	7,90±0,95	24,20±2,50
2	Район КСК (100 м от железной дороги)	1,28±0,14	34,90±3,14	0,55±0,07	6,00±0,72	27,80±3,20
3	Район Нефтеперерабатывающего завода (НПЗ)	0,14±0,015	59,80±5,40	1,96±0,23	10,20±1,20	32,20±3,80
4	Условно фоновая территория	0,55±0,06	32,60±2,90	0,16±0,019	5,53±0,66	19,80±2,20

Количество Cu колебалось от 5,53±0,66 мг/кг в образцах сырья, взятых на условно фоновой территории до 10,2±1,2 мг/кг – в районе НПЗ. Полученные результаты свидетельствуют о невысоком содержании Cu в листьях мать-и-мачехи, что подтверждается литературными данными из разных регионов нашей страны [1]. Концентрация Mn варьировала в диапазоне от 19,8±2,2 мг/ кг в листьях мать-и-мачехи, заготовленных на условно фоновой территории до 32, 2±3,8 мг/кг, собранных в районе НПЗ. Все пробы сырья по содержанию марганца оказались сопоставимы с имеющимися

литературными данными по другим регионам Сибири [1]. Следует отметить, что содержание Zn, Cu, Mn во всех исследованных пробах мать-и-мачехи оказалось выше, в среднем на 40,7 %, Pb в 6 раз больше, чем в пробах, собранных на условно фоновой территории, за исключением Cd, концентрация которого в некоторых случаях оказалась ниже и составила 29,1% от фоновой, а в других - превысила ПДК в 2,3 раза (табл. 1).

Для изучения путей поступления тяжелых металлов в растения в качестве объектов исследования были взяты: надземные и подземные органы тысячелистника, горца птичьего, подорожника большого, мать-и-мачехи, заготовленные в местах с различной интенсивность ю техногенной нагрузки, а также почва, где произрастали эти виды (табл.3). Для сравнения аналогичные пробы были взяты у видов, произрастающих на условно фоновой территории (табл.2).

Таблица 2 – Содержание тяжелых металлов в почвах, подземных и надземных органах растений, произрастающих на условно фоновой территории

Растение	Название образцов, взятых на анализ	Содержание тяжелых металлов		
		Cd, мг/кг	Pb, мг/кг	Zn, мг/кг
Тысячелистник обыкновенный	Почва, где произрастал тысячелистник	Менее 1,0	5,00±0,6	7,1±0,9
	Подземные органы тысячелистника	Менее 0,1	2,70±0,3	14,7±1,6
	Надземные органы (трава) тысячелистника	Менее 0,1	0,70±0,08	19,7±2,4
Горец птичий	Почва, где произрастал горец птичий	Менее 1,0	5,00±0,6	7,1±0,9
	Подземные органы горца птичьего	Менее 0,1	2,65±0,29	14,0±1,3
	Надземные органы(трава) горца птичьего	Менее 0,1	0,19±0,011	23,3±2,6
Подорожник большой	Почва, где произрастал подорожник	Менее 1,0	2,45±0,27	14,8±1,5
	Подземные органы подорожника	Менее 0,1	2,25±0,25	44,8±5,4
	Надземные органы (листья) подорожника	Менее 0,1	0,15±0,014	28,6±2,6
Мать-и-мачеха обыкновенная	Почва, где произрастала мать-и-мачеха	Менее 1,0	2,00±0,22	14,0±1,7
	Подземные органы мать-и-мачехи	Менее 0,1	1,80±0,20	40,0±4,8
	Надземные органы (листья) мать-и-мачехи	Менее 0,1	0,16±0,017	32,5±3,9

В пробах сырья растений, произрастающих на условно чистой территории, было обнаружено минимальное содержание Cd. В органах растений оно не превысило 0,1 мг/кг, а в почвах – 1 мг/кг. Минимальное количество Zn было отмечено в пробах почв, где оно варьировало в пределах от 7,1±0,9 до 14,8±1,5 мг/кг. В подземных органах горца птичьего и тысячелистника обыкновенного концентрация Zn на 50% оказалась выше, чем в почве, а в подземных органах подорожника и мать-и-мачехи аккумулировалось в 3 раза больше 44,8±5,4 и 40±4,8 мг/кг соответственно металла по сравнению с почвой. Максимальное накопление Zn происходит в надземных органах растений. Так в траве горца птичьего его содержание увеличилось на 40% по сравнению с подземными органами, а в траве тысячелистника - на 25,4%. Полученные данные, свидетельствуют о поступлении цинка через надземные органы растения, у видов, лекарственным сырьем, которых является трава. В листьях подорожника и мать-и-мачехи отмечается снижение количества Zn на 36% и 19% соответственно, по сравнению с подземными органами Можно считать, что у растений, имеющих корневую розетку листьев, наблюдается корневой способ поступления металла. Полученные результаты соответствуют литературным [1] и не превышают ПДК[6] (табл.2). Наибольшее количество Pb 5±0,6 мг/кг накапливается в почвах, где произрастали горец птичий и тысячелистник обыкновенный, в подземных органах содержание свинца уменьшается примерно в 2 раза, а в надземных органах растений оно минимально и находится в интервале от 0,1±0.011 до 0,7±0,08 мг/кг. Незначительное поступление Pb из почвы в подземные органы, а из них в надземные, можно объяснить срабатыванием защитных функций физиолого-биохимических механизмов растений [1]. В образцах проб подорожника и мать-и-мачехи максимальное содержание Pb наблюдается в почве в пределах от 2±0,22 до 2,45±0,27 мг/кг, в подземных органах оно меняется незначительно, а в листьях оно минимально и не превышает 0,16± 0.017мг/кг (табл.2). О пути поступления металла в данном случае судить сложно. Изучение путей поступления и распределение тяжелых металлов по органам растений, произрастающих в зонах с повышенной степенью техногенной нагрузки, наблюдали на примере мать-и-мачехи и тысячелистника (табл.3). Образцы проб лекарственного сырья были собраны в районе ТЭЦ-2. В пробах почв, подземных и надземных органов растений, взятых на анализ, также, как и в пробах растений, произрастающих на фоновой территории, было отмечено невысокое содержание Cd. Его количество в почвах составило менее 1 мг/кг, а в органах растений не превысило 0,1 мг/кг. Содержание Pb в почве, где произрастала мать-и-мачеха, в корневищах и листьях мало отличалось и составило 1,2±0,11, 1,5±0,14 и 1±0,09 мг/кг соответственно и не превысило требований НД. О путях поступления свинца в данном случае судить сложно. Максимальное содержание Pb накапливается в траве тысячелистника, где оно достигает 10,3±0,9 мг/кг, что превышает ПДК [5], также

высокое содержание отмечено в почве 7,4±1,0 мг/кг, в подземных органах оно минимально 1,7±0,15 мг/кг. Эти показатели свидетельствуют о том, что из почвы в корни адсорбции Pb не происходит, т.е. преобладает фолиарный (через листья) тип поглощения металла. Максимальное содержание Zn 36,7±4,1 мг/кг отмечено в почве, где произрастала мать-и-мачеха, в корневищах количество металла ниже и составило 23,2±2,6 мг/кг, а в листьях по сравнению с подземными органами концентрация Zn снизилась в 2 раза и составила 10, 6±1,2 мг/кг. В почве, где произрастал тысячелистник, содержание Zn составило 9,5±1,1 мг/кг, в корневищах оно максимально и достигло 15,7±1,9 мг/кг, а в траве уменьшилось до 10,4±1,25 мг/кг. Следует отметить, что в обоих случаях наблюдается корневой способ поступления Zn в растения (табл.3).

Таблица 3 – Содержание тяжелых металлов в почвах, подземных и надземных органах растений, произрастающих на территории с высокой техногенной нагрузкой

Название растения	Название образцов проб, взятых на анализ	Содержание тяжелых металлов:		
		Cd, мг/кг	Pb, мг/кг	Zn, мг/кг
Мать-и-мачеха обыкновенная	Почва, где произрастала мать-и-мачеха	Менее 1,0	1,20±0,11	36,7±4,1
	Подземные органы мать-и-мачехи	Менее 0,1	1,50±0,14	23,2±2,6
	Надземные органы (листья) мать-и-мачехи	Менее 0,1	1,00±0,09	10,6±1,2
Тысячелистник обыкновенный	Почва, где произрастал тысячелистник	Менее 1,0	7,40±1,0	9,5±1,10
	Подземные органы тысячелистника	Менее 0,1	1,70±0,15	15,7±1,9
	Надземные органы (трава) тысячелистника	Менее 0,1	10,30±0,9	10,4±1,25

Переход тяжелых металлов из лекарственного сырья в водные и спиртовые извлечения изучали на листьях мать-и-мачехи, заготовленных

в условиях различной степени техногенной нагрузки, на расстоянии от источника загрязнения: в 100 м от автомобильной дороги, в 200 м от железной дороги (район КСК) и в 300 м от НПЗ (табл. 4).

Содержание Cd и Pb во всех образцах сырья оказалось минимальным и не превысило 0,1мг/кг. Количество цинка варьировало от 39±4,2 мг/кг в

листьях мать-и-мачехи, заготовленных в районе КСК до 63,1±6,9 мг/кг, собранных в районе НПЗ, в последнем случае отмечено завышенное содержание Zn на 26% (табл.4). В остальных образцах сырья Zn находился в пределах ПДК [6]. Количество Cu колебалось в диапазоне от 8±0,7 мг/кг в пробах сырья мать-и-мачехи, собранных в районе «Тура» до 21,5±2,6 мг/кг – в районе КСК. В водные извлечения (настои) переход Cd из ЛРС оказался минимальным, в среднем составил 0,001 мг/кг. Несмотря на высокий процент перехода в среднем 53%, содержание Pb в водных извлечениях, также оказалось незначительное и колебалось от 0,02±0,001 мг/кг в настоях из сырья, произрастающего в районе НПЗ до 0,08±0,006 мг/кг из сырья, заготовленного в районе «Тура» (табл.4).

Таблица 4 – Содержание и переход тяжелых металлов из листьев мать-и-мачехи в водные и спиртовые извлечения

Металл	Название проб, % перехода металлов в извлечения	Место сбора листьев мать-и-мачехи (ЛРС)		
		100 м от автодороги (район «Тура»)	200 м от железной дороги (район КСК)	300 м от нефте-перерабатывающего завода (НПЗ)
Pb	ЛРС, мг/кг	0,100 ± 0,011	0,100±0,011	0,100 ±0,011
	Водное извлечение, мг/кг	0,080 ± 0,006	0,060 ± 0,007	0,020 ± 0,001
	Переход, %	80	60	20
	Спиртовое извлечение, мг/кг	0,050 ± 0,004	0,040 ± 0,003	0,014 ± 0,001
	Переход, %	50	40	14
Zn	ЛРС, мг/кг	41,8 ± 4,6	39,0 ± 4,2	63,1 ± 6,9
	Водное извлечение, мг/кг	18,0 ± 2,0	13,00 ± 1,43	10,0 ± 1,1
	Переход, %	43	33	15,8
	Спиртовое извлечение, мг/кг	3,6 ± 0,4	5,90 ± 0,64	3,80 ± 0,42
	Переход, %	8,6	15,1	6,0
Cu	ЛРС, мг/кг	8,0 ± 0,7	21,5 ± 2,6	13,70 ± 1,23
	Водное извлечение, мг/кг	2,00 ± 0,18	1,00 ± 0,09	4,00 ± 0,36
	Переход, %	25	4,7	29,2
	Спиртовое извлечение, мг/кг	1,80 ±0,20	0,90 ± 0,08	1,08 ± 0,09
	Переход, %	22,5	4,2	7,9

Максимальный переход Zn 43% в настои наблюдался из листьев мать-и-мачехи, содержащих среднее количество цинка 41,8±4,6 мг/кг, собранных в районе «Тура», а минимальный 15,8% из сырья, содержащего максимальное количество металла 63,1±6,9 мг/кг, заготовленного в районе НПЗ. Средний переход составил 30,6%. Концентрация Cu в водных извлечениях находилась в диапазоне от 1±0,09мг/кг до 4±0,36 мг/кг, а переход в настои колебался от 4,7% до 29,2%. Максимальный переход отмечен из сырья мать-и-мачехи, содержащего среднее количество меди 13,7±1,23 мг/кг, произрастающего в районе НПЗ, а минимальный переход из листьев мать-и-мачехи, содержащих максимальное количество Cu 21,5±2,6 мг/кг. Средний переход меди из ЛРС в настои составил 19,6%. Извлечение Cd и Pb из лекарственного растительного сырья в настойки оказалось еще ниже, чем в настои. Концентрацию их было трудно зафиксировать прибором. Переход Zn в спиртовые извлечения варьировал от 6,0% до 15,1%, в среднем составил 9,9%, что на 21% ниже, чем в водные извлечения. Максимальный переход Zn отмечен из сырья, содержавшего наименьшее количество металла 39±4,2 мг/кг, а минимальный - из сырья, содержавшего наибольшее количество цинка 63,1±6,9 мг/кг. Настойка из листьев мать-и-мачехи с максимальной концентрацией Cu 1,8±0,2 мг/кг оказалась приготовленной из ЛРС, содержавшего наименьшее количество металла 8±0,7 мг/кг, а с минимальной концентрацией - 0,9±0,08 мг/кг наоборот из сырья с высоким содержанием меди 21,5±2,6 мг/кг (табл.4). Средний переход Cu в спиртовые извлечения составил 11,5%, что на 8% ниже, чем в водные извлечения. Во всех случаях переход тяжелых металлов в настои оказался выше, чем в настойки. Это можно объяснить тем, что металлы в лекарственном растительном сырье находятся в водорастворимой форме [1].

Заключение

1. Содержание тяжелых металлов: Pb, Cu, Mn во всех исследованных образцах сырья мать-и-мачехи, заготовленных в местах с различной интенсивностью техногенной нагрузки и на условно фоновой территории соответствует требованиям НД и ПДК на БАДы на растительной основе.

2. Содержание Cd не соответствует требованиям НД в пробах сырья, заготовленных вдоль железной дороги, а Zn – ПДК в образцах сырья, собранных в районе НПЗ.

3. Содержание Zn, Cu, Mn во всех исследованных пробах мать-и-мачехи оказалось выше, в среднем на 40,7 %, а Pb в 6 раз больше, чем в пробах, собранных на условно фоновой территории, за исключением Cd, концентрация которого оказалась ниже в некоторых образцах и составила в среднем 29,1 % от фоновой, а в других - превысила ПДК в 2,3 раза.

4. Содержание Cd во всех образцах почвы , надземных и подземных органах растений, собранных в местообитаниях с различной степенью техногенной нагрузки минимально и не превышает 0,1 мг/кг в лекарственном сырье и 1 мг/кг в почвах.

5. Лекарственные растения, произрастающие на территории с повышенной техногенной нагрузкой, накапливают больше Zn в почвах и подземных органах, а на условно чистых территориях - в подземных органах и траве.

6. Максимальное содержание Pb накапливается в почвах растений, произрастающих на фоновой территории, но оно не превышает допустимого уровня, а на загрязненной территории максимальная концентрация 10,3±0,9 мг/кг отмечена в траве тысячелистника, что превышает ПДК.

7. Содержание Pb и Cd в листьях мать-и-мачехи, в водных и спиртовых извлечениях оказалось незначительным, ниже допустимого уровня фиксации прибором.

8. Содержание Zn в листьях мать-и-мачехи, собранных в 300 м от НПЗ, превысило ПДК на 26% .

9. Средний переход Zn из листьев мать-и-мачехи в водные извлечения составил 30, 6%, а Cu – 19,6%, в спиртовые извлечения Zn перешло в среднем 9,9%, а Cu 11,5 %, что соответственно на 21% и 8% ниже, чем в настои.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Гравель, И. В. Фармакогнозия. Экотоксиканты в лекарственном растительном сырье и фитопрепаратах: учеб. пособие / И. В. Гравель и др. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2013. – 304 с.

2. Государственная фармакопея Российской Федерации XIV изд. - М.: МЗ РФ, 2018 - Т. 2. – С. 1962-1972.

3. Количественный анализ вод. Методика измерений массовых концентраций Fe, Cd, Co, Mn, Ni, Cu, Zn, Cr u Pb в питьевых, поверхностных и сточных водах методом пламенной атомно-абсорбционной спектрометрии (ПНД Ф 14.1:2:4. 214-06) – М., 2011. – 22 с.

4. Межгосударственный стандарт ГОСТ 32343-2013. Корма и комбикорма. Определение Cu, Mg, Mn, Fe, Ca методом атомно-абсорбционной спектрометрии. – М.: Гостинформстат, 2013. – 16 с.

5. Определение содержания тяжелых металлов и мышьяка в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах. ОФС.1530009.15. /ГФXIV изд. – М.:МЗ РФ, 2018. –Т.2 – С.2370-2382.

6. Продовольственное сырье и пищевые продукты. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Сан Пин 2.3.2.1078-01. – М..2001. – 269 с.

7. Романе Э. Я. Загрязнение лекарственного растительного сырья в зонах влияния автотранспорта (на примере Ленинградской области) / Э. Я. Романе : автореф. дис. …канд. фарм. наук: 15.00.02., Л., 1987. 22 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1.Gravel I.V. Farmakognozija. Jekotoksikanty v lekarstvennom rastitel'nom syr'e i fitopreparatah [Pharmacognosy. Ecotoxicants in medicinal plant raw materials and phytopreparations]: textbook. manual / I. V. Gravel et al. - M .: GEOTAR-Media, P. 2013. - 304. [in Russian]

2. Gosudarstvennaja farmakopeja Rossijskoj Federacii [State Pharmacopoeia of the Russian Federation] XIV edition. - M .: Ministry of Health of the Russian Federation, 2018 - Vol. 2. – P. 1962-1972. [in Russian]

3. Kolichestvennyj analiz vod. Metodika izmerenij massovyh koncentracij Fe, Cd, Co, Mn, Ni, Cu, Zn, Cr u Pb v pit'evyh, poverhnostnyh i stochnyh vodah metodom plamennoj atomno-absorbcionnoj spektrometrii (PND F 14.1:2:4. 214-06) [Quantitative analysis of waters. Methods for measuring mass concentrations of Fe, Cd, Co, Mn, Ni, Cu, Zn, Cr and Pb in drinking, surface and waste waters by flame atomic absorption spectrometry (PND F 14.1: 2: 4. 214-06)] - M. , 2011 .- P.22. [in Russian]

4. Mezhgosudarstvennyj standart GOST 32343-2013. Korma i kombikorma. Opredelenie Cu, Mg, Mn, Fe, Ca metodom atomno-absorbcionnoj spektrometrii [Interstate standard State Standart 32343-2013. Feed and compound feed. Determination of Cu, Mg, Mn, Fe, Ca by atomic absorption spectrometry]. - M .: Gostinformstat, 2013 .- P.16. [in Russian]

5. Opredelenie soderzhanija tjazhelyh metallov i mysh'jaka v lekarstvennom rastitel'nom syr'e i lekarstvennyh rastitel'nyh preparatah. OFS.1530009.15. [Determination of the content of heavy metals and arsenic in medicinal plant raw materials and medicinal herbal preparations. GMP.1530009.15]. / SP XIV ed. - M.: Ministry of Health of the Russian Federation, 2018. –Vol.2 - P. 2370-2382 [in Russian]

6. Prodovol'stvennoe syr'e i pishhevye produkty. Gigienicheskie trebovanija bezopasnosti i pishhevoj cennosti pishhevyh produktov [Food raw materials and food products. Hygienic requirements for food safety and nutritional value]. San Pin 2.3.2.1078-01. - M..2001. - P.269. [in Russian]

7. Romane E. Ya. Zagrjaznenie lekarstvennogo rastitel'nogo syr'ja v zonah vlijanija avtotransporta (na primere Leningradskoj oblasti) [Contamination of medicinal plant materials in the zones of influence of motor transport (on the example of the Leningrad region)] / Je. Ja. Romane: author. dis. ...PhD in Pharmaceutics: 15.00.02., L., 1987. P. 22. [in Russian]

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.110.8.025

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО РЕАЛИЗАЦИИ КОМПЛЕКСА ТАНИНА И СУЛЬФАЦИЛА – НАТРИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЯГКОЙ ЛЕКАРСТВЕННОЙ ФОРМЫ

Научная статья

Лежнева Л.П.[1], Поздняков Д.И.[2], Темирбулатова А.М.[3], Позднякова А.Е.[4, *]

[1, 2, 3, 4, 5] Пятигорский медико-фармацевтический институт - филиал Волгоградского государственного медицинского университета, Пятигорск, Россия

* Корреспондирующий автор (techno.nastya2015[at]yandex.ru)

Аннотация

Цель. Разработка мягкой лекарственной формы – мази на основе комплекса танина и сульфацила-натрия для лечения инфицированных ран. Методика. При разработке состава мази использовали метод диффузии в желатиновый гель в опытах «in vitro» и микробиологический метод оценки высвобождения физиологически активных веществ из мазей при прямом их контакте со средой способом «колодца». С целью идентификации танина и сульфацила-натрия применяли метод УФ-спектрофотометрии. Качественное определение танина в мази проводили методом перманганатометрии с индигосульфокислотой, а сульфацила-натрия методом нитритометрии. Результаты. Проведены биофармацевтические исследования и установлена рациональная мазевая основа из 10 г эмульгатора Т-2, 60 г вазелина, 30 г воды, обеспечивающая максимальное высвобождение лекарственных средств. Определены оптимальные терапевтические концентрации танина (3 %) и сульфацила-натрия (10 %) в лекарственной форме. Для идентификации танина и сульфацила-натрия в мази были изучены их УФ - спектры поглощения при совместном присутствии. Танин имеет максимум поглощения при λ = 285 нм, а сульфацил-натрий при λ = 256 нм. Проведено количественное определение танина и сульфацила – натрия в мази. Заключение. Разработанная мазь на основе дубильного вещества танина и сульфаниламидного препарата сульфацила-натрия рекомендуется как эффективное средство для лечения инфицированных ран.

Ключевые слова: дубильные вещества, танин, сульфацил-натрий, мазь, раны.

RESEARCH ON THE IMPLEMENTATION OF THE COMPLEX OF TANNIN AND SODIUM SULFACYL IN THE DEVELOPMENT OF A SEMISOLID DOSAGE FORM

Research article

Lezhneva L.P.[1], Pozdnyakov D.I.[2], Temirbulatova A.M. [3], Pozdnyakova A.E.[4, *]

[1, 2, 3, 4, 5] Pyatigorsk Medical and Pharmaceutical Institute, branch of the Volgograd State Medical University, Pyatigorsk, Russia

* Corresponding author (techno.nastya2015[at]yandex.ru)

Abstract

The aim of the study is to develop a semisolid dosage form, an ointment based on a complex of tannin and sodium sulfacyl for the treatment of infected wounds. Methodology. When developing the ointment, the authors used a method of diffusion into gelatin gel in "in vitro" experiments and a microbiological method for evaluating the release of physiologically active substances from ointments in direct contact with the medium by the "well" method. UV spectrophotometry was used to identify tannin and sodium sulfacyl. Qualitative determination of tannin in the ointment was carried out by permanganatometry with indigosulfonic acid, and sodium sulfacyl by nitritometry. Results. The article features biopharmaceutical research and an establishment of a rational ointment base from 10 g of T-2 emulsifier, 60 g of vaseline, 30 g of water, providing maximum release of medicine. Also, the study determines the optimal therapeutic concentrations of tannin (3 %) and sodium sulfacyl (10 %) in the dosage form. To identify tannin and sodium sulfacyl in the ointment, their UV absorption spectra were studied in the joint presence. Tannin has a maximum absorption at λ= 285 nm, sodium sulfacyl is observed to have it at λ= 256 nm. The quantitative determination of tannin and sodium sulfacyl in the ointment was also carried out. Conclusion. The developed ointment based on tannin and sulfonamide preparation sodium sulfacyl is recommended as an effective remedy for the treatment of infected wounds.

Keywords: tannins, tannin, sodium sulfacyl, ointment, wounds.

Введение

Применение растений с лечебной целью имеет свое начало в глубокой древности. В последние десятилетия, несмотря на большое количество синтетических лекарственных препаратов, растительное сырье остается важнейшей базой для создания эффективных лекарственных средств. Успешное применение препаратов растительного происхождения объясняется их высокой биологической активностью, редкими аллергическими реакциями и воздействием зачастую комплекса веществ, содержащихся в растениях.

Проблема лечения ран остается одной из актуальных в современной практической медицине. Итоги многолетних исследований подтверждают целесообразность применения препаратов из растений. Они ускоряют репаративные процессы в очаге поражения, оказывают антибактериальное действие даже на антибиотикоустойчивые штаммы микроорганизмов, находящихся в ранах [4].

Лечение лекарственными препаратами растительного происхождения нельзя противопоставлять другим средствам, применяемым с лечебной целью. Необходимо разумно и критически рассматривать возможность их сочетания с целью комплексного лечения [1], [5].

Теоретическая и практическая значимость проведенных исследований состоит в изучении возможности реализации комплекса танина и сульфацила-натрия при разработке мази для лечения ран.

Танин относится к гидролизуемым дубильным веществам и по химической структуре является эфиром галловой кислоты. Танин обладает выраженными вяжущими, кровоостанавливающими, репаративными, противовоспалительными и антибактериальными свойствами [10].

Сульфацил-натрий представляет собой сульфаниламидный препарат и находит применение для лечения инфицированных ран благодаря наличию высокой эффективности в отношение чувствительных штаммов. Широкое использование сульфацила-натрия в дерматологической практике связано с повышенной (по сравнению с другими сульфаниламидными препаратами) степенью проникновения в подкожные структуры, что делает возможным терапию хронических глубоко локализованных кожных инфекций. С целью достижения синергетического эффекта и увеличения спектра антибактериального действия сульфацил-натрия используется в комбинациях с противовоспалительными и вяжущими средствами [10].

Материалы и методы исследования

Объектами исследования служили танин и сульфацил-натрий. Композицию лекарственных средств использовали для введения в мягкую лекарственную форму – мазь для лечения инфицированных ран. Установление рациональной мазевой основы проводили методом диффузии в желатиновый гель в опытах «in vitro». Для определения оптимальной концентрации танина и сульфацила-натрия в мази использовали результаты изучения антимикробной активности указанных средств. При постановке эксперимента применяли микробиологический метод оценки высвобождения физиологически активных веществ из лекарственной формы в опытах «in vitro» при прямом контакте мазей со средой методом «колодца». [6].

Идентификацию сульфацила-натрия и танина проводили методом УФ-спектрофотометрии. Для определения исследуемых веществ использовали две основные оптические характеристики: положение максимумов светопоглощения и установление интенсивности в области максимумов поглощения [7].

Количественное определение сульфацила-натрия в мази проводили методом нитритометрии [8].

Методика анализа: 1,0 г мази (точная навеска) растворяли в воде, в колбе вместимостью 100 мл при нагревании на водяной бане до полного растворения основы, прибавляли 1,0 г калия бромида и при постоянном перемешивании титровали 0,1 М раствором нитрита натрия, добавляя его вначале со скоростью 2 мл в минуту, а в конце титрования (за 0,5 мл до эквивалентного количества) по 0,05 мл через минуту. В качестве индикатора использовали смесь тропеолина 00 с метиленовым синим. Титрование проводили при температуре не выше 18-20°С. Параллельно проводили контрольный опыт.

1 мл 0,1 М раствора нитрита натрия соответствует 0,02542 г сульфацила-натрия. Для определения танина в лекарственной форме использовали следующий алгоритм действий: 1,0 г мази (точная навеска) растворяли в воде, в колбе вместимостью 1000 мл при нагревании на водяной бане до полного растворения основы. Охлаждали, добавляли 10 мл индигосульфокислоты и 750 мл воды, перемешивали и титровали 0,1 М раствором перманганата калия до перехода синего цвета раствора в золотисто-желтый. Параллельно проводили контрольный опыт.

1 мл 0,1 М раствора перманганата калия соответствует 0,004157 г дубильных веществ в пересчете на танин.

Статистическую обработку полученных результатов производили с применением пакета статистического анализа StatPlus, 2009 (AnalystSoft, США). Данные выражали в виде M (среднее значение) ± SEM (стандартная ошибка среднего). Нормальность распределения проверяли с применением критерия Колмогорова-Смирнова. В случае подчинения данных закону нормального распределения сравнение групп средних осуществляли критерием Стьюдента, в обратном случае применяли критерий Манна-Уитни. В ходе статистической обработки результатов эксперимента осуществляли парное сравнение при уровне значимости $p<0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

Терапевтическая ценность мазей во многом зависит от правильного выбора мазевой основы, поскольку именно она оказывает решающее влияние на скорость и полноту высвобождения лекарственных средств из мазей. Нами были проведены исследования по изысканию рациональной мазевой основы, обеспечивающей максимальный лечебный эффект танина и сульфацила-натрия.

В процессе эксперимента были изучены 12 составов мазевых основ (табл. 1). Приготовленные образцы мазей использовали в дальнейшем для проведения биофармацевтических исследований. Лекарственные средства вводили в мазевые основы в модельных концентрациях: танин – 2 %, сульфацил-натрий – 5 %.

Таблица 1 – Составы изученных мазевых основ

Компоненты мазевой основы	Номер мазевой основы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Эмульгатор Т-2, г.				10								
Вазелин, г.				60	45	77	5			45	5	
ПЭО-400, г.		40									55	
ПЭО-1500, г.		50										
Моностеарат глицерина, г.						3						
Натрий-КМЦ, г.			5					3				
Глицерин, г.	10		10									
Пентол, г.					5					15		
Парафин, г.							12	6	7			
Эмульгатор № 1, г.								6	15			
Бентонит, г.	30											

Окончание таблицы 1 – Составы изученных мазевых основ

Компоненты мазевой основы	Номер мазевой основы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Спирты шерстяного воска, г.							34					
Ланолин безводный, г.					10						10	
Масло вазелиновое, г.							30	13				
Воск, г.												10
Масло какао, г.												20
Масло подсолнечное, г.												70
Вода очищенная, г.	Для каждой композиции – до 100											

Сравнительную оценку изучаемых основ проводили методом диффузии в желатиновый гель в опытах «*in vitro*». Готовили 2 % желатиновый гель на стандартном растворе (натрия хлорида 8,9 г; калия хлорида 0,33 г; воды очищенной до 1000 мл) и разливали в чашки Петри по 15-20 мл. Через 24 часа вырезали правильно отверстия диаметром 8 мм и вносили в них навески приготовленных на двенадцати мазевых основах мазей по 1 г. В состав солевого раствора геля вносили предварительно индикатор на дубильные вещества (танин) – железоаммониевые квасцы. С танином квасцы образуют комплекс, окрашенный в черно – синий цвет. Критерием оценки служила степень высвобождения танина из мазей, приготовленных на различных основах, которую определяли по радиусу окрашенных зон [9]. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Зависимость степени высвобождения танина из мазей от характера мазевой основы

№ основы	Радиус окрашенных зон, мм		
	3 часа	6 часов	12 часов
1	6,2 ± 0,3	9,5 ± 0,5	11,2 ± 0,7
2	5,4 ± 0,2	8,3 ± 0,4	10,5 ± 0,7
3	6,9 ± 0,3	10,1 ± 0,5	11,6 ± 0,6
4	8,8 ± 0,4	12,8 ± 0,6	17,2 ± 0,7
5	4,7 ± 0,3	7,4 ± 0,4	9,8 ± 0,5
6	5,7 ± 0,2	8,4 ± 0,4	11,1 ± 0,5
7	4,1 ± 0,3	6,9 ± 0,4	9,2 ± 0,4
8	4,8 ± 0,3	7,2 ± 0,5	10,2 ± 0,6
9	6,5 ± 0,3	10,2 ± 0,5	12,1 ± 0,5
10	3,2 ± 0,2	6,7 ± 0,4	9,8 ± 0,4
11	7,2 ± 0,3	10,1 ± 0,4	13,2 ± 0,4
12	4,2 ± 0,1	6,8 ± 0,4	9,1 ± 0,5

Из полученных результатов следует, что максимальное высвобождение танина проявила мазь, приготовленная на эмульсионной основе № 4.

Для определения оптимальных концентраций танина и сульфацила-натрия в мази, обеспечивающих терапевтический эффект, использовали данные литературы и результаты изучения антимикробной активности указанных лекарственных средств. В эксперименте был реализован микробиологический метод оценки высвобождения физиологически активных веществ из мазей. Исследования проводили в опытах «*in vitro*» при прямом контакте мазей со средой методом «колодца» [2], [3].

40 чашек Петри с питательным агаром засевали стандартной культурой споровой микрофлоры - Bacillus anthracoides. В агаре вырезали отверстия диаметром 5 мм для одинаковых навесок мазей. Чашки Петри разделяли на две части. В первой серии использовали образцы мазей, приготовленных на эмульсионной основе № 4, которые отличались концентрацией танина: 1 %, 2 %, 3 %, 4 %, 5 %.

Во второй серии образцы мазей также были приготовлены на эмульсионной основе № 4, но отличались концентрацией сульфацила-натрия: 1 %, 5 %, 10 %, 15 %, 20 %.Все чашки Петри термостатировали в течение 24 часов при температуре 37°С. Об антимикробной активности судили по размерам зон ингибирования роста споровой микрофлоры (табл. 3 и табл. 4).

Таблица 3 – Влияние концентрации танина на антимикробную активность мазей

Концентрация танина, %	Диаметр зон ингибирования роста тест-микроба, мм
1	18,2 ± 0,7
2	22,4 ± 0,8
3	31,5 ± 0,8*#
4	31,3 ± 0,8*#
5	31,4 ± 0,8*#

*Примечание: * – статистически значимо относительно концентрации танина 1%; # – статистически значимо относительно концентрации танина 2%*

Таблица 4 – Влияние концентрации сульфацила-натрия на антимикробную активность мазей

Концентрация сульфацила – натрия, %	Диаметр зон ингибирования роста тест-микроба, мм
1	41,2 ± 0,7
5	49,4 ± 0,8
10	62,3 ± 0,8*#
15	62,4 ± 0,7*#
20	62,6 ± 0,8*#

*Примечание: * – статистически значимо относительно концентрации сульфацила-натрия 1%; # – статистически значимо относительно концентрации сульфацила-натрия 2%*

Из полученных результатов можно заключить, что максимальный размер зон ингибирования роста споровой микрофлоры соответствовал мазям, содержащим танин в концентрации 3 % и сульфацил-натрия в концентрации 10 %. Увеличение концентраций лекарственных средств в мази нецелесообразно, так как оно незначительно влияло на размер зон ингибирования роста *Bacillus anthracoides.*

На основании результатов биофармацевтических исследований предложен следующий состав мазевой композиции: танина – 3 г, сульфацила-натрия – 10 г, вазелина – 52,2 г, эмульгатора Т-2 - 8,7 г, воды – 26,1 г (на 100 г лекарственной формы).

Для идентификации сульфацила-натрия и танина в мази навеску лекарственной формы массой 1,0 г смешивали с горячей водой очищенной (5-10 мл), тщательно взбалтывали, фильтровали. После охлаждения полученный фильтрат использовали для проведения исследований.

Предварительно с целью идентификации сульфацила–натрия и танина по УФ - спектрам поглощения нами были изучены спектральные характеристики этих веществ. Для изучения УФ-спектра поглощения сульфацила-натрия в воде его точную навеску (0,100 г) количественно переносили в мерную колбу вместимостью 100 мл, растворяли в 20-25 мл воды очищенной и после растворения доводили объем раствора до метки. 1 мл полученного раствора помещали в мерную колбу вместимостью 100 мл, доводили водой до метки и тщательно перемешивали. В качестве раствора сравнения использовали воду очищенную. Измерение оптической плотности полученного раствора проводили с помощью спектрофотометра марки СФ- 46 в кварцевой кювете с толщиной рабочего слоя 1 см в диапазоне длин волн от 220-300 нм [8].

Спектр поглощения сульфацила–натрия в воде очищенной приведен на рис. 1.

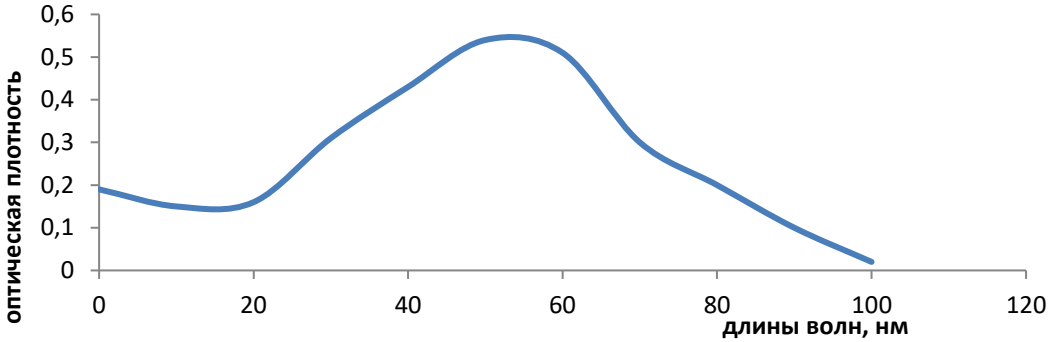


Рис. 1 – Спектр поглощения водного раствора сульфацила-натрия

Сульфацил - натрия имеет выраженный спектр поглощения в воде при длине волны, равной 256 нм. Также были изучены спектральные характеристики танина. Для этого точную навеску (0,100 г) танина количественно переносили в мерную колбу вместимостью 100 мл, растворяли в 20-30 мл воды очищенной и после растворения доводили объем до метки тем же растворителем. 1 мл полученного раствора переносили в мерную колбу вместимостью 100 мл и доводили водой до метки. Затем проводили измерение оптической плотности полученного разведения с помощью спектрофотометра марки СФ - 46 в кварцевой кювете с толщиной рабочего слоя 1 см. В качестве раствора сравнения использовали воду очищенную. Спектр поглощения танина в воде представлен на рис. 2.

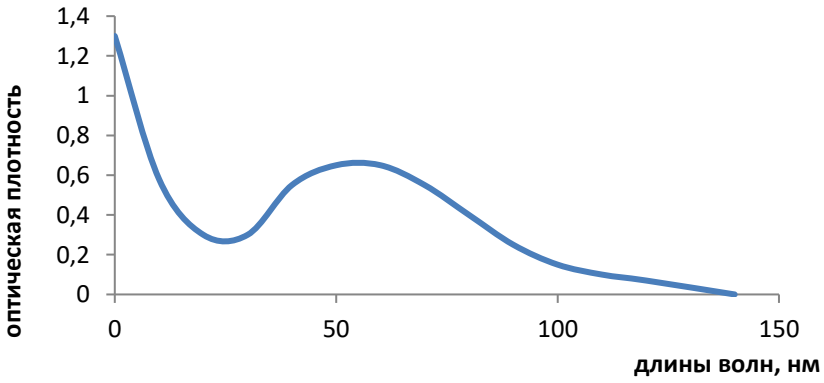


Рис. 2 – Спектр поглощения водного раствора танина

Танин имеет выраженный максимум поглощения при λ = 285 нм.

Количественное определение сульфацила-натрия в мази проводили методом нитритометрии, а танина методом перманганатометрии с индигосульфокислотой (табл. 5).

Таблица 5 – Количественное содержание сульфацила-натрия и танина в мази

№ образца	Навеска мази, г	Содержание сульфацила–натрия, %	Навеска мази, г	Содержание танина, %
1	0,9559	10,0642	1,0054	3,0126
2	1,0014	10,4248	0,9325	3,1205
3	1,0727	9,9507	0,9905	2,8958
4	0,9852	9,9851	1,0159	3,1010
5	0,9901	10,1143	0,9659	3,0689
6	1,0235	9,7358	0,9833	2,9838

Разработанная мягкая лекарственная форма – мазь на основе сульфацила-натрия и танина рекомендована после проведения фармакологических исследований как эффективное средство для лечения инфицированных ран.

Заключение

Проведены биофармацевтические исследования по изысканию рациональной мазевой основы, обеспечивающей максимальный лечебный эффект танина и сульфацила-натрия.

Сравнительную оценку изученных 12 основ проводили методом диффузии в желатиновый гель в опытах «in vitro». Максимальное высвобождение танина проявила мазевая основа из 10 г эмульгатора Т-2, 60 г вазелина и 30 г воды. Для определения оптимальных терапевтических концентраций танина и сульфацила-натрия в составе мази был реализован микробиологический метод оценки высвобождения физиологически активных веществ из мазей в опытах «in vitro» при прямом контакте со средой. Концентрация танина составила 3 %, сульфацила – натрия 10 %.

Для идентификации танина и сульфацила-натрия в мази были изучены УФ - спектры поглощения лекарственных средств при совместном присутствии. Установлено, что танин имеет максимум поглощения при λ = 285 нм, а сульфацил - натрий при λ = 256 нм. Количественное определение танина в мази проводили методом перманганатометрии с индигосульфокислотой, а сульфацила - натрия методом нитритометрии.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Веселова Д.В. Технологические исследования по разработке лапчатки прямой экстракта сухого и лекарственной формы на его основе / Д.В. Веселова, Л.П.Лежнева, А.М.Темирбулатова и др. // Вопросы обеспечения качества лекарственных средств. - 2019. - №1.- С. 75-82.

2. Камаева С.С. Биофармацевтические свойства основы вагинальной мази сульфацила - натрия / С. С. Камаева, Л. А. Поцелуева, Р. С. Сафиуллин и др. // Фармация. - 2005.- №5.- С. 22-25

3. Камаева С.С. Изучение реологических свойств мазей с сульфацилом-натрия на основе натрий-карбоксиметилцеллюлозы / С. С. Камаева, Л. А. Поцелуева, Р. С. Сафиуллин и др. // Фундаментальные исследования.- 2005. -№7. -С.89-92.

4. Лавренов В.К. Современная энциклопедия лекарственных растений / В.К.Лавренов, Г.В.Лавренова // М.-2009.- 272с.

5. Лежнева Л.П. Динамика ранозаживления при лечении мазью с сухим экстрактом лапчатки / Л.П.Лежнева, А.М.Темирбулатова, Э.Ф.Степанова и др. // Кубанский научный медицинский вестник. - 2018.- Т. 25, №6. - С. 105-109.

6. Лежнева Л.П. Технологический поиск оптимальной композиции геля на основе фитокомплексов крапивы двудомной / Л.П.Лежнева, З.Д.Хаджиева, А.М. Темирбулатова // Научные ведомости Белгородского гос. университета. Медицина. Фармация. -2017. -№5 (37).- С. 129- 133.

7. Орлова А.А. Обзор методов качественного и количественного анализа танинов в растительном сырье / А. А. Орлова, М. Н. Повыдыш // Химия растительного сырья.- 2019. -№4.- С.29-45.

8. Тринеева О.В. Разработка методики определения танина и галловой кислоты при совместном присутствии в лекарственном растительном сырье / О.В. Тринеева, А.И. Сливкин // Химико-фармацевтический журнал.- 2019. -Т.53, №4.- С. 58-64.

9. Шикова Ю.В. Биофармацевтическое обоснование составов и разработка технологии производства мягких лекарственных форм / Шикова, Юлия Витальевна // Дисс… докт. фармац. наук. – М., 2005.- 280с.

10. Wolf K. The use of sodium sulfacetamide in dermatology / K. Wolf // Silapunt Cutis. 2015.- Vol. 96, №.4. - P. 128-130.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Veselova D.V. Tehnologicheskie issledovanija po razrabotke lapchatki prjamoj jekstrakta suhogo i lekarstvennoj formy na ego osnove [Technological research on the development of a direct extract of dry and dosage forms of Potentilla on its basis] / D.V. Veselova, L.P. Lezhneva, A.M. Temirbulatova et al. // Voprosy obespecheniya kachestva lekarstvennyh sredstv [Issues of quality assurance of medicines]. - 2019. - № 1. - P. 75-82 [in Russian].

2. . Kamaeva S.S. Biofarmacevticheskie svojstva osnovy vaginal'noj mazi sul'facila - natriya [Biopharmaceutical properties of the base of the vaginal ointment sulfacil - sodium] / S. S. Kamaeva, L. A. Pocelueva, R. S. Safiullin et al. // Farmaciya [Pharmacy]. - 2005. - №5. - P. 22-25 [in Russian].

3. Kamaeva S.S. Izuchenie reologicheskih svojstv mazej s sul'facilom-natriya na osnove natrij-karboksimetilcellyulozy [The study of the rheological properties of ointments with sodium sulfacyl based on sodium carboxymethylcellulose] / S. S. Kamaeva, L. A. Pocelueva, R. S. Safiullin et al. // Fundamental'nye issledovaniya [Fundamental research.]. - 2005. - №7.- P. 89-92 [in Russian].

4. Lavrenov V.K. Sovremennaya enciklopediya lekarstvennyh rastenij [Modern encyclopedia of medicinal plants] / V. K. Lavrenov, G. V. Lavrenova // M.-2009.-272p. Moscow. - 2009.-272 p. [in Russian].]

5. Lezhneva L.P. Dinamika ranozazhivleniya pri lechenii maz'yu s suhim ekstraktom lapchatki [Dynamics of wound healing in the treatment of ointment with dry extract of Potentilla] / L.P.Lezhneva, A.M.Temirbulatova, E.F.Stepanova et al. // Kubanskij nauchnyj medicinskij vestnik [Kuban Scientific Medical Bulletin.]. - 2018.- V.25, №6.- P. 105-109 [in Russian]

6. Lezhneva L.P. Tekhnologicheskij poisk optimal'noj kompozicii gelya na osnove fitokompleksov krapivy dvudomnoj [Technological search for an optimal gel composition based on phytocomplexes of stinging nettle] / L.P. Lezhneva, Z.D. Hadzhieva, A.M. Temirbulatova // Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gos. universiteta. Medicina. Farmaciya [Scientific Bulletin of the Belgorod State. university. Medicine. Pharmacy]. - 2017.- №5(37). -P. 129 – 133 [in Russian].]

7. Orlova A.A. Obzor metodov kachestvennogo i kolichestvennogo analiza taninov v rastitel'nom syr'e [Review of methods for the qualitative and quantitative analysis of tannins in vegetable raw materials] / A. A. Orlova, M. N. Povydysh // Himiya rastitel'nogo syr'ya [Chemistry of vegetable raw materials]. - 2019. -№4. - P. 29-45. . [in Russian].]

8. Trineeva O.V. Razrabotka metodiki opredeleniya tanina i gallovoj kisloty pri sovmestnom prisutstvii v lekarstvennom rastitel'nom syr'e [Development of a method for the determination of tannin and gallic acid in the joint presence in medicinal plant raw materials] / O.V.Trineeva, A.I. Slivkin // Himiko-farmacevticheskij zhurnal [Chemical and Pharmaceutical Journal]. - 2019.- V.53, №4. - P. 58-64 [in Russian].]

9. Shikova Y. V. Biofarmacevticheskoe obosnovanie sostavov i razrabotka tehnologii proizvodstva mjagkih lekarstvennyh form [Biopharmaceutical substantiation of formulations and development of technology for the production of soft dosage forms] / Y. V. Shikova. Doctoral Thesis. – M., 2005.-280p [in Russian]

10. Wolf K. The use of sodium sulfacetamide in dermatology / K. Wolf // Silapunt Cutis. 2015.- Vol. 96, no.4. - P.128-130.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ / CHEMISTRY

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.110.8.026

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ЗОЛОТА В ПРОДУКТАХ ГОК «НЕВСКИЙ»

Научная статья

Истомина Е.Е.[1, *], Хаташкеев А.В.[2]
[1] ORCID: 0000-0002-1243-4434;
[2] ORCID: 0000-0003-0304-6162;
[1, 2] Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

* Корреспондирующий автор (gamlet421[at]yandex.ru)

Аннотация

В статье рассмотрены методы определения содержания золота в продуктах ГОК «Невский» ООО «Друза». Проведено исследование деятельности по определению содержанию золота в золотосодержащих продуктах. Рассмотрены методы определения содержания золота в продуктах на базе ПАЛ и ЗИФ компании. В работе описаны методы определения содержания золота в продуктах: атомно-абсорбционный метод, титриметрический метод и пробирно-гравиметрический метод. Определен более эффективный метод определения содержания золота в продуктах золотодобывающей компании.

Ключевые слова: золотоизвлекательная фабрика (ЗИФ), пробирно-аналитическая лаборатория (ПАЛ), слиток золота, проба, золотосодержащая руда, методы определения содержания золота: пробирно-гравиметрический.

RESEARCH OF PROCESSES OF DETERMINATION OF GOLD CONTENT IN PRODUCTS OF GOK "NEVSKY" LLC "DRUZA"

Research article

Istomina E.E.[1, *], Shataschkeev A.V.[2]
[1] ORCID: 0000-0002-1243-4434;
[2] ORCID: 0000-0003-0304-6162;
[1, 2] Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

* Corresponding author (gamlet421[at]yandex.ru)

Abstract

The article deals with the processes of determining the gold content in the products of the "Nevsky" mining and processing plant of "Druza" LLC. The activity of AAL to determine the content of gold in gold-containing products was investigated. The composition and structure of AAL GOK "Nevsky" LLC "Druza" is considered. The paper describes methods for determination of gold such as atomic absorption, titrimetric analysis and gravimetric method. The principles of internal and external laboratory control in the AAL of a gold mining company are defined.

Keywords: gold recovery factory (GRF), assay and analytical laboratory (AAL), gold bar, sample, gold-containing ore, methods for determination of gold content: gravimetric.

Introduction

When developing precious metal deposits in East Siberia, there is an urgent need to apply methods that made it possible to carry out the quantitative determination of gold. Using other methods, researchers were faced with a problem of unrepresentative suspension and the ability to conduct only a semi-personal analysis of the gold content in ore [1, P. 7-8], [10]

The methods are used to determine the gold content of Nevsky products:

1.Test tube smelting of enlarged ore suspension is used for analiz ores with coarse gold in the plant of Nevsky.

2. The method of cyanidation of enlarged ore canopies is used in plant.

3. The method is used by mining and processing plant of Nevsky, but the weight of the suspension for sieve analysis is limited to 1kg, which is insufficient for gold-bearing ores of no objects. [2], [6]

4.The most promising is the extraction of free gold particles by gravitational methods with the production of gold-containing concentrate and tailings. Collection, crushing, mixing and reduction of initial samples to cereals - 2 mm [2], [3].

5.The mass of the sample representative for analysis depends on the size of gold and its content in the ore. It is recommended to take a sample mass of at least 4 kg after crushing the ore to a size of - 2 mm. Reduction of samples during crushing is carried out in accordance with the Richards-Chechott formula

$$md = k * d^{\alpha} \quad (1)$$

md – is the mass of the sample at this stage of its reduction;

K – is a coefficient depending on the size of gold, the unevenness of its distribution in ore and the uniformity of ore (the value of the coefficient K=1.0).

d – maximum diameter of ore pieces, mm.

α-index of the degree of approximation of the shape of ore grains to spherical (recommended value – 2).

6.It is recommended to crush samples in cheek crushers with glade cheeks. After crushing to a size of - 2 mm, a sample weighing 4 kg goes to crushing to a size of 50-60% of the class - 0.1 mm. After the first stage of grinding, the sample is reduced to 1 kg and then is trimmed to a size of 95-98% of the class - 0.1 mm.

7. Reduction of material at all stages of sample processing is preferably carried out with the help of mechanical abbreviators, which ensure uniform supply of material and sampling by transverse intersection of the whole jet by a sampling device with a number of cuts of at least 40 minutes.

8. During sampling and processing it is necessary to ensure safety conditions in accordance with the requirements of GOST 14180-80.

9. The mass of the ground sample supplied to the control screening on the screen 0.007 (0.1) mm must be not less than 1 kg (OST 48-276-86). Screening is carried out in a wet manner, which is preferable to screening dry.Screens after screening shall be cleaned in ultrasonic baths.

10. Desirably, the weight of the resulting oversize products does not exceed 50 g, i.e., the weight of the single test tube slurry. The oversize product containing the free gold particles is weighed and sent in its entirety to a test tube. In case the whole concentrate mass cannot be melted by one test tube, several melts are carried out.

11. After weighing the sub-sieve product, samples (50 g) are taken from it to determine the gold content by test tube analysis.

The gold content of the concentrate is determined by the test method. The total mass of concentrate (about 50 g) is fed to the test tube smelting. Provided that a higher mass concentrate is obtained, several test tubes are required. Then the average-weighted gold content in the concentrate is calculated.

$$\alpha = \frac{\mu 1\beta 1 + \mu 2\beta 2}{100} \quad (2)$$

μ1 – gold content in the analysed ore is calculated, where gold content in the analysed ore; β1 – mass of the analysed ore; μ2 – gold content in the concentrate;

β2 – gold content in the tails of gravity.

The results of the work performed allow for the following conclusion. The uneven distribution of gold in preparation for test analyses of samples of gold ore deposits leads to a mismatch of its co-holding in the canopies for test analysis with the true content in the test sample. Increasing the weight of the canopies and preliminary isolation of large gold from them allows reducing or completely eliminating the effect of non-uniform distribution of gold on the results of its definitions.

As a result, the coefficient of variation of definitions was significantly reduced and the precision of the analyses was increased, but no data on the validity of applying increasing correction coefficients to the results of the test tubes had been obtained for any of the studied objects. In this regard, when identifying a stable tendency to increase the gold content in analytical samples when comparing the results of test tests and the results obtained during the analysis of enlarged canopies with the preliminary release of large gold, first of all, it is necessary to pay attention to possible systematic errors in the preparation and analysis of ore samples.

The minimum mass of the coarse gold preemption analysis canopy is determined for each object depending on the coarse gold. During mass analysis, it is recommended to perform analysis of canopies weighing about 4 kg [5]. This makes it possible to quickly prepare and analyze samples according to a simple process scheme with a minimum number of operations, without excluding the possibility of adjusting the mass of the hinges depending on the essential composition of the ores.

Table 1 – Results of calculation of gold content in samples with large metal emissions in ore of Nevsky deposit

Sample number	Oversized product (0.1 mm)			Sub-sieve product (-0.1 0mm)			Calculated content in initial sample g/t
	substance yield		Au content, g/t	substance yield		Au content, g/t	
	G	%		g	%		
1	1,430	0,144	1497	976,2	99,87	2,04	4,81
2	2,625	0,263	854	956,5	99,76	3,8	5,62
3	0,867	0,087	91,3	998,9	99,79	1,63	1,77
4	2,247	0,236	76,2	1098,9	99,98	1,89	1,98
5	5,782	0,582	25,3	956,8	99,87	0,97	1,08
6	5,760	0,579	38,1	1001,2	99,34	1,33	1,64
7	7,521	0,755	472	1056,6	99,67	2,31	5,89
8	3,102	0,323	781	1105,7	99,77	3,89	5,88
9	2,846	0,293	2198	1001,8	99,71	6,81	11,9
10	3,706	0,397	187	998,5	99,65	3,32	3,89

Note: compiled by [4], [7], [8], [9]

In the table 1 shows the weights of gold oversized products when screening on a 0.1 mm sieve, from which two 40 g weights were allocated for analysis, respectively. The estimated gold content in the initial ore is determined based on the results of calculation of the substance balance. Analysis of the results indicates that the gold concentration is several times higher in the oversized product of the grinding of the ground sample than in the undersized product.

In the oversized product, native gold can be observed in the form of cha-stems with a size of 0.5-0.6 mm, at 45-60% of the gold content of the total metal in the samples. Extraction of metal into oversize product up to 10%.

The methodology of gravitational concentration showed its effectiveness in the search, exploration and technological assessment of ores of many objects, including deposits.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Мир химии. Аналитический контроль благородных металлов / Под ред. Ю.А. Карпова, В.Б. Барановской, Л.П. Житенко. – М.: Техносфера, 2019.

2. ОСТ 48-276-86 Руды и концентраты цветных металлов с попутным содержанием благородных металлов. Отбор и подготовка проб для определения содержания благородных металлов и влаги. – М.: Стандартинформ, 1987, 17 с.

3. ГОСТ 14180-80 Руды и концентраты цветных металлов. Методы отбора и подготовки проб для химического анализа и определения влаги. – М.: Стандартинформ, 1980, 20 с.

4. СК-РЖ-7.11-2017 Журнал регистрации результатов испытаний технологических проб ЗИФ / Н.В. Аксенова. ГОК «Невский», Бодайбо, 2017 – 5 с.

5. Истомина Е.Е. Исследование процессов определения содержания золота в продуктах ГОК «Невский» ООО «Друза» / Е.Е. Истомина, А.В. Хаташкеев // Международный научно-исследовательский журнал. - №7(97) часть 1. – 2020 – С.178-181

6. ГОСТ 8.010-2013 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Методики выполнения измерений. Основные положения. М.: «Стандартинформ», 2019. 36 с.

7. СК-РЖ-7.13-2017 Журнал регистрация выданных протоколов результатов испытаний проб карьера, МСИ, внешних заказчиков. // Н.В. Аксенова ГОК «Невский» ООО «Друза», Бодайбо, 2017 – 5 с.

8. СК-РЖ-7.14-2017 Журнал учета расхода реагентов, материалов // Н.В. Аксенова ГОК «Невский» ООО «Друза», Бодайбо, 2017 – 5 с.

9. Результаты определения золота в слитках 2017 / Н.В. Аксенова. ГОК «Невский» ООО «Друза», Бодайбо, 2017 – 2 с.

10. Истомина Е.Е. Об управлении качеством при проектировании и разработке изделия из пенополиуретана / Е.Е. Истомина // Компетентность 2019 – №5. – С. 46-48.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Mir himii. Analiticheskij kontrol' blagorodnyh metallov [The world of chemistry. Analytical control of precious metals] / Edited by Yu. A. Karpov, V. B. Baranovskaya, L. P. Zhitenko. - M.: Technosphere, 2019. [in Russian]

2. OST 48-276-86 Rudy i koncentraty cvetnyh metallov s poputnym soderzhaniem blagorodnyh metallov. Otbor i podgotovka prob dlya opre-deleniya soderzhaniya blagorodnyh metallov i vlagi [Ores and concentrates of non-ferrous metals with an associated content of precious metals. Sampling and preparation of samples for determining the content of precious metals and moisture]. - Moscow: Standartinform, 1987, 17 p. [in Russian]

3. GOST 14180-80 Rudy i koncentraty cvetnyh metallov. Metody otbora i podgotovki prob dlya himicheskogo analiza i opredeleniya vlagi [Ores and concentrates of non-ferrous metals. Methods of sampling and preparation of samples for chemical analysis and determination of moisture]. - M.: Standartinform, 1980, 20 p. [in Russian]

4. SK-RZh-7.11-2017 ZHurnal registracii rezul'tatov ispytanij tekhnologicheskih prob ZIF [Journal of registration of test results of technological samples of ZIF] / N. V. Aksenova. GOK "Nevsky", Bodaybo, 2017 – 5 p. [in Russian]

5. Istomina E. E. Issledovanie processov opredeleniya soderzhaniya zolota v produktah GOK «Nevskij» OOO «Druza» [Study of the processes of determination of gold in the products GOK Nevskiy, OOO Druza] / E. E. Istomina, A. V. Atascii // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Research Journal]. - №7(97) part 1. – 2020 – p. 178-181. [in Russian]

6. GOST 8.010-2013 Gosudarstvennaya sistema obespecheniya yedinstva izmereniy (GSI). Metodiki vypolneniya izmereniy. Osnovnyye polozheniya [State system for ensuring the uniformity of measurements (GSI). Methods of performing measurements. Basic provisions]. M.: "Standartinform", 2019. 36 p. [in Russian]

7. SK-RZH-7.13-2017 Zhurnal registratsiya vydannykh protokolov rezul’tatov ispytaniy prob kar’yera, MSI, vneshnikh zakazchikov [Journal registration of issued protocols of test results of samples of quarry, MSI, external customers]. / N. V. Aksenova GOK " Nevsky "LLC " Druza", Bodaibo, 2017-5 p. [in Russian]

8. SK-RZH-7.14-2017 Zhurnal ucheta raskhoda reagentov, materialov [Journal of accounting for the consumption of reagents, materials] / N. V. Aksenova. GOK " Nevsky "LLC " Druza", Bodaibo, 2017-5 p. [in Russian]

9. Rezul’taty opredeleniya zolota v slitkakh 2017 [Results of the determination of gold in bullion 2017] / N. V. Aksenova. GOK " Nevsky "LLC " Druza", Bodaibo, 2017-2 p. [in Russian]

10. Istomina E.E. Ob upravlenii kachestvom pri proyektirovanii i razrabotke izdeliya iz penopoliuretana [On quality management in design and development of products made of polyurethane foam] // Kompetentnost’ – 2019 – No. 5. – P. 46-48. [in Russian]

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.110.8.027

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУЧЕНИЯ АДИПИНАТОВ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ И ПРОДУКТОВ НА ИХ ОСНОВЕ

Научная статья

Протопопов А.В.[1, *], Штепенко Д.Е.[2]
[1] ORCID: 0000-0003-2752-6726;
[1, 2] Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия

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

Аннотация

Рынок биопластика и биодобавок, безусловно, перспективен и быстро развивается за последнее время. В связи с этим актуальным является вопрос развития технологии получения биопластмасс путем модификации целлюлозы и целлюлозо–лигнинсодержащих отходов. В статье рассмотрены закономерности получения сложных эфиров целлюлозы с адипиновой кислотой. В ходе работы получены сложные эфиры целлюлозы с адипиновой кислотой в присутствии тионилхлорида из древесного сырья со степенью замещения 2. Образование сложных эфиров целлюлозы подтверждено методом ИК-спектроскопии. Синтезированные адипинаты целлюлозы были в дальнейшем использованы для получения композитов на основе лигнина и высших карбоновых кислот. В ходе высокотемпературной обработки под давлением происходит химическая модификация композиции с образованием термопластичного материала.

Ключевые слова: древесина, сложные эфиры целлюлозы, отходы деревопереработки.

AN INVESTIGATION OF THE PRODUCTION OF CELLULOSE ADIPINATES FROM WOOD AND ITS SUBSEQUENT PRODUCTS

Research article

Protopopov A.V.[1, *], Shtepenko D.E.[2]
[1] ORCID: 0000-0003-2752-6726;
[1, 2] Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

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

Abstract

The market of bioplastics and dietary supplements is certainly promising and has been undergoing rapid development. In this regard, the issue of developing the technology for obtaining bioplastics by modifying cellulose and cellulose–lignin-containing waste can be considered relevant. The article examines the regularities of obtaining cellulose esters with adipic acid. In the course of the research, cellulose esters with adipic acid were obtained in the presence of thionyl chloride from wood raw materials with a degree of substitution of 2. The formation of cellulose esters was confirmed via IR spectroscopy. The synthesized cellulose adipates were later used to produce composites based on lignin and higher carboxylic acids. During high-temperature pressure treatment, the composition is chemically modified to form a thermoplastic material.

Keywords: wood, cellulose esters, wood processing waste.

Рынок биопластика и биодобавок, безусловно, перспективен и быстро развивается за последнее время. Это связано с растущей проблемой негативного влияния пластика на окружающую среду, что повышает спрос на рынке на различные продукты, произведенные из биопластика. Снижение уровня выброса двуокиси углерода в атмосферу, нормализация динамики экосистем и сокращения отходов являются главным преимуществом пластмасс биологического происхождения. В связи с этим актуальным является вопрос развития технологии получения биопластмасс путем модификации целлюлозы и целлюлозо–лигнинсодержащих отходов.

Целлюлоза - это самый богатый биологический ресурс на Земле, который применялся в композитных материалах, текстиле, системах доставки лекарств, товарах личной гигиены и т.д. Следовательно, эффективное использование целлюлозы показало бы превосходство по сравнению с синтетическими полимерами с точки зрения экологических свойств [1]. Гликозилирование целлюлозы хорошо изучено в течение продолжительного времени во всем мире, с помощью которого, возможно будут решены энергетические и пищевые проблемы. Однако целлюлоза структурирована прочными β-1,4-гликозидными связями, поэтому эффективные и безопасные методы ее химической модификации не разработаны [2]. С другой стороны, методы химической модификации целлюлозы были разработаны для обеспечения дополнительных функций. Например, целлулоид (нитрат целлюлозы) - это самая ранняя модифицированная целлюлоза, которая в качестве дополнительной функции имела термопластичность [3]. Последние достижения в области модификации целлюлозы расширяются от этерификации целлюлозы (например, нитрата целлюлозы и ацетата целлюлозы) до привитой сополимеризации целлюлозы [4], [5], [6].

Важным условием биопластмассы является биоразлагаемость, так как многие биопластамассы могут содержать примеси нефтехимического происхождения, что делает их переработку практически невозможной. Биоразлагаемые материалы из целлюлозы не смотря на дорогую цену, являются подходящей альтернативой пластика для сокращения отходов и сбалансированного развития экономики [7], [8]. Полученный сложный эфир целлюлозы с адипиновой кислотой обладает низкими показателями термопластичности, данный продукт хрупкий. Для улучшения пластичности применимо модифицирование полиэтиленгликолем.

В ходе проведенной работы нами было исследовано взаимодействие древесины осины с адипиновой кислотой в среде толуола. Реакцию проводили в течение 1-5 часов при температурах 30-60 ^{0}C.

В качестве ацилирующего агента была выбрана адипиновая кислота, которая является двухосновной карбоновой кислотой. Продукты взаимодействия с данной кислотой являются перспективными материалами с сетчатой структурой или, в зависимости от степени взаимодействия, сложными эфирами с свободной карбоксильной группой. По

завершении процесса были получены продукты, плохо смачиваемые водой и хорошо взаимодействующие с толуолом. Данные по степени замещения в полученных сложных эфирах представлены на рисунке 1.

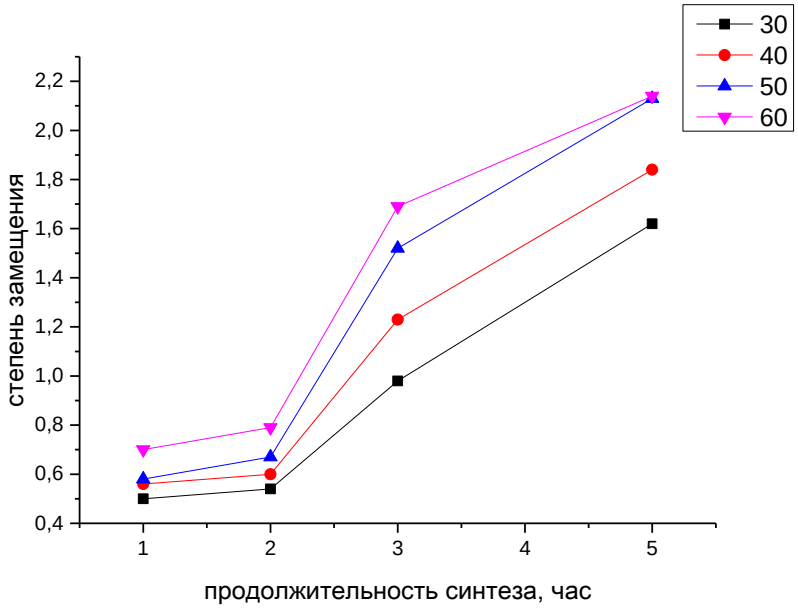


Рис. 1 – Степень замещения в полученных продуктах при различных температурах

Исследование полученных продуктов методом ИК-спектроскопии (рисунок 2) показало образование сложноэфирных связей, при этом в продукте взаимодействия наблюдается уменьшение полосы поглощения в области 3600 см$^{-1}$ в результате уменьшения количества свободных гидроксильных групп и увеличение полосы поглощения в области 1740 см$^{-1}$, характерной для колебаний сложноэфирной группы, что также свидетельствует о протекающем взаимодействии.

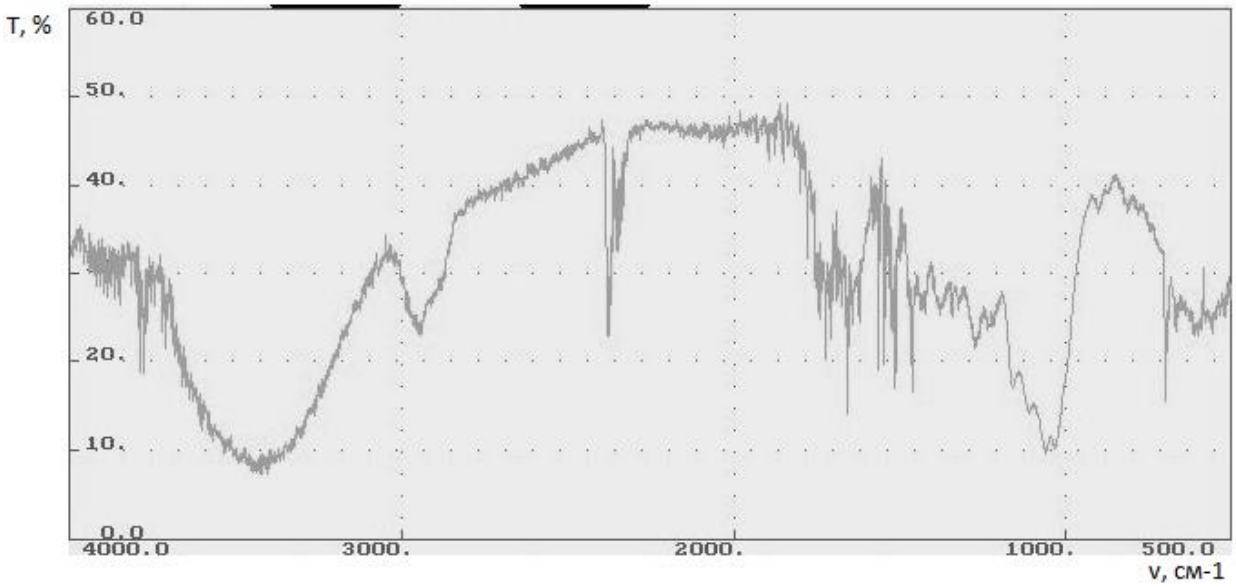


Рис. 2 – ИК-спектр продуктов взаимодействия древесины при 60 ^{0}C

Впоследствии полученные сложные эфиры целлюлозы с добавлением лигнина модифицировали при высоких температурах стеариновой и пальмитиновой кислотами. Навеску адипината целлюлозы смешали с карбоновыми кислотами и лигнином. Полученную смесь подвергали термической обработке под прессом в течение 30 минут. По завершении процесса продуктами взаимодействия являются твердые плиты с высокой прочностью. В результате модификации были получены термопластичные материалы с гидрофобной поверхностью.

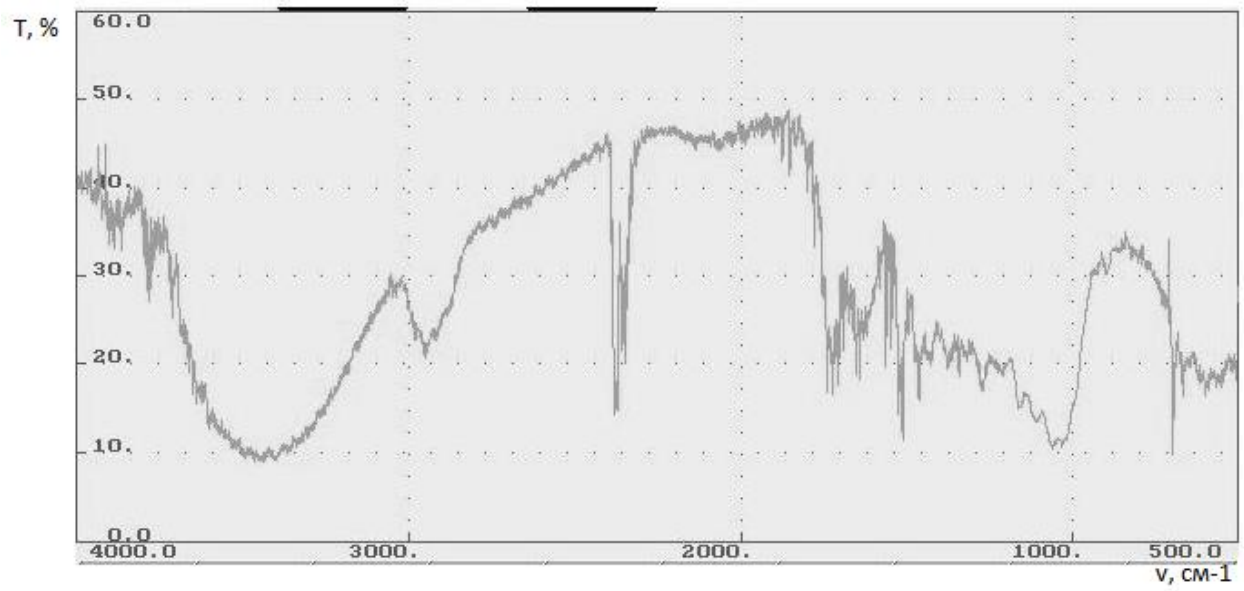


Рис. 3 – ИК-спектр продукта взаимодействия при 3 часах 60^0С

На полученном ИК-спектре (рисунок 3) появляется полоса поглощения в области 1730 $см^{-1}$ ответственная за колебания карбоксильной группы, что подтверждает образование сложного эфира.

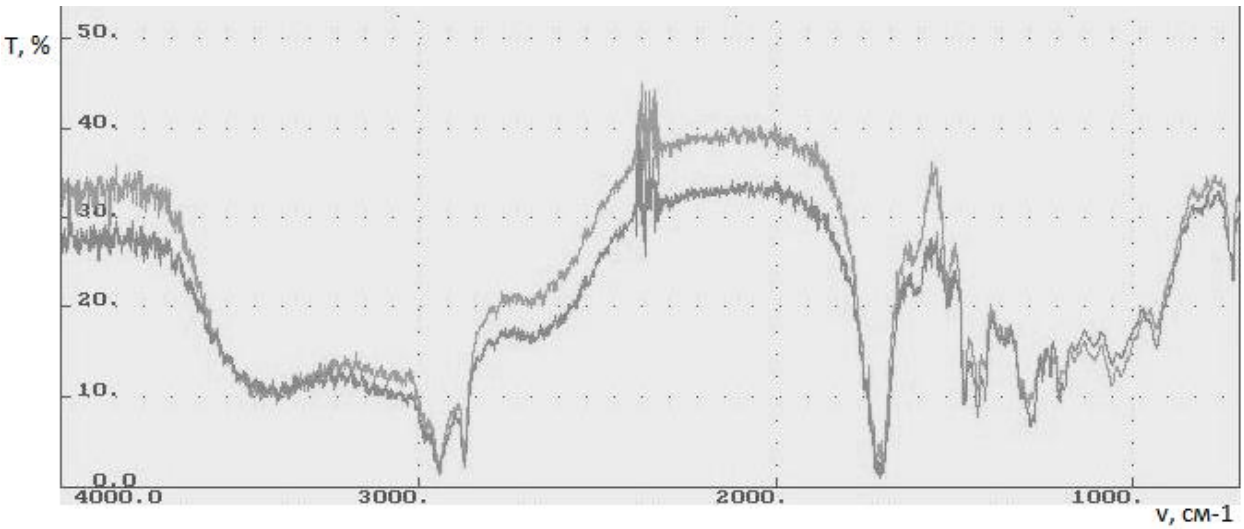


Рис. 4 – ИК-спектр продукта взаимодействия сложного эфира целлюлозы с лигнином и карбоновыми кислотами

ИК-спектр (рисунок 4) полученного продукта свидетельствует о протекании реакции между гидроксилами лигнина и карбоксильными группами карбоновых кислот и кислотного остатка в сложном эфире. Полоса поглощения в области 1730 $см^{-1}$ резко увеличивает свою интенсивность, при этом полосы поглощения в области 2550 $см^{-1}$, ответственные за колебания карбоксильной группы, снижают свою интенсивность.

Биоразлагаемые материалы из целлюлозы, не смотря на дорогую цену, являются подходящей альтернативой пластика для сокращения отходов и сбалансированного развития экономики. Полученный сложный эфир целлюлозы с адипиновой кислотой обладает низкими показателями термопластичности, данный продукт хрупкий. Для улучшения пластичности применимо модифицирование полиэтиленгликолем.

В данной работе рассматривается взаимодействие полиэтиленгликоля с адипинатом целлюлозы (рисунок 5). Реакция проводится в течение 3-х часов при температурах 120-180° С. В качестве катализаторов выступают соли цинка и олова. Также одним из условии будет являться использование низкомолекулярного ПЭГ, так как высокомолекулярные (с молекулярной массой 100тыс.- 10 млн) не имеют достаточно ОН-групп, чтобы сшиться с аналогичными макромолекулами, содержащими гидроксильные группы, в том числе и с макромолекулами целлюлозы (дефектность по функциональности).

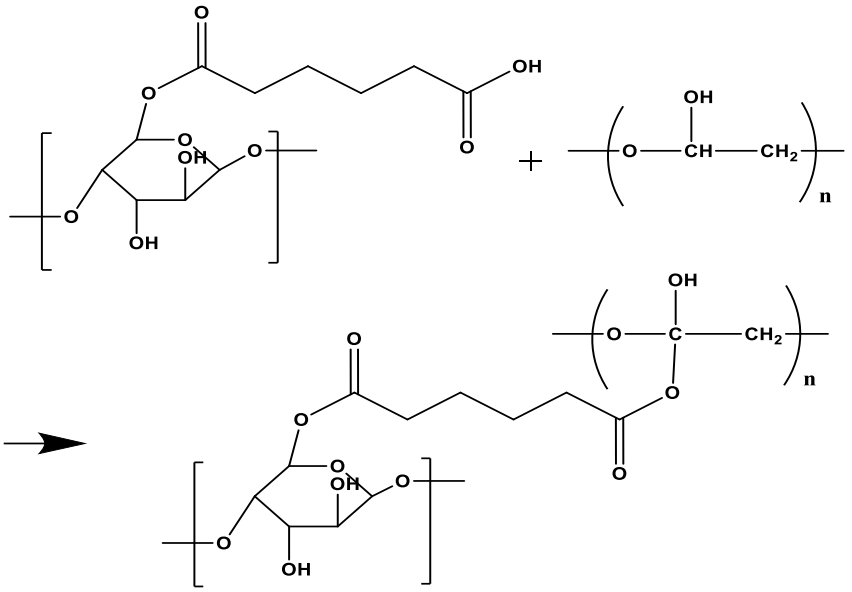


Рис. 5 – Реакция взаимодействия адипината целлюлозы с ПЭГ

Полученные продукты представляют собой вязкую жидкость темно-коричневого цвета. Проанализировав полученные вещества с помощью ИК-спектроскопии (рисунок 6), было обнаружено усиление полосы поглощения сложноэфирной группы в области 1730 см$^{-1}$ и 1310 см$^{-1}$, что свидетельствует об образовании связей между сложным эфиром целлюлозы и ПЭГ, при этом исчезает полоса поглощения в области 2550 см$^{-1}$, ответственная за колебания карбонильной группы ацильных остатков адипиновой кислоты.

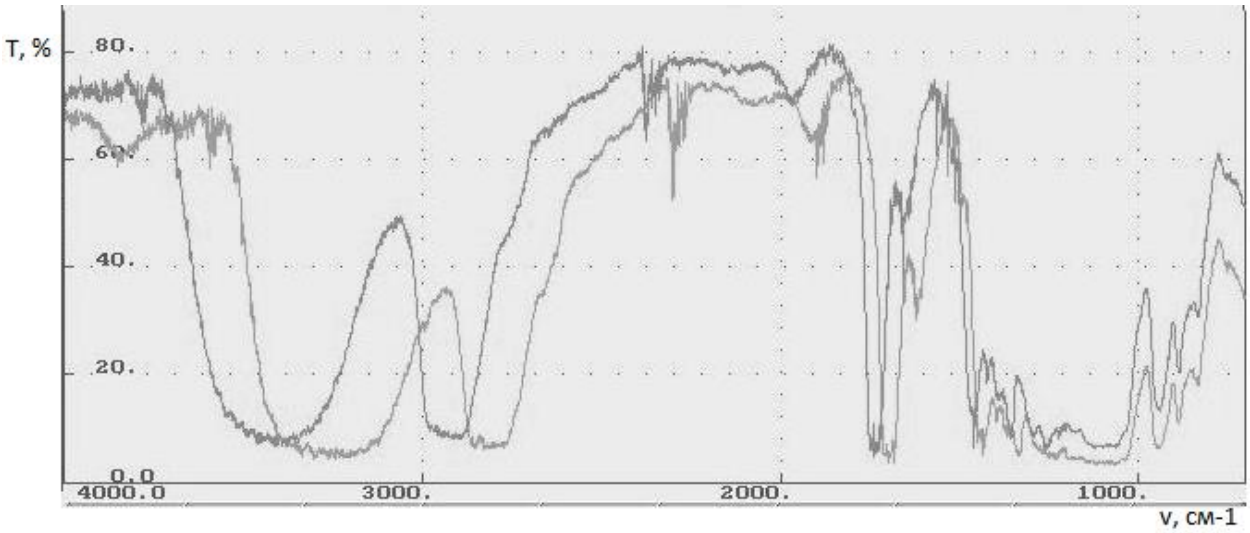


Рис. 6 – ИК-спектр продукта взаимодействия адипината целлюлозы с ПЭГ при 150^{0}С

Нами проведены исследования по ацилированию смеси древесины и полиэтиленгликоля адипиновой кислотой. В ходе работы сперва получали ацилирующий агент - хлорангидрид кислоты и к нему добавлялись навески древесины и полиэтиленгликоля. Синтез проводили в среде толуола при продолжительности 3 и 5 часов при температурах 30^0 и 60 ^{0}С. Полученные продукты, отмытые от непрореагировавшей кислоты, анализировали методом ИК-спектроскопи (рисунок 7 и 8).

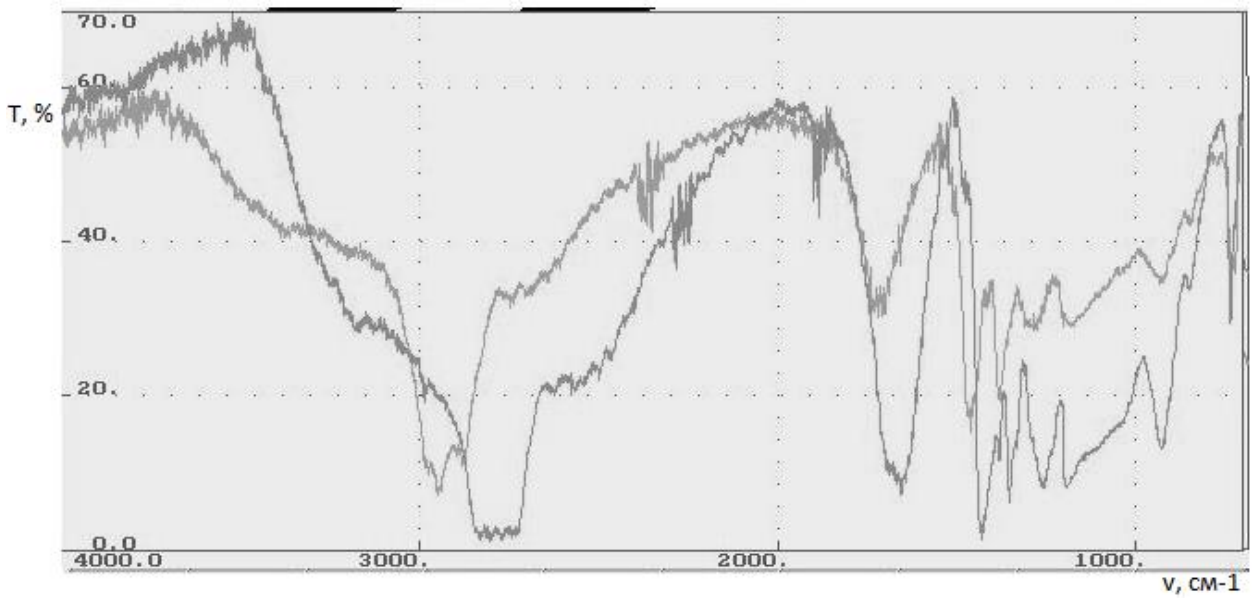


Рис. 7 – ИК-спектр продуктов полученного при продолжительности 3 часа

Как видно из спектра поглощения, при увеличении температуры наблюдается сужение полосы поглощения в области 3600 - 3200 см$^{-1}$, что свидетельствует об уменьшении свободных гидроксильных групп. Также наблюдается усиление полосы поглощения в области 1740 см$^{-1}$, ответственной за колебания ацильного радикала в сложном эфире.

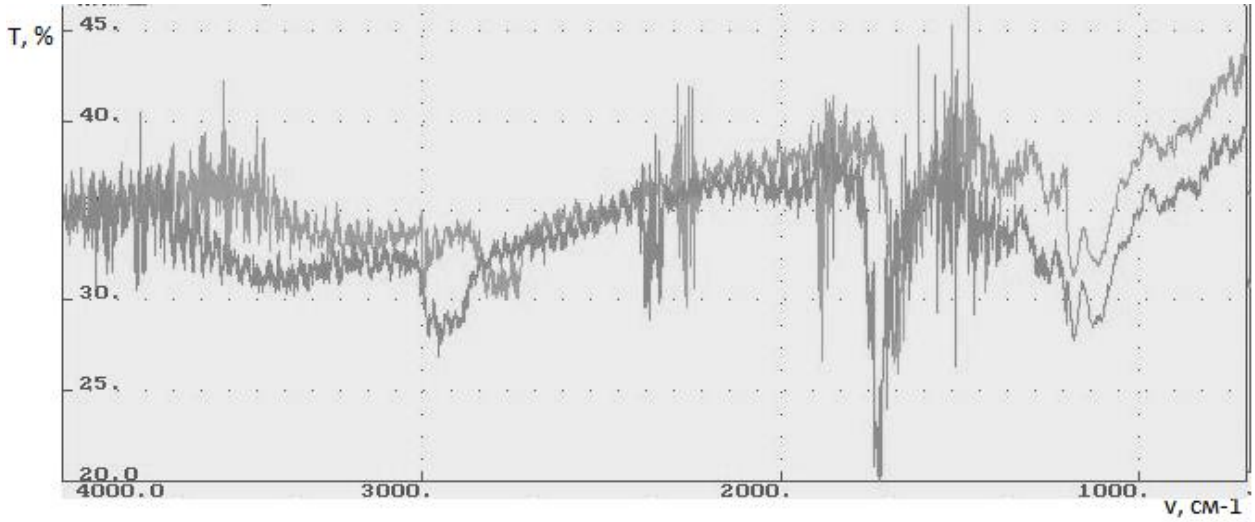


Рис. 8 – ИК-спектр продуктов полученного при продолжительности 5 часов

Подобная картина наблюдается и при синтезе продолжительностью 5 часов, но в этом случае также наблюдается сильное увеличение интенсивности полосы поглощения в области 1740 см$^{-1}$, что свидетельствует о большей степени взаимодействия древесины и полиэтеленгликоля.

Полученные продукты взаимодействия отличаются высокой пластичностью. Помимо этого данные продукты взаимодействия древесины и полиэтиленгликоля проявили хорошую растворимость в полярных растворителях.

Проведенные исследования показали возможность получения сложных эфиров целлюлозы и продуктов их взаимодействия с полиэтиленгликолем. Полученные продукты взаимодействия с ПЭГ обладают выраженной термопластичностью и могут в дальнейшем быть использованы для разработки биоразлагаемых пластиков.

Финансирование

Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки РФ (мнемокод 0611-2020-013; номер темы FZMM-2020-0013, ГЗ № 075-00316-20-01).

Funding

The work was carried out within the framework of the state task of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (mnemocode 0611-2020-013; topic number FZMM-2020-0013, GZ No. 075-00316-20-01).

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Hill C.A.S. Wood modification - chemical, thermal and other processes / C.A.S. Hill // Wiley Series in Renewable Resources, Wiley and Sons, Chichester, UK, 2006. pp. 260.

2. Sandberg D. Wood modification technologies - a review / D.Sandberg , A. Kutnar, G. Mantanis // iForest 10: 895-908. - DOI: 10.3832/ifor2380-010

3. Rowell R.M. Dimensional stability and fungal durability of acetylated wood / R.M. Rowell // Drewno 59 (197): 139-150.

4. Mantanis, G. I. Chemical modification of wood by acetylation or furfurylation: A review of the present scaled-up technologies / G. I. Mantanis // BioRes. 12(2), 4478-4489.

5. Li W. The furfurylation of wood: a nanomechanical study of modified wood cells / W. Li, D. Ren, X. Zhang et al. // BioResources 11 (2): 3614-3625.

6. Lande S. Furfurylation of wood: chemistry, properties and commercialization / S. Lande, M. Eikenes, M. Westin et al. // In: “Development of Commercial Wood Preservatives” / Schultz T.P., Militz H., Freeman M.H., Nicholas D.D. eds). ACS Symposium Series 982: 337-355.

7. Lande S. Properties of furfurylated wood / S. Lande, M. Westin, M. Schneider // Scandinavian Journal of Forest Research 19 (5): 22-30.

8. Gérardin P. New alternatives for wood preservation based on thermal and chemical modification of wood - a review / P. Gérardin // Annals of Forest Science 73: 559-570.

ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ / GEOLOGY AND MINERALOGY

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.110.8.028

ОСОБЕННОСТИ ХИМИЗМА КЛИНОПИРОКСЕНОВ ДАЙКОВЫХ КОМПЛЕКСОВ КАЦДАГ-КЕХНАМЕДАНСКОЙ ЗОНЫ ВОСТОЧНОГО СЕГМЕНТА БОЛЬШОГО КАВКАЗА

Научная статья

Керимов Р.Б.*

Институт Геологии и Геофизики Национальной Академии Наук, Баку, Азербайджан

* Корреспондирующий автор (anrugo[at]rambler.ru)

Аннотация

В статье рассматриваются типоморфные особенности пироксенов пород разновозрастных дайковых комплексов Кацдаг-Кехнамеданской зоны Восточного сегмента Большого Кавказа по результатам микрозондовых и микроскопических исследований. Установлено, что во всех разновидностях пород разновозрастных дайковых комплексов пироксены представлены авгитом и реже магнезиальным авгитом, им характерна низкая титанистость и глиноземистость. Однако следует отметить, что клинопироксены разновозрастных пород характеризуются специфическими особенностями, обусловленными термодинамическими режимами их формирования. Они также раскрывают сложную природу формирования дайковых комплексов, отличающихся физико-химическими условиями эволюции базальтового расплава с характерной рудной специализацией.

Ключевые слова: дайки, породы, минералы, клинопироксены.

ON THE CHEMICAL PROPERTIES OF CLINOPYROXENE IN THE DIKE COMPLEXES OF THE KATSDAG-KEKHNAMEDAN ZONE IN THE EASTERN SEGMENT OF THE GREATER CAUCASUS

Research article

Kerimov R.B.*

Institute of Geology and Geophysics of the Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan

* Corresponding author (anrugo[at]rambler.ru)

Abstract

The article examines the typomorphic features of pyroxenes in rocks of the Katsdag-Kehnamedan zone dyke complexes of different ages in the Eastern segment of the Greater Caucasus based on the results of microprobe and microscopic studies. It is established that in all varieties of rocks of dyke complexes of different ages, pyroxenes are represented by augite and less often by magnesian augite, they are characterized by low titanicity and alumina content. However, it should be noted that clinopyroxenes in rocks of different age are characterized by specific features due to the thermodynamic regimes of their formation. They also reveal the complex nature of the formation of dyke complexes, which differ in the physicochemical conditions of the evolution of a mafic melt with a characteristic ore specialization.

Keywords: dykes, rocks, minerals, clinopyroxenes.

Введение

Восточный сегмент Большого Кавказа представляет собой сложную складчатую систему, состоящую из ряда частных структурных элементов общекавказского простирания. С севера на юг здесь выделяются крупный Туфанский (Центральный) антиклинорий, Закатало-Ковдагский синклинорий и Вандамский антиклинорий [7]. Из этих структур Туфанский антиклинорий характеризуется широким развитием разновозрастных магматических образований юрского возраста, представленной эффузивными и интрузивными фациями. Они локализуются главным образом в субширотных зонах разломов и имеют поясное строение.

В основном они представлены дайками и силлами, иногда штокообразными телами. Эти образования встречаются на различных вертикальных уровнях терригенного разреза юры и по геологическому положению и абсолютному датированию расчленяются на три возрастные группы, соответствующие трём формациям: натриевым базальтам, андезит-дацит-риолитам и габбро-диорит-плагиогранитам [2]. Породы этих формаций характеризуются широким видовым составом и представлены базальтами, долеритами, андезитами, дацитами, риолитами, габброидами, диоритами и плагиогранитами.

Микроскопическое исследование показало, что в основных и средних типах пород основными породообразующими минералами являются пироксен, плагиоклаз и реже встречается кварц. Другие минералы отсутствуют, либо отмечаются в незначительном количестве.

Особенности химизма клинопироксенов

Для решения некоторых вопросов петрологии в мировой литературе большое внимание уделяется вопросам химизма породообразующих минералов и делаются предположения о способе и условиях образования самих пород. В этом аспекте химизм пироксенов разновозрастных дайковых комплексов Кацдаг-Кехнамеданской зоны способствует выяснению некоторых закономерностей их развития, а также решения петро-и рудогенеза этих образований.

Кацдаг-Кехнамеданская зона дайковых комплексов приуроченная к одноименному надвигу осложняет осевую часть Кацдагской антиклинали. В региональном плане это одна из ветвей крупного Главнокавказского пояса. Максимальная концентрация даек в пределах этого пояса наблюдается в западной и центральной частях с уменьшением их количества по мере движения на восток. Состав дайковых тел этого пояса более разнообразен. Они представлены долеритами, порфиритами, габбро, габбро-долоритами и их кислыми аналогами. Промежуточная часть пояса сложена более свежими породами габбро, диоритов и кварцевых диоритов.

Пироксены-наиболее распространенные породообразующие минералы в магматических образованиях основного и среднего состава. Микроскопические исследования пород дайковых образований Кацдаг- Кехнамеданской зоны показывают, что, ромбические пироксены отсутствуют во всех разновидностях, за исключением андезитов, причем в них очень редко встречается.

С целью выяснения природы формирования дайковых образований в пределах Кацдаг-Кехнамеданской зоны проведены микрозондов ые исследования пироксенов.

На диаграмме Хесса-Полдерваарта (рис.1) точки состава пироксенов из пород дайковых образований различного возраста ложатся главным образом в поле авгита и местами магнезиального авгита (эндиопсида).

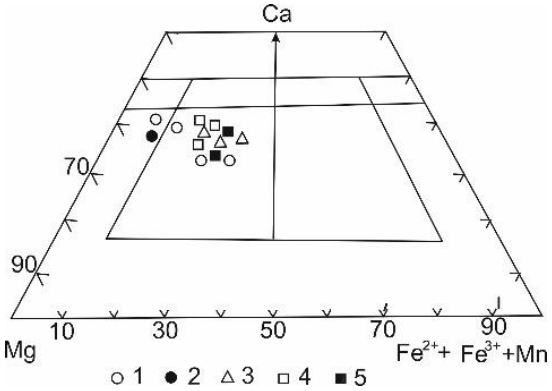


Рис. 1 – Состав пироксенов из дайковых пород Кацдаг- Кехнамеданской зоны на диаграмме Mg – Ca – (Fe^{2+}+ Fe^{3+}+Mn)

1 – клинопироксены из базальтов; *2* – клинопироксены из долоритов; *3* – клинопироксены из андезитов; *4* – клинопироксены из габбро; *5* – габбро – диоритов

Результаты микрозондового анализа фенокристаллов и микролитов пироксена из основной массы базальтов позволили выявить их состав на различных стадиях кристаллизации. Эти анализы и оптические исследования показывают, что породы содержат две последовательные генерации пироксенов- более светлую, представленную вкрапленниками, формировавшимися в интрателлурических условиях, и более темную, слагающую узкую краевую кайму вкрапленников, и микролиты основной массы, образовавшиеся при кристаллизации лав на поверхности.

При этом кристаллизационный тренд авгита изменяется таким образом, что возрастание содержания Fe приводит к уменьшению Ca и Mg. Этот тренд характерен как для фенокристаллов, так и для основной массы. По данным микрозондового анализа, магнезиальность клинопироксенов убывает одновременно с увеличением железистости в зональных фенокристаллах от центра к периферии соответственно от $Wo_{40,8}En_{50,4}Fs_{8,8}$ в ядре, до $Wo_{32}En_{47,2}Fs_{20,8}$ по краям и до $Wo_{32,6}En_{41,7}Fs_{25,7}$ в микролитах. В таких авгитах содержание волластонитовой молекулы не превышает 42%, что характерно для производных толеитовой магмы [5]. Однако, следует отметить, что первая генерация вкрапленников представлена магнезиальным авгитом, а вторая генерация-авгитом. Это отражается в величине Mg/Mg+Fe^1, изменение которых связывается с температурой образования минералов [10]. При этом магнезиальность авгитов в фенокристаллах базальта равна :0,82- в центре и 0,67- с края, а в микролитах 0,58, что указывает на более высокие температурные условия кристаллизации первых. Аналогичная тенденция наблюдается и в субвулканических разностях базальтов-долеритах.

Таким образом, выделения пироксена в основной массе породы более железистого состава по сравнению с вкрапленниками, связано с замещениями Ca на Fe [6]. Кроме того, в исследованных пироксенах базальт-долеритов основное количество Al находится в четверной координации, что, по данным Куширо [9], обусловливается резким охлаждением расплавов на поверхности земли (рис.2).

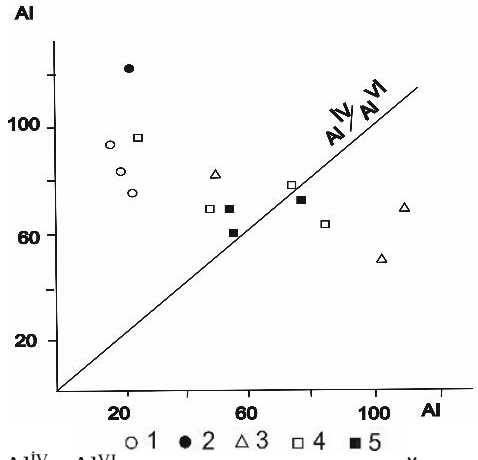


Рис. 2 – Al^{IV} и Al^{VI} в клинопироксенах из дайковых пород:

1 – клинопироксены из базальтов; *2* – клинопироксены из долоритов; *3* – клинопироксены из андезитов; *4* – клинопироксены из габбро; *5* – габбро – диоритов

Клинопироксены из андезитовых даек соответствует низкотитанистым авгитам. Коэффициент магнезиальности составляет 0,56-0,61, железистость 38-43%, WO молекула 36-37 %. При пересчете миналов отмечается высокое содержание Са-чермакитовой и эгириновой молекул носит глиноземистый характер, что объясняется пироксен-плагиоклазовым порядком кристаллизации первичных расплавов, приводящих к различным путям дифференциации [12]. Это обусловливается также относительно повышенным давлением при кристаллизации андезитовых пород [3], которое подтверждается и распределением Al в этих клинопироксенах. Кроме того в клинопироксенах из андезитов основное количество алюминия находится в шестерной координации (AI^{VI}), что свидетельствует о более высоких давлениях и низких температурах в расплаве при кристаллизации андезитовых пород [11], [12], что следовательно указывает на формировании их в закрытой системе (сжатия). При этом толеитовый тренд эволюции магматического расплава сменяется известкого-щелочным, о чем свидетельствует возрастание железистости клинопироксенов и высокое содержание Са-чермакитовых и эгириновых миналов [6].

В породах верхнеюрском дайковых образований габбро, габбро-диоритовых составов клинопироксены по химическому составу и оптическим свойствам также отвечают авгитам, магнезиальность которых по мере увеличения кремнекислотности пород меняется (WO_{38} En_{44} Fs_{18} до WO_{36} En_{41} Fs_{24}). Коэффициент магнезиальности в них варьирует от 0,66 до 0,61. При сопоставлении магнезиальности этих клинопироксенов с таковыми из андезитовых, долеритовых пород отчетливо выявляется, что первые занимают промежуточное положение, по-видимому связаны с изменением термодинамического режима их формирования. По мере дифференциации от габбро к диоритам железистость клинопироксенов увеличивается от 31% до 39%, а кальциевость уменьшается от 42% до 38%.

Низкая титанистость и глиноземистость клинопироксенов в породах дайковых комплексов являются либо следствием относительно малых глубин кристаллизации магматических расплавов, либо недосыщенностью магмы кремнезёмом (SiO_2), приводящей к обогащению пироксенов Са-чермакитовой молекулой [8]. Однако рассматриваемые породы перенасыщены SiO_2, что приводит к появлению свободного кремнезема.

Петрографические наблюдения свидетельствуют или о ранней, или почти одновременной кристаллизацией плагиоклаза, повышенной основностью по сравнению с пироксенами, что может обеднять последние глиноземистым компонентом. Пределы тренда железистости клинопироксенов в исследованных породах колеблются от 18 до 43%.

Железистость клинопироксенов ниже железистости пород. При рассмотрении соотношения железистости пород и железистости пироксенов отмечается, что по мере роста железистости клинопироксенов термодинамические факторы, главным образом температура, играют все более подчиненную роль, и составы минералов все более приходят в равновесие с железистостью расплавов [6]. В связи с этим железистость клинопироксенов остаётся меньше железистости пород (рис.3).

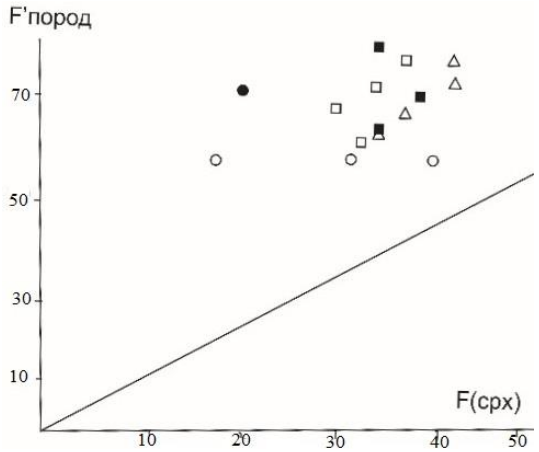


Рис. 3 – Корреляционная диаграмма железистости клинопироксенов и пород

Очевидно, что в породах большая часть Fe может концентрироваться в оксидах (магнетит, титаномагнетит) или сульфидах (пирит, пирротин), не содержащих практически Mg, поэтому железистость и ее соотношение с железистостью клинопироксенов будет зависеть от количества и характера рудных минералов. В целом это определяется потенциалом кислорода или серы. О высоком потенциале серы свидетельствует высокое содержание пирита и пирротина и ряда других сульфидных минералов [1], [4], и практическое отсутствие магнетита в породах буферирующих накопление железа силикатами. Очевидна связь с повышенным потенциалом серы в расплаве. В данном случае низкая фугитивность кислорода сопровождала, вероятно, весь магматический процесс, начиная с вплавления базальтов и кончая становлением интрузивных образований. Низкая фугитивность кислорода обусловила низкое P_{H2O}, что подтверждается отсутствием первичных водных силикатов (биотит, роговая обманка и др.) в минеральных ассоциациях пород [2]. Следовательно, в момент кристаллизации магматического расплава с повышенным потенциалом серы часть избыточного железа будет переходить в сульфиды (пирит, пирротин, халькопирит), так что железистость пироксенов будет понижаться относительно железистости пород. Однако при дифференциации пород часть рудогенных элементов накапливается в виде собственных минералов, а другая- в остаточном расплаве.

Таким образом, проведенные микрозондовые исследования по химизму клинопироксенов разновозрастных дайковых комплексов Кацдаг-Кехнамеданской зоны указывают на сложную природу их формирования, обусловленные различием термадинамической обстановки и характером рудной специализации.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Керимов Р. В. Акцессорные минералы как индикаторы рудоносности магматических формаций южного склона Большого Кавказа / Р. В. Керимов // Проблемы геологии и геофизики Кавказа. – М.: Елм. 1989. - С. 84-92

2. Керимов Р.Б. Петрология и рудоносность магматических комплексов Белокано-Закатальского рудного района (Большого Кавказ) / Р. В. Керимов. Автореф. канд. дисс. Баку, 1991. - С. 20

3. Грин Д.Х. Поля устойчивости глиноземистого-пироксеновых гранатовых перидотитовых и их значение в строении верхней мантии / Д.Х. Грин, А.В. Рингвуд // Происхождение главных серий изверженных пород. – М.: Мир, 1972. -С. 427 -433

4. Мустафаев Г.В. Клинопироксены магматических формаций Южного склона Большого Кавказа и некоторые вопросы их петрологии / Г.В. Мустафаев, Р.Б. Керимов, Д.А. Гусейнов //Журнал, Отечественная геология1994. № 4. С. 32-37.

5. Магматические горные породы: Классификация, номенклатура, петрография. Ч.1-2, М.: Наука, 1985 – 768 с.

6. Породообразующие пироксены. – М.: Наука,1971.

7. Шихалибейли Э.Ш. Геологические строение и развитие Азербайджанской часи Южного склона Большого Кавказа / Э.Ш. Шихалибейли. – Баку: Изд-во АН, Азерб. ССР, 1956, 223 с.

8. Carmichael J.S. Silica activity in igneous rocks / J.S. Carmichael, E.J. Nicholls // Amer. Mineral., 1970. 55. - p. 75 – 90.

9. Kushiro J. Origin of primary basalt magma and classification of basaltic rocks / J. Kushiro, H. Kuno // Learn. Of petrol., - 1963. Vol. 4(1) - p. 75-9

10. Mysen B.O. Metting of a hydrous mantle Geochemistry of crustale and liquids formed by anataxis of mantle peridotite at high pressures and light temperatures as a function of controlled activities of wither, hydrogen and carbon dioxide / B.O. Mysen, A.L. Boettcher // J. Petrol.,1975,16, N 3, p.349-593

11. Thomson J. B. Role aluminum in rock-forming silicates / J. B. Thomson // Bull, Geol. Sok. Amer., 58, 1947. - p. 210-218.

12. Yoder H.S. Origin of basalt magmas as experimental study of natural and synthetic rock system / H.S. Yoder, C.E. Tilly // J. Petrol., 3, N 3,1962, p.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kerimov R. V. Akcessornye mineraly kak indikatory rudonosnosti magmaticheskikh formacijj juzhnogo sklona Bol'shogo Kavkaza [Accessory minerals as indicators of ore content of magmatic formations of the southern slope of the Greater Caucasus] / R. V. Kerimov // Problemy geologii i geofiziki Kavkaza [Issues of geology and geophysics of the Caucasus]. - M.: Elm. 1989. - pp. 84-92 [in Russian]

2. Kerimov R. B. Petrologija i rudonosnost' magmaticheskikh kompleksov Belokano-Zakatal'skogo rudnogo rajjona (Bol'shogo Kavkaz) [Petrology and ore content of magmatic complexes of the Belokano-Zakatala ore region (Greater Caucasus)]: extended abstract of Candidate's thesis / R. B. Kerimov. Baku, 1991. - p. 20 [in Russian]

3. Green D. H. Polja ustojjchivosti glinozemistogo-piroksenovykh granatovykh peridotitovykh i ikh znachenie v stroenii verkhnejj mantii [Stability fields of alumina-pyroxene garnet peridotite and their significance in the structure of the upper mantle] / D. H. Green, A.V. Ringwood // Proiskhozhdenie glavnykh serijj izverzhennykh porod [The origin of the main series of igneous rocks]. - Moscow: Mir, 1972. - pp. 427 -433 [in Russian]

4. Mustafaev G. V. Klinopirokseny magmaticheskikh formacijj Juzhnogo sklona Bol'shogo Kavkaza i nekotorye voprosy ikh petrologii [Clinopyroxenes of magmatic formations of the Southern slope of the Greater Caucasus and some issues of their petrology] / G. V. Mustafaev, R. B. Kerimov, D. A. Guseynov // Zhurnal, Otechestvennaja geologija [Journal, National Geology] 1994. No. 4, pp. 32-37 [in Russian]

5. Magmaticheskie gornye porody: Klassifikacija, nomenklatura, petrografija. [Igneous rocks: Classification, nomenclature, petrography]. Part 1-2, Moscow: Nauka, 1985-768 p. [in Russian]

6. Porodoobrazujushhie pirokseny [Rock-forming pyroxenes]. - M.: Nauka,1971 [in Russian]

7. Shikhalibeyli E. Sh. Geologicheskie stroenie i razvitie Azerbajjdzhanskojj chasi Juzhnogo sklona Bol'shogo Kavkaza [Geological structure and development of the Azerbaijani part of the Southern slope of the Greater Caucasus] / E. Sh. Shikhalibeyli. - Baku: Publishing House of the Academy of Sciences, Azerbaijan. SSR, 1956, 223 p. [in Russian]

8. Carmichael J.S. Silica activity in igneous rocks / J.S. Carmichael, E.J. Nicholls // Amer. Mineral., 1970. 55. - p. 75 – 90.

9. Kushiro J. Origin of primary basalt magma and classification of basaltic rocks / J. Kushiro, H. Kuno // Learn. Of petrol., - 1963. Vol. 4(1) - p. 75-9

10. Mysen B.O. Metting of a hydrous mantle Geochemistry of crustale and liquids formed by anataxis of mantle peridotite at high pressures and light temperatures as a function of controlled activities of wither, hydrogen and carbon dioxide / B.O. Mysen, A.L. Boettcher // J. Petrol.,1975,16, N 3, p.349-593

11. Thomson J. B. Role aluminum in rock-forming silicates / J. B. Thomson // Bull, Geol. Sok. Amer., 58, 1947. - p. 210-218.

12. Yoder H.S. Origin of basalt magmas as experimental study of natural and synthetic rock system / H.S. Yoder, C.E. Tilly // J. Petrol., 3, N 3,1962, p.

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.110.8.029

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОЛЧЕДАНОНОСНЫХ ВУЛКАНОГЕННЫХ ФОРМАЦИЙ БЛАКСКОЙ ЗОНЫ И ВОСТОЧНО-УРАЛЬСКОГО ПОДНЯТИЯ

Научная статья

Потапова Е.И.[1], Куделина И.В.[2, *]
[2] ORCID:0000-0003-0661-1550;
[1, 2] Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

* Корреспондирующий автор (kudelina.inna[at]mail.ru)

Аннотация

В настоящее время в Оренбургской области, как и на Урале в целом, в результате интенсивной и продолжительной отработкой крупных колчеданных месторождений, ощущается большая потребность в воспроизводстве запасов медных руд. В связи с этим возникла необходимость в переоценке перспективных на колчеданное оруденение, но недостаточно изученных площадей, к которым относится Блакская зона. Целью данного исследования является выявление особенностей медноколчеданного оруденения Блакского структурно-формационного блока Восточно-Уральского прогиба. Приведенные данные уровней локализации и эволюции колчеданного оруденения Восточно-Уральского прогиба на примере Блакского месторождения показывают увеличение содержания свинца и цинка по отношению к меди от нижнего яруса к верхнему, а также по латерали в восточном направлении и подтверждают эту закономерность в сравнении с месторождениями Восточно-Уральского поднятия. Такая же закономерность характерна для Восточно-Уральского прогиба. Это позволяет рассматривать данную территорию как перспективную на колчеданное полиметаллическое оруденение.

Ключевые слова: Восточно-Уральский прогиб, медноколчеданное оруденение, структурно-формационный блок, вулканиты.

A COMPARATIVE ANALYSIS OF PYRITE-BEARING VOLCANOGENIC FORMATIONS OF THE BLAKSKY ZONE AND THE EAST URAL UPLIFT

Research article

Potapova E.I.[1], Kudelina I.V.[2, *]
[2] ORCID:0000-0003-0661-1550;
[1, 2] Orenburg State University, Orenburg, Russia

* Corresponding author (kudelina.inna[at]mail.ru)

Abstract

Currently, in Orenburg Oblast, as well as in the Urals as a whole, there is a great need for the reproduction of copper ore reserves as a result of the intensive and prolonged development of large pyrite deposits. In light of this fact, there was a need to re-evaluate the promising areas for pyrite mineralization; however, there are many insufficiently studied areas, which include the Blaksky zone. The aim of this study is to identify the features of copper-crusted mineralization of the Blaksk structural-formation block of the East Ural trough. The provided data on the localization levels and evolution of pyrite mineralization of the East Ural trough on the example of the Blaksky deposit show an increase in the content of lead and zinc in relation to copper from the lower tier to the upper, as well as laterally in the eastern direction. The data confirm this pattern in comparison with the deposits of the East Ural uplift. The same pattern is typical for the East Ural deflection. This allows the authors to consider this territory as promising for pyrite polymetallic mineralization.

Keywords: East Ural trough, copper-crusted mineralization, structural and formation block, volcanites.

Введение

Восточно-Уральский прогиб является крупнейшей синклинорной зоной Уральской эвгеосинклинали. В структуре прогиба выделяются несколько крупных обособленных блоков, отличающихся рядом особенностей внутреннего строения, разделенных межблоковыми тектоническими зонами. В пределах прогиба это – Кундыбаевский, Буруктальский и Иргизский блоки и Сарыобинская межблоковая зона. Наиболее обособленной структурой прогиба является Буруктальский синклинорий, приуроченный к сложному сочленению пересекающихся разломов, образующих тектонические узлы [1, С.105], [2, С. 5]. Буруктальский синклинорий по особенностям развития геологических формаций и глубинной тектоники подразделяется на ряд структур. В его составе выделяются Блакский, Коскольский, Журманкольский, Светлинский структурно-формационные блоки 2 порядка, а также Карашакольская и Аккаргинская межблоковые зоны [3, С.65].

Блакское месторождение меди расположено в Центральной части Блакской вулканогенной структуры. Месторождение представлено тремя минерализованными зонами субмеридионального простирания: западной, центральной и восточной. Оруденение приурочено к андезито-базальтовым порфиритам верхней части нижней толщи вулканогенного комплекса, сопровождается значительными метасоматическими изменениями вмещающих пород до превращения их в кварц-хлоритовые, кварц-хлорит-карбонатные, реже карбонат-кварц-хлорит-серицитовые метасоматиты [1, С.126].

Целью данного исследования является выявление особенностей медноколчеданного оруденения Блакского структурно-формационного блока Восточно-Уральского прогиба.

Результаты и обсуждения

Блакский структурно-формационный блок 2 порядка слагает северную часть Буруктальского синклинория [4, С.18]. С запада блок ограничен Карашакольским глубинным разломом, с востока – Аккаргинским гипербазитовым массивом.

Южная граница блока проведена условно по субширотному тектоническому нарушению, разделяющему преимущественно вулканогенные образования Блакской структуры с Коскольским интрузивным блоком [5, С.57]. Строение блока неоднородно. Блакская структура разбурена преимущественно картировочными скважинами. В современном рельефе она обнажается лишь в единичных местах. Её периферийные части сложены нерасчлененными эффузивными образованиями, представленными, главным образом, лавовыми фациями. Отличительной особенностью этой структуры является преимущественно андезитовый состав вулканитов. Андезито-базальтовые и базальтовые порфириты здесь встречаются редко в основном вблизи рудника Блак. Кайнозойская группа отложений представлена: неогеновой системой плиоценовым отделом, плиоценовым-нижнечетвертичным отделами нерасчлененными и четвертичной системой.

На месторождениях Блакской структуры выделяется три стратиграфических рудоносных уровня.

Нижний уровень вулканогенного комплекса среднего девона живетского яруса ($Д_2gv$) выходит на поверхность фундамента в юго-восточной части блока. Наиболее характерными для уровня являются оливин-пироксеновые, пироксеновые, плагиоклаз-пироксеновые часто густо – и крупновкрапленные порфириты от пикрито-базальтов до андезитов. Другая часть петрографических разновидностей пород толщи является наиболее андезитовой по составу. По фациальному составу породы нижней толщи обладают большой изменчивостью и часто подвергнуты высокой степени зеленокаменного метаморфизма, метасоматическим изменениям и богаты субвулканическими и жильными телами. Многие субвулканические тела связаны с вышележащей толщей и являются ее магмоподводящими каналами. Полная мощность толщи составляет не менее 1000 м.

Второй уровень представлен отложениями живетского яруса и нижнефранского подъяруса нерасчлененными ($Д_2gv$-$Д_3f_1$). Он представлен афировыми, часто миндалекаменными андезито-базальтами с прослоями туфов смешанного состава. Кислые фации андезит-дацитового состава обычно слагают многочисленные субвулканические тела. Данная толща имеет сложное строение. Ее нижняя часть сложена преимущественно андезит-базальтами афировыми и мелковкрапленными, нередко миндалекаменными с редкими маломощными прослоями мелкообломочных туфов того же состава и редкими небольшими потоками (до 1-2 м) более основных пород – базальтов и диабазов. В средней ее части преобладают андезиты. Редко встречаются порфировые разности, которые представлены в основном плагиоклазовыми андезитовыми порфиритами. Толща богата субвулканическими телами. Субвулканические тела данного уровня отличаются от субвулканических тел нижней толщи более пестрым составом от андезито-базальтов до липаритов. Кислые разности субвулканических фаций иногда прорывают отложения франского яруса. Еще одной характерной особенностью толщи является миндалекаменность пород. Большинство пород, слагающих ее в той или иной степени миндалекаменны. Преобладающим минералом, заполняющим миндалины, является кварц реже карбонат. Нередко среди лавовых фаций встречаются лавобрекчии. Лавовые излияния сменяются пирокластическими породами. Количество пирокластических пород увеличивается вверх по разрезу до полного их преобладания. Для отдельных зон характерны метасоматические процессы, весьма глубокие до полного превращения исходной породы в метасоматиты. Основными минералами метасоматитов являются: кварц, альбит, хлорит, серицит, эпидот и карбонат. Нередко метасоматиты сопровождаются сульфидной (пиритовой) минерализацией. Процесс замещения наиболее интенсивный в туфах, шлаковых лавах, в них наблюдается преимущественно сульфидная минерализация.

Третий уровень представлен верхним девоном, франским ярусом (D_3f). В строении этой толщи выделяют углисто-глинистые, углисто-хлоритовые сланцы, кварцевые алевролиты и песчаники, конгломераты и конглобрекчии, состоящие из тех же разновидностей сланцев, алевролитов, песчаников с примесью галек интрузивных и эффузивных пород с редкой галькой колчеданной руды. Встречаются афировые эффузивные породы основного состава с интерсертальной структурой, плагиоклазовые порфириты андезит-дацитового состава, миндалекаменные пироксеновые порфириты основного состава. В некоторых шлифах встречаются гальки кварцевых липаритовых порфиров, с вкрапленниками кислого плагиоклаза. На данном уровне отмечается наличие даек, с которыми связаны проявления сульфидной минерализации и золота. Характерно наличие пирита гидротермального происхождения в виде локальных скоплений и колломорфных пленок по плоскостям слоистости.

Наиболее эродированная южная часть Блакской структуры сложена вулканитами непрерывной натровой базальт-андезит-дацитовой формации среднего девона, с которыми связаны проявления медно-прожилково-вкрапленной минерализации, сопровождающейся обширными контрастными литохимическими аномалиями. В осадочных породах $Д_3fm$ отмечается присутствие меди («медистые конгломераты»). Вдоль западных прибортовых тектонических зон, а также разломов диагонального типа, широко проявлено золотое оруденение, фиксирующиеся преимущественно в интрузивных образованиях (диоритах, плагиогранитах $Д_3$) или осадочных толщах. К участкам золотого оруденения тяготеют обширные литохимические аномалии золоторудного типа. В северной части блока на участке сложного структурно-тектонического строения имеются месторождения, проявления, знаки проявлений золота кварцево-жильного типа (Блакский рудный район).

При сравнении стратиграфических уровней локализации медноколчеданного оруденения Блакского месторождения с месторождениями Восточно-Уральского поднятия отмечается отсутствие продуктивных толщ эйфельского яруса. В пределах Восточно-Уральского поднятия к этому стратиграфическому уровню приурочены колчеданные месторождения: Блявинское, Комсомольское, Промежуточное (Разумовское), Яман-Касы, Гайское, Орское, Зимнее, Левобережное и Исимбайское [6, С.217]. На Блакском месторождении нижний рудоносный уровень представлен породами живетского яруса.

При сравнении состава рудовмещающих пород нижнего уровня отмечено сходство в строении двух рассматриваемых зон. Рудовмещающие породы месторождений Восточно-Уральского поднятия представлены: базальтами, долеритами, пиллоу-лавами основного состава, туфами пикритобазальтов, линзами кремней, краснокоричневых яшмоидов с резко подчиненным значением прослоев андезитов, песчаников и алевролитов (Курагано-Сакмарская СФЗ), эруптивными брекчиями дацитов и риолитов и субинтрузивными породами от плагиогранитов до габбродиоритов (Тубинско-Гайская и Орская СФЗ, к которым относятся Гайское месторождение и

Орское проявление меди) [7, С.96]. Для Блакского месторождения этого уровня характерно наличие оливин-пироксеновых, пироксеновых, плагиоклаз-пироксеновых порфиритов, что несвойственно месторождениям Восточно-Уральского поднятия.

Второй уровень отличается различием возраста оруденения. Для Блакского месторождения этот уровень охватывает живетский и франский яруса, а для месторождений Восточно-Уральского поднятия – верхнеэйфельский и живетский ярус. К этому уровню относятся месторождения Восточно-Уральского поднятия: Иссиргужинское, Барсучий Лог, Аномалия. Рудовмещающие породы месторождений Восточно-Уральского поднятия на данном уровне отличаются разнообразием состава: риолитами, риодацитами, их туфами, лавобрекчиями и кластолавами, среди которых залегают потоки андезито-базальтов и диабазов (Ащебутакская и Джусинская СФЗ) [8, С.955]. Породы Блакского месторождения данного уровня представлены андезито-базальтами с прослоями туфов смешанного состава, кислыми фациями андезит-дацитового состава, диабазами, базальтами, а также андезитами, субвулканическими телами, имеющими состав от андезито-базальтов до липаритов. Можно сделать вывод, что вмещающие породы второго уровня сравниваемых месторождений в целом имеют сходный состав и представлены как основными (андезито-базальты, базальты), так и кислыми (липариты, риолиты, риодациты) разностями.

По сравнению с верхним уровнем месторождений Восточно-Уральского поднятия, представленного базальтами и риолитами с прослоями андезито-базальтов (Ащебутакская СФЗ), а также дацитов, трахидацитов, кластолав того же состава и туфов (Джусинская СФЗ), верхний уровень Блакского месторождения характеризуется наличием плагиоклазовых порфиритов андезит-дацитового состава, пироксеновых порфиритов основного состава. К месторождениям Восточно-Уральского поднятия данного уровня относятся: Западно-Ащебутакское, Джусинское, Северо-Карабутакское, Летнее и Осеннее месторождения [9, С.360], [10, С. 118].

Выводы

При сравнении условий локализации медноколчеданного оруденения Блакского месторождения и месторождений Восточно-Уральского поднятия отмечается некоторое отличие возраста вмещающих пород. Вмещающие породы месторождений Восточно-Уральского поднятия относятся к среднему девону, а породы Блакского месторождения являются более молодыми. Имеются некоторые отличия и в составе вмещающих пород.

Приведенные данные уровней локализации и эволюции колчеданного оруденения Восточно-Уральского прогиба на примере Блакского месторождения показывают увеличение содержания свинца и цинка по отношению к меди от нижнего яруса к верхнему, а также по латерали в восточном направлении и подтверждают эту закономерность в сравнении с месторождениями Восточно-Уральского поднятия. Такая же закономерность характерна для Восточно-Уральского прогиба. Это позволяет рассматривать данную территорию как перспективную на колчеданное полиметаллическое оруденение.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Грицаюк Е.Ф. Отчет о проведенных в 1977-1979 гг.поисковых геохимических исследованиях в пределах Магнитогорского, Восточно-Уральского прогибов и Зауральского поднятия / Е.Ф. Грицаюк, Н.Е. Лисицина, Ю.М. Грицаюк и др. // – г. Орск, 1979. - 268 с.

2. Дубинин В.С. Магматические формации Буруктальского рудного района и их металлогения / В.С. Дубинин: автореферат дис. канд. геол.-мин. наук. Свердловск, 1962. - 16 с.

3. Савельев Д.Е. Хромититы Аккаргинского массива (Южный Урал) / Д.Е. Савельев, И.И. Мусабиров // Вестник Пермского университета. Геология. - 2018. - т.17(1). - С.61-74.

4. Панкратьев П.В. Глубинные уровни колчеданного оруденения Восточного Оренбуржья / П.В. Панкратьев, В.П. Лощинин // Материалы региональной научно-практической конференции. – Пермь. Пермский ун-т. 2002.-С 17-20.

5. Мелекесцева И.Ю. Руды Ишкининского кобальт-медноколчеданного месторождения (Южный Урал) / И.Ю. Мелекесцева, В.В. Зайков. – Миасс. 2003. - 122 с.

6. Панкратьев П. В. Металлогеническая зональность коллизионных зон Оренбургской части Южного Урала (на примере Восточного борта Магнитогорского синклинория и Восточно-Уральского поднятия) / П. В. Панкратьев, В. С. Пантелеев // Актуальные задачи фундаментальных и прикладных исследований : материалы Междунар. науч.-практ. конф., 20 нояб. 2018 г., Оренбург / М-во образования и науки Рос. Федер., Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования "Оренбургский гос. ун-т". - Оренбург : ОГУ,2018. - С. 216-219.

7. Рудницкий В. Ф. реконструкция палеогидротермальной рудообразующей системы Уральских колчеданных месторождений: научное издание / В. Ф. Рудницкий // Урал. гос. горный ун-т. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2010. – 164 с.

8. Панкратьев, П. В. Урожайное колчеданное полиметаллическое месторождение Южного Урала / П. В. Панкратьев, Ю. А. Кривогуз // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : материалы Всерос. науч.-метод. конф. (с междунар. участием), 23-25 янв. 2020 г., Оренбург / М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования "Оренбург. гос. ун-т". Оренбург : ОГУ,2020. - С. 954-959.

9. Воробьёва С.В. Природные типы колчеданных руд и критерии для прогноза и поиска промышленных руд на примере Урала / С.В. Воробьёва // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2015. - №2. - С. 357-369.

10. Воробьева С.В. Типовая геологическая обстановка локализации промышленных колчеданных месторождений (на примере Урала и Рудного Алтая) / С.В. Воробьёва // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – №8. – С. 116–122.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Gritsayuk E. F. Otchet o provedennykh v 1977-1979 gg.poiskovykh geokhimicheskikh issledovanijakh v predelakh Magnitogorskogo, Vostochno-Ural'skogo progibov i Zaural'skogo podnjatija [Report on exploratory geochemical studies conducted in 1977-1979 within the Magnitogorsk, East Ural deflections and the Trans-Ural uplift] / E. F. Gritsayuk, N. E. Lisitsina, Yu. M. Gritsayuk et al. // - Orsk, 1979. - 268 p. [in Russian]

2. Dubinin V. S. Magmaticheskie formacii Buruktal'skogo rudnogo rajjona i ikh metallogenija [Magmatic formations of the Buruktalsky ore region and their metallogeny]: extended abstract of Candidate's thesis. Geology and Mineralogy / V. S. Dubinin. Sverdlovsk, 1962. - 16 p. [in Russian]

3. Savelyev D. E. Khromitity Akkarginskogo massiva (Juzhnyjj Ural) [Chromitites of the Akkarginsky massif (Southern Urals)] / D. E. Saveliev, I. I. Musabirov // Vestnik Permskogo universiteta. Geologija [Bulletin of the Perm University. Geology]. - 2018. - vol. 17(1). - pp. 61-74 [in Russian]

4. Pankratiev P. V. Glubinnye urovni kolchedannogo orudenenija Vostochnogo Orenburzh'ja [Deep levels of pyrite mineralization of the Eastern Orenburg Region] / P. V. Pankratiev, V. P. Loshchinin // Materialy regional'nojj nauchno-prakticheskojj konferencii [Materials of the regional scientific and practical conference]. - Perm. Perm University. 2002. - pp. 17-20 [in Russian]

5. Melekesseva I. Yu. Rudy Ishkininskogo kobal't-mednokolchedannogo mestorozhdenija (Juzhnyjj Ural) [Ores of the Ishkininsky cobalt-copper-crusted deposit (Southern Urals)] / I. Yu. Melekesseva, V. V. Zaykov. - Miass. 2003. - 122 p. [in Russian]

6. Pankratiev P. V. Metallogenicheskaja zonal'nost' kollizionnykh zon Orenburgskojj chasti Juzhnogo Urala (na primere Vostochnogo borta Magnitogorskogo sinklinorija i Vostochno-Ural'skogo podnjatija) [Metallogenic zonality of collision zones of the Orenburg part of the Southern Urals (on the example of the Eastern side of the Magnitogorsk synclinorium and the East Ural uplift)] / Pankratiev P. V., Panteleev V. S. // Aktual'nye zadachi fundamental'nykh i prikladnykh issledovanijj : materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 20 nojab. 2018 g., Orenburg [Urgent tasks of fundamental and applied research : materials of the International Scientific and Practical Conference, November 20, 2018, Orenburg / Orenburg State University" - Orenburg : OSU, 2018. - pp. 216-219 [in Russian]

7. Rudnitsky V. F. rekonstrukcija paleogidrotermal'nojj rudoobrazujushhejj sistemy Ural'skikh kolchedannykh mestorozhdenijj: nauchnoe izdanie [Reconstruction of the paleohydrothermal ore-forming system of the Ural pyrite deposits: scientific publication] F. Rudnitsky // Ural State Mining University - Yekaterinburg: Publishing house of UGSU, 2010. - 164 p. [in Russian]

8. Pankratiev, P. V. Urozhajjnoe kolchedannoe polimetallicheskoe mestorozhdenie Juzhnogo Urala [High-yield pyrite polymetallic deposit of the Southern Urals] / P. V. Pankratiev, Yu. A. Krivoguz // Universitetskijj kompleks kak regional'nyjj centr obrazovanija, nauki i kul'tury : materialy Vseros. nauch.-metod. konf. (s mezhdunar. uchastiem), 23-25 janv. 2020 g., Orenburg [University complex as a regional center of education, science and culture : materials of the All-Russian Scientific methodological conference (from the international participation), January 23-25, 2020, Orenburg / Orenburg. state University - Orenburg : OSU,2020. - pp. 954-959 [in Russian]

9. Vorobyova S. V. Prirodnye tipy kolchedannykh rud i kriterii dlja prognoza i poiska promyshlennykh rud na primere Urala [Natural types of pyrite ores and criteria for forecasting and searching for industrial ores on the example of the Urals] / S. V. Vorobyova // Gornyjj informacionno-analiticheskijj bjulleten' [Mining information and Analytical Bulletin]. - 2015. - No. 2. - pp. 357-369 [in Russian]

10. Vorobyova S. V. Tipovaja geologicheskaja obstanovka lokalizacii promyshlennykh kolchedannykh mestorozhdenijj (na primere Urala i Rudnogo Altaja) [Typical geological situation of localization of industrial pyrite deposits (on the example of the Urals and the Ore Altai)] / S. V. Vorobyova // Gornyjj informacionno-analiticheskijj bjulleten' [Mining information and analytical Bulletin]. - 2014. - No. 8. - pp. 116-122 [in Russian]

НАУКИ О ЗЕМЛЕ / SCIENCE ABOUT THE EARTH

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.110.8.030

СРЕДНЕГОДОВЫЕ РАСХОДЫ ВОДЫ В РЕКАХ ПРЕГОЛЯ И ДЕЙМА В 1990-2020 ГГ.

Научная статья

Боскачёв Р.[1, *], Чубаренко Б.[2]
[1] ORCID: 0000-0002-1625-254X;
[2] ORCID: 0000-0001-7988-1717;
[1] Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия;
[1] Калининградский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды – филиал Северо-Западного управления УГМС, Калининград, Россия;
[2] Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук, Москва, Россия

* Корреспондирующий автор (combat.130[at]mail.ru)

Аннотация

Проблема разделения стока реки Преголя в приёмные водоёмы Калининградский (Вислинский) и Куршский заливы через рукава Нижней Преголи и Деймы тесно связана с теоретической возможностью перетока солоноватых вод Калининградского залива вверх по рукаву Нижней Преголи до города Гвардейска и далее через рукав Дейму в Куршский залив. В работе анализировался расход реки Преголи и пропорция его распределения по двум рукавам за период 1990-2020 гг. Использованы данные ежесуточных измерений на гидрологических постах Калининградского Гидрометцентра приходящего расхода реки Преголи и расхода через рукав Деймы. Обсуждаются среднегодовые значения стока, максимальные и минимальные расходы в году, пропорция разделения расхода между рукавами. В течение исследуемого периода расход воды реки Преголи и её рукавов (Нижней Преголи и Деймы) изменялся более чем в 100 раз. Столь значительные диапазоны изменения расходов реки Преголи и её рукавов напрямую связаны с сезонным температурным режимом и вариативностью количества выпавших осадков в виде снега или дождя. Определено, что среднегодовое значение расхода воды реки Преголи за исследуемый период очень близко к среднемноголетнему значению 50-х годов и составляет 81.1м³/с. Распределение стока реки Преголи в рукава Нижняя Преголя и Дейма примерно в равной степени зависит от двух основных факторов: стока с водосбора реки Преголи и подпора (уровня) воды в приёмных водоёмах. Значимый тренд для среднегодового расхода воды реки Преголи за период 1990-2020 гг. не выявлен.

Ключевые слова: расход воды, устьевая зона, подпор, река Преголя, река Дейма, Калининградский залив, Куршский залив.

AVERAGE ANNUAL DISCHARGE OF THE PREGOLYA AND DEYMA RIVERS IN THE PERIOD FROM 1990 TO 2020.

Research article

Boskachyov R.[1, *], Chubarenko B.[2]
[1] ORCID: 0000-0002-1625-254X;
[2] ORCID: 0000-0001-7988-1717;
[1] I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia;
[1] Kaliningrad Center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, branch of the Northwest Administration on Hydrometeorology and Environment Monitoring, Kaliningrad, Russia;
[2] Shirshov Institute of Oceanology, Moscow, Russia

* Corresponding author (combat.130[at]mail.ru)

Abstract

The problem of separating the flow of the Pregolya river into the receiving reservoirs of the Vistula and Curonian Lagoons through the arms of the Lower Pregolya and Deyma is closely related to the theoretical possibility of the flow of brackish waters of the Vistula Lagoon up the Lower Pregolya arm to the city of Gvardeysk and further through the Deyma arm to the Curonian Lagoons. The article features an analysis of the flow rate of the Pregolya river and the proportion of its distribution over two branches for the period 1990-2020. The study utilizes the data of daily measurements of the incoming flow of the Pregolya River and the flow through the Deyama arm obtained from the stream gauges of the Kaliningrad Hydrometeorological Center. Also, the authors discuss the average annual values of runoff, maximum and minimum expenses per year, the proportion of flow separation between the arms. During the period under study, the water flow of the Pregolya river and its branches (Lower Pregolya and Deyma) changed more than 100 times. Such significant ranges of changes in the flow rates of the Pregolya River and its arms are directly related to the seasonal temperature regime and the variability of the amount of precipitation in the form of snow or rain. It is determined that the average annual water flow rate of the Pregolya river for the period under study is very close to the average long-term value of the 1950s and is 81.1 m3/s. The distribution of the Pregolya river runoff in the Lower Pregolya and Deyma arms depends approximately equally on two main factors: the runoff from the Pregolya river catchment and the water retention (level) in the receiving reservoirs. A significant trend for the average annual discharge of the Pregolya river for the period from 1990 to 2020 has not been identified.

Keywords: water flow, estuarine zone, backwater, Pregolya river, Deima river, Vistula Lagoon, Curonian Lagoon.

Введение

Река Преголя является главной рекой, протекающей через Калининградскую область - полуэкславную территорию России в Балтийском регионе. Река равнинная, среднегодовой расход воды примерно 90 м³/сек, ее питание смешанное:

дождевая составляющая 40 %, снеговая – 35%, грунтовая – 25 %. Русло реки Преголи раздваивается в г. Гвардейске (56 км выше устья) на два рукава: рукав Нижняя Преголя и рукав Дейма (Рисунок 1). Основной рукав реки Преголи, который вслед за [1] будем называть Нижней Преголей [4], несет часть стока в Калининградский залив [10], а второй – река Дейма (длиной 37 км) – в Куршский залив.

Для определения статистических характеристик количества поступающей воды с водосборного бассейна реки Преголи и распределения воды по её рукавам (Нижняя Преголя и Дейма) необходимы прямые измерения.

Первое исследование исторической информации о разделении расхода воды между рукавами Нижней Преголей и Деймы [1] показало, что, согласно прямым измерениям (1901-1956 гг.) в контрольных точках (до и после разделения реки Преголи на два рукава в г. Гвардейске), в среднем 60% сбросов поступает в Калининградский залив через нижнюю Преголю (ниже г. Гвардейска) и 40% поступает в Куршский залив через рукав Дейму. А общий сток реки Преголи до ее разделения на рукава оценивался в 80 м^3/сек.

В [3] было показано, что по данным периодов 1936-1942 и 1960-1965 гг. примерно 34% стока реки Преголи выше Гвардейска уходит в рукав Дейму. Этот расход составлял в среднем 30 м^3/сек (минимум – 17 м^3/сек, максимум – 36 м^3/сек). Среднемноголетний сток по второму рукаву (Нижняя Преголя) составлял 46.7 м^3/сек. В сумме это составляет 76.7 м^3/сек. В этом же источнике цитируются данные за 1901-1915, 1921-1930, 1935-1942, 1948-1962 гг., которые дают значение среднего расхода реки Преголи выше Гвардейска - 86.8 м^3/сек.

Задача работы – провести анализ среднегодовых расходов реки Преголи и её рукавов Нижней Преголи и Деймы за 31-летний (типичный для климатических оценок) период 1990-2020 гг. с целью уточнения пропорции разделения стока с водосбора реки Преголи между Вислинским и Куршским заливами в настоящее время [2].

Важность ожидаемого результата заключается в оценке среднегодовых условий, на фоне которых реализуются случаи затока солоноватых вод Калининградского залива в русло реки Преголя [5], [6] и перетока вод Калининградского залива в Курский залив через рукава Нижняя Преголя и Дейма [7], [9].

Материалы и методы

Использованы данные о расходах воды на гидрологических постах Преголя-Гвардейск и Дейма-Гвардейск (посты Калининградского ЦГМС – филиала ФГБУ «Северо-Западное УГМС») за период 1990-2020 гг. Гидрологический пост Преголя-Гвардейск расположен в юго-западной части города Гвардейск в 200 метрах выше разделения реки Преголи на два рукава (Нижняя Преголя и Дейма). Гидрологический пост Дейма-Гвардейск расположен на юго-восточной окраине города Гвардейск у шоссейного моста (табл. 1, рис.1). Расчет расходов на гидрологических постах проводится с помощью кривых расхода, имеющихся для профилей расчетных створов, по данным измерения уровня воды на 6ч.00мин. UTC (что составляет в настоящий момент 8ч.00мин. по местному времени – местное время менялось в те годы, когда в России были введены летнее и зимнее время).

Таблица 1 – Координаты гидрологических постов Преголя-Гвардейск и Дейма-Гвардейск

Наименование гидрологического поста	Координаты гидрологического поста	
	Широта	Долгота
ГП Преголя-Гвардейск	54°38'20	21°04'37
ГП Дейма-Гвардейск	54°38'46	21°04'30

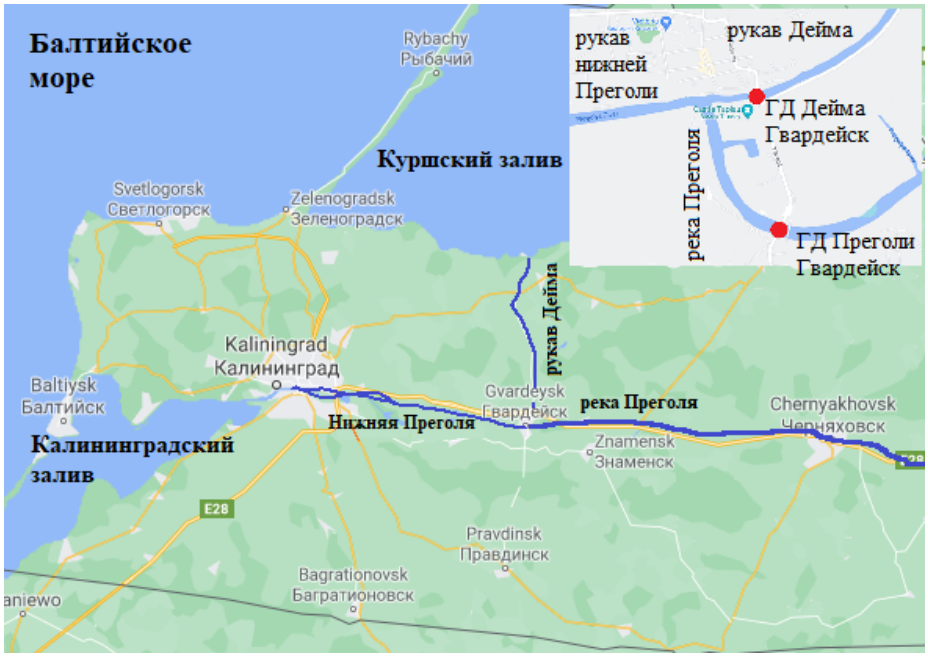


Рис. 1 – Расположение гидрологических постов на реках Преголе и Дейме в районе г. Гвардейска

Средний за год расход воды рукава Нижняя Преголя определён как разница между значениями среднегодовых расходов реки Преголи и рукава Деймы. Точно также для ежесуточных данных определялся расход Нижней Преголи (из расхода Преголи вычитался расход Деймы). Абсолютные максимумы и минимумы расходов в году для всех трех водотоков определялись при анализе ежесуточных значений за год.

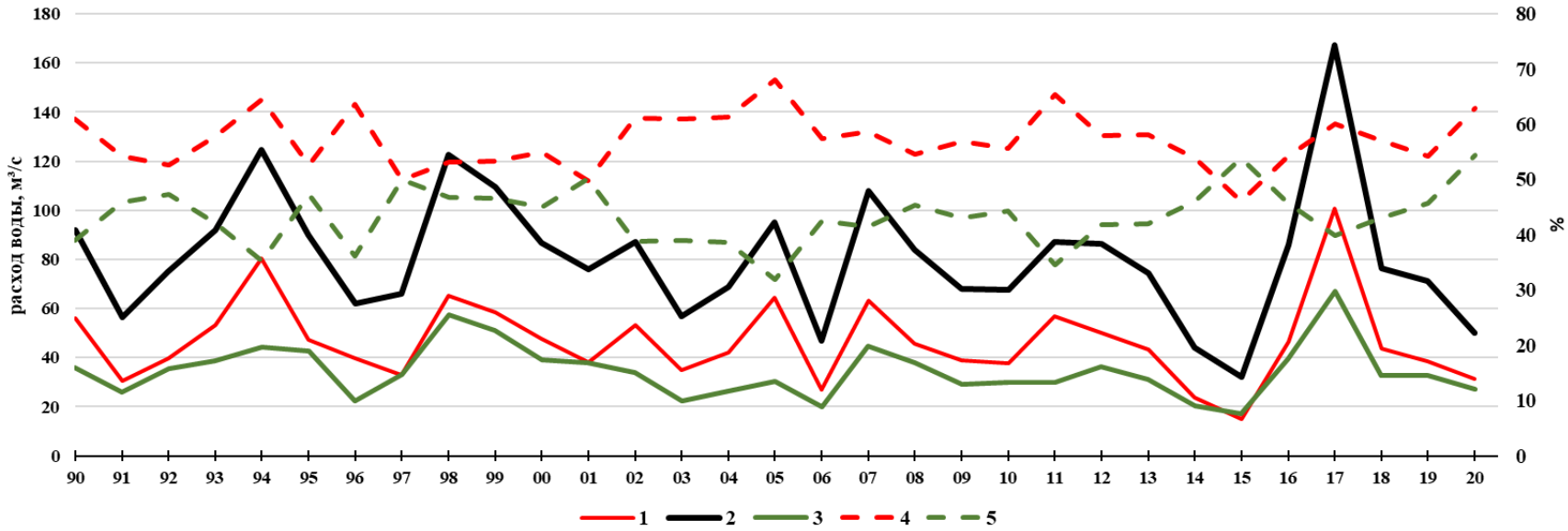


Рис. 2 – Ход среднегодовых расходов реки Преголи и её рукавов (Нижняя Преголя и Дейма) в период 1990-2020 гг., представлены абсолютные значения, а для двух рукавов - еще и процентная доля от приходящего расхода реки Преголи (правая ось):
1 – среднегодовой расход рукава Нижняя Преголя; *2* – среднегодовой расход реки Преголя перед ее разделением на рукава; *3* – среднегодовой расход воды рукава Деймы; *4* – среднегодовой расход воды рукава Нижняя Преголя; *5* – среднегодовой расход воды рукава Деймы

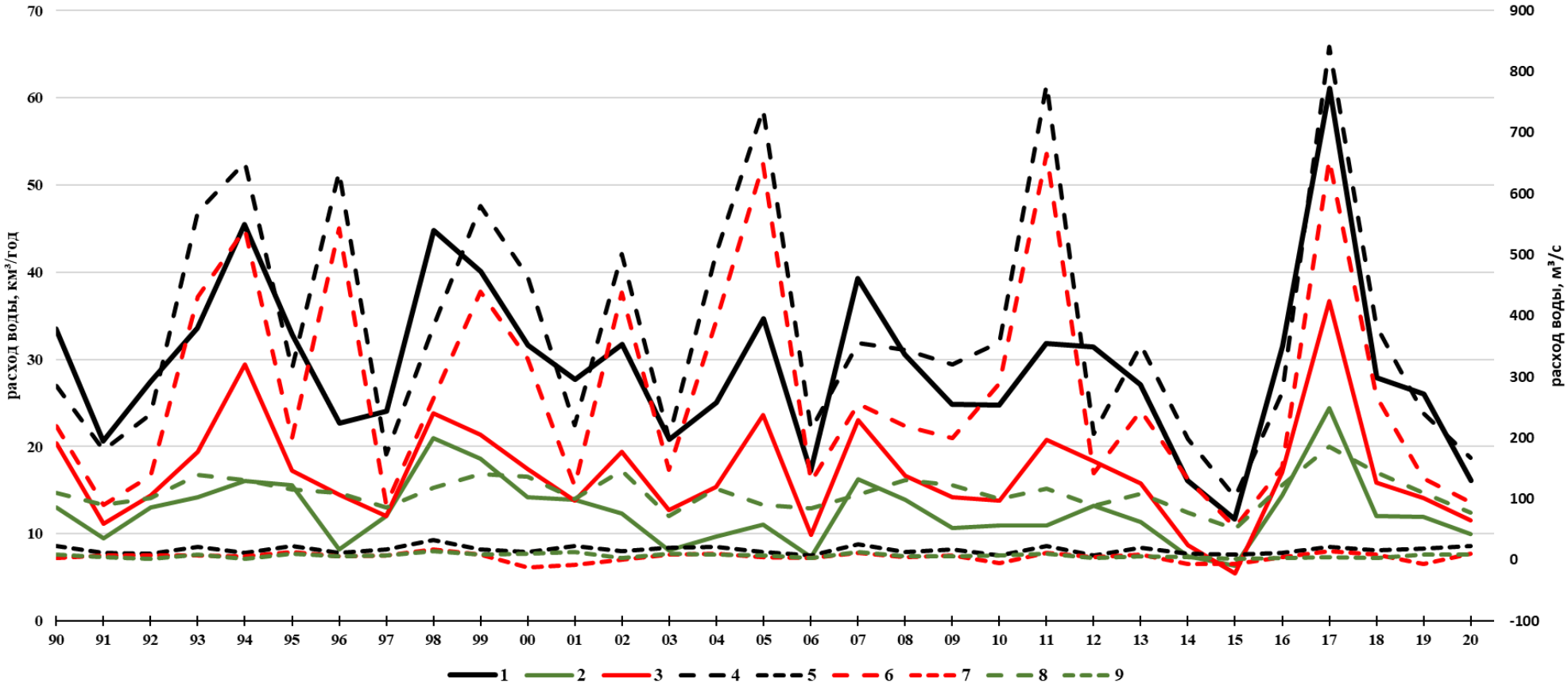


Рис. 3 – Среднегодовые и минимальные расходы (левая ось) и максимальные расходы (правая ось) реки Преголи и её рукавов (Нижняя Преголя и Дейма) в период 1990-2020 гг.: *1* – годовой расход реки Преголя; *2* – годовой расход рукава Дейма; *3* – годовой расход рукава Нижняя Преголя; *4* – максимумы реки Преголя; *5* – минимумы реки Преголя; *6* – максимумы рукава Нижняя Преголя; *7* – минимумы рукава Нижняя Преголя; *8* – максимумы рукава Дейма; *9* – минимумы рукава Дейма

Результаты и обсуждения

В таблице 2 отражены данные о годовых средних расходах воды реки Преголи на ГП Преголя-Гвардейск и рукава Деймы на ГП Дейма-Гвардейск, а также расчётное значение расходов для рукава Нижней Преголи. Средний расход воды за весь исследуемый период для реки Преголи (г. Гвардейск) и её рукава - реки Деймы (г. Гвардейск) составил 81,1 м³/с и 34,6 м³/с соответственно.

Рассчитанное среднее значение расхода воды рукава Нижняя Преголя за исследуемый период – 46,7 м³/с, что в процентном соотношении от общего водотока реки Преголи (до ее разветвления в г. Гвардейске) составило – 54,2%. Среднее значение расхода в Дейме – 34,6 м³/с (45,8% - от приходящего расхода реки Преголя).

Доля Нижней Преголи изменяется от года к году в пределах 46,1–68%, т.е. есть года (1997, 2001 и 2015), в которых сток в Куршский залив через рукав Деймы превышает сток в Калининградский залив по рукаву Нижней Преголи.

Сток Деймы находится в пределах 32–54,4% от приходящего стока реки Преголи. В исследуемый период встретились семь лет (1990, 1994, 1996, 2002, 2003, 2005, 2017), когда сток Деймы был ниже 40% от приходящего стока реки Преголи.

За исследуемый период среднегодовой расход воды реки Преголи (выше разделения на рукава в г. Гвардейске) варьировался в пределах 32,1–167,5 м³/с. Среднее многолетнее значение расхода воды реки Преголи за исследуемый период (81.0 м³/с) попадает в пределы вариаций расхода, оцененного для начала и середины прошлого столетия 76,7 – 86,8 м³/с [3].

Среднегодовой расход воды рукава Нижней Преголи (ниже Гвардейска) варьировался в пределах 14,8–100,6 м³/с., а у рукава Деймы среднегодовой расход воды изменялся в пределах 17,3–66,9 м³/с.

Полученные данные амплитуд колебаний среднегодовых значений реки Преголи и её двух рукавов свидетельствуют об относительно близкой вариативности режима расхода воды за исследуемый период. Кратность пределов вариаций расхода реки Преголи – 5,2 раза, рукава Нижняя Преголя – 6,8 раза и рукава Дейма – 3,9 раза. Более высокое значение кратности изменения расхода воды рукава Нижней Преголи возможно связано с ее широким руслом (более пологие берега), которое позволяет воде легко выходить на пойму. Русло рукава Дейма (на многих участках искусственного происхождения) имеет более крутые берега.

Таблица 2 – Среднегодовые расходы воды в реке Преголе и её рукавах (Нижняя Преголя и Дейма) в период 1990 – 2020 гг.

год	Река Преголя		Рукав Нижняя Преголя			Рукав Дейма		
	средн. знач., м³/с	годовой расход, км³	средн. знач., м³/с	доля, %	годовой расход, км³	средн. знач., м³/с	доля, %	годовой расход, км³
1990	91,8	33,5	56,0	61,0	20,4	35,8	39,0	13,1
1991	56,5	20,6	30,6	54,2	11,2	25,9	45,8	9,5
1992	75,3	27,4	39,6	52,6	14,4	35,7	47,4	13,0
1993	92,1	33,6	53,2	57,8	19,4	38,9	42,2	14,2
1994	124,7	45,5	80,5	64,6	29,4	44,1	35,4	16,1
1995	89,9	32,8	47,3	52,6	17,2	42,6	47,4	15,6
1996	62,2	22,7	39,6	63,7	14,5	22,5	36,2	8,2
1997	66,1	24,1	33,0	49,9	12,0	33,1	50,1	12,1
1998	122,8	44,8	65,3	53,2	23,8	57,5	46,8	21,0
1999	109,7	40,0	58,6	53,4	21,4	51,1	46,6	18,6
2000	86,8	31,6	47,7	55,0	17,4	39,1	45,0	14,2
2001	76,0	27,7	37,9	49,9	13,8	38,1	50,1	13,9
2002	87,1	31,8	53,3	61,2	19,4	33,8	38,8	12,3
2003	57,0	20,8	34,8	61,1	12,7	22,2	38,9	8,1
2004	68,7	25,0	42,1	61,3	15,3	26,5	38,6	9,7
2005	95,0	34,7	64,6	68,0	23,6	30,4	32,0	11,1
2006	47,0	17,2	27,0	57,4	9,9	20	42,6	7,3
2007	107,7	39,3	63,1	58,6	23,0	44,7	41,5	16,3
2008	83,8	30,6	45,7	54,5	16,7	38,1	45,5	13,9
2009	68,1	24,8	38,8	57,0	14,2	29,3	43,0	10,7
2010	67,7	24,7	37,7	55,7	13,8	30	44,3	11,0
2011	87,2	31,8	57,0	65,4	20,8	30,1	34,5	11,0
2012	86,2	31,5	50,0	58,0	18,3	36,1	41,9	13,2
2013	74,4	27,1	43,2	58,1	15,8	31,2	41,9	11,4
2014	44,1	16,1	23,8	54,0	8,7	20,3	46,0	7,4
2015	32,1	11,7	14,8	46,1	5,4	17,3	53,9	6,3
2016	86,2	31,5	46,7	54,2	17,1	39,5	45,8	14,4

Окончание таблицы 2 – Среднегодовые расходы воды в реке Преголе и её рукавах (Нижняя Преголя и Дейма) в период 1990 – 2020 гг.

год	Река Преголя		Рукав Нижняя Преголя			Рукав Дейма		
	средн. знач., м³/с	годовой расход, км³	средн. знач., м³/с	доля, %	годовой расход, км³	средн. знач., м³/с	доля, %	годовой расход, км³
2017	167,5	61,1	100,6	60,1	36,7	66,9	39,9	24,4
2018	76,5	27,9	43,6	57,0	15,9	32,9	43,0	12,0
2019	71,3	26,0	38,7	54,3	14,1	32,6	45,7	11,9
2020	50,0	16,1	31,5	63,0	11,5	27,2	54,4	9,9
среднее	81,0	29,5	46,7	57,2	17,0	34,6	43,4	12,6
максимум	167,5	61,1	100,6	68,0	36,7	66,9	54,4	24,4
минимум	32,1	11,7	14,8	46,1	5,4	17,3	32,0	6,3

В течение исследуемого периода расход воды в реке Преголе и её рукавах (Нижняя Преголя и Дейма) изменялся более чем в 100 раз. Определены максимумы и минимумы расходов для реки Преголи – 841 м³/с и 7,3 м³/с, рукава Нижняя Преголя - 665 м³/с и -11,6 м³/с и рукава Дейма – 185 и 1,3 м³/с соответственно (Таблица 3).

В большинстве случаев максимальные и минимальные значения в году в рукавах Нижняя Преголя и Дейма наступают не одновременно, а, значит, на экстремумы более сильное влияние оказывает не сток основного русла Преголи, а ситуация, определяемая влиянием приемного водоема (низкий уровень при максимальных стоках и высокий уровень и м.б. даже затоки вод приёмных водоёмов, поступающие снизу-вверх по гидрологической системе).

Таблица 3 – Абсолютные максимальные и минимальные расходы воды в реке Преголе и её рукавах (Нижняя Преголя и Дейма) в период 1990 – 2020 гг.

год	Река Преголя		Рукав Нижняя Преголя		Рукав Дейма	
	макс., м³/с	мин., м³/с	макс., м³/с	мин. , м³/с	макс., м³/с	мин., м³/с
1990	285,0	22,3	219,7	3,7	110,0	9,3
1991	180,0	11,6	89,8	7,5	90,8	4,2
1992	239,0	10,5	138,0	6,8	102,0	1,8
1993	570,0	20,9	431,0	7,4	139,0	9,0
1994	651,0	12,0	542,4	6,6	131,0	2,2
1995	314,0	22,9	199,0	12,4	116,0	10,2
1996	636,0	12,0	543,8	5,9	110,0	6,1
1997	173,0	16,9	90,2	7,9	85,6	7,7
1998	382,0	32,3	264,0	17,6	118,0	14,7
1999	580,0	17,9	439,0	9,1	141,0	8,6
2000	465,0	12,7	330,0	-11,6	136,0	10,1
2001	221,0	22,2	121,5	-8,5	99,5	13,4
2002	501,0	13,8	438,1	0,3	146,0	3,8
2003	200,0	20,2	147,1	8,4	71,8	9,7
2004	501,0	21,8	391,0	9,8	117,0	9,4
2005	738,0	13,4	648,5	5,0	89,5	7,6
2006	213,0	7,8	128,3	3,4	84,7	3,2
2007	356,0	25,6	256,0	11,8	107,0	12,4
2008	344,0	12,7	219,0	4,6	131,0	5,4
2009	321,0	17,3	199,0	7,1	122,0	6,4
2010	357,0	7,6	289,8	-5,2	100,0	7,9
2011	779,0	22,3	665,0	11,7	117,0	10,0
2012	206,0	7,3	141,5	4,2	88,2	3,1
2013	353,0	19,9	244,0	9,4	109,0	6,1
2014	198,0	9,7	132,2	-6,1	78,0	4,4
2015	103,0	8,8	53,5	-7,2	50,4	1,3
2016	274,0	12,2	152,0	4,7	122,0	2,8
2017	841,0	22,1	656,0	14,3	185,0	4,1
2018	383,0	15,2	268,0	8,2	144,0	2,7
2019	241,0	18,2	134,0	-6,0	110,0	8,7
2020	167,0	22,5	94,1	9,6	76,9	8,1
среднее	379,7	16,5	279,5	4,9	110,6	6,9
максимум	841	32,3	665	17,6	185	14,7
минимум	103	7,3	53,5	-11,6	50,4	1,3

Выводы

В течение периода 1990-2020 гг. расход воды реки Преголи и её рукавов (Нижней Преголи и Деймы) изменялся более чем в 100 раз, высокая вариативность расхода воды непосредственно связана с сезонным температурным режимом и вариативностью количества выпавших осадков в виде снега или дождя. Средние за весь исследуемый период значения составили 81,1 м³/с и 34,6 м³/с соответственно. Рассчитанное среднее значение за весь исследуемый период рукава нижней Преголи составило – 46,7 м³/с. За исследуемый период среднегодовой расход воды реки Преголи (выше ее разделения на рукава в г. Гвардейске) варьировался в пределах 32,1-167,5 м³/с.

Выявленный тренд на уменьшение среднегодового расхода воды реки Преголи за исследуемый период составляет мизерную величину -0,0012 м³/сутки, которая явно не является статистически значимой, т.к. межгодовые вариации в десятки раз больше, чем изменения по тренду.

Определено, что среднее многолетнее значение расхода воды реки Преголи за исследуемый период (81,0 м³/с) попадает в пределы вариаций расхода, оцененного для начала и середины прошлого столетия 76,7 – 86,8 м³/с.

Рассчитанное среднее значение расхода воды в процентном соотношении рукава Нижняя Преголя за исследуемый период составило – 54,2%, а рукава Деймы – 45,8% от общего водотока реки Преголи. Полученные данные распределения воды по двум рукавам реки Преголи немного отличаются от результатов работы [1] (60% и 40% соответственно) и существенно отличаются от результатов работы [3] (66% и 34% соответственно).

Выявлено, что в большинстве случаев максимальные и минимальные значения в году в рукавах нижней Преголи и Дейме наступают не одновременно, а, значит, на экстремумы более сильное влияние оказывает не сток основного русла Преголи, а ситуация, определяемая влиянием приемного водоема (низкий уровень при максимальных стоках и высокий уровень и м.б. даже затоки вод приёмных водоёмов, поступающие снизу-вверх по гидрологической системе).

Результаты анализа среднегодовых расходов реки Преголи и её рукавов Нижней Преголи и Деймы будет в дальнейшем использован в определении возможности перетока вод Калининградского (Вислинского) залива в Куршский залив и обратно по руслам Нижней Преголи и Деймы.

Финансирование

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-35-90108 и темы 0128-2021-0012 государственного задания Института океанологии им. П.П.Ширшова РАН (Б.В.Чубаренко - анализ).

Funding

The research was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research within the framework of scientific project No. 19-35-90108 and topic 0128-2021-0012 of the state task of the P. P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences (B. V. Chubarenko - analysis).

Благодарности

Авторы статьи выражают искреннюю благодарность сотрудникам Калининградского ЦГМС – филиала ФГБУ «Северо-Западное УГМС». Авторы благодарят фонд «Murrey Foundation» за финансовую поддержку публикации (оплата редакционно-издательских расходов).

Acknowledgement

The authors of the article express their sincere gratitude to the employees of the Kaliningrad CGMS-branch of the FSBI "North-Western UGMS". The authors thank the "Murray Foundation" for the financial support of the publication (payment of editorial and publishing expenses).

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Маркова Л.Л. Гидрологический очерк устьевых областей рек Немана и Преголи / Л.Л. Маркова, И.Я. Нечай // Труды ГОИН, вып. 49. – М: 1960, С. 118-187.

2. Chubarenko B. Transboundary Lagoons of the Baltic Sea (Chapter 6). / B. Chubarenko, D. Domnin, S. Navrotskaya et al. // The Diversity of Russian Estuaries and Lagoons Exposed to Human Influence, Estuaries of the World. Springer International Publishing. Switzerland, 2017. Pp. 149-191. DOI 10.1007/978-3-319-43392-9_6.

3. Силич М.В. Водный баланс залива / М.В. Силич // Гидрометеорологический режим Вислинского залива, под ред. Лазаренко Н., Маевского А, Л.: Гидрометеоиздат, 1971, - С. 143-172.

4. Domnin D. Formation and Re-Distribution of the River Runoff in the Catchment of the Pregolya River / D. Domnin, B. Chubarenko, R. Capell // In: Terrestrial and Inland Water Environment of the Kaliningrad Region — Environmental Studies in the Kaliningrad Region. V.A. Gritsenko ., Sivkov V.V., Yurov A.V., Kostianoy A.G. (eds). The Handbook of Environmental Chemistry. ISSN 1867-979X. Vol. 65. 2017. Springer, Cham. P. 269—284.

5. Домнин Д.А. Особенности и закономерности затока солоноватых масс в лагунно-эстуарной системе Калининградский залив – Преголя – Куршский залив посредством данных контактных измерений и моделирования / Д.А. Домнин, А.Н. Соколов, В.А. Пилипчук // Известия КГТУ – 2014-№35,С.11-20.

6. Чубаренко Б.В. Физические механизмы проникновения солёных вод вверх по реке Преголе с учётом влияния рельефа дна / Б.В. Чубаренко, В.И. Шкуренко // Физические проблемы экологии (экологическая физика), вып. 7. - М.;Изд-во МГУ, 2001. - с. 80-88.

7. Чубаренко Б.В. Возможность перетока вод в системе «Калининградский залив – река Преголя – Куршский залив» / Б.В. Чубаренко, Р.В. Боскачёв // Процессы в геосредах. 2018. №2 (15). С. 911-919.

8. Боскачев Р.В. Инструментальные инклинометрические измерения течения в реках Преголя и Дейма в период 10.12 – 26.12.2019 / Р.В. Боскачев, Б.В. Чубаренко, А.А. Кондрашов и др.// Процессы в геосредах. 2020. №3 (25). С. 747-754.

9. Chubarenko, B. Hydraulic connection between Vistula and Curonian lagoons of the Baltic Sea / B. Chubarenko, R. Boskachev // Baltica 34 (1), 81–94. https://doi.org/10.5200/baltica.2021.1.7.

10. Регион Калининградского/Вислинского залива: современное состояние и сценарий развития / Под ред. В. Кушевски, Г.М.Федоров, Б.В. Чубаренко, В.А. Гриценко. Калининград, БФУ им. Канта, 2014. 216 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Markova L. L. Gidrologicheskijj ocherk ust'evykh oblastejj rek Nemana i Pregoli [A hydrological sketch of the estuaries of the Neman and Pregolya rivers] / L. L. Markova, I. Ya. Nechay // Trudy GOIN, issue 49. - M: 1960, pp. 118-187 [in Russian]

2. Chubarenko B. Transboundary Lagoons of the Baltic Sea (Chapter 6). / B. Chubarenko, D. Domnin, S. Navrotskaya et al. // The Diversity of Russian Estuaries and Lagoons Exposed to Human Influence, Estuaries of the World. Springer International Publishing. Switzerland, 2017. Pp. 149-191. DOI 10.1007/978-3-319-43392-9_6.

3. Silich M. V. Vodnyjj balans zaliva [The water balance of the bay] / M. V. Silich // Gidrometeorologicheskijj rezhim Vislinskogo zaliva [Hydrometeorological regime of the Vistula Lagoon], edited by N. Lazarenko, A. Mayevsky, L.: Hydrometeoizdat, 1971, - pp. 143-172 [in Russian]

4. Domnin D. Formation and Re-Distribution of the River Runoff in the Catchment of the Pregolya River / D. Domnin, B. Chubarenko, R. Capell // In: Terrestrial and Inland Water Environment of the Kaliningrad Region — Environmental Studies in the Kaliningrad Region. V.A. Gritsenko ., Sivkov V.V., Yurov A.V., Kostianoy A.G. (eds). The Handbook of Environmental Chemistry. ISSN 1867-979X. Vol. 65. 2017. Springer, Cham. P. 269—284.

5. Domnin D. A. Osobennosti i zakonomernosti zatoka solonovatykh mass v lagunno-ehstuarnojj sisteme Kaliningradskijj zaliv – Pregolja – Kurshskijj zaliv posredstvom dannykh kontaktnykh izmerenijj i modelirovanija [Features and regularities of the inflow of brackish masses in the lagoon-estuarine system of the Vitsula Lagoon-Pregolya-Curonian Lagoon by means of contact measurement data and modeling] / D. A. Domnin, A. N. Sokolov, V. A. Pilipchuk // Izvestija KGTU [Bulletin of KSTU]-2014-No. 35, p. 11-20 [in Russian]

6. Chubarenko B. V. Fizicheskie mekhanizmy proniknovenija soljonykh vod vverkh po reke Pregole s uchjotom vlijanija rel'efa dna [Physical mechanisms of salt water penetration up the Pregolya River, taking into account the influence of the bottom relief] / B. V. Chubarenko, V. I. Shkurenko // Fizicheskie problemy ehkologii (ehkologicheskaja fizika) [Physical problems of ecology (ecological physics)], issue 7. - M.; Publishing house of Moscow State University, 2001. - pp. 80-88 [in Russian]

7. Chubarenko B. V. Vozmozhnost' peretoka vod v sisteme «Kaliningradskijj zaliv – reka Pregolja – Kurshskijj zaliv» [The possibility of water flow in the system "Vistula Lagoon – Pregolya River-Curonian Lagoon"] / B. V. Chubarenko, R. V. Boskachev // Processy v geosredakh [Processes in geomedia]. 2018. №2 (15), pp. 911-919 [in Russian]

8. Boskachev R. V. Instrumental'nye inklinometricheskie izmerenija techenija v rekakh Pregolja i Dejjma v period 10.12 – 26.12.2019 [Instrumental inclinometric measurements of the flow in the Pregol and Deyma rivers in the period from 10.12 to 26.12.2019] / R. V. Boskachev, B. V. Chubarenko, A. A. Kondrashov et al. // Processy v geosredakh [Processes in geo-environments]. 2020. №3 (25), pp. 747-754 [in Russian]

9. Chubarenko, B. Hydraulic connection between Vistula and Curonian lagoons of the Baltic Sea / B. Chubarenko, R. Boskachev // Baltica 34 (1), 81–94. https://doi.org/10.5200/baltica.2021.1.7.

10. Region Kaliningradskogo/Vislinskogo zaliva: sovremennoe sostojanie i scenarijj razvitija [Vistula Lagoon region: current state and development scenario] / Edited by Kushevsky, G. M. Fedorov, B. V. Chubarenko, V. A. Gritsenko. Kaliningrad, Kant BFU, 2014. 216 p. [in Russian]

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.110.8.031

ЗИМНИЕ ПЕРИОДЫ В ВИСЛИНСКОМ-КАЛИНИНГРАДСКОМ ЗАЛИВЕ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ПО МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ В 2011–2021 ГОДАХ

Научная статья

Железова Е.В.*
ORCID: 0000-0003-1290-0340,
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

* Корреспондирующий автор (ironkate[at]inbox.ru)

Аннотация

Для характеристики водообмена в Вислинском-Калининградском заливе Балтийского моря в зимних условиях были проанализированы температура воздуха, скорости и направления ветров для периода потенциально возможного ледового покрова с декабря по март 2011 по 2021 годы. Роза ветров за 10 лет для данной территории сопоставлена с многолетней розой ветров по Юго-Восточной Балтике. Зимы подразделяются по суровости на мягкие (2013–2014, 2014–2015, 2015–2016, 2016–2017, 2018–2019, 2019–2020), умеренные (2011–2012, 2017–2018, 2020–2021) и суровые (2012–2013). Метеорологических зим не было зафиксировано в 2014–2015 и 2019–2020, короткие зимы были в 2011–2012, 2013–2014, 2015–2016, промежуточные в 2016–2017, 2017–2018, 2020–2021, долгая в 2012–2013.

Ключевые слова: лагуна, ветер, температура воздуха, метеорологическая зима.

WINTER PERIODS IN THE VISTULA LAGOON (THE BALTIC SEA) ACCORDING TO METEOROLOGICAL DATA IN THE PERIOD FROM 2011 TO 2021

Research article

Zhelezova E.V.*
ORCID: 0000-0003-1290-0340,
Shirshov Institute of Oceanology, Moscow, Russia

* Corresponding author (ironkate[at]inbox.ru)

Abstract

To characterize the water exchange in the Vistula Lagoon, the current study analyzes air temperature, wind speeds and directions in winter conditions for the period of potentially possible ice cover from December to March from 2011 to 2021. The wind rose for 10 years for this territory is compared with the long-term wind rose in the South-Eastern Baltic. Winters are divided by severity into mild (2013-2014, 2014-2015, 2015-2016, 2016-2017, 2018–2019, 2019–2020), moderate (2011-2012, 2017–2018, 2020–2021) and severe ones (2012-2013). No meteorological winters were recorded in 2014-2015 and 2019–2020, short winters were observed in 2011–2012, 2013–2014, 2015–2016, intermediate winters were recorded in 2016–2017, 2017–2018, 2020–2021, and long winters were recorded in 2012–2013.

Keywords: lagoon, wind, air temperature, meteorological winter.

Введение

Вислинский-Калининградский залив (залив по гидроморфологической типизации является типичной эстуарной лагуной и является одной из самых больших береговых лагун Европы [1]. На официальных картах северная часть залива, принадлежащая России (56,2 % площади акватории), называется Калининградским заливом, южная (польская) часть – Вислинским заливом. Названия «Калининградский залив» и «Вислинский залив» обычно используются в случаях, когда речь идет о российской или о польской национальных частях залива, соответственно. В книге [2] используется название «Калининградский/Вислинский залив», что читается, как «либо-либо». Имея в виду, что эти названия относятся к двум частям одного целого географического объекта, здесь и далее для всего залива будем использовать составное название «Вислинский-Калининградский залив») является второй по величине мелководной устьевой лагуной Балтийского моря с максимальной глубиной 5,2 м (средняя глубина 2,7 м) (см. рисунок 1). Он расположен в юго-восточной части Балтийского моря и отделен от него узкой Вислинской (Балтийской) косой. Объем лагуны составляет 2,3 км^3. России принадлежит северная часть залива (56,2 % площади акватории), южная часть принадлежит Польше.

Водообмен с Гданьским заливом Балтийского моря осуществляется через единственный вход в лагуну – Балтийский пролив [3], [4]. Приливы и отливы в Балтийском море практически отсутствуют, и нерегулярное воздействие ветра является основным фактором влияния на прибрежные районы Балтийского моря.

Для Вислинского-Калининградского залива в зимний период характерно возникновение устойчивого ледового покрова (иногда несколько раз за зиму), а также возникновение полыньи у входа со стороны залива [1, 3], которая обеспечивает возможность паромной связи в зимнее время между г. Балтийск и отрезанным от него Балтийским проливом поселком Коса. Возможное влияние на характеристики залива в зимние периоды при строительстве нового судоходного канала с польской стороны описаны в [5], [6].

Целью данной работы является определение благоприятных периодов для возникновения ледового покрова на Вислинском-Калининградском заливе в период с 2011 по 2021 годы.

Ответ на этот вопрос необходим в рамках решения задачи по анализу водообмена Вислинского-Калининградского заливе с морской акваторией в зимних условиях. Оценка фоновых значений метеорологических условий для данного района, таких как продолжительность и сроки зимы, типизация по суровости, розы ветров и другие климатические характеристики, актуальна для дальнейших исследований ледового покрова и полыньи в нем [3].

Практическая ценность результата в том, что полученные данные существенно сокращают количество спутниковых снимков, которые потребуется просмотреть для оценки ледового покрова с 2011 по 2021 года и намечают сроки

постановки исследований in-situ, как это было сделано, например, для Куршского залива в [4].

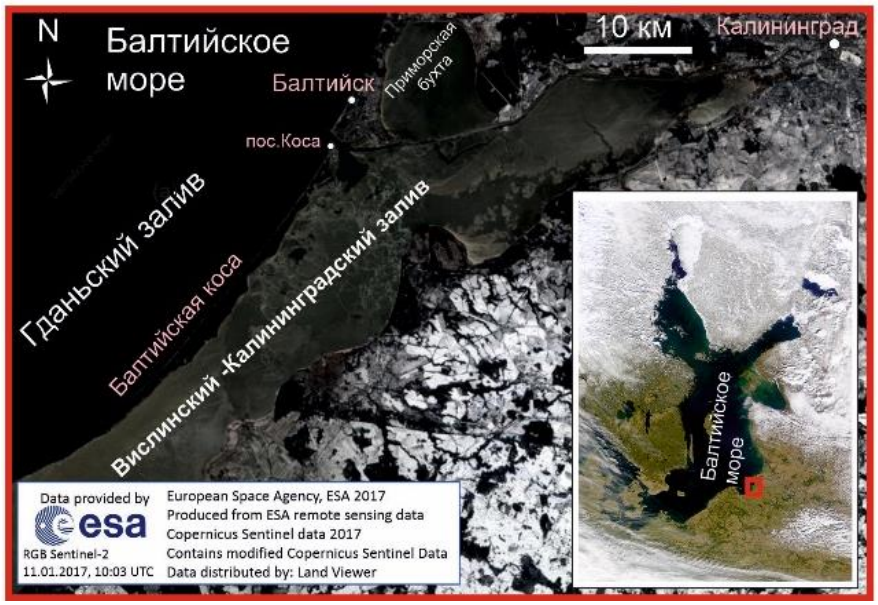


Рис. 1 – Расположение Вислинского-Калининградского залива в Балтийском море

Методы и принципы исследования

Значения температур воздуха (градусы Цельсия, на высоте двух метров над землей, измеряемые каждые 3 часа, были усреднены для получения среднесуточных значений), направление и сила ветра (измеряемые каждые 3 часа) взяты из открытых архивных данных сайта www.rp5.ru на метеостанции города Балтийск № 26701 (54°39' с.ш., 19°55' в.д.), именно там, где расположен Балтийский пролив. Морская гидрологическая станция Балтийск открыта в мае 1945 года (http://meteo39.ru/). Полученная гидрометеорологическая информация по ветру и температуре воздуха репрезентативна, так как в среднем отсутствует менее 0,5% измерений по каждому из исследуемых периодов.

Каждая зима 2011–2021 годов характеризуется среднемесячными значениями (рассчитаны по среднесуточным температурам) зимних месяцев - декабря, января, февраля и марта. Климатическая норма на декабрь, январь, февраль и март (0,9; -0,6; -0,4; 2,3, соответственно) в Балтийске за 1981—2010 гг. взята с сайта Гидрометцентра России https://meteoinfo.ru. Аномалия для каждого зимнего месяца каждой зимы это отклонение среднемесячного значения от нормы (из значения среднемесячной температуры вычитается значение нормы для этого месяца). По сумме аномалий делается вывод о степени суровости зимы (см. таблицу 1). Зима для Калининграда за период с декабря по март считается [8]: мягкой, если сумма аномалий для этих месяцев больше 1,2°С; умеренной – если значение лежит в пределах 1,2 – (-7,3) °С; суровой – в пределах -7,3 до -15,6 °С; очень суровой, если менее -15,6 °С.

Начало и конец метеорологической зимы были определены для каждого года (см. таблицу 2). О начале метеорологической зимы свидетельствовали отрицательные среднесуточные температуры воздуха, наблюдавшиеся в течение пяти и более дней подряд. Если сумма положительных температур следующих дней превышала сумму отрицательных температур предыдущих дней, считалось, что это было просто похолодание, а не наступление метеорологической зимы. Окончание метеорологической зимы рассматривалось как последняя дата с отрицательной температурой, после которой было пять или более дней потепления (их сумма должна быть больше суммы предыдущих отрицательных температур по модулю).

Также высчитана сумма градусо-дней мороза (накопленная сумма отрицательных среднесуточных температур воздуха в течение каждой метеорологической зимы) (см. таблицу 2). Эта величина важна для дальнейших исследований ледового покрова на Вислинском-Калининградском заливе, т.к. согласно [9] снижение температуры воды и начало процесса замерзания, а также более длительное сохранение ледяного покрова зависит от суммы последовательных отрицательных температур воздуха.

Основные результаты

Разнообразие атмосферных процессов в зимний период над юго-восточной частью Балтийского моря приводит к тому, что температурные условия в отдельные годы здесь могут значительно отличаться [8]. Ход температуры воздуха в анализируемый период за разные годы представлен на (см. рисунок 2).

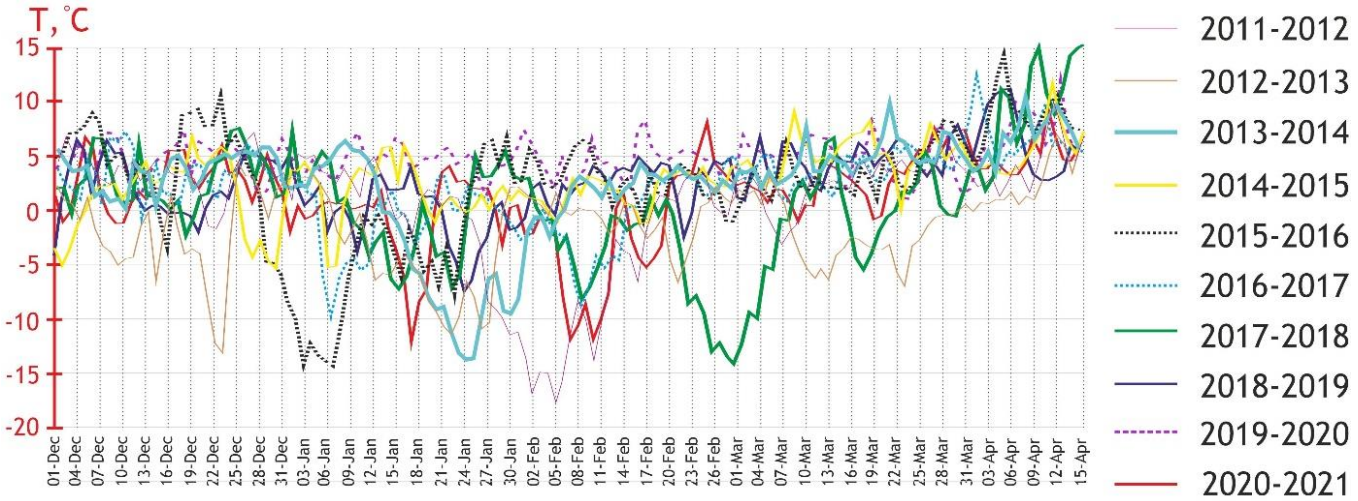


Рис. 2 – Кривые среднесуточных температур воздуха за период 01 декабря – 15 апреля 2011–2021 годы, охватывающего зимний сезон (Балтийск)

В соответствие с принятой классификацией зим, зависящей от аномалий среднемесячных температур воздуха за период с декабря по март [8], зимы 2013–2014, 2014–2015, 2015–2016, 2016–2017, 2018–2019, 2019–2020 являлись мягкими, зимы 2011–2012, 2017–2018, 2020–2021 были умеренными, зима 2012–2013 годов – суровой (см. таблицу 1, рисунок 3).

Таблица 1 – Расчетные значения аномалий средних месячных температур на Балтийск

Годы	Дек,	Янв,	Фев,	Март	Сумма аномалий	Тип зимы
1981–2010	0,9	-0,6	-0,4	2,3	4,4	мягкая
2011–2012	3,9	0,1	-5,2	2,9	-0,4	умеренная
2012–2013	-1,8	-3,7	-0,6	-2,0	-10,3	суровая
2013–2014	3,9	-2,8	2,1	5,0	5,9	мягкая
2014–2015	1,1	1,8	1,8	5,0	7,5	мягкая
2015–2016	4,4	-4,0	2,8	3,7	4,8	мягкая
2016–2017	3,5	-0,8	-0,3	4,1	4,4	мягкая
2017–2018	3,1	0,9	-3,2	-0,4	-1,8	умеренная
2018–2019	2,4	-0,2	2,7	4,6	7,3	мягкая
2019–2020	4,6	4,4	4,5	4,7	16,0	мягкая
2020–2021	2,6	-0,6	-2,1	3,1	0,8	умеренная

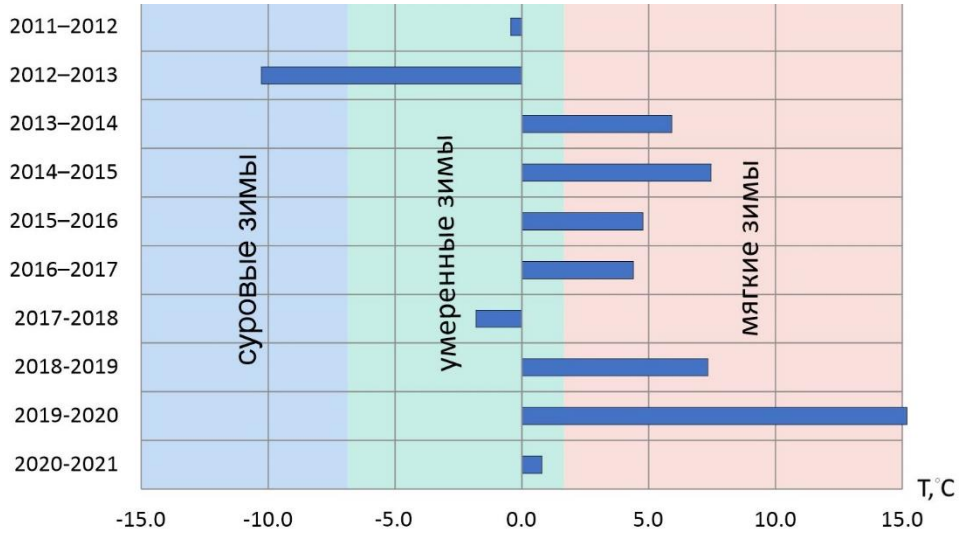


Рис. 3 – Сумма аномалий средних месячных температур за период с декабря по март для каждой зимы 2011–2021 годов (Балтийск)

Критерий наличия метеорологической зимы в 2014–2015 и в 2019–2020 годах строго не выполнялся (не было подряд пяти дней с отрицательными среднесуточными температурами), хотя степени суровости для периода декабрь-март этих лет были определены.

Короткие зимы были в 2011–2012, 2013–2014, 2015–2016 и 2018–2019 годах (24, 23, 27 и 11 дней, соответственно), промежуточные в 2016–2017, 2017–2018, 2020–2021 годах (40, 32 и 37 дней, соответственно), долгая зима была в 2012–2013 (114 дней).

Самый теплый период декабрь-март был в 2019–2020 году (полное отсутствие среднесуточных отрицательных температур воздуха), а самый холодный в 2012–2013 годах (кумулятивная негативная среднесуточная температура с декабря по март составила -318.7 °С). Параметры для каждой из десяти зим показаны на таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики метеорологических зим в районе Вислинского-Калининградского залива в 2011–2021 гг.

Годы	Метеорологическая зима	Продолжительность метеорологической зимы (дней)	Сумма градусо-дней мороза (°С)
2011–2012	25 января 2012 – 17 февраля 2012	24	-223,5
2012–2013	6 декабря 2012 – 29 марта 2013	114	-318,7
2013–2014	14 января 2014 – 5 февраля 2014	23	-144,6
2014–2015	не было	0	0,0
2015–2016	29 декабря 2015 – 24 января 2016	27	-169,8
2016–2017	5 января 2017 – 13 февраля 2017	40	-98,8
2017–2018	4 февраля 2018 - 7 марта 2018	32	-138,3
2018–2019	22 января 2019 - 1 февраля 2019 года	11	-32,1
2019–2020	не было	0	0,0
2020–2021	14 января 2021 – 19 февраля 2021	37	-141,0

Наиболее часто регистрируемыми (примерно по 10% от всех измерений) направлениями ветра на Вислинском-Калининградском заливе в течение зим 2011–2021 годах были южные, западные и восточные ветра (см. рисунок 4). Безветренная погода наблюдалась примерно в 3% измерений. Более 50% были ветра со скоростями от 2 до 5 м/с. Ветра со скорость 6-10 м/с встречались в 30% наблюдений (см. рисунок 5). Ветра со скоростью выше 11 м/с (4% наблюдений) были преимущественно западными.

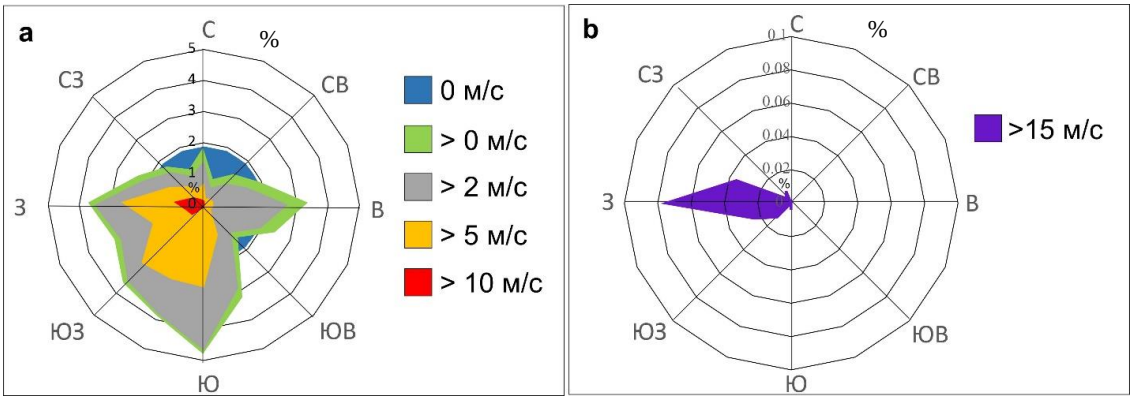


Рис. 4 – Повторяемость направлений ветра для всех ветров по данным по Балтийску за 2011–2021 гг. (на периоды с 1 декабря по 15 апреля) в виде «роз в розе» по градациям скорости ветра: *a* – ветер более 0, 2, 5 и 10 м/с; *b* – ветер более 15 м/с

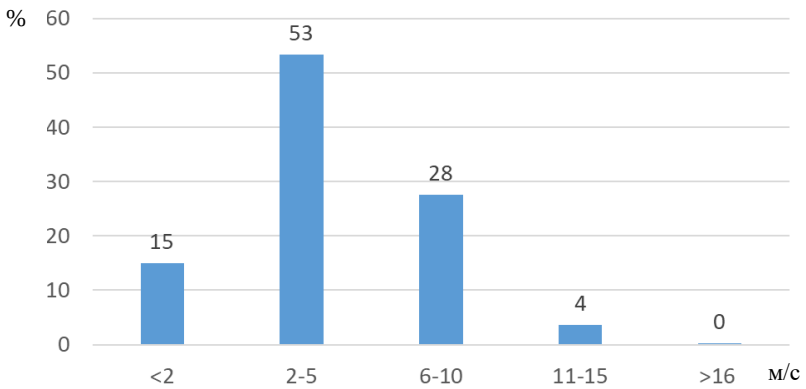


Рис. 5 – Повторяемость скоростей ветра для 2011–2021 годов (на период с 1 декабря по 15 апреля) по данным в Балтийске

При сопоставлении с розой ветров для Балтийска за 1949–1988 [10] (см. рисунок 6) структура ветров в зимний период 2011–2021 годов повторяет структуру ветров для всего года при сильных ветрах (западные, более 10 м/с). При скоростях ветра до 10 м/с в зимние периоды 2011–2021 годов южный ветер преобладает над западным, восточным и северным, в то время как для года в целом (по данным 1949–1988 гг.) ветра западные, юго-западные, южные и северо-западные (по 15 % наблюдений) преобладали над восточными и северными.

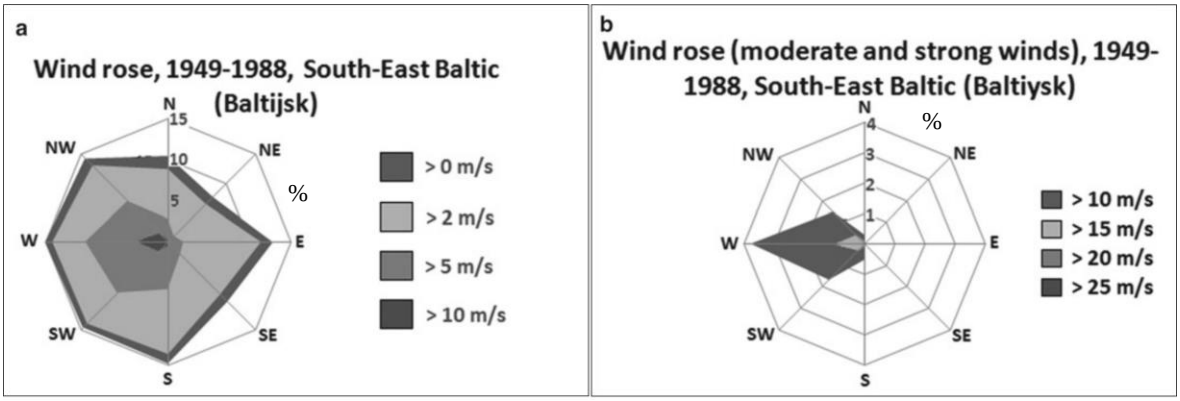


Рис. 6 – Повторяемость направлений ветра для всех ветров по данным по Балтийску за 1947–1988 гг. в виде «роз в розе» по градациям скорости ветра:
a – ветер более 0, 2, 5 и 10 м/с; *b* – ветер более 10, 15, 20 и 25 м/с [10]

Каждый из зимних периодов 2011–2021 гг. (см. рисунки 7–11) характеризовался собственной розой ветров (показаны ветры со скоростью 0 м/с, 1-5 м/с и от 6 м/с). Например, в суровую и долгую зиму 2012–2013 годов наблюдался большой процент спокойных ветров, и более 25% случаев были восточными ветрами. Мягкая зима 2013–2014 годов характеризовалась преобладанием юго-юго-восточных ветров (25%) и восточно-юго-восточных ветров (17%), спокойная погода составила почти 10% от всех измерений. Самая теплая зима 2019–2020 годов характеризовалась преобладанием сильных (более 5 м/с) западных (12%), юго-западных (10%) и южных (10%) ветров.

Зимы в этом регионе в значительной степени зависят от циклонической активности в Атлантическом океане (западные ветры принесли облачную и теплую погоду) и/или наличия блокирующего азиатского антициклона (восточные ветры принесли морозную и холодную погоду). Умеренные и мягкие зимы характеризовались смешанной картиной, когда ветры противоположных направлений отличались по скорости, но имели примерно одинаковую частоту. Например, зимой 2015–2016 годов юго-западные и западные ветры со скоростью более 5 м/с присутствовали столько же, сколько восточные ветры со скоростью 1-4 м/с. Примерно такая же ситуация была и в 2011–2012, 2014–2015, 2015–2016, 2016–2017, 2018–2019. Также может возникнуть ситуация с явным преобладанием сильных западных, юго-западных и южных ветров (2019-2020) или, наоборот, с преобладанием более слабых восточных и южных (и северных) ветров (2017–2018, 2020–2021).

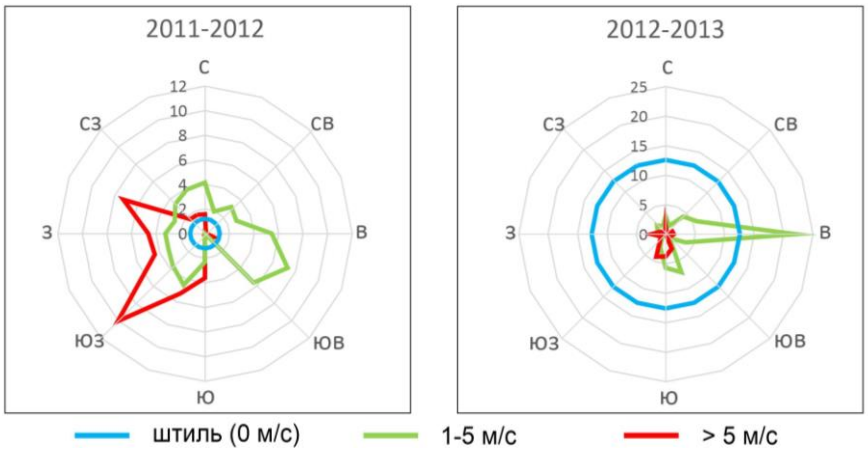


Рис. 7 – Розы ветров для каждого года в период 2011–2013 гг. на период с 1 декабря по 15 апреля по данным в Балтийске

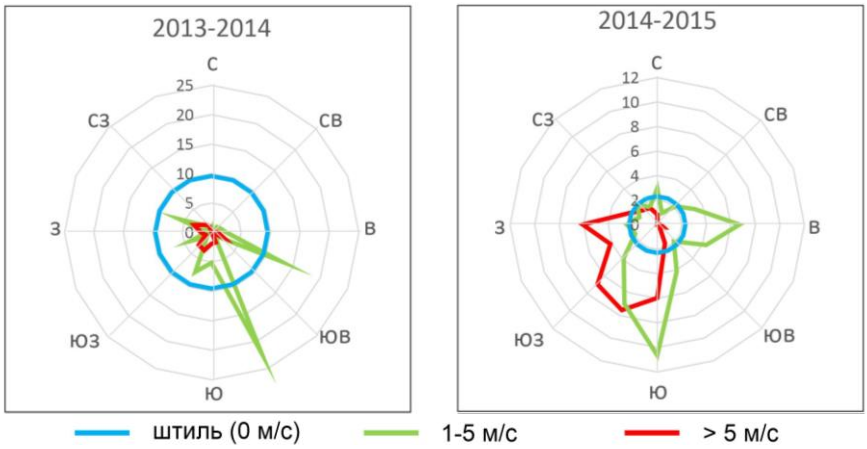


Рис. 8 – Розы ветров для каждого года в период 2013–2015 гг. на период с 1 декабря по 15 апреля по данным в Балтийске

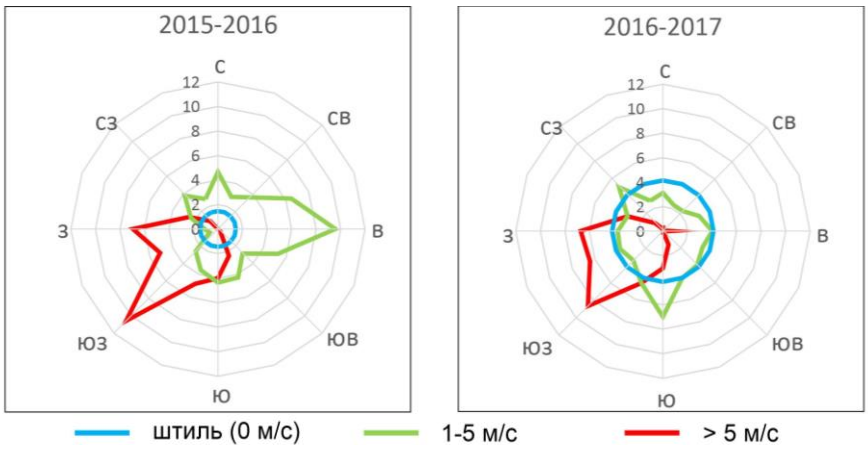


Рис. 9 – Розы ветров для каждого года в период 2015–2027 гг. на период с 1 декабря по 15 апреля по данным в Балтийске

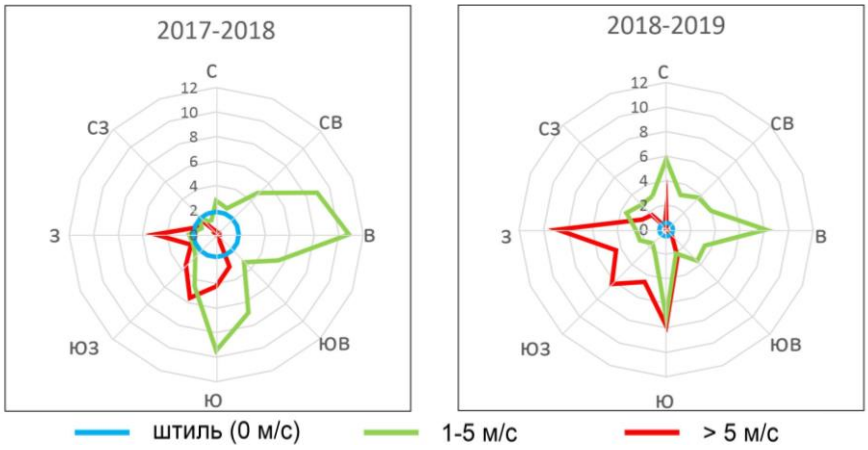


Рис. 10 – Розы ветров для каждого года в период 2017–2019 гг. на период с 1 декабря по 15 апреля по данным в Балтийске

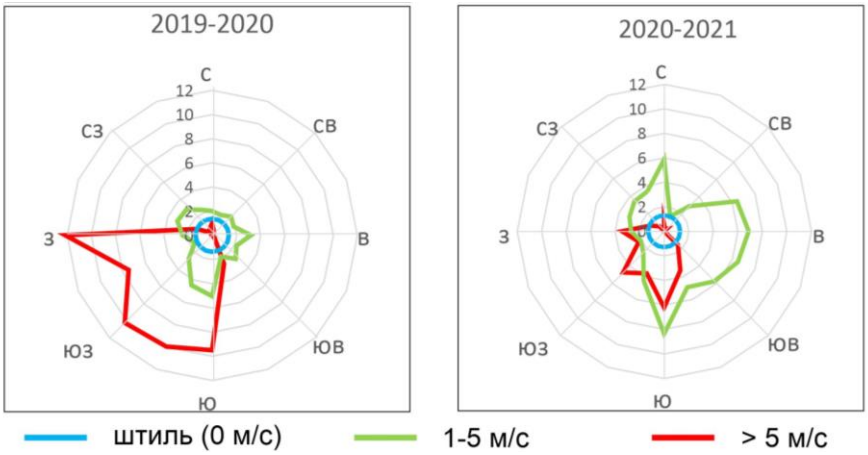


Рис. 11 – Розы ветров для каждого года в период 2019–2021 гг. на период с 1 декабря по 15 апреля по данным в Балтийске

Заключение

Проанализированы условия по температуре воздуха и ветровые условия для 10–летнего периода 2011–2021 гг. по данным государственного мониторинга в Балтийске, что позволяет получить исходную информацию для дальнейшего анализа ледовой обстановки в Вислинском-Калининградском заливе.

Метеорологических зим не было зафиксировано в 2014–2015 и в 2019–2020 годах, короткие зимы были в 2011–2012, 2013–2014, 2015–2016 и 2018–2019 годах (24, 23, 27 и 11 дней, соответственно), промежуточные в 2016–2017, 2017–2018, 2020–2021 годах (40, 32 и 37 дней, соответственно), долгая зима была в 2012–2013 (114 дней). В среднем за 10 лет метеорологическая зима в Балтийске длилась 30 дней.

Самый теплый период декабрь-март оказался в 2019–2020 году (полное отсутствие среднесуточных отрицательных температур воздуха), а самый холодный - в 2012–2013 годах (кумулятивная негативная среднесуточная температура с декабря по март составила -319.4 °С). По суровости зимы разделены на мягкие (2013–2014, 2014–2015, 2015–2016, 2016–2017, 2018–2019, 2019–2020), умеренные (2011–2012, 2017–2018, 2020–2021) и суровые (2012–2013).

Наиболее часто регистрируемыми (примерно по 10% от всех измерений) направлениями ветра на Вислинском-Калининградском заливе в течении зим 2011–2021 годах были южные, западные и восточные ветра. Безветренная погода наблюдалась примерно в 3% измерений. Более 50% были ветра со скоростями от 2 до 5 м/с. Ветра со скорость 6-10 м/с встречались в 30% наблюдений. Ветра со скоростью выше 11 м/с (4% наблюдений) были преимущественно западными.

Полученные данные по длительности и суровости метеорологических зим и ветровые характеристики имеют самостоятельное значение для сравнения с историческими периодами и аналогичными характеристиками для соседствующего Куршского залива. Информация по длительности метеорологических зим позволяет уточнить временное окно поиска спутниковых снимков для сопоставления полученных данных с динамикой ледового покрова на Вислинском-Калининградском заливе и изменениях размеров приустьевой внутренней полыньи у Балтийского пролива, являющейся маркером водообмена между лагуной и морем.

Финансирование

Сбор данных проводился в рамках темы 0128-2021-0012 государственного задания Института океанологии им. П.П.Ширшова РАН, анализ данных, подготовка статьи и оплата редакционно-издательских расходов за счет гранта РФФИ 19-35-90102.

Funding

Data collection was carried out within the framework of the topic 0128-2021-0012 of the state task of the P. P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, data analysis, article preparation and payment of editorial and publishing expenses at the expense of the RFBR grant 19-35-90102.

Благодарности

Автор выражают искреннюю благодарность всем, кто обеспечивал данные государственного гидрометеорологического мониторинга и их доступность, а также Борису Валентиновичу Чубаренко за ценные замечания и предложения, способствующие улучшению статьи.

Acknowledgement

The author expresses sincere gratitude to everyone who provided the data of the state hydrometeorological monitoring and their availability, as well as to Boris V. Chubarenko for valuable comments and suggestions that contribute to the improvement of the article.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Chubarenko B. The Vistula Lagoon / B. Chubarenko, P. Margonski // Ecology of Baltic Coastal Waters, edited by U. Schiewer. – Berlin, Heidelberg: Springer, 2008 – V. 197 – P. 167–195. DOI:10.1007/978-3-540-73524-3_8.

2. Кушевски В. Возможные сценарии устойчивого развитии. Глава 4.1. / В. Кушевски, К. Люкс, Б.В. Чубаренко и др. // Регион Калининградского/Вислинского залива: современное состояние и сценарий развития / Под. ред.

В. Кушевски, Федорова Г.М., Б.В. Чубаренко, Гриценко В.А.; БФУ им. И.Канта. – Калининград, 2014. (216 с.). – С. 187–195. ISBN 978-5-9971-0328-6.

3. Zhelezova E. Characteristics of the polynya in the Vistula Lagoon of the Baltic Sea by remote sensing data / E. Zhelezova, E. Krek, B. Chubarenko // International Journal of Remote Sensing. – 2018. – P. 9453–9464. DOI:10.1080/01431161.2018.1524181

4. Idzelytė R. Remote Sensing of Ice Phenology and Dynamics of Europe's Largest Coastal Lagoon (The Curonian Lagoon) / R. Idzelytė, I.E. Kozlov, G. Umgiesser // Remote Sensing Journal. – 2019. –V. 11 – № 17. – P. 2059.

5. Kolerski T. Mathematical modeling of ice thrusting on the shore of the Vistula lagoon (Baltic Sea) and the proposed artificial island / Kolerski T., Zima P., Szydłowski M. // Water. – 2019. – V. 11. – P. 2297. https://doi.org/10.3390/w11112297.

6. Szydłowski M. Impact of the Artificial Strait in the Vistula Spit on the Hydrodynamics of the Vistula Lagoon (Baltic Sea) / Szydłowski M., Kolerski T., Zima P. // Water. – 2019. – V. 11. – P. 990.

7. Chubarenko B.V. Model analysis of the currents and wind waves in the Vistula Lagoon of the Baltic Sea / B.V. Chubarenko, L.V. Leitsina, E.E. Esiukova et al. // Oceanology. – 2012. – V. 52 – Issue 6. – P. 748–753.

8. Лазаренко Н. Н. Гидрометеорологический режим Вислинского залива / Н. Н. Лазаренко, А. В. Маевский // Ленинград: Гидрометеоиздат. – 1971. – 279 с.

9. Graf R. The Impact of Cumulative Negative Air Temperature Degree-Days on the Appearance of Ice Cover on a River in Relation to Atmospheric Circulation / R. Graf, A. M. Tomczyk // Atmosphere. – 2018. – V. 9. – № 6. – P. 204.

10. Chubarenko B. Transboundary Lagoons of the Baltic Sea / The Diversity of Russian Estuaries and Lagoons Exposed to Human Influence / B. Chubarenko, D. Domnin, S. Navrotskaya et al. // Springer. K. Kosyan. Ed. – 2017. – P. 149–190.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Chubarenko B. The Vistula Lagoon / B. Chubarenko, P. Margonski // Ecology of Baltic Coastal Waters, edited by U. Schiewer. – Berlin, Heidelberg: Springer, 2008 – V. 197 – P. 167–195. DOI:10.1007/978-3-540-73524-3_8.

2. Kushevski V. Vozmozhnye scenarii ustojchivogo razvitii. Glava 4.1. / V. Kushevski, K. Ljuks, B.V. Chubarenko et al. // Region Kaliningradskogo/Vislinskogo zaliva: sovremennoe sostojanie i scenarij razvitija [Possible scenarios of sustainable development. Chapter 4.1. / Kaliningrad / Vistula Lagoon Region: current state and development scenario] / Edited by V. Kushevski, Fedorova G.M., B.V. Chubarenko, Gricenko V.A.; BFU named after I.Kanta. – Kaliningrad, 2014. (216 p.). – P. 187–195. ISBN 978-5-9971-0328-6 [in Russian]

3. Zhelezova E. Characteristics of the polynya in the Vistula Lagoon of the Baltic Sea by remote sensing data / E. Zhelezova, E. Krek, B. Chubarenko // International Journal of Remote Sensing. – 2018. – P. 9453–9464. DOI:10.1080/01431161.2018.1524181

4. Idzelytė R. Remote Sensing of Ice Phenology and Dynamics of Europe's Largest Coastal Lagoon (The Curonian Lagoon) / R. Idzelytė, I.E. Kozlov, G. Umgiesser // Remote Sensing Journal. – 2019. –V. 11 – № 17. – P. 2059.

5. Kolerski T. Mathematical modeling of ice thrusting on the shore of the Vistula lagoon (Baltic Sea) and the proposed artificial island / Kolerski T., Zima P., Szydłowski M. // Water. – 2019. – V. 11. – P. 2297. https://doi.org/10.3390/w11112297.

6. Szydłowski M. Impact of the Artificial Strait in the Vistula Spit on the Hydrodynamics of the Vistula Lagoon (Baltic Sea) / Szydłowski M., Kolerski T., Zima P. // Water. – 2019. – V. 11. – P. 990.

7. Chubarenko B.V. Model analysis of the currents and wind waves in the Vistula Lagoon of the Baltic Sea / B.V. Chubarenko, L.V. Leitsina, E.E. Esiukova et al. // Oceanology. – 2012. – V. 52 – Issue 6. – P. 748–753.

8. Lazarenko N. N. Gidrometeorologicheskij rezhim Vislinskogo zaliva [Hydrometeorological regime of the Vistula Lagoon] / Edited by Lazarenko N. N., Maevskij A. V. // Leningrad: Gidrometeoizdat. – 1971. – 279 p.

9. Graf R. The Impact of Cumulative Negative Air Temperature Degree-Days on the Appearance of Ice Cover on a River in Relation to Atmospheric Circulation / R. Graf, A. M. Tomczyk // Atmosphere. – 2018. – V. 9. – № 6. – P. 204.

10. Chubarenko B. Transboundary Lagoons of the Baltic Sea / The Diversity of Russian Estuaries and Lagoons Exposed to Human Influence / B. Chubarenko, D. Domnin, S. Navrotskaya et al. // Springer. K. Kosyan. Ed. – 2017. – P. 149–190.

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.110.8.032

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПЕСЧАНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ БАРА НА ВХОДЕ В КАЛИНИНГРАДСКИЙ-ВИСЛИНСКИЙ ЗАЛИВ

Научная статья

Закиров Р.Б.[1, *], Чубаренко Б.В.[2], Чечко В.А.[3]
[1] ORCID: 0000-0002-0351-3288;
[2] ORCID: 0000-0001-7988-1717;
[3] ORCID: 0000-0003-3030-1165;
[1] Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия;
[1, 2, 3] Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук, Москва, Россия

* Корреспондирующий автор (kotruslan2[at]gmail.com)

Аннотация

В статье представлены результаты гранулометрического и геохимического анализов донных отложений внутреннего бара Вислинского-Калининградского залива. Результаты сравнивались с фоновыми значениями донных отложений Вислинского залива и Балтийского моря. Отложения внутреннего бара не состоят на 100 % из песчаных отложений. Содержание тяжелых металлов и нефтепродуктов не превышает предельного уровня загрязненности, по ряду загрязнителей отмечено уменьшение концентраций по направлению из залива в море. Материал, захороненный в пределах бара, относится к классу 0 и может без ограничений использоваться для намыва территорий, отвала в водные объекты и в других хозяйственных целях.

Ключевые слова: внутренний бар, донные отложения, гранулометрический состав, тяжелые металлы, нефтепродукты.

A GEOECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE BAYMOUTH DEPOSITS IN THE VISTULA LAGOON

Research article

Zakirov R.B.[1, *], Chubarenko B.V.[2], Chechko V.A.[2]
[1] ORCID: 0000-0002-0351-3288;
[2] ORCID: 0000-0001-7988-1717;
[3] ORCID: 0000-0003-3030-1165;
[1] I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia;
[1, 2, 3] Shirshov Institute of Oceanology, Moscow, Russia

* Corresponding author (kotruslan2[at]gmail.com)

Abstract

The article presents the results of granulometric and geochemical analyses of bottom sediments of the inner bar of the Vistula Lagoon. The results are compared with the background values of the bottom sediments of the Vistula Lagoon and the Baltic Sea. The deposits of the inner bar do not consist of 100% sand deposits. The content of heavy metals and petroleum products does not exceed the limit level of contamination, for a number of pollutants, a decrease in concentrations was noted in the direction from the gulf to the sea. The material buried within the bar belongs to Class 0 and can be used without restrictions for alluvial areas, dumping into water bodies, and for other economic purposes.

Keywords: internal bar, bottom sediments, granulometric composition, heavy metals, petroleum products.

Введение

Вислинский-Калининградский залив (площадь – 838 км^2, средняя глубина 2.3 м) – один из крупнейших водоемов лагунного типа на Балтийском побережье (в официальных источниках северная принадлежащая России (56,2 % площади) часть залива, именуется Калининградским заливом, южная (польская) часть – Вислинским заливом. Хотя в [10] используется название «Калининградский/Вислинский залив», но, имея ввиду две части одного целого географического объекта, здесь и далее будем использовать название «Вислинский-Калининградский залив». Аналогично и для Вислинская-Балтийская коса) (Рисунок 1а) [1], [2]. Он отделен от моря песчаной пересыпью – Вислинской-Балтийской косой; а водообмен с Балтийским морем осуществляется через узкий Балтийский пролив (Рисунок 1б) [3].

Интенсивное развитие хозяйственной деятельности в акватории залива знаменуется началом берегоукрепления Балтийского пролива в 17–18 веках (строительство молов) [4], [5]. Ряд исследований частично раскрывают механизмы эволюции побережья залива под влиянием техногенеза. Укрепление берегов Балтийского пролива и строительство Калининградского морского канала [6] привели в большей степени к изменению береговой линии морского побережья [4], [7], [8], [9]. После зарегулирования стока реки Ногат [3] в значительной мере уменьшился суммарный речной сток и количество приносимого терригенного материала в акваторию залива. Все эти вмешательства привели к масштабным изменениям условий осадконакопления и к изменениям состава донных отложений по всей площади акватории [3], [11], [12], [13].

Гидролого-седиментационная обстановка в районе Балтийского пролива (см. рисунок 1б) установилась в исторической перспективе (пролив образовался в 1510 г.). Она претерпела изменения вследствие искусственной модификации системы залива:

(а) строительство оградительных молов пролива (южный мол - 1768–1780 гг., северный мол - 1818–1840 гг.),

(б) введение в строй глубокого судоходного канала (ныне - Калининградский морской канал), соединившего Балтийский пролив с устьем реки Преголи (1901 г.),

(в) зарегулирование стока реки Ногат (1916 г.).

Установившийся режим водообмена залива с морем характеризуется частой сменой направления течений: на заток – из моря в залив, и на отток – из залива в море [14]. При актах оттоков, взвешенная илистая фракция выносится из залива в море, а при актах затоков вместе с морскими водами в акваторию залива заносится морской песок, который затем откладывается на входе в залив поперек линии тока Балтийского пролива (см. рисунок 1б). Образовавшаяся со временем песчаная отмель по своим очертаниям и форме стала напоминать подводный бар, с глубинами над ним около 1 м. Он имеет вытянутую форму и перекрывает кратчайший судоходный проход из Балтийского моря в акваторию Вислинского (Калининградского) залива.

Между тем, природный песок является одним из самых востребованных материалов в строительной индустрии, а на региональном уровне материал песчаного тела бара может быть полезен для целей берегозащиты и рекреации – намыв пляжей и берегоукрепление.

Геоэкологические оценки осадков в заливе проводилась [15], [16] с использованием сетки станций, которая не захватывала этот песчаный бар, поэтому эти результаты не могут быть напрямую использованы для оценки пригодности песчаного материала для его дальнейшего использования.

Цель исследования – выполнить предварительную геоэкологическую оценку поверхностного слоя отложений внутреннего песчаного бара у входа в Вислинский-Калининградский залив и оценить возможность использования материала бара для хозяйственных целей (на основе гранулометрического и геохимического анализов).

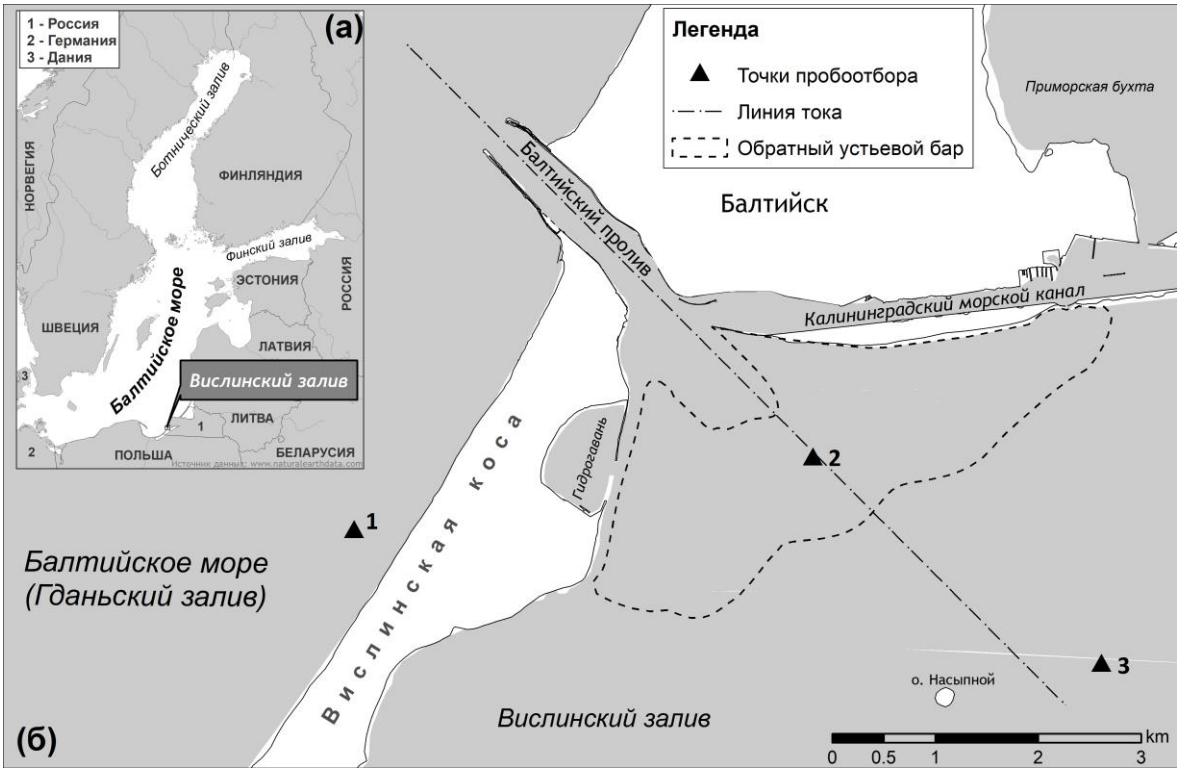


Рис. 1 – Район исследования:
а – Вислинский-Калининградский залив в юго-восточной части Балтийского моря; *б* – схема отбора проб

Методы исследования

Гидрохимические и седиментационные условия на входе в залив регулируются режимом водообмена, поэтому схема пробоотбора (см. рисунок 1б) определена исходя из районирования акватории Вислинского-Калининградского залива по гидролого-седиментационным условиям [17], [18], [19] и актуальной санитарно-эпидемиологической оценки обстановки [15].

У морского побережья Вислинской-Балтийской косы (точка 1) (см. рисунок 1б) вдольбереговым потоком наносов переносится чистый, хорошо сортированный морской песок [20]. В точке 2 (вершина бара) (см. рисунок 1б), между «морской» и «лагунной» седиментационными обстановками, в условиях влияния водообмена залива с морем могут откладываться как морские песчаные отложения [11], так и загрязненные илистые отложения залива [15]. Частичная замкнутость акватории Вислинского-Калининградского залива обуславливает его роль как седиментационной ловушки [13], [16], [17], и, соответственно, вместе с осадками в заливе накапливаются загрязняющие вещества, поэтому точка 3 (см. рисунок 1б) расположена в центре котловины залива, где развиты более тонкие илистые отложения [11], которые характеризуются наибольшим загрязнением [15].

В каждой из точек 1-3 (см. рисунок 1б) отобрано по одной пробе поверхностного слоя донных отложений (слой 0.1÷0.15 м). Пробоотбор выполнялся с маломерного плавсредства ручным одноканатным грейферным ковшом конструкции Ван-Вина. Представительность такой минимизированной схемы отбора основана на многолетнем опыте авторов [7], [11], [19], [22] по изучению системы Вислинского-Калининградского залива и наличием обширных архивных материалов, использовавшихся для определения точек пробоотбора.

Отобранные материал упаковывался в пластиковые пакеты со струной, и передавался изучение в центр лабораторного анализа и технических измерений по Калининградской области (ЦЛАТИ), где в пробах определялось

содержание загрязняющих веществ (тяжелых металлов и нефтепродуктов): (мышьяк (As), медь (Cu), ртуть (Hg), хром (Cr), цинк (Zn) кадмий (Cd), никель (Ni), свинец (Pb), нефтепродукты.

Геоэкологическая оценка загрязненности отложений выполнялась по региональному нормативу «Нормы и критерии оценки загрязненности донных отложений в водных объектах Санкт-Петербурга». Приведенные в документе нормы и критерии (Табл. 1), широко применяются в дноуглубительной практике и распространяются на все типы извлекаемых из водных объектов донных отложений при проведении дноуглубительных работ и при решении вопросов дальнейшего использования этих отложений (намыв территорий, сброс в водные объекты, складирование в специально оборудованные отвалы с выполнением комплекса защитных мероприятий) [23]. Этот метод присваивает класс, степень и уровень загрязненности.

Гранулометрический состав изучался по десятичной гранулометрической шкале (ГОСТ 25100-2020) ситовым и ареометрическим методом. В перечень десятичной гранулометрической шкалы по уменьшению крупности частиц входят: крупный гравий (5.0 – 10.0 мм), мелкий гравий (2.0÷5.0 мм), грубый песок (1.0÷2.0 мм), крупный песок (0.5÷1.0 мм), средний песок (0.25÷0.5 мм), мелкий песок (0.1÷0.25 мм), мелкая фракция (менее 0.1 мм).

Таблица 1 – Предельные содержания тяжелых металлов и нефтепродуктов в донных отложениях по классификации отечественного норматива

Наименование	Целевой уровень	Предельный уровень	Проверочный уровень	Уровень требующий вмешательства
Цинк (Zn), мг/кг	140	480	720	720 <
Медь (Cu), мг/кг	< 35	35	90	190
Хром (Cr), мг/кг	100	380	380	380
Свинец (Pb), мг/кг	85	530	530	530
Кадмий (Cd), мг/кг	0,8	2	7,5	12
Никель (Ni), мг/кг	35	35	45	210
Ртуть (Hg), мг/кг	0,3	0,5	1,6	10
Мышьяк (As),мг/кг	29	55	55	55
Нефтепродукты, мг/кг	180	1000	3000	5000

Примечание: составлено по [23]

Основные результаты

Морские отложения (точка 1) характеризуются преимущественно песчаным составом: мелкий песок (0,10÷0,25 мм) – 52 %, средний песок (0,25÷0,50 мм) – 44 %, крупный песок (0,50÷1,0 мм) - 3 %, мелкая фракция (менее 1 мм) и грубый песок (1,0÷2,0 мм) практически отсутствуют – 0,3 %. Поверхностный слой отложений внутреннего бара (точка 2) в большей степени характеризуется песчаным составом и малым содержанием частиц мелкой фракции: 44 % - средний песок (0,25÷0,50 мм), 42 % - мелкий песок (0,1÷0,25 мм), 12 % мелкая фракция (менее 0,1 мм). В отложениях залива (точка 3) больше всего содержится мелкого песка (0,10÷0,25 мм) – 65 %, затем по мере уменьшения содержания следует средний песок (0,25÷0,50 мм) – 19 %, мелкая фракция (менее 1 мм) – 12 %, крупный песок (0,50÷1,0мм) – 2,5 % и редкие включения размерностью более 1 мм – менее 1%.

Таблица 2 – Гранулометрический состав (по десятичной классификации) поверхностного слоя донных отложений (точки отбора проб 1–3)

№ точки	1	2	3
Район отбора пробы	Морское побережье	Внутренний бар	Вислинский залив
Глубина пробоотбора, m	5	1,5	4,5
Крупный гравий (5,0÷10,0 мм), %	0	0	0,4
Мелкий гравий(2,0÷5,0мм),%	0	0,2	0,4
Грубый песок (1,0÷2,0мм),%	0,3	0,4	0,7
Крупный песок (0,50÷1,0мм), %	3,3	1,2	2,5
Средний песок (0,25÷0,50мм), %	44	44,3	18,9
Мелкий песок (0,10÷0,25мм), %	52,1	41,7	65
Мелкая фракция (менее 0,10 мм),%	0,3	12,2	12,1

Общее содержание тяжелых металлов в донных отложениях трех точек (точки 1-3) находится в допустимых пределах (Табл. 2.). Больше всего в пробах содержится никеля (Ni) (от 32 до 35 мг/кг) затем, по мере уменьшения значений, следует хром (Cr) (от 7,3 до 39 мг/л), свинец (Pb) (от 21 до 24 мг/кг), цинк (Zn) (от 7,5 до 28 мг/кг), медь (Cu) (от 1,7 до 8,2 мг/кг), мышьяк (As) (от 0,05 до 1,9 мг/кг), кадмий (Cd) (от 0,064 до 0,094 мг/кг), ртуть (Hg) (от 0,0073 до 0,029 мг/кг). Содержание нефтепродуктов (от 40 до 179 мг/кг) находится в допустимых пределах, но в заливе эти значения приближаются к пороговой отметке (в точке 3).

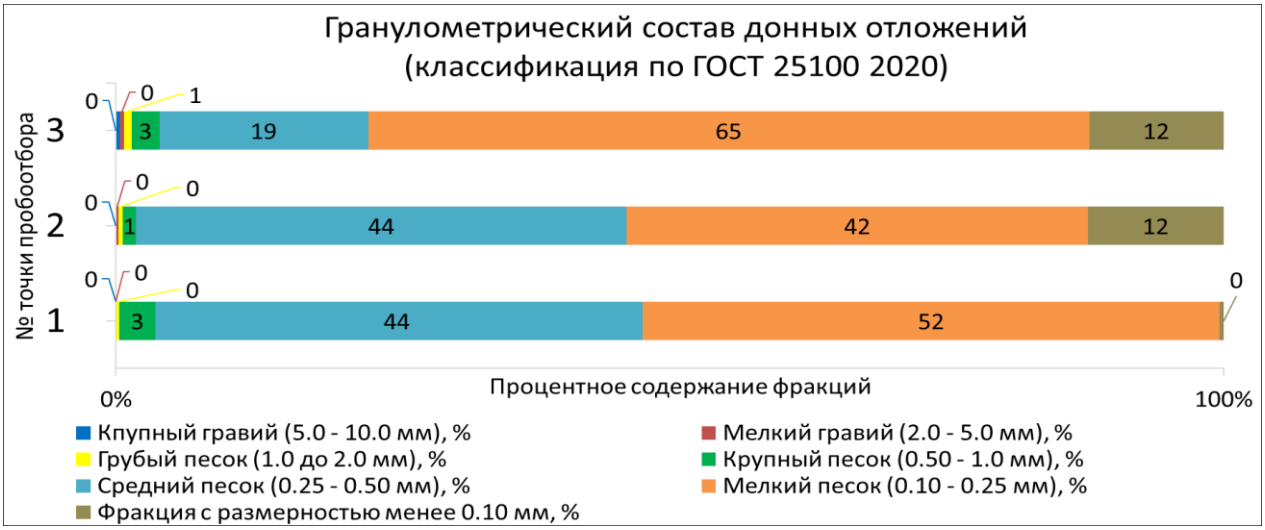


Рис. 2 – Гранулометрический состав поверхностного слоя донных отложений точек отбора проб 1–3 (см. рисунок 1б)

Распределение концентраций загрязняющих веществ оценивалось по отношению к предполагаемому источнику загрязнения – отложениям Калининградского-Вислинского залива (значения в точке 3 приняты за 100 %). Содержание цинка (Zn) в отложениях бара (точка 2) на 15 % меньше, а в морских отложениях его меньше на 74 %, чем в осадках залива. Содержание меди (Cu) в точке 2 на 18% меньше, а в точке 1 на 19 % меньше, по сравнению с заливом (точка 3). Хрома (Cr) в отложениях бара (точка 2) содержится на 21% выше чем в заливе (точка 3), а в морских отложениях (точка 1) напротив, ниже на 71%. Ртути (Hg) в отложениях бара (точка 2) содержится на 75 % меньше, а в морских отложениях (точка 1) ее на 34 % меньше чем в заливе (точка 1). Содержание мышьяка (As) в отложения внутреннего бара (точка 2) на 50% выше, а в морских отложениях (точка 1) он практически отсутствует. Содержания свинца (Pb), кадмия (Cd) и никеля (Ni) в точках 1, 2, 3 находятся на одном уровне. Нефтепродуктов в отложениях бара (точка 2) и в морских отложениях (точка 1) содержится на 60% меньше, по сравнению с отложениями залива (точка 3).

Таблица 2 – Содержание тяжелых металлов и нефтепродуктов в точках пробоотбора 1–3

№ точки	1	2	3	Значения целевого уровня*
Район отбора пробы	Морское побережье	Внутренний бар	Вислинский залив	
Глубина пробоотбора, м	5	1	4	
Цинк(Zn), мг/кг	7,5	24	28	140
Медь (Cu), мг/кг	1,7	2,3	8,2	35
Хром(Cr), мг/кг	7,3	39	32	100
Свинец (Pb), мг/кг	24	24	21	85
Кадмий (Cd), мг/кг	0,064	0,094	0,077	0,8
Никель (Ni), мг/кг	33	35	32	35
Ртуть(Hg), мг/кг	0,01	0,0073	0,029	0,3
Мышьяк(As), мг/кг	0,05	3,7	1,9	29
Нефтепродукты, мг/кг	40	40	179	180

*Примечание: * – указано по [23]*

Обсуждение

Гранулометрический состав поверхностного слоя отложений бара (точка 2) представлен тремя основными размерностями и составлен на 100 % из песчаного материала: средний песок (0,25÷0,50 мм) – 44 %, мелкий песок (0,10÷0,25 мм) – 42%, мелкая фракция (менее 0,10 мм) – 12%. Вероятно, что средний песок поступает со стороны моря, т.к. его содержание в точке 2 фактически равно содержанию в точке 1, а в отложениях залива (точка 3) его содержится в 2 раза меньше. Мелкая фракция (менее 0,10 мм) характерна для отложений акватории залива (точка 3). Мелкий песок (0,10÷0,25 мм) в значительной пропорции содержится во всех трех пробах и характерен для гидродинамических условий морской прибрежной зоны (точка 1) и акватории залива (точка 3), поэтому предполагается, что он мигрирует между этими зонами.

Содержание тяжелых металлов и нефтепродуктов во всех трех точках (точки 1-3) находятся в допустимых пределах и не превышают допустимых значений (см. табл. 1). По критериям регионального норматива [23], поверхностный слой донных осадков аккумулятивной области устьевого обратного бара относится к классу 0 и считается чистым. Донные осадки этого класса могут без ограничений использоваться для намыва территорий, отвала в водные объекты и в других хозяйственных целях [23]. Эти результаты относятся к поверхностному, наиболее подверженному загрязнению слою осадка, и, следовательно, можно сделать предварительный вывод о достаточном качестве всего материала, захороненного в баре.

По распределению содержания отмечено уменьшение концентраций цинка (Zn), мышьяка (As), меди (Cu), ртути (Hg), хрома (Cr) и нефтепродуктов по направлению из залива (точка 3) в море (точка 1). Содержание кадмия (Cd), никеля (Ni) и свинца (Pb) в донных отложениях точек 1-2 находятся либо на одном уровне, либо эти значения выше концентраций в заливе (точка 3).

Заключение

Поверхностный слой донных отложений внутреннего бара не состоит на 100% из морского материала, как предполагалось ранее [24]. В точке 2 отмечено содержание песчаной фракции (0,10÷2,00 мм) – 87 %, характерной для морских отложений (точка 1) и мелкозернистой фракции (менее 0.1 мм) – 12%, характерной для отложений залива (точка 3). Крупные частицы (более 2,00 мм) представлены редкими включениями – до 1%.

Материал, захороненный в пределах бара, относится к классу 0 и считается чистым по критериям регионального норматива [23]. Донные осадки этого класса могут без ограничений использоваться для намыва территорий, отвала в водные объекты и в других хозяйственных целях [23].

Финансирование

Полевые работы и лабораторный анализ поддержаны проектом РФФИ 19-35-90069. Анализ данных проводился в рамках темы 0128-2021-0012 Госзадания Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН.

Funding

The fieldwork and laboratory analysis were supported by RFBR 19-35-90069 project. The analysis of data was organized within the theme 0128-2021-0012 of the State Assignment of the Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Chubarenko B. Comparison of Darss-Zingst Bodden Chain and Vistula Lagoon (Baltic Sea) in a view of hydrodynamic numerical modelling / B. Chubarenko, I. Chubarenko, H. Baudler // Baltica. – 2005. – Vol. 18. – №. 2.

2. Chubarenko B. The vistula lagoon / Chubarenko B., P. Margoński // Ecology of Baltic coastal waters. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2008. – P. 167-195.

3. Лазаренко Н.К. Гидрометеорологические условия Вислинского залива / Н. К. Лазаренко, А. П. Маевский. - Ленинград: Гидрометеоиздат, 1971. - 178 с

4. Басс О. В. Эволюция взаимодействия природных и техногенных процессов в ходе строительства порта Балтийск / О. В. Басс // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки. – 2007. – №. 7.

5. Довыденко Л. В. Калининградский морской канал / Л. В. Довыденко. - Калининград: ООО "Живем", 2011. – ISBN 9785903400195

6. Довыденко Л. В. 60 лет ЗАО «Гидрострой» Калининградской области / Л. В. Довыденко. – Калининград: ФГУП «Издательство и типография газеты «Страж Балтики», Минобороны России, 2016. - 120 с.

7. Чечко В. А. О динамике береговой зоны моря в районе оградительных молов Калининградского морского канала / В. А. Чечко, Б. В. Чубаренко, В. Л. Болдырев и др. // Водные ресурсы. – 2008. - Т. 35 - № 6. – С. 681-691.

8. Болдырев В. Л. Абразионные процессы на берегах Юго-Восточной Балтики / В. Л. Болдырев, В. П. Бобыкина, Б. В. Чубаренко и др. // Учение о развитии морских берегов: вековые традиции и идеи современности: матер. конф. – Санкт – Петербург, 2010. – С. 54-55.

9. Басс О. В. Техногенез в береговой зоне песчаных побережий внутренних морей (Ст. 1. Воздействие горнотехнической деятельности на морфолитодинамику береговой зоны юго-восточной Балтики) / О. В. Басс, Л. А. Жиндарев // Геоморфология. – 2007. – №. 4. – С. 17-24.

10. Кушевски В. Возможные сценарии устойчивого развитии. Глава 4.1. / В. Кушевски, К. Люкс, Б.В. Чубаренко и др. // Регион Калининградского/Вислинского залива: современное состояние и сценарий развития / Под. ред. В. Кушевски, Федорова Г.М., Б.В. Чубаренко, Гриценко В.А.; БФУ им. И.Канта. – Калининград, 2014. (216 с.). – С. 187-195. ISBN 978-5-9971-0328-6

11. Chechko V. A. Bottom sediments of the Vistula Lagoon of the Baltic Sea / V. A. Chechko, A. I. Blazhchishin // Baltica. – 2002. – V. 15. – №. 1. – P. 13-22.

12. Chubarenko B. V. New way of natural geomorphological evolution of the Vistula Lagoon due to crucial artificial influence / B. V. Chubarenko, I. P. Chubarenko // Geology of the Gdansk Basin, Baltic Sea. Yantarny Skaz, Kaliningrad. – 2001. – P. 372-375.

13. Чечко В. А. Влияние природных и антропогенных факторов на формирование осадочной толщи Калининградского залива Балтийского моря / В. А. Чечко, Б. В. Чубаренко, В. Ю. Топчая // Известия КГТУ. – 2018. – №. 48.

14. Chubarenko B. V. Water Exchange of Nontidal Estuarine Coastal Vistula Lagoon with the Baltic Sea / B. V. Chubarenko, R. B. Zakirov // Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering. – 2021. – Vol. 147. – №. 4. – P. 05021005.

15. Богданов, Н. А. Тяжёлые металлы и «чернобыльский след» в донных отложениях внутреннего водоёма: Калининградский залив / Н. А. Богданов, О. В. Басс, О. А. Савостина и др. // Гигиена и санитария. – 2021. – Т. 100. – №. 3. – С. 208-217.

16. Богданов Н. А. Тенденции химического загрязнения и динамика Калининградского залива / Н. А. Богданов, А. А. Воронцов, Л. Н. Морозова // Водные ресурсы. – 2004. – Т. 31. – №. 5. – С. 576-590.

17. Михайлов В. Н. Новые определения, районирование и типизация устьевых областей рек и их частей эстуариев / В. Н. Михайлов, С. Л. Горин // Водные ресурсы. – 2012. – Т. 39. – №. 3. – С. 243-243.

18 Бровко П. Ф. Развитие прибрежных лагун / П. Ф. Бровко. - Владивосток: Изд-во Дальневосточного университета, 1990. - 148 с.

19. Чечко В. А. Особенности седиментационных условий и гидрологических показателей малых гаваней Калининградского залива / В. А. Чечко, Б. В. Чубаренко, В. А. Пилипчук // Известия КГТУ. – 2015. – №. 38. – С. 11-20.

20. Chechko V. A. Spatial structure and evolution of bottom sediments in the Vistula Lagoon / V. A. Chechko // Transboundary waters and basins in the South-East Baltic. Kaliningrad, Terra Baltica. – 2008. – P. 244-249.

21. Chechko V. Sediment balance of the Vistula Lagoon / V. Chechko, B. Chubarenko // Proc. of the Int. Conf. EMECS. – 2016. – P. 22-27.

22 Чубаренко Б. В. Модельный анализ полей течений и волнения в Вислинском заливе Балтийского моря / Б. В. Чубаренко, Л. В. Лейцина и др. // Океанология. - 2012. - Т. 52. - № 6. - ISSN: 0030-1574. - С. 811 - 817.

23. Нормы и критерии оценки загрязненности донных отложений в водных объектах Санкт-Петербурга / Региональный норматив; разработан ОАО «Ленморниипроект» по заказу Управления по охране окружающей среды мэрии Санкт-Петербурга. - Санкт-Петербург, 1996. - 10 с.

24 Закиров Р. Б. Морфометрические характеристики подводного песчаного бара на входе в Калининградский залив как индикаторы гидродинамической структуры водообмена залива с морем / Р. Б. Закиров, Б. В. Чубаренко // Комплексные исследования Мирового океана: Материалы IV Всероссийской научной конференции молодых ученых, 22–26 апреля 2019 года / Морской гидрофизический институт РАН. – Севостополь, 2019. – С. 276-278.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Chubarenko B. Comparison of Darss-Zingst Bodden Chain and Vistula Lagoon (Baltic Sea) in a view of hydrodynamic numerical modelling / B. Chubarenko, I. Chubarenko, H. Baudler // Baltica. – 2005. – Vol. 18. – №. 2.

2. Chubarenko B. The vistula lagoon / Chubarenko B., P. Margoński // Ecology of Baltic coastal waters. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2008. – P. 167-195.

3. Lazarenko N.K. Gidrometeorologicheskie uslovija Vislinskogo zaliva [Hydrometeorological regime of the Vistula Lagoon] / N. K. Lazarenko, A. P. Maevskij. - Leningrad: Gidrometeoizdat, 1971. - 178 p. [in Russian]

4. Bass O. V. Jevoljucija vzaimodejstvija prirodnyh i tehnogennyh processov v hode stroitel'stva porta Baltijsk [Evolution of natural and man-made processes during the construction of the port of Baltiysk] / O. V. Bass // Vestnik Baltijskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta. Serija: Estestvennye i medicinskie nauki [Bulletin of the Baltic Federal University. I. Kant. Series: Natural and Medical Sciences]. – 2007. – №. 7. [in Russian]

5. Dovydenko L. V. Kaliningradskij morskoj kanal [Kaliningrad Sea Canal] / L. V. Dovydenko. - Kaliningrad: OOO "Zhivem", 2011. – ISBN 9785903400195 [in Russian]

6. Dovydenko L. V. 60 let ZAO «Gidrostroj» Kaliningradskoj oblasti [60 years of the company "Gidrostroy" of the Kaliningrad region] / L. V. Dovydenko. – Kaliningrad: FGUP « Publishing house of newspaper «Strazh Baltiki», Minoborony Rossii, 2016. - 120 p. [in Russian]

7. Chechko V. A. O dinamike beregovoj zony morja v rajone ograditel'nyh molov Kaliningradskogo morskogo kanala [On the dynamics of the coastal zone of the sea in the area of the barrier breakwaters of the Kaliningrad Sea Canal] / V. A. Chechko, B. V. Chubarenko, V. L. Boldyrev et al. // Vodnye resursy [Water resources], 2008, V. 35 - № 6. – P. 681-691. [in Russian]

8. Boldyrev V. L. Abrazionnye processy na beregah Jugo-Vostochnoj Baltiki [Abrasion processes on the shores of the Southeast Baltic] / V. L. Boldyrev, V. P. Bobykina, B. V. Chubarenko et al. // Uchenie o razvitii morskih beregov: vekovye tradicii i idei sovremennosti [The doctrine of the development of sea shores: age-old traditions and modern ideas]: mater. konf. [conference materials] – Sankt – Peterburg, 2010. – P. 54-55. [in Russian]

9. Bass O. V. Tehnogenez v beregovoj zone peschanyh poberezhij vnutrennih morej (St. 1. Vozdejstvie gornotehnicheskoj dejatel'nosti na morfolitodinamiku beregovoj zony jugo-vostochnoj Baltiki) [Technogenesis in the coastal zone of the sandy coasts of the inland seas (The impact of mining activities on the morpholythodynamics of the coastal zone of the southeastern Baltic)]/ O. V. Bass, L. A. Zhindarev // Geomorfologija [Geomorphology]. – 2007. – №. 4. – P. 17-24. [in Russian]

10. Kuszewski W. Vozmozhnye scenarii ustojchivogo razvitiya [Probable scenario of sustainable development (Chapter 4.1).] // In Kuszewski W., Fedorov G., Chubarenko B., Gritsenko V. (Eds.) Region Kaliningradskogo/Vislinskogo zaliva: sovremennoe sostoyanie i scenarij razvitiya. [Region of the Vistula Lagoon: modern state and development scenario.] Kaliningrad, Kant's BFU, 2914. Pp. 187-195. ISBN 978-5-9971-0328-6.

11. Chechko V. A. Bottom sediments of the Vistula Lagoon of the Baltic Sea / V. A. Chechko, A. I. Blazhchishin // Baltica. – 2002. – V. 15. – №. 1. – P. 13-22.

12. Chubarenko B. V. New way of natural geomorphological evolution of the Vistula Lagoon due to crucial artificial influence / B. V. Chubarenko, I. P. Chubarenko // Geology of the Gdansk Basin, Baltic Sea. Yantarny Skaz, Kaliningrad. – 2001. – P. 372-375.

13. Chechko V. A. Vlijanie prirodnyh i antropogennyh faktorov na formirovanie osadochnoj tolshhi Kaliningradskogo zaliva Baltijskogo morja [Influence of natural and anthropogenic factors on the formation of sedimentary strata of the Kaliningrad Gulf of the Baltic Sea] / V. A. Chechko, B. V. Chubarenko, V. Ju. Topchaja // Izvestija KGTU [Izvestia KSTU]. – 2018. – №. 48. [in Russian]

14. Chubarenko B. V. Water Exchange of Nontidal Estuarine Coastal Vistula Lagoon with the Baltic Sea / B. V. Chubarenko, R. B. Zakirov // Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering. – 2021. – Vol. 147. – №. 4. – P. 05021005.

15. Bogdanov, N. A. Tjazhjolye metally i «chernobyl'skij sled» v donnyh otlozhenijah vnutrennego vodojoma: Kaliningradskij zaliv [Heavy metals and the "Chernobyl trace" in bottom sediments of an inland water body: Kaliningrad Bay] / N. A. Bogdanov, O. V. Bass, O. A. Savostina et al. // Gigiena i sanitarija [Hygiene and sanitation]. – 2021. – V. 100. – №. 3. – P. 208-217. [in Russian]

16. Bogdanov N. A. Tendencii himicheskogo zagrjaznenija i dinamika Kaliningradskogo zaliva [Chemical pollution trends and dynamics of the Kaliningrad Bay] / N. A. Bogdanov, A. A. Voroncov, L. N. Morozova // Vodnye resursy [Water resources]. – 2004. – V. 31. – №. 5. – P. 576-590. [in Russian]

17. Mihajlov V. N. Novye opredelenija, rajonirovanie i tipizacija ust'evyh oblastej rek i ih chastej jestuariev [New definitions, zoning and typification of estuarine areas of rivers and their parts of estuaries] / V. N. Mihajlov, S. L. Gorin // Vodnye resursy [Water resources]. – 2012. – V. 39. – №. 3. – P. 243-243. [in Russian]

18. Brovko P. F. Razvitie pribrezhnyh lagun [Development of coastal lagoons] / P. F. Brovko. - Vladivostok: Far Eastern University Publishing House, 1990. - 148 p. [in Russian]

19. Chechko V. A. Osobennosti sedimentacionnyh uslovij i gidrologicheskih pokazatelej malyh gavanej Kaliningradskogo zaliva [Peculiarities of sedimentation conditions and hydrological parameters of small harbors of the Kaliningrad Bay] / V. A. Chechko, B. V. Chubarenko, V. A. Pilipchuk // Izvestija KGTU [Izvestia KSTU]. – 2015. – №. 38. – P. 11-20. [in Russian]

20. Chechko V. A. Spatial structure and evolution of bottom sediments in the Vistula Lagoon / V. A. Chechko // Transboundary waters and basins in the South-East Baltic. Kaliningrad, Terra Baltica. – 2008. – P. 244-249.

21. Chechko V. Sediment balance of the Vistula Lagoon / V. Chechko, B. Chubarenko // Proc. of the Int. Conf. EMECS. – 2016. – P. 22-27.

22. Chubarenko B.V. Model`ny`j analiz polej techenij i volneniya v Vislinskom zalive Baltijskogo morya [Model analysis of the currents and wind waves in the Vistula lagoon of the Baltic Sea] / B. V. Chubarenko, L. V. Leitsina et. al. // Okeanologiya [Oceanology]. 2012. Vol. 52. № 6. P. 748-753. [in Russian]

23. Normy i kriterii ocenki zagryaznennosti donnyh otlozhenij v vodnyh ob"ektah Sankt-Peterburga [Norms and criteria for assessing the contamination of bottom sediments in the water bodies of St. Petersburg] / Regional'nyj normative [Regional standard]; razrabotan OAO «Lenmorniiproekt» po zakazu Upravleniya po ohrane okruzhayushchej sredy merii Sankt-Peterburga. - Sankt-Peterburg, 1996. - 10 p. [in Russian]

24. Zakirov R. B. Morfometricheskie harakteristiki podvodnogo peschanogo bara na vhode v Kaliningradskij zaliv kak indikatory gidrodinamicheskoj struktury vodoobmena zaliva s morem [Morphometric characteristics of the underwater sand bar at the entrance to the Kaliningrad Bay as indicators of the hydrodynamic structure of the water exchange between the bay and the sea] / R. B. Zakirov, B. V. Chubarenko // Kompleksnye issledovanija Mirovogo okeana: Materialy IV Vserossijskoj nauchnoj konferencii molodyh uchenyh, Sevastopol', 22–26 aprelja 2019 goda [Comprehensive studies of the World Ocean: Proceedings of the IV All-Russian Scientific Conference of Young Scientists, April 22-26, 2019]/ Morskoj gidrofizicheskij institut RAN [Marine Hydrophysical Institute of the Russian Academy of Sciences]. – Sevostopol', 2019. – P. 276-278. [in Russian]

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.110.8.033

ПРЯМЫЕ ПРИЗНАКИ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ (ПРОЯВЛЕНИЯ ГАЗОВ, БИТУМОВ) СЕВЕРО-ВОСТОКА ЯКУТИИ И ПРИЛЕГАЮЩЕГО ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО ШЕЛЬФА

Научная статья

Калинин А.И.[1], Слепцова М.И.[2, *]
[1] ORCID: 0000-0002-5713-7935;
[2] ORCID: 0000-0002-7499-2060;
[1, 2] Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия

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

Аннотация

Северные территории Республики Саха (Якутия) и прилегающие шельфы арктических морей несомненно являются перспективными в отношении нефтегазоносности.

В данной статье приведены результаты обобщения многочисленных данных, проведенных в разные годы исследованиях по поверхностному геохимическому опробованию пород, вод, газов по программе прямых поисков нефти и газа. Несомненным свидетельством большого углеводородного потенциала арктических районов Якутии является распространение рассеянных битумопроявлений на огромных территориях. Исследования позволили выявить многие проявления газов, нефтей, битумов, которые в условиях слабой изученности северо-восточной части Республики Саха (Якутия) указывают на возможность открытия здесь прогнозируемых месторождений углеводородного сырья.

Ключевые слова: газ, битум, Северо-Восток Якутии.

DIRECT SIGNS OF OIL AND GAS POTENTIAL (GAS SHOW AND BITUMEN) IN THE NORTHEAST OF YAKUTIA AND THE ADJACENT EAST SIBERIAN SHELF

Research article

Kalinin A.I.[1], Sleptsova M.I.[2, *]
[1] ORCID: 0000-0002-5713-7935;
[2] ORCID: 0000-0002-7499-2060;
[1, 2] Institute of Oil and Gas Problems of the Siberian Branch of the RAS (IPGP SB RAS), Yakutsk, Russia

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

Abstract

The northern territories of the Republic of Sakha (Yakutia) and the adjacent shelves of the Arctic seas are undoubtedly promising in terms of oil and gas potential.

The article presents the results of summarizing numerous data conducted in different years of research on surface geochemical testing of rocks, waters, gases under the program of direct oil and gas prospecting. The spread of scattered bitumen occurrences over vast territories is undoubted evidence of the large hydrocarbon potential of the Arctic regions of Yakutia. The research results show many manifestations of gases, oils, bitumen, which, due to insufficient data on the north-eastern part of the Republic of Sakha (Yakutia), indicate the possibility of opening predicted hydrocarbon deposits in this location.

Keywords: gas, bitumen, North-East of Yakutia.

Наряду с Западной Якутией обширные территории которой почти повсеместно являются промышленно нефтегазоносными и где уже открыты многочисленные месторождения, позволившие создать здесь крупную сырьевую базу для нефтяной и газовой промышленности, северо-восточные районы республики также оцениваются как перспективные в нефтегазоносном отношении.

В настоящее время при разработке государственных концепций и межрегиональных программ по изучению шельфов окраинных и внутренних морей РФ особое внимание направлено на исследования малоизученных территорий восточной Арктики. Новые полученные результаты и обобщение геологической и геохимической информации по потенциально нефтегазоносным территориям Восточной Якутии и шельфа Восточно-Сибирского моря могут стать основой при планировании геолого-разведочных работ на нефть и газ в этом регионе.

Положительные выводы по нефтегазоносности восточной части Якутии сделаны Н.В. Черским и К.Б. Мокшанцевым в 1961 г. [1].

В пределах Момо-Зырянского прогиба к настоящему времени выявлено 45 выходов на поверхность свободных газов. Из них только 6 выходов относятся к горючим (содержание метана от 50 до 97% по объему). В 13 пробах обнаружены тяжелые углеводороды, содержания которых не превышают 0,03 %. Кроме того, тяжелые углеводороды в количестве около 0.01% были обнаружены в 2 пробах растворенных газов. Выделения горючих газов ни в одном из случаев не оказались связанными с многочисленными тарынными источниками [2], [4], [6]. В трех случаях газ выделялся со дна озер. Содержание метана в этих выходах составили 50, 72 и 81%. В одном из этих выходов (в Момском прогибе) А.И. Косолаповым обнаружено 0,012% тяжелых углеводородов, в других - в небольших количествах только метан [7]. Еще три выхода горючего газа приурочены к рекам и протокам. Тяжелые углеводороды в количестве 0,03% обнаружены только в одном из этих трех выходов (в районе реки Уструктах-Юрюете). Четыре выхода горючих газов располагаются в пределах Зырянского прогиба и два - в юго-восточной части Момского. В Зырянском прогибе все четыре выхода метанового газа приурочиваются к полосе низменности, тяготеющей к предгорьям Момского хребта. В Момском прогибе - к юго-восточному его замыканию.

Выходы азотных газов распространяются в пределах Момских гор, на северо-восточной окраине Зырянского и почти на всей территории Момского прогиба. В горной части района и в Томском прогибе азотные газы почти во всех

случаях связаны с источниками, образующими тарыны. В этих районах в составе азотного газа повсеместно обнаруживаются следы метана от 0,5% до единиц процентов.

Выходы азотных газов в районе северо-восточной окраины низменности не связаны с источниками подземных вод. Интенсивные выделения газа здесь происходят со дна водоемов и охватывают площади в несколько квадратных километров. Газ выделяется на приподнятых и рассеченных трещинами участках дна устьевых частей рек Уяндины и Бадярихи и их притоков.

При проведении газогидрохимических исследований в Зырянском прогибе выходы горючего газа нами наблюдались в трех точках. В двух из них отобраны пробы газа на химический анализ. В районе устья реки Кыллах горючий газ выделялся на значительном участке с поверхности воды на протяжении свыше 1 км. Второй выход горючего газа изучался на озере, расположен в 20 км восточнее нос, Майор-Крест. Здесь, также, как и в устье реки Кыллах, выделения горючего газа происходят в виде отдельных выбросов, но выбросы значительно более интенсивные и продолжительные. Продолжительность выбросов составляет от 30 до 60 секунд. Размеры пузырьков газа от нескольких миллиметров до 2-3 см. В составе газа обнаружено 81,4**%** метана**.**

Наиболее интересный и хорошо обследованный выход горючего газа располагается в одной из проток реки Индигирки в 50 м выше по течению от впадения в нее реки Уструктах-Юрюете. Выход газа приурочен к области развития верхней части нижнемеловой толщи, обнажающейся в бассейне реки Индигирки. Горючий газ, скорее всего, поступает ко дну водотока по разлому, который устанавливается в обрывах левого и правого берегов реки Индигирки. Дебит газа отдельного грифона составляет примерно 0,017 л/сек, суммарный около 15 м^3/сут. Химический анализ газа, выполненный в двух лабораториях - в газовой лаборатории ВНИГРИ (Всероссийский нефтяной научно-исследовательский геологоразведочный институт) и в Норильской научно-исследовательской экспедиции НИИГА (Научно-исследовательский институт геологии Арктики) расходится лишь в определении тяжелых углеводородов. В лаборатории ВНИГРИ из углеводородов обнаружен только метан в количестве 97,7%, в лаборатории Норильской экспедиции определено также 0,032% этана.

Отдельно следует отметить так называемый Селенняхский битумный участок, где выделены значительные битумопроявления [5], [6]. Здесь весьма значительна битуминозность известняков силура и девона [2].

В пределах Колымского массива прямых нефте-, газо-, битумопроявлений выявлено не так много, как в Момо-Зырянском прогибе [8], [9], [10]. Однако это скорее связано с незначительностью исследований по данной теме на этой территории.

Проявления углеводородных газов в районе Новосибирских островов, по данным анализов 167 проб газов, широко распространены. Однако концентрации их в большей части проб не велико [11], [12], [13].

Большая часть аномальных проявлений углеводородных газов установлена при бурении на акваториях – в проливах Лаптева, Санникова, Благовещенский и в заливе Геденшторма. Исключение составляют скважины 28 и 44, на северо-восточной прибрежной полосе островов Анжу.

В проливе Лаптева из керна газ не отбирался. Аномальные содержания углеводородов до *16,6%* установлены при опробовании скважин вскрывших верхнеплиоценовую-нижнечетвертичную песчано-глинистую толщу примерно в средней части пролива. В этом же районе при бурении скважины в южной части пролива наблюдался выброс метанового газа при проходке преимущественно глинистой с песчаными прослоями олигоцен-миоценовой толщи. Мелкая скважина № 5 в пр. Лаптева с глубины примерно 80 м из отложений kz. Температура мёрзлой толщи - 8,5^{o}C, дебит составил 21,6 м^3/сут. Состав газа: метан – 75,2%, непредельные УВ - 0,4%, водород - 2,4%, кислород - 5,6%.).

В проливе Санникова аномальные концентрации углеводородов в керне до 4,15**%,** в пластовой воде *до 15,1%.* Высокие содержания углеводородов в этом районе связаны о песчано-глинистой плейстоценовой толщей. В северной части проливе при бурении наблюдался выброс метанового газа с дебитом 61 м^3/сут (дебит в начальный период фонтанирования). Скопление свободного паза приурочено к песчано- глинистой толще миоцена.

В заливе Геденштрома аномальные проявления метанового газа по данным вакуумной дегазации керна и содержания его в промывочной жидкости установлены в северной половине залива в скважин 25 и 26. Здесь в керне установлено одно из наиболее высоких содержаний метана - 14,2% или 37,8 мл на 1 кг породы. Аномальные концентрации метана приурочены в этом районе к канарчакской свите [14].

В районе стрелки Анжу (скважина 28) по данный вакуумной дегазации керна повышенные концентрации углеводородов - до 2,22% установлены в глинистых алевритах канарчакской свиты. Аномальные концентрации метана по данным дегазация керна в западной части о. Новая Сибирь так же, как и в остальных рассмотренных районах, приурочены, в основном, к канарчакской свите. Наиболее высокое содержание метана - 15,7% установлено в северной части западной половины острова (скважина 44) [14].

Положительная оценка перспектив нефтегазоносности Восточной Якутии, выполненная К.Б. Мокшанцевым и Н.В. Черским более полувека назад, по-прежнему является актуальной [1]. Указанные территории по-прежнему остаются слабо изученными. Для выявления различных более достоверных аргументов с целью пересмотра ранее выполненных оценок требуется проведение достаточно крупных объемов геологоразведочных работ [14], [15].

Финансирование

Работа выполнена в рамках выполнения госзадания Проект IX.131.1, рег. № НИОКТР АААА-А17-117040710037-1.

Funding

The work was carried out within the framework of the state task Project IX. 131. 1, reg. R & D No. AAAA-A17-117040710037-1.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Мокшанцев К.Б. Основные черты геологического строения и перспектива нефтегазоносности Восточной Якутии / К.Б. Мокшанцев, Н.В. Черский. - Якутск: Якутское книжное издательство, 1961. – 136 с.

2. Чочиа Н.Г. Отчет по теме "Оценка перспектив нефтегазоносности Момо-Зырянской впадины" / Н.Г. Чочиа, Д.А. Вольнов, З.Е. Баранова – Якутск: Фонд ТГФ, 1972.

3. Чочиа Н.Г. Отчет по теме: «Сравнительный анализ перспектив нефтегазоносности различных геотектонических зон и структур Зыряно- Селенняхского прогиба» / Н.Г. Чочиа, З.Е. Баранова и др. – Якутск: Фонд ТГФ, 1972.

4. Чочиа Н.Г. Геологические предпосылки развития нефтегазопоисковых работ в Зырянском прогибе / Н.Г. Чочиа, В.Н. Кисляков, Д.С. Яшин // Геология нефти и газа. - 1976. - № 2. - С. 22-25.

5. Иванов В.В. Нафтиды и нафтоиды северо-востока СССР / В.В. Иванов, Б.А. Клубов. - М.: Наука, 1979. – 148 с.

6. Клубов Б.А. Природные битумы Севера / Б.А. Клубов. - М.: Наука, 1983. - 203 с.

7. Косолапов А.И. Перспективы Колымского массива, Мома-Зырянской впадины и Приморского прогиба на нефть и газ / А.И. Косолапов, К.Б. Мокшанцев, Н.В. Черский // Геологическое строение и нефтегазоносность восточной части Сибирской платформы и прилегающих районов - Москва: Недра, 1968. - С.361-367.

8. Жерновский В.П. Отчет о результатах работ по объекту: «Опытно-производственные исследования по внедрению прямых геохимических методов поисков залежей нефти и газа в Якутии» за 1989-1991 гг / В.П. Жерновский. – Якутск: Фонд ТГФ, 1991.

9. Жерновский В.П. Отчет о результатах работ по объекту: «Геохимические исследования в северо-восточных районах Якутии по программе прямых поисков залежей нефти и газа» за 1991-1992 гг. / В.П. Жерновский. – Якутск: Фонд ТГФ, 1992.

10. Жерновский В.П. Отчет о результатах работ по объекту «Геохимическое изучение потенциально нефтегазоносных территорий Якутии» за 1992-1993 гг. / В.П. Жерновский. – Якутск: Фонд ТГФ, 1993.

11. Осадочные бассейны Дальнего Востока СССР и перспективы их нефтегазоносности. – Л.: Недра, 1987. – 263 с.

12. Кисляков В.Н. Оценка перспектив нефтегазоносности северной части восточной Якутии с целью выбора объектов на размещение геофизических работ 1976 г.: отчет по теме: «Комплексная оценка перспектив нефтегазоносности Приморской площади» / В.Н. Кисляков. - Якутск: Фонд ТГФ, 1976.

13. Косько М.К. Восточно-Сибирское море / М.К. Косько // Геологическое строение и закономерности размещения полезных ископаемых. Т.9. Моря Советской Арктики. – Л.: Недра, 1984. – С. 60-66.

14. Калинин А.И. Применение прямых геохимических методов поисков нефти и газа на Северо-Востоке Якутии / А.И. Калинин // Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции «Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России» в 2 т. – Якутск: издательство Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, 2018. – Т.1. – С. 293-294.

15. Калинин А.И. Геохимические признаки нефтегазоносности северо-восточных территорий Якутии / А.И. Калинин, М.И. Слепцова // Международный научно-исследовательский журнал. – 2019. - №10. – С. 55-59.

Список литературы на английском языке / Referencer in English

1. Mokshancev K.B. Osnovnye cherty geologicheskogo stroenija i perspektiva neftegazonosnosti Vostochnoj Jakutii [Main features of the geological structure and prospects of oil and gas potential of Eastern Yakutia] / K.B. Mokshancev, N.V. Cherskij. - Jakutsk: Jakutsk Publishing house, 1961. – 136 p. [in Russian]

2. Chochia N.G. Otchet po teme "Ocenka perspektiv neftegazonosnosti Momo-Zyrjanskoj vpadiny"[Report on the topic: «Assessment of the oil and gas potential of the Momo-Zyryanskaya depression»] / N.G. Chochia, D.A. Vol'nov, Z.E. Baranova – Jakutsk: Fond TGF, 1972. [in Russian]

3. Chochia N.G. Otchet po teme «Sravnitel'nyj analiz perspektiv neftegazonosnosti razlichnyh geotektonicheskih zon i struktur Zyrjano-Selennjahskogo progiba» [Report on the topic: «Comparative analysis of the potential of different tectonic zones and structures of the Zyryano-Selennyax deflection»] / N.G. Chochia, Z.E. Baranova et al. – Jakutsk: Fond TGF, 1972. [in Russian]

4. Chochia N.G. Geologicheskie predposylki razvitija neftegazopoiskovyh rabot v Zyrjanskom progibe [Geological prerequisites for the development of oil and gas exploration in the Zyryansk deflection] / N.G. Chochia, V.N. Kisljakov, D.S. Jashin // Geologija nefti i gaza [Oil and gas Geology]. - 1976. - № 2. - P. 22-25. [in Russian]

5. Ivanov V.V. Naftidy i naftoidy severo-vostoka SSSR [Naphthides and naphthoids of the northeastern USSR] / V.V. Ivanov, B.A. Klubov. - M.: Nauka, 1979. – 148 p. [in Russian]

6. Klubov B.A. Prirodnye bitumy Severa [Natural Bitumens of the North] / B.A. Klubov. - M.: Nauka, 1983. – 205 p. [in Russian]

7. Kosolapov A.I. Perspektivy Kolymskogo massiva, Moma-Zyryanskoj vpadiny i Primorskogo progiba na neft' i gaz [Prospects for the Kolyma massif, the Moma-Zyryan depression and the Primorsky deflection for щil and пas] / A.I. Kosolapov, K.B. Mokshancev, N.V. CHerskij // Geologicheskoe stroenie i neftegazonosnost' vostochnoj chasti Sibirskoj platformy i prilegayushchih rajonov [Geological structure and petroleum potential of the eastern part of the Siberian platform and adjacent areas] - M: Nedra, 1968. - P.361-367. [in Russian]

8. Zhernovskij V.P. Otchet o rezul'tatah rabot po ob"ektu: "Opytno-proizvodstvennye issledovaniya po vnedreniyu pryamyh geohimicheskih metodov poiskov zalezhej nefti i gaza v Yakutii" za 1989-1991 gg. [Report on the results of work on the object: "Pilot studies on the introduction of direct geochemical methods of searching for oil and gas deposits in Yakutia" for 1989-1991] / V.P. Zhernovskij. – Yakutsk: Fund TGF, 1991. [in Russian]

9. Zhernovskij V.P. Otchet o rezul'tatah rabot po ob"ektu: "Geohimicheskie issledovaniya v severo-vostochnyh rajonah Yakutii po programme pryamyh poiskov zalezhej nefti i gaza" za 1991-1992 gg. [Report on the results of works on the object: "Geochemical studies in the North-Eastern regions of Yakutia under the program of direct searches of oil and gas deposits" for 1991-1992] / V.P. Zhernovskij. – Yakutsk: Fund TGF, 1992. [in Russian]

10. Zhernovskij V.P. Otchet o rezul'tatah rabot po ob"ektu "Geohimicheskoe izuchenie potencial'no neftegazonosnyh territorij YAkutii" za 1992-1993 gg. [Report on the results of work on the object "Geochemical study of potentially petroleum potential areas of Yakutia" for 1992-1993] / V.P. Zhernovskij. – Yakutsk: Fund TGF, 1993. [in Russian]

11. Osadochnye bassejny Dal'nego Vostoka SSSR i perspektivy ih neftegazonosnosti. – L.: Nedra, 1987. – 263 p. [in Russian]

12. Kislyakov V.N. Ocenka perspektiv neftegazonosnosti severnoj chasti vostochnoj Yakutiis cel'yu vybora ob"ektov na razmeshchenie geofizicheskih rabot 1976 [Assessment of petroleum potential of the northern part of eastern Yakutia in order to select objects for the placement of geophysical works in 1976]: otchet po teme: «Kompleksnaya ocenka perspektiv neftegazonosnosti Primorskoj ploshchadi» [Report on the topic: "Comprehensive assessment of the prospects for the petroleum potential of Primorskaya Square"] / V.N. Kislyakov. - Yakutsk: Fund TGF, 1976. [in Russian]

13. Kos'ko M.K. Vostochno-Sibirskoe more [East-Siberian sea] / M.K. Kos'ko // Geologicheskoe stroenie i zakonomernosti razmeshhenija poleznyh iskopaemyh. Morja Sovetskoj Arktiki [Geological structure and regularities of mineral resources placement. Vol. 9. Seas of the Soviet Arctic]. – L.: Nedra, 1984. – P. 60-66. [in Russian]

14. Kalinin A.I. Primenenie pryamyh geohimicheskih metodov poiskov nefti i gaza na Severo-Vostoke YAkutii [Application of direct geochemical methods of oil and gas prospecting in the North-East of Yakutia] / A.I. Kalinin // Materialy VIII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Severo-Vostoka Rossii» [Proceedings of the VIII all-Russian scientific and practical conference "Geology and mineral resources of the North-East of Russia", April 18-20, 2018 in 2 vols.] – Yakutsk: Publishing House of the P. I. Melnikov Institute of Permafrost Studies SB RAS, 2018. – V.1. – P. 293-294. [in Russian]

15. Kalinin A.I. Geohimicheskie priznaki neftegazonosnosti severo-vostochnyh territorij Jakutii [Geochemical signs of oil and gas presence in northeast Yakutia] / A.I. Kalinin, M.I. Slepcova // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International research journal]. – 2019. - №10. – P. 55-59. [in Russian]

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.110.8.034

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПЛОЩАДЕЙ, ПЕРСПЕКТИВНЫХ НА ПОИСКИ УГЛЕВОДОРОДОВ, С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ПОЛЕЙ В ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

Научная статья

Орешкова М.Ю.[1], Фернандес Попова А.К.[2], Фернандес Мамани А.Н.[3, *]
[1, 2, 3] Санкт-Петербургский Горный университет, Санкт-Петербург, Россия

* Корреспондирующий автор (aelbert.otoo[at]yandex.ru)

Аннотация

Цель данной работы заключается в изучении строения кристаллического фундамента и осадочного бассейна северной части Иркутской области и установлении перспективных на углеводороды областей для проведения дальнейших детальных работ.

Для достижения поставленной цели в данной работе обработаны и интерпретированы грави-магнитные данные и их трансформанты с помощью специализированных геофизических программ, и компьютерных технологий. В результате интерпретации данных потенциальных полей установлены закономерности, которые связывают трансформации потенциальных полей с месторождениями углеводородов и позволяют построить условную прогнозную карту для локализации перспективных для дальнейшего изучения и освоения площадей.

Ключевые слова: грави-магнитные данные, потенциальное поле, томография потенциальных полей, компьютерные технологии, прогнозное построение, углеводороды, осадочный бассейн, кристаллический фундамент.

AN IDENTIFICATION OF PROMISING AREAS FOR THE SEARCH FOR HYDROCARBONS VIA POTENTIAL FIELDS IN OF IRKUTSK OBLAST

Research article

Oreshkova M.Yu.[1], Fernandes Popova A.K.[2], Fernandes Mamani A.N.[3, *]
[1, 2, 3] Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russia

* Corresponding author (aelbert.otoo[at]yandex.ru)

Abstract

The purpose of this article is to examine the structure of the crystalline basement and sedimentary basin of the northern part of Irkutsk Oblast and to establish promising areas for hydrocarbons for further detailing work.

To achieve this objective, the authors process and interprets gravimagnetic data and their transformants using specialized geophysical software. As a result of the interpretation of these potential fields, the study establishes patterns that link the transformations of potential fields with hydrocarbon deposits and allow for building a relative forecast map for localizing areas that are promising for further study and development.

Keywords: gravimagnetic data, potential field, tomography of potential fields, computer technologies, predictive construction, hydrocarbons, sedimentary basin, crystal foundation.

Введение

Методы потенциальных полей используются в разведочной геофизике для изучения структурно-вещественных комплексов по физическим параметрам, таким как плотность и намагниченность. Компьютерные технологии являются дополнительным инструментом для изучения этих параметров и упрощают время интерпретации данных при поисках и разведки залежи за пределами известных месторождений [4, С. 260].

В данной работе изучено строение кристаллического фундамента и осадочного бассейна, включающего залежи углеводородов, с применением интерпретации потенциальных полей. Для установления закономерностей локализации месторождений углеводородов применяется программа «томография потенциальных полей», написанная на языке программирования «Visual Basic for Applications», которая позволяет выполнить построения векторных и изоповерхностных трехмерных моделей в оболочке «Voxler», а также в работе применяется деконволюция Эйлера, реализованная в пакете программ «Oasis Montaj» от Geosoft. Исходными данными являются матрицы гравитационного и магнитного полей миллионного масштаба листа О-48 (Усть-Илимск). Лист О-48 включает северную часть Иркутской области в большей степени и часть Красноярского края.

В качестве фактологической основы использованы карты-материалы Всероссийского научно-исследовательского института им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ).

Исследуемая территория располагается в южной части Западно-Сибирской геосинеклизы в пределах Прибайкальской моноклизы и Тунгусской синеклизы.

Программа «Томография потенциальных полей»

Программа «томография потенциальных полей» - это набор макрокоманд (простейшая программа, задающая определенную последовательность действий), написанная на языке программирования «Visual Basic for Applications».

Способ томографии потенциальных полей ориентирован на послойное изучение геологической среды при поддержке численного интегрального преобразования, связывающего измеренное на дневной плоскости потенциальное поле с расчётным распределением действительных источников в нижнем полупространстве. Это пространственное распределение считается одним из эквивалентных решений обратной задачи грави-магниторазведки. Алгоритм преобразования может быть реализован на формальном аналитическом продолжении поля вниз (К.М. Ермохин) [2, С. 10]. С помощью этой программы можно реализовать пересчет поля в нижнее полупространство (методика М.Б. Штокаленко).

Томографией называют послойное исследование объекта, которым, в данной ситуации, считается геологическая среда, представленная пространственными распределениями плотности источников потенциального поля.

Поскольку указанные распределения являются эквивалентными решениями обратной задачи, полученные расчётные свойства геологической среды называют эффективными. В томографии размерность результата на единицу больше размерности исходных данных, подобно тому, как вейвлет-преобразования связывают одномерный оригинал с двухмерным изображением [1, С. 101]. По одномерному профилю строится двухмерный томографический разрез.

В данном случае рассматривается томография на основе аналитического продолжения потенциального поля вниз по формуле (К.М. Ермохин):

$$U(0,0,h) = 6U(0,0,0) - [U(0,0,-h) + U(0,h,0) + U(h,0,0) + U(0,-h,0) + U(-h,0,0)] \quad (1)$$

где U – потенциальная функция, h – глубина пересчёта [10, С. 287].

При таком способе можно выбрать любые сечения (одномерные профиля) на грави-магнитных картах для получения двухмерного разреза [3, С. 52]. Для достижения поставленной задачи выбран профиль, пересекающий Ковыктинское и Яractинское месторождений (см. рисунок 1,а). В результате получены разрезы эффективной и абсолютной плотности и избыточной намагниченности на глубинах 10 и 40 километров. Эффективная плотность в разрезе обозначает разность плотности геологического объекта и вмещающей его горной породы (см. рисунок 1, б.). В пределах месторождений углеводородов наблюдаются пониженные значения эффективной и абсолютной плотности (см. рисунок 1, г) и нулевые значения избыточной намагниченности (см. рисунок 1, е) на глубине первых километров. Приблизительно по этим данным можно определить физические параметры, характеризующие осадочный бассейн изучаемого района.

Деконволюция Эйлера в пакете программ «Oasis Montaj»

Метод используется для определения положения структурных индексов и глубин залегания грави-магнитных неоднородностей. Основу методики составляет уравнение Эйлера для однородных функций. Сущность этого уравнения следующая: функцию $f(x,y,z)$ называют однородной функцией степени N, если для нее справедливо соотношение: $f(tx, \mathrm{ty}, \mathrm{tz}) = f(x,y,z)tN$. Для гравиразведки и магниторазведки будет характерна функция:

$$f(x,y,z) = \frac{K}{r^N} \quad (2)$$

де $r = (x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}$, $N = 1,2,3, \dots$, а K не зависит от координат. Поэтому для нее справедливо следующее уравнения Эйлера:

$$x\frac{df}{dx} + y\frac{df}{dy} + z\frac{df}{dz} = Nf \quad (3)$$

Уравнения Эйлера можно применять для локализации особых точек функций, описывающих гравитационное и магнитное аномалии, в скользящем окне (Д. Томсон). Тогда уравнения Эйлера можно преобразовать к виду:

$$(x - x_0)\frac{dU(x,y,z)}{dx} + (y - y_0)\frac{dU(x,y,z)}{dy} + (z - z_0)\frac{dU(x,y,z)}{dz} = N(F - U(x,y,z) \quad (4)$$

На основании уравнения (4) рассчитана деконволюция в программном обеспечении «Oasis Montaj» по гравитационному полю, на полученной модели нами установлены области с меньшим количеством концентрации деконволированных масс (зеленные сферы), приуроченые к возможным залежам углеводородов (см. рисунок 1, ж) [8, С. 223]. Полученный результат хорошо согласуется с уже изученными месторождениями.

Трехмерная модель в программе «Voxler» от Golden Software

Программа предназначена для трехмерной визуализации сложных наборов первичных данных. Для этого в программе можно применить огромное число вариантов 3D изображений и моделей первичной обработки исходной информации, включая объемный рендеринг, изометрическое и контурное представление, трехмерное сглаживание, ортогональные и скошенные образы, линии тока и векторные графики.

Математическая обработка исходных материалов была реализована в программе – Surfer от Golden Software. Программа Voxler ориентирована только на представление обработанной информации.

В результате работы в данной программе нами получены трехмерные модели векторной карты, характеризующие различные структурно-тектонические дислокации, направление которых отмечается схождением и расхождением векторов (см. рисунок 1, з). Также построена модель изоповерхности, характеризующая морфологию осадочного бассейна (см. рисунок 1, и) на основе изученных месторождений углеводородов. Для модели характерны области с «пустотами» (отсутствие изоповерхности) значительных размеров, связанные с соответствующими значениями силы тяжести [6, С. 155-157].

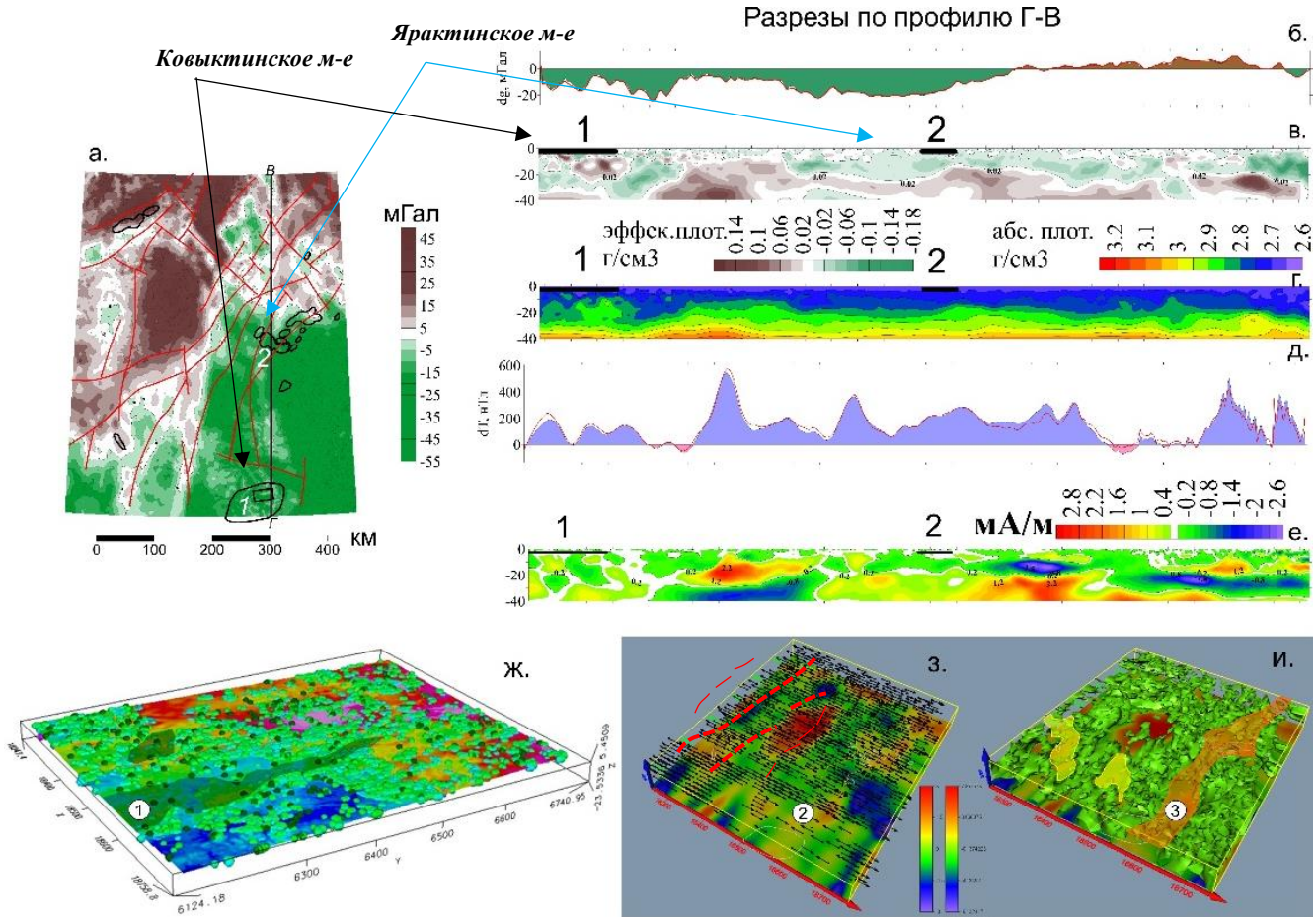


Рис. 1 – *а)* Исходная карта гравитационного поля с линеаментным анализом; *б)* гравитационные кривые (мГал); *в)* разрез эффективной плотности; *г)* разрез абсолютной плотности; *д)* магнитные кривые (нТл); *е)* разрез избыточной намагниченности; *ж)* модель деконволюции Эйлера; з) векторная модель грави-магнитных данных; *и)* изоповерхностная модель гравитационного поля:
1 – область с наименьшим количеством деконволированных масс; *2* – линия схождения/расхождения векторов; *3* – осадочные бассейны

Прогнозные построения

Для построения прогнозной карты по данным потенциальных полей взяты за эталон Ковыктинское и Яractинское нефтегазоконденсатные месторождения, которые характеризуются пониженными значениями силы тяжести, эффективной и абсолютной плотности и намагниченности [9, С. 382-384]. Для этих параметров получены отдельные карты вероятности и после сопоставления этих карт можно установить общую закономерность их распространения, и таким образом спрогнозировать по этим параметрам перспективные участки [7, С. 56]. Таким образом, перспективные участки относятся к областям с вероятностью, равной единице (см. рисунок 2, а). По результатам работы можно спроектировать комплекс электроразведочных и сейсмических работ для уточнения этих перспективных областей (отмечены темным зеленым цветом).

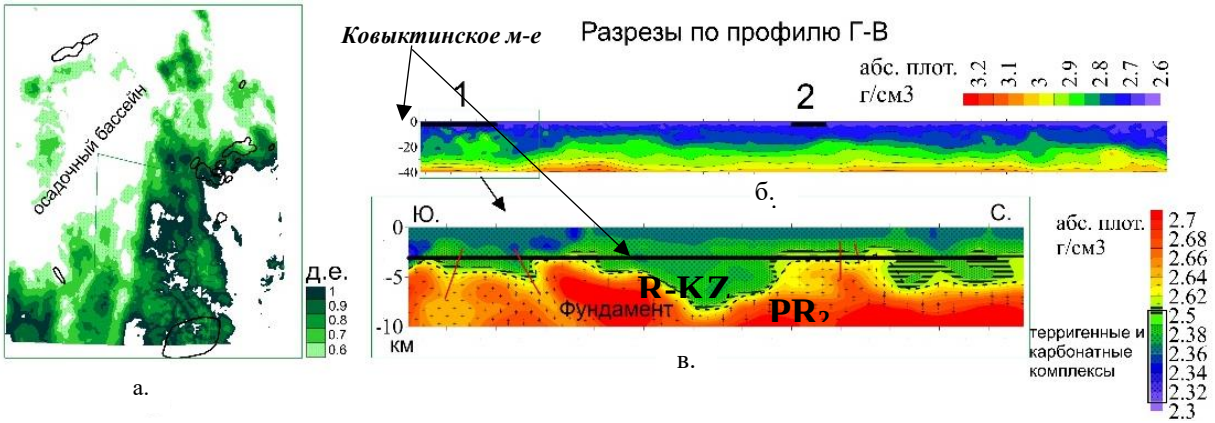


Рис. 2 – *а)* Прогнозная карта на углеводороды, где вероятность, равная 1 – наиболее перспективные участки и вероятность 0,6 – менее перспективные; *б)* разрез абсолютной плотности; *в)* фрагмент разреза абсолютной плотности на примере Ковыктинского газоконденсатного месторождения:
зеленый цвет – осадочные комплексы; *оранжевый цвет* – кристаллический фундамент раннепротерозойского возраста

Заключение

По результатам комплексной интерпретации потенциальных полей листа О-48 можно сказать, что на полученных разрезах Ковыктинское и Ярактинское месторождения углеводородов связаны:

а) с пониженными значениями эффективной плотности, значения меняются в интервале от -0,04 до 0,02 г/см^3, $\sigma_{ср.эффек.}$ = -0,01 г/см^3 (см. рисунок 1, в.).

б) с абсолютной плотностью, равной 2,6 г/см^3 (см. рисунок 1, г.). Также важно отметить, что полученное значение не согласуется с теоретической плотностью осадочного бассейна, которая равна примерно 2,3 г/см^3. Это связанно с тем что, в расчетах томографии вейвлет-преобразования связывает одномерный оригинал с двухмерным изображением. Для того, чтобы привести полученную преувеличенную плотность к нужным значениям, необходимо пересчитать полученные экспериментальные плотности (см. рисунок 2, б), и, таким образом, получить результат близкий к теоретическому (см. рисунок 2, в). На рисунке 2в по сечению Г-В отмечается граница, отделяющая осадочный бассейн ($\sigma_{ср.абс.}$= 2,36 г/см^3) от кристаллического фундамента ($\sigma_{ср.абс.}$= 2,66 г/см^3). Мощность осадочного бассейна равна в этом сечении около 5 километров.

в) с пониженными значениями избыточной намагниченности, значения меняются в интервале от -0,2 до 0,4 мА/м, $J_{ср.изб.}$ = 0,1 мА/м (см. рисунок 1, е). Кроме того, для этих месторождений характерны пониженные значения силы тяжести и индукции магнитного поля.

На основании полученных закономерностей построена прогнозная карта листа О-48 (см. рисунок 2, а) и выделены перспективные участки на углеводороды, выделенные темно-зеленым цветом, которые рассматриваются как наиболее перспективные на углеводороды области.

Недостаток такого подхода состоит в том, что, исходные материалы относятся к миллионному масштабу и прогнозное построение несет лишь распознавательный подход грави-магнитных данных. Такой подход рекомендуется применять для карт 1:200 000 масштаба и крупнее.

Достоинством метода заключается в том, что по результатам прогнозных построений можно целенаправленно спроектировать детальные геофизические исследования, такие как сейсморазведка и электроразведка для дальнейшего детального изучения и освоения, и, таким образом, открыть новые месторождения углеводородов.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Алексеев С.Г. Особенности геологической интерпретации результатов гравиразведки и магниторазведки / С.Г. Алексеев, С.А. Козлов, М.Б. Штокаленко // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Материалы 37-й сессии Междунар. науч. семинара им. Д.Г.Успенского. М.: ИФЗ РАН, 2010.

2. Алексеев С.Г. Достоинства и недостатки томографии потенциальных полей / С.Г. Алексеев, Н.П. Сенчина, С.Ю. Шаткевич и др. // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Материалы 43-й сессии Междунар. науч. семинара им. Д.Г.Успенского. Воронеж: ООО ИПЦ «Научная книга», 2016. С. 10-13.

3. Ермохин К.М. Технология построения разрезов методом аналитического продолжения геофизических полей / К.М. Ермохин // Геоинформатика, 2010. № 2, с. 51-60.

4. Ломтадзе В.В. Программное и информационное обеспечение геофизических исследований / В.В. Ломтадзе. М.: Недра, 1993. 268 с.

5. Новоселицкий В.М. Векторная обработка гравиметрических наблюдений с целью обнаружения и локализации источников аномалий / В.М. Новоселицкий, Г.В. Простолупов // Геофизика и математика. М.: ОИФЗ РАН, 1999. С. 104–107.

6. Приезжев И.И. Информационные технологии комплексной интерпретации геофизических данных для геологического моделирования / И.И. Приезжев: диссертация на соискание ученой степени д.т.н. М.: РГГУ, 2010. 232 с.

7. Фернандес Мамани А. Комплексная интерпретация гравитационных и магниторазведочных данных для прогноза углеводородов с применением «томографии потенциальных полей» для Лено-Тунгусской нефтегазовой провинции / Фернандес А. Мамани, М. Ю. Орешкова, А. Фернандес Попова // Тезисы докладов. Том 5: IX Международная научная конференция молодых ученых «Молодые – Наукам о Земле». Москва: МГРИ, 2020. С. 52-56.

8. Штокаленко М.Б. Истолкование аналитического продолжения потенциального поля вниз / М.Б. Штокаленко, С.Г. Алексеев // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Материалы 42-й сессии Междунар. науч. семинара им. Д.Г.Успенского. Пермь: Горный ин-т УрО РАН, 2015. С. 221-223.

9. Штокаленко М.Б. От избыточной эффективной плотности к абсолютной / М.Б. Штокаленко, С.Г. Алексеев, С.А. Козлов // Материалы 40-й сессии Международного научного семинара им. Д.Г.Успенского. М.: ИФЗ РАН, 2013. С. 380 – 384.

10. Штокаленко М.Б. Итерационная или медианная полосовая фильтрация как средство фокусирования потенциального поля в томографии / М.Б. Штокаленко, С.Г. Алексеев, Н.П. Сенчина // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Материалы 41-й сессии Междунар. науч. семинара им. Д.Г.Успенского. Екатеринбург: ИГФ УрО РАН, 2014. С. 286 – 288.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Alekseev S. G. Osobennosti geologicheskojj interpretacii rezul'tatov gravirazvedki i magnitorazvedki [Features of the geological interpretation of the results of gravity and magnetic exploration] / S. G. Alekseev, S. A. Kozlov, M. B. Shtokalenko // Voprosy teorii i praktiki geologicheskojj interpretacii gravitacionnykh, magnitnykh i ehlektricheskikh polejj: Materialy 37-jj

sessii Mezhdunar. nauch. seminara im. D.G.Uspenskogo [Issues of theory and practice of geological interpretation of gravitational, magnetic and electric fields: Materials of the 37th session of the International Scientific seminar named after D. G. Uspensky]. Moscow: IFZ RAS, 2010 [in Russian]

2. Alekseev S. G. Dostoinstva i nedostatki tomografii potencial'nykh polejj [Advantages and disadvantages of tomography of potential fields] // Voprosy teorii i praktiki geologicheskojj interpretacii gravitacionnykh, magnitnykh i ehlektricheskikh polejj: Materialy 43-jj sessii Mezhdunar. nauch. seminara im. D.G.Uspenskogo [Issues of theory and practice of geological interpretation of gravitational, magnetic and electric fields: Proceedings of the 43rd session of the International Scientific seminar named after D. G. Uspensky]. Voronezh: OOO IPC «Nauchnaja kniga»,, 2016, pp. 10-13 [in Russian]

3. Ermokhin K. M. Tekhnologija postroenija razrezov metodom analiticheskogo prodolzhenija geofizicheskikh polejj [Technology of constructing sections by the method of analytical continuation of geophysical fields] / K. M. Erkmokin // Geoinformatika [Geoinformatics], 2010. No. 2, pp. 51-60 [in Russian]

4. Lomtadze V. V. Programmnoe i informacionnoe obespechenie geofizicheskikh issledovanijj [Software and information support for geophysical research] / V. V. Lomtadze. Moscow: Nedra, 1993. 268 p. [in Russian]

5. Novoselitsky V. M. Vektornaja obrabotka gravimetricheskikh nabljudenijj s cel'ju obnaruzhenija i lokalizacii istochnikov anomalijj [Vector processing of gravimetric observations in order to detect and localize sources of anomalies] / V. M. Novoselitsky, G. V. Prostolupov // Geofizika i matematika [Geophysics and Mathematics]. Moscow: OIFZ RAS, 1999, pp. 104-107 [in Russian]

6. Priezdev I. I. Informacionnye tekhnologii kompleksnojj interpretacii geofizicheskikh dannykh dlja geologicheskogo modelirovanija: dissertacija na soiskanie uchenojj stepeni d.t.n. [Information technologies of complex interpretation of geophysical data for geological modeling]: Doctor's thesis. Engineering Sciences. / I. I. Priezhev, Moscow: RSUH, 2010. 232 p. [in Russian]

7. Fernandez Mamani A. Kompleksnaja interpretacija gravitacionnykh i magnitorazvedochnykh dannykh dlja prognoza uglevodorodov s primeneniem «tomografii potencial'nykh polejj» dlja Leno-Tungusskojj neftegazovojj provincii [Complex interpretation of gravitational and magnetic exploration data for the forecast of hydrocarbons using "tomography of potential fields" for the Leno-Tunguska oil and gas province] / A. Fernandez Mamani, M. Yu. Oreshkova, A. Fernandez Popova // Tezisy dokladov. Tom 5: IX Mezhdunarodnaja nauchnaja konferencija molodykh uchenykh «Molodye – Naukam o Zemle»Tezisy dokladov. [Abstracts of reports. Volume 5: IX International Scientific Conference of Young Scientists "The Young - for the Earth Sciences"]. Moscow: MGRI, 2020, pp. 52-56 [in Russian]

8. Shtokalenko M. B. Istolkovanie analiticheskogo prodolzhenija potencial'nogo polja vniz [Interpretation of the analytical continuation of the potential field downwards] / M. B. Shtokalenko, S. G. Alekseev // Voprosy teorii i praktiki geologicheskojj interpretacii gravitacionnykh, magnitnykh i ehlektricheskikh polejj: Materialy 42-jj sessii Mezhdunar. nauch. seminara im. D.G.Uspenskogo [Issues of theory and practice of geological interpretation of gravitational, magnetic and electric fields: Proceedings of the 42nd session of the International Scientific Conference. The seminar named after D. G. Uspensky]. Perm: Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2015, pp. 221-223 [in Russian]

9. Shtokalenko M. B. Ot izbytochnojj ehffektivnojj plotnosti k absoljutnojj [From excessive effective density to absolute density] / M. B. Shtokalenko, S. G. Alekseev, S. A. Kozlov // Materialy 40-jj sessii Mezhdunarodnogo nauchnogo seminara im. D.G.Uspenskogo [Proceedings of the 40th session of the D. G. Uspensky International Scientific Seminar]. Moscow: IFZ RAS, 2013, pp. 380-384 [in Russian]

10. Shtokalenko M. B. Iteracionnaja ili mediannaja polosovaja fil'tracija kak sredstvo fokusirovanija potencial'nogo polja v tomografii [Iterative or median bandpass filtering as a means of focusing the potential field in tomography] / M. B. Shtokalenko, S. G. Alekseev, N. P. Senchina // Voprosy teorii i praktiki geologicheskojj interpretacii gravitacionnykh, magnitnykh i ehlektricheskikh polejj: Materialy 41-jj sessii Mezhdunar. nauch. seminara im. D.G.Uspenskogo [Issues of theory and practice of geological interpretation of gravitational, magnetic and electric fields: Proceedings of the 41st session of the International Scientific seminar named after D. G. Uspensky]. Yekaterinburg: IGF UrO RAS, 2014, pp. 286-288 [in Russian]

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.110.8.035

ПРОЦЕДУРА ВЫЧИСЛЕНИЯ СКОРОСТИ ВЕТРА В СОВМЕСТНОЙ ГЛОБАЛЬНОЙ МОДЕЛИ КЛИМАТА

Научная статья

Пархоменко В.П.*
ORCID: 0000-0002-9963-0496,
Вычислительный центр им. А.А. Дородницына ФИЦ ИУ РАН, Москва, Россия

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

Аннотация

В работе рассматривается прогностическая модель глобального климата промежуточной сложности, состоящая из трехмерной гидродинамической модели мирового океана с реальной конфигурацией глубин и континентов, модели эволюции морского льда и двумерной модели атмосферы баланса и переноса влаги и тепла. Предложена процедура определения поля скоростей ветра по распределению приземной температуры атмосферы на основе геострофического подхода, учета термальной составляющей ветра и введения механизма трения о подстилающую поверхность. Это позволяет качественно верно описывать поле скоростей ветра в зависимости от характеристик климатической системы. Приведены результаты численных экспериментов с применением этой процедуры по моделированию климатических изменений при увеличении концентрации CO_2 в 21 веке.

Ключевые слова: глобальная климатическая модель, численные эксперименты.

A PROCEDURE FOR CALCULATING WIND SPEED IN A JOINT GLOBAL CLIMATE MODEL

Research article

Parkhomenko V.P.*
ORCID: 0000-0002-9963-0496,
Dorodnitsyn Computing Centre, Federal Research Center "Informatics and Management"
of the Russian Academy of Sciences (FITz IU RAN), Moscow, Russia

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

Abstract

The article examines a predictive model of the global climate of intermediate complexity, consisting of a three-dimensional hydrodynamic model of the world ocean with a real configuration of depths and continents, a model of the evolution of sea ice and a two-dimensional model of the atmosphere of balance and transfer of moisture and heat. The study proposes a procedure for determining the wind velocity field from the distribution of the surface temperature of the atmosphere based on the geostrophic approach, taking into account the thermal component of the wind and introducing a friction mechanism on the underlying surface. This allows for accurately describing the field of wind speeds depending on the characteristics of the climate system. The authors of the article present the results of numerical experiments using this procedure for modeling climate changes with an increase in the concentration of CO_2 in the 21st century.

Keywords: global climate model, numerical experiments.

Введение

Рассматривается прогностическая модель глобального климата промежуточной сложности, состоящая из пространственной гидродинамической модели океана с реальным распределением глубин и континентов, модели процессов изменения морского льда и двумерной модели атмосферы транспорта водяного пара и тепла. Подробное описание содержится в [1], [2].

Модель океана формулируется в геострофическом подходе с членом, описывающем внутреннее трение в уравнениях движения по горизонтали. Условие нулевого нормального потока задается на всех границах. Течения в верхнем слое формируются под влиянием напряжения трения ветра в нижнем слое атмосферы. Значения потоков тепла и влаги у дна принимаются равными нулю, а на поверхности связаны с процессами в атмосфере.

В прогностической модели морского льда основные уравнения определяют долю льда в ячейке и осредненную толщину льда. Изменение количества льда в модели определяется всегда соотношением потоков атмосферного тепла в океанский лед и изо льда в океан. Значение температуры верхнего слоя льда определяется диагностическим уравнением.

Характеристики атмосферы (температура, влажность, осадки) вычисляются в модели баланса влаги и тепловой энергии. В модели формулируется осредненное по высоте уравнение для температуры воздуха, соответствующее балансу падающего и излученного радиационных потоков, явных (вихревых) обменов потоками тепла с поверхностью суши или океана, выделения латентного тепла из-за дождей или снега и приближенного описания горизонтального переноса тепла и водяного пара. Значения источников в уравнении транспорта для удельной влажности связаны с выпадением осадков, испарением и сублимацией с поверхности [3]. В уравнениях для температуры и удельной влажности учитывается гидродинамический (турбулентный) перенос этих субстанций с ветром, однако его значения в модели не определяются, и должны быть заданы извне. В работе предлагается процедура для исправления этого недостатка.

Считается, что осадки попадают прямо в океан, присутствует или нет морской лед, а испаренная или сублимированная влага исключается из океана или льда соответственно. В задании модели океана в приближении «твердой крышки», применяемом здесь, океан представляется как неисчерпаемый источник пресной воды для льда в океане и воздуха.

Все элементы климатической системы, представленные в модели, могут обмениваться импульсом, теплом и влагой. В комплексной модели применена равномерная по долготе и синусу широты конечно - разностная сетка размером 72 × 72 ячейки с реальным расположением и формой материков [4]. По глубине океан разбит на 8 уровней в виде

логарифмической шкалы до 5000 м, аппроксимирующей реальное распределение. Толщина слоев увеличивается с глубиной.

Описание модели атмосферы и основные результаты

Для описания атмосферы, как было указано выше, используется двумерная модель, определяющая зависимость характеристик атмосферы от широты, долготы и изменение во времени. В модели решается осредненное по высоте уравнение для температуры воздуха T_a, учитывающее баланс Q_{ta} солнечного и теплового радиационных потоков, явных (вихревых) потоков тепла с поверхности суши, океана, морского льда, высвобождения латентного тепла вследствие осадков и описания горизонтальных процессов переноса. Члены с источниками в уравнении транспорта и баланса для удельной влажности q_a определяются осадками P, испарением и сублимацией E с поверхности. Таким образом, уравнения для баланса тепла (связанного с температурой атмосферы) и удельной влажности атмосферы (на единицу площади) имеют следующий вид:

$$\rho_a h_t C_{pa}\left(\frac{\partial T_a}{\partial t} + \nabla(\bar{u}T_a) - \nabla(\nu\nabla T_a)\right) = Q_{ta}, \tag{1}$$

$$\rho_a h_q\left(\frac{\partial q_a}{\partial t} + \nabla(\bar{u}q_a) - \nabla(k\nabla q_a)\right) = \rho_0(E - P), \tag{2}$$

где h_t и h_q - высоты атмосферных пограничных слоев для температуры (8,4 км) и влажности (1,8 км) соответственно; ν и κ - коэффициенты турбулентной диффузии для тех же величин; ρ_a и ρ_0 - плотности воздуха и воды; C_{pa} - удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении; $\bar{u} = (U, V)$ - вектор горизонтального ветра (зональная и меридиональная компоненты), t - время.

Двумерное поле скоростей ветра в этой модели атмосферы исходно задается из среднемесячных данных наблюдений. Это означает, что оно не меняется при изменении состояния или параметров климатической системы. Как вариант устранения этого недостатка, здесь вводится процедура определения поля скоростей ветра по полю приземной температуры атмосферы на основе геострофического подхода, учета термальной составляющей ветра и учета механизма трения о подстилающую поверхность. Это позволяет качественно верно описывать поле скоростей ветра в зависимости от характеристик климатической системы.

Для расчета скоростей ветра используем два геострофических соотношения и уравнения гидростатики и состояния идеального газа [5]:

$$-2\Omega\sin\theta V = -\frac{1}{\rho r\cos\theta}\frac{\partial p}{\partial\varphi} - \lambda U$$

$$2\Omega\sin\theta U = -\frac{1}{\rho r}\frac{\partial p}{\partial\theta} - \tilde{\lambda}V$$

$$\frac{\partial p}{\partial r} = -\rho g$$

$$p = \rho RT$$

где Ω – угловая скорость вращения Земли, θ – широта, ρ – плотность воздуха, φ – долгота, p – давление, g – ускорение свободного падения, R – универсальная газовая постоянная, T – температура воздуха. Коэффициенты λ и $\tilde{\lambda}$ характеризуют дополнительно введенные процессы трения о подстилающую поверхность, позволяют использовать геострофические соотношения вблизи экватора и подбираются эмпирически. Выразим из уравнения состояния плотность ρ, подставим его в остальные уравнения системы, продифференцируем уравнения для U и V по r.

После интегрирования двух этих уравнений по толщине пограничного слоя атмосферы H, для стандартной устойчиво стратифицированной атмосферы, и учитывая, что у поверхности земли скорости ветра равны нулю, получим для средних по пограничному слою компонент скоростей окончательные выражения U_H и V_H:

$$V_H = \frac{gH}{rT_a(4\Omega^2 s^2 + \lambda\tilde{\lambda})}\left(\frac{2\Omega s}{c}\frac{\partial T_a}{\partial\phi} - c\lambda\frac{\partial T_a}{\partial s}\right)$$

$$U_H = \frac{-gH}{rT_a(4\Omega^2 s^2 + \lambda\tilde{\lambda})}\left(\frac{\tilde{\lambda}}{c}\frac{\partial T_a}{\partial\phi} + 2\Omega sc\frac{\partial T_a}{\partial s}\right)$$

где $s = \sin\theta$, $c = \cos\theta$.

На рисунке 1 показаны рассчитанные в рамках совместной модели скорости ветра для января месяца в приземном слое толщиной 1000 м. Отметим наличие интенсивного западного потока в средних широтах и восточных пассатов в экваториальной области.

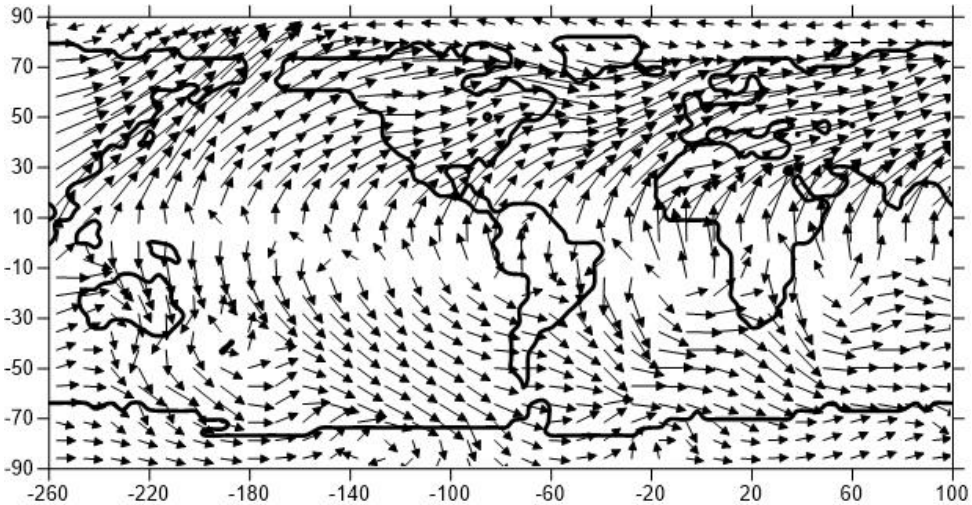


Рис. 1 – Глобальное поле скорости ветра в слое атмосферы толщиной 1000 м для января месяца
Примечание: максимальное значение соответствует 4,9 м/с

Учет ветра в расчетах приводит к изменению поля температуры атмосферы. Направленные к полюсам потоки вызывают повышение температуры в средних широтах и охлаждение в низких широтах в пределах нескольких градусов [6].

По комплексу моделей проведены расчеты прогнозирования климата до 2100 года на основе сценария РТК8.5 довольно сильного роста CO_2 (концентрация 860 ppm в 2100 г.), предложенном Межправительственной группой экспертов по изменению климата [7] и соответствующему прогнозу экстенсивного развития мировой энергетики. Для него средняя глобальная температура приземного воздуха к концу 21 века выросла на 2.7^{O}C, влажность атмосферы – на 11.5%, толщина морского льда уменьшилась - на 25%. Рост приповерхностной температуры воздуха больше над материками, в средних и высоких широтах, достигая величины 5.2^{O}C на севере Евразии (см. рисунок 2). В южном полушарии потепление не более 2^{O}C [8]. Эти результаты, конечно, нельзя рассматривать как абсолютно достоверный прогноз в силу ограниченности сценария, модели и большого периода прогноза.

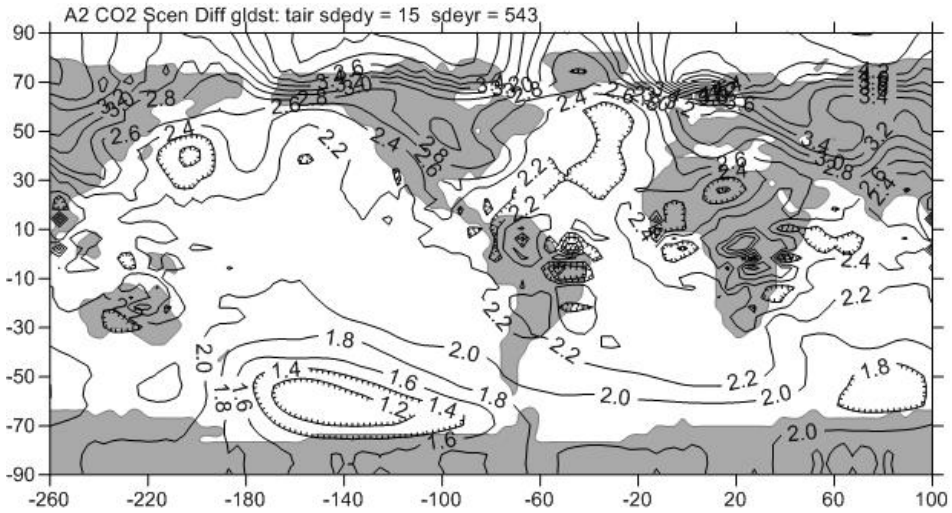


Рис. 2 – Изменение температуры (°C) атмосферы для января, сценарий РТК8.5 повышения CO_2

Заключение

Описанная процедура позволяет достаточно адекватно описывать поле скоростей ветра в зависимости от состояния климатической системы. Это значительно расширяет возможности применения климатической модели для прогнозирования изменений, для палео реконструкций климата или для исследования климатических режимов, значительно отличающихся от современного [9], [10]. Это продемонстрировано в численном эксперименте прогнозирования климата, как одного из возможных вариантов развития ситуации, при увеличении концентрации CO_2 в соответствии со сценарием РТК8.5 [7].

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Пархоменко В.П. Глобальная модель климата с описанием термохалинной циркуляции Мирового океана / В.П. Пархоменко // Математическое моделирование и численные методы, - 2015. - № 1. – С. 94–108.

2. Marsh R. Development of a fast climate model (C-GOLDSTEIN) for Earth System Science / R. Marsh, N.R. Edwards, J.G. Shepherd // SOC. – 2002. – No.83. – 54 P.

3. Кочергин В.П. Теория и методы расчета океанических течений / В.П. Кочергин. М., Наука. – 1978 - 128 с.

4. Пархоменко В. П. Применение глобальных климатических моделей для исследования климата Земли / В. П. Пархоменко // Труды Института системного анализа Российской академии наук (Труды ИСА РАН). – 2018. – Т. 68, №2. – С. 38–41.

5. Педлоски Дж. Геофизическая гидродинамика, том1 / Дж. Педлоски. - М.: Мир, 1984. - 398 с.

6. Parkhomenko V.P. Modeling of global and regional climate response to solar radiation management / V.P. Parkhomenko // IOP Journal of Physics: Conference Series. – 2018 – V.1141, 012057. – P. 1-5. DOI:10.1088/1742-6596/1141/1/012057

7. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 p.

8. Пархоменко В.П. Моделирование стабилизации глобального климата управляемыми выбросами стратосферного аэрозоля / В.П. Пархоменко // Математическое моделирование и численные методы, 2014, выпуск 2, 115–126.

9. Пархоменко В.П. Моделирование климатических последствий падения крупного астероида 66 млн лет назад. / В.П. Пархоменко // Математическое моделирование и численные методы. – 2019. – № 2. – С. 68 – 83.

10. Edwards N. R. Uncertainties due to transport-parameter sensitivity in an efficient 3-D ocean-climate model / N. R. Edwards, R. Marsh // Climate Dynamics. – 2005. – V.24. – P. 415-433.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Parkhomenko V.P. Global'naja model' klimata s opisaniem termohalinnoj cirkuljacii Mirovogo okeana [A global climate model describing the thermohaline circulation of the World Ocean.] / V.P. Parkhomenko // Matematicheskoe modelirovanie i chislennye metody [Mathematical modeling and numerical methods] - 2015. - № 1. – P. 94–108. [in Russian]

2. Marsh R. Development of a fast climate model (C-GOLDSTEIN) for Earth System Science / R. Marsh, N.R. Edwards, J.G. Shepherd // SOC. – 2002. – No.83. – 54 P.

3. Kochergin V.P. Teorija i metody rascheta okeanicheskih techenij [Theory and methods of ocean flows calculations] / V.P. Kochergin M., Nauka. – 1978 - 128 p. [in Russian]

4. Parkhomenko V.P. Primenenie globalnyh klimaticheskih modelej dlia issledovania klimata Zemli [The application of global climate models for the Earth climate study] / V.P. Parkhomenko // Trudy instituta systemnogo analiza Rossijskoj Akademii Nauk [Proceeding of the Institute for Systems Analysis of the Russian Academy of Science] – 2018. – V. 68, №2. – P. 38–41. [in Russian]

5. Pedlosky J. Geophysical Fluid Dynamics. Springer Science & Business Media, 2012 626 p. DOI: 10.1007/978-1-4612-4650-3

6. Parkhomenko V.P. Modeling of global and regional climate response to solar radiation management / V.P. Parkhomenko // IOP Journal of Physics: Conference Series. – 2018 – V.1141, 012057. – P. 1-5. DOI:10.1088/1742-6596/1141/1/012057

7. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 p.

8. Parkhomenko V.P. Modelirovanie stabilizacii global'nogo klimata upravljaemymi vybrosami stratosfernogo ajerozolja [Modeling of global climate stabilization by controlled stratospheric aerosol emissions] / V.P. Parkhomenko // Matematicheskoe modelirovanie i chislennye metody [Mathematical modeling and numerical methods] 2014, № 2, P. 115–126. [in Russian]

9. Parkhomenko V.P. Modelirovanie klimaticheskih posledstvij padenija krupnogo asteroida 66 mln let nazad [The climatic consequences modeling of the large asteroid impact 66 million years ago] / V.P. Parkhomenko //Matematicheskoe modelirovanie i chislennye metody [Mathematical modeling and numerical methods – 2019. – № 2. – P. 68 – 83. [in Russian]

10. Edwards N. R. Uncertainties due to transport-parameter sensitivity in an efficient 3-D ocean-climate model / N. R. Edwards, R. Marsh // Climate Dynamics. – 2005. – V.24. – P. 415-433.