

№ 7 (109) ▪ 2021

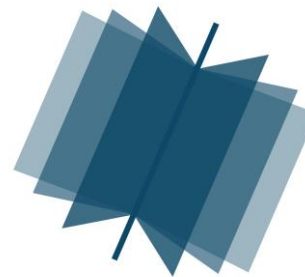
Часть 1 ▪ Июль

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ЖУРНАЛ**

INTERNATIONAL RESEARCH JOURNAL

ISSN 2227-6017 ONLINE

Екатеринбург
2021



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+

**№ 7 (109) 2021
Часть 1
Июль**

Дата выхода 19.07.2021
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);
Лукиянова М.И. д-р пед. наук, Ульяновский государственный педагогический университет им. И.Н. Ульянова (Ульяновск, Россия);
Ходакова Н.П. д-р пед. наук, проф., Московский городской педагогический университет (Москва, Россия).

Психологические науки:

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

Физико-математические науки:

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

Географические науки:

Умывакин В.М. д-р геогр. наук, к.техн.н. проф., Военный авиационный инженерный университет (Воронеж, Россия);
Брылеев 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:

Буланын 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);
Ерғашев Е.Р. д-р юрид. наук, проф., Уральский государственный юридический университет (Екатеринбург, Россия).

Сельскохозяйственные науки:

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

Социологические науки:

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

Химические науки:

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

Науки о Земле:

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

Экономические науки:

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

Политические науки:

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

Фармацевтические науки:

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

ОГЛАВЛЕНИЕ

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHYSICS AND MATHEMATICS

Гаркавенко Г.В., Ускова Н.Б. ОБ УСЛОВИЯХ ДИАГНОСТИЗУЕМОСТИ ВОЗМУЩЕННОГО РАЗНОСТНОГО ОПЕРАТОРА В НЕКОТОРЫХ ПРОСТРАНСТВАХ	6
Гончарова А.Б., Зимина Е.И., Колпак Е.П. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕЛАНОМЫ.....	15
Zhukov N.D., Yagudin I.T. FEATURES OF MULTICRYSTALLINE TRANSPORT OF ELECTRONS OF COLLOIDAL QUANTUM POINTS OF InSb AND PbS	22
Жуков Н.Д., Штыков С.Н., Гавриков М.В., Лазарев С.А., Цветкова О.Ю. ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНО-ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОЛЛОИДНЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК УЗКОЗОННЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ МЕТОДАМИ ЭЛЕКТРОННОЙ И СКАНИРУЮЩЕЙ ЗОНДОВОЙ МИКРОСКОПИИ.....	26
Кисон В.Э., Мустафаев А.С., Сухомлинов В.С. ТЕПЛООБМЕН МЕЖДУ СТРУЕЙ ПЛАЗМОТРОНА И НАГРЕВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ РАСПЛАВА ГЛИНОЗЕМА ДЛЯ АЗОТА, АРГОНА И ВОДОРОДА	35
Сидоров А.В., Зайцев А.А., Кузнецов Д.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭДС В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ.....	42

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING

Буренко Е.А. РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ ДИОДНОГО СИНХРОННОГО АМПЛИТУДНОГО ДЕТЕКТОРА С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО И СХЕМОТЕХНИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	48
Емелина В.В., Кененбай Ш.Ы. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ МЯСНОГО РУБЛЕННОГО ПОЛУФАБРИКАТА С ДОБАВЛЕНИЕМ СОЕВОГО ТЕКСТУРАТА ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ФАСТ ФУД	69
Еремин Р.Н., Матыльский Б.Э. ГРАФИТОВЫЕ АНОДЫ В ЭЛЕКТРОЛИЗЕ МАГНИЯ	73
Игнатова А.А., Фединашина Е.Ю., Елисеева С.А. ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МУЧНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ С ОВОЩНЫМИ ДОБАВКАМИ	79
Косова Е.В., Андросова Г.М. РАЗРАБОТКА КЛАССИФИКАЦИИ ИЗДЕЛИЙ БЮСТГАЛЬТЕРНОЙ ГРУППЫ	83
Ларионова М.А., Бабешко В.Н. ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	89
Полякова И.С., Хисамов Ф.Г. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ИНФЛЯЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ И ЦЕНООБРАЗОВАНИЯ В ПУСКОНАЛАДОЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	93
Руднев С.Д., Крикун А.И., Феоктистова В.В., Крюк Р.В., Иванов В.В. ОБ ИЗМЕНЕНИИ СВОЙСТВ МЕХАНОАКТИВИРОВАННЫХ ВОДНЫХ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ.....	96
Синельников И.А. АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ МНОГОСТАДИЙНОГО ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАЗРЫВА ПЛАСТА НА НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ	102
Скрипко О.В. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ БЕЛКОВЫХ ЖЕЛИРОВАННЫХ ДЕСЕРТОВ ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПИТАНИЯ	107
Юдина Т.А., Зиякаева, А.Р., Кандроков Р.Х. ВЛИЯНИЕ ФЕРМЕНТНЫХ ПРЕПАРАТОВ НА КАЧЕСТВО ФОРМОВОГО ХЛЕБА, ПРИГОТОВЛЕННОГО ИЗ ПШЕНИЧНО-ТРИТИКАЛЕВОЙ МУКИ В СООТНОШЕНИИ 50:50	111

АРХИТЕКТУРА / ARCHITECTURE

Анфимова Е.Б., Новикова Я.В. ВОЗМОЖНОСТИ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ АРХИТЕКТУРЫ И ДИЗАЙНА В ПРОЦЕССЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ	118
---	-----

Наумкин Г.И. ЗНАЧЕНИЕ В. И. СТЕПАНОВА В ФОРМИРОВАНИИ АРХИТЕКТУРЫ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ШКОЛЫ	124
---	-----

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ / AGRICULTURAL SCIENCES

Белов Л.А., Воробьева М.В., Залесов С.В. ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ДРЕВОСТОЕВ НА НАКОПЛЕНИЕ СНЕГА В УСЛОВИЯХ ПОДЗОНЫ ЮЖНОЙ ТАЙГИ УРАЛА	128
Воробьева М.В., Жигулин Е.В., Залесов С.В., Коростелева М.В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОСНЫ СИБИРСКОЙ (<i>PINUS SIBIRICA</i> DU TOUR.) В ОЗЕЛЕНЕНИИ Г. ЕКАТЕРИНБУРГА.....	132
Скамарохова А.С., Юрина Н.А., Гнеуш А.Н. БИОУДОБРЕНИЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УРОЖАЙНОСТИ ЗЕЛЕННОЙ МАССЫ ВИКО-ПШЕНИЧНОЙ ТРАВОСМЕСИ	137
Тыщенко В.И., Терлецкий В.П. <i>ONCORHYNCHUS MYKISS</i> В АКВАКУЛЬТУРЕ: БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗВЕДЕНИЯ И СЕЛЕКЦИИ	141

ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ / GEOLOGY AND MINERALOGY

Алешина А.Р. ВЛИЯНИЕ ИНСОЛЯЦИИ НА БИОДОСТУПНОСТЬ РАСТВОРЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА И СВЯЗАННЫХ С НИМ МЕТАЛЛОВ В ВОДЕ РЕКИ СЕНЬГА	145
--	-----

НАУКИ О ЗЕМЛЕ / SCIENCE ABOUT THE EARTH

Куделина И.В. ВЛИЯНИЕ РАЗРАБОТКИ ВАХИТОВСКОГО НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НА ПОДЗЕМНУЮ ГИДРОСФЕРУ ОРЕНБУРЖЬЯ.....	150
Леонтьева Т.В. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ВОСТОЧНОГО ОРЕНБУРЖЬЯ	154

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ / CHEMISTRY

Вилкова Н.Г., Мишина С. И., Агафонова Е.С., Гришина С.С. АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ АДсорбции ДЛИННОЦЕПОЧЕЧНЫХ ПАВ НА ИЗМЕНЕНИЕ КРАЕВОГО УГЛА СМАЧИВАНИЯ ТВЕРДЫХ ПОДЛОЖЕК	157
Кораблев Г.А. S-КРИВЫЕ И ЭНТРОПИЙНЫЕ УСЛОВИЯ СТАБИЛИЗАЦИИ СИСТЕМ.....	160
Кузнецова Н.С., Макарова К.А. СИНТЕЗ И ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ГИДРОЗОЛЕЙ ОКСИДА ЦИНКА.....	167

ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHARMACEUTICS

Бережная Е.С., Брижак З.И. ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЕ КОНСУЛЬТИРОВАНИЕ КАК ЭЛЕМЕНТ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ	171
Лысенко Т.А., Арлыт А.В., Зацепина Е.Е. ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ ПРОИЗВОДНЫХ БЕНЗИМИДАЗОЛА НА ПОКАЗАТЕЛИ СИСТЕМНОЙ ГЕМОДИНАМИКИ И СОКРАТИМОСТЬ МИОКАРДА У БОДРСТВУЮЩИХ КРЫС В УСЛОВИЯХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИШЕМИЧЕСКОГО ИНСУЛЬТА	176

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.109.7.002>ОБ УСЛОВИЯХ ДИАГОНАЛИЗУЕМОСТИ ВОЗМУЩЕННОГО РАЗНОСТНОГО ОПЕРАТОРА
В НЕКОТОРЫХ ПРОСТРАНСТВАХ

Научная статья

Гаркавенко Г.В.^{1,*}, Ускова Н.Б.²¹ ORCID: 0000-0002-5220-5775;² ORCID: 0000-0002-9212-8786;¹ Воронежский государственный педагогический университет, Воронеж, Россия;² Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия

* Корреспондирующий автор (g.garkavenko[at]mail.ru)

Аннотация

В работе, с применением метода подобных операторов, получены условия приведения матрицы разностного оператора вида $(Ax)(n) = anx(n) - c_1(n)x(n-1) - c_2(n)x(n+1)$ к диагональному или блочно-диагональному виду в стандартном базисе пространства ℓ_2 и оценены его спектральные характеристики. В работе приводятся основные определения используемого метода. В соответствии с методом подобных операторов оператор A представляется в виде $A = A_0 - B$, где матрица оператор A_0 имеет диагональную структуру, а B – оператор возмущения. Рассматриваются условия на оператор возмущения B в случаях, когда этот оператор принадлежит трем различным пространствам. Также получены асимптотическое представление собственных значений, оценки собственных векторов и элементов матриц спектральных проекторов.

Ключевые слова: метод подобных операторов, разностный оператор, собственные значения, спектральные проекторы.

ON THE DIAGONALIZABILITY CONDITIONS OF A PERTURBED DIFFERENCE OPERATOR
IN SOME SPACES

Research article

Garkavenko G.V.^{1,*}, Uskova N.B.²¹ ORCID: 0000-0002-5220-5775;² ORCID: 0000-0002-9212-8786;¹ Voronezh State Pedagogical University, Voronezh, Russia;² Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

* Corresponding author (g.garkavenko[at]mail.ru)

Abstract

The current paper uses the method of similar operators to obtain the conditions for reducing the matrix of a difference operator of the form $(Ax)(n) = anx(n) - c_1(n)x(n-1) - c_2(n)x(n+1)$ to a diagonal or block-diagonal form in the standard basis of space ℓ_2 and estimates its spectral characteristics. The paper presents the main definitions of the method used. In accordance with the method of such operators, the operator A is represented in the form $A = A_0 - B$ where the matrix operator A_0 has a diagonal structure, and B is the perturbation operator. The conditions for the perturbation operator B are considered in cases when this operator belongs to three different spaces. The asymptotic representation of eigenvalues, estimates of eigenvectors, and elements of matrices of spectral projectors are also obtained.

Keywords: method of similar operators, difference operator, eigenvalues, spectral projectors.

Введение

Как обычно, символом \mathbb{Z} далее обозначена группа целых чисел, \mathbb{N} множество натуральных чисел, $\mathbb{Z}_+ = \mathbb{N} \cup \{0\}$. Далее символом H обозначено гильбертово пространство, $B(H)$ – банахова алгебра (C^* -алгебра), всех ограниченных линейных операторов, действующих в H . Норма в $B(H)$ определяется формулой $\|X\| = \sup_{\|x\| \leq 1} \|Xx\|$, $X \in B(H)$, $x \in H$. Так же в статье используются стандартные обозначения $\sigma_2(H)$ и свойства двустороннего идеала операторов Гильберта-Шмидта $\sigma_2(H) \subset B(H)$ из [1]. Норма в $\sigma_2(H)$ определяется формулой $\|X\|_2 = (tr(XX^*))^{1/2}$. Здесь $tr(XX^*)$ след оператора XX^* , принадлежащего двустороннему идеалу $\sigma_1(H)$ ядерных операторов из $B(H)$ с нормой $\|X\|_1 = tr(XX^*) = \sum_{n=1}^{\infty} s_n$, где s_n – последовательность s-чисел оператора X . Формула $(X, Y) = tr(XY^*)$ определяет скалярное произведение в $\sigma_2(H)$.

Пусть $\{Q_n, n \in \mathbb{Z}\}$ – система ортопроекторов из $B(H)$, образующая разложение единицы, то есть обладающая

свойствами: 1) $Q_n Q_m = Q_m Q_n = 0$ при $n \neq m$; 2) $\sum_{n=0}^{\infty} Q_n x = x$ для любого $x \in H$. Тогда в $\sigma_2(H)$ можно ввести эквивалентную норму по формуле $\|X\|_2^2 = \sum_{i,j \in \mathbb{Z}} \|P_i X P_j\|_2^2$.

Введем в рассмотрение гильбертово пространство $\ell_2 = \ell_2(\mathbb{Z})$ суммируемых с квадратом модуля комплексных последовательностей $x: \mathbb{Z} \rightarrow \mathbb{C}$. Скалярное произведение в ℓ_2 задается формулой $(x, y) = \sum_{n \in \mathbb{Z}} x(n) \overline{y(n)}$, $x, y: \mathbb{Z} \rightarrow \mathbb{C}$, и норма, порождаемая этим скалярным произведением, имеет вид $\|x\|_2 = \left(\sum_{n \in \mathbb{Z}} |x(n)|^2 \right)^{1/2}$. Векторы $e_k, k \in \mathbb{Z}$, такие, что $e_k(n) = \delta_{nk}, k, n \in \mathbb{Z}$, δ_{nk} – символ Кронекера, образуют безусловный ортонормированный базис в ℓ_2 .

В пространстве ℓ_2 рассмотрим оператор $A: D(A) \subset \ell_2 \rightarrow \ell_2$, действующий по формуле

$$(Ax)(n) = anx(n) - c_1(n)x(n-1) - c_2(n)x(n+1),$$

где $a \in \mathbb{C}$, и последовательности $c_1: \mathbb{Z} \rightarrow \mathbb{C}$ и $c_2: \mathbb{Z} \rightarrow \mathbb{C}$ суммируемы с квадратом.

В статье описываются условия приведения оператора A к диагональному (блочно-диагональному) виду в стандартном базисе пространства ℓ_2 и оценены его спектральные характеристики. Проблема диагонализуемости матриц важна при решении операторных уравнений.

Пусть рассматривается уравнение $Ex = f$, если при этом матрица оператора E диагональна, то уравнение легко решается. В численных методах (см. например [2], [3]) для матриц конечной размерности одним из способов решения систем линейных алгебраических уравнений является приведение матрицы системы к диагональному виду. Отметим, что рассматриваемые операторы имеют бесконечные матрицы. Также заметим, что проблема диагонализации некоторых классов операторов обсуждалась в работах разных авторов, например, [4], [5], [6].

Оценка спектральных характеристик бесконечных матриц, и, в частности, собственных значений, также важна. В приложении к бесконечным трехдиагональным матрицам она рассматривалась в [7], [8], [9], [10], там же можно найти примеры применения полученных оценок. Отметим, что наш разностный оператор отличается от примеров из цитируемых выше работ. Более того, в [7] исследования проводились тем же методом, что и в данной работе, а в [8], [10] собственные значения бесконечных матриц приближались последовательностью собственных значений усеченных (конечных) матриц.

Для получения условий диагонализуемости рассматриваемого оператора применялся метод подобных операторов из работ [11], [15].

Рассматриваемый оператор представляет интерес в рамках исследования применимости метода подобных операторов. По нему строятся различные допустимые тройки (см. определение 2) и, соответственно, получается несколько условий, при выполнении которых возможна диагонализация (блочная диагонализация).

Отметим, что спектральные характеристики трехдиагональных матриц, соответствующих разностным операторам второго порядка с растущим потенциалом, исследовались в работах [16], [19], [21]. В данной работе, в отличие от работ [16], [19], [21], диагональные элементы «не разбегаются». Поэтому доказательства основных результатов из работ, цитируемых выше, в данном случае не проходят и при применении метода подобных операторов возникают определенные сложности. В [20], [21] к разностным операторам второго порядка с растущим потенциалом применяется теория расщепления линейных операторов. Важно также отметить, что для разностных операторов из [16], [19], [21] строились другие, отличные от конструируемых в данной работе, допустимые тройки или применялось предварительное преобразование подобия, чего нет в данном исследовании.

Методы и принципы исследования

Метод исследования оператора A – метод подобных операторов, имеет множество различных модификаций, что позволяет лучше учитывать специфические свойства изучаемого оператора и, в зависимости от этого, уточнять общие оценки. Мы будем использовать, в основном, модификацию, первоначально предложенную в [13] и окончательно оформившуюся в [22], [23]. Причем в [22] рассматривается более общий вариант этой модификации, а в [23] более конкретный, под который подходит оператор A . Также мы используем модификацию метода подобных операторов из [24], [25], связанную с оценкой элементов последовательностей $c_1(n)$ и $c_2(n)$ и приводящую к использованию интересного весового пространства операторов.

Отметим, что модификация метода подобных операторов из [22], [23], являющаяся основой данной работы, изначально разрабатывалась и использовалась в исследовании спектральных свойств возмущенных дифференциальных операторов первого порядка, в частности, оператора с инволюцией ([27], [32]), особенно популярного в последнее время в работах разных авторов, см., например, [33], [34], [35] и ссылки в них. Другие примеры применения указанной модификации метода подобных операторов, не связанные с операторами с инволюцией, можно посмотреть в [36].

О методе подобных операторов

В этом параграфе мы приведем некоторые определения и теоремы (без доказательства) метода подобных операторов, при этом мы будем опираться на работы [22], [23].

Определение 1. Два линейных оператора $A_i : D(A_i) \subset H \rightarrow H, i=1,2$ называются подобными, если существует такой непрерывно обратимый оператор $U \in B(H)$, что

$$UD(A_2) = D(A_1), A_1 Ux = UA_2 x, x \in D(A_2).$$

Оператор U называется оператором преобразования оператора A_1 в оператор A_2 .

Подобные операторы интересны тем, что, зная спектральные свойства одного оператора, мы знаем и спектральные свойства другого. Например, их спектры совпадают.

Далее в этом параграфе через $\mathbf{A} : D(\mathbf{A}) \subset H \rightarrow H$ обозначен линейный замкнутый оператор, имеющий спектр $\sigma(\mathbf{A})$ и непустое резольвентное множество $\rho(\mathbf{A})$. Оператор \mathbf{A} далее играет роль невозмущенного оператора с известными спектральными свойствами. Возмущим оператор \mathbf{A} оператором $\mathbf{B} \in \sigma_2(H)$ и рассмотрим возмущенный оператор $\mathbf{A} - \mathbf{B}$.

Для осуществления преобразования подобия необходимо выполнение ряда условий.

Определение 2. Пусть $\mathfrak{R} \subset \sigma_2(H)$ банахово пространство со своей нормой $\|\cdot\|_*$ и $J : \mathfrak{R} \rightarrow \mathfrak{R}, \Gamma : \mathfrak{R} \rightarrow B(H), J, \Gamma \in B(H)$ - трансформаторы (т. е. линейные операторы, действующие в пространстве операторов). Тройку $(\mathfrak{R}, J, \Gamma)$ назовем допустимой тройкой для оператора \mathbf{A} , а \mathfrak{R} - допустимым пространством возмущений, если выполнены следующие условия:

- 1) J и Γ непрерывные трансформаторы, причем J - проектор и $J^2 = J$;
- 2) $(\Gamma X)D(\mathbf{A}) \subset D(\mathbf{A})$ и имеют место равенства $\mathbf{A}\Gamma X - (\Gamma X)\mathbf{A} = X - JX$, для любого $X \in \mathfrak{R}$, выполняемые на векторах из $D(\mathbf{A})$, причем $Y = \Gamma X$ единственное решение уравнения $\mathbf{A}Y - Y\mathbf{A} = X - JX$, удовлетворяющее условию $JY = 0$;
- 3) $X\Gamma Y, (\Gamma X)Y \in \mathfrak{R}$, для любых $X, Y \in \mathfrak{R}$ и существует такая постоянная $\gamma > 0$, что $\|\Gamma\| \leq \gamma$ и $\max\{\|X\Gamma Y\|_*, \|(\Gamma X)Y\|_*\} \leq \gamma\|X\|_*\|Y\|_*$, для любых $X, Y \in \mathfrak{R}$;
- 4) $J((\Gamma X)JY) = 0$ для всех $X, Y \in \mathfrak{R}$;
- 5) для любых $X \in \mathfrak{R}$ и $\varepsilon > 0$, можно указать число $\lambda_\varepsilon \in \rho(\mathbf{A})$, такое, что $\|X(\mathbf{A} - \lambda_\varepsilon I)^{-1}\| < \varepsilon$, где I - тождественный оператор.

Отметим, что для одного невозмущенного оператора можно построить несколько разных допустимых троек. Мы построим три допустимые тройки.

Пусть $(\mathfrak{R}, J, \Gamma)$ некоторая допустимая тройка для невозмущенного оператора \mathbf{A} , будем искать оператор преобразования оператора $\mathbf{A} - \mathbf{B}$, $\mathbf{B} \in \mathfrak{R}$, в оператор $\mathbf{A} - JX$, $X \in \mathfrak{R}$, имеющий по сравнению с $\mathbf{A} - \mathbf{B}$, более простую структуру, в виде $U = I + \Gamma X$.

Теорема 1. Пусть $(\mathfrak{R}, J, \Gamma)$ допустимая для оператора \mathbf{A} тройка и выполнено условие

$$4\gamma\|\mathbf{B}\|_*\|J\| < 1 \quad (1)$$

Тогда оператор $\mathbf{A} - \mathbf{B}$ подобен оператору $\mathbf{A} - JX_*$, т.е. имеет место равенство

$$(\mathbf{A} - \mathbf{B})(I + \Gamma X_*) = (I + \Gamma X_*)(\mathbf{A} - JX_*) \quad (2)$$

где $X_* \in \mathfrak{R}$ решение нелинейного операторного уравнения

$$X = \mathbf{B}\Gamma X - (\Gamma X)J\mathbf{B} - (\Gamma X)J(\mathbf{B}\Gamma X) + \mathbf{B} = \Phi_1(X) \quad (3)$$

Это решение единственно в шаре $\{X \in \mathfrak{R}, \|X - \mathbf{B}\| < 3\|\mathbf{B}\|\}$ и оно может быть найдено методом простых итераций, полагая $X_{n+1} = \Phi_1(X_n), n \geq 0$, и $X_0 = 0$.

Если при этом $J\mathbf{B} = 0$ и выполнено условие

$$3\gamma\|\mathbf{B}\|_*\|J\| < 1 \quad (4)$$

тогда равенство (2) имеет место, если $X_* \in \mathfrak{R}$ есть решение нелинейного операторного уравнения

$$X = \mathbf{B}\Gamma X - (\Gamma X)J(\mathbf{B}\Gamma X) + \mathbf{B} = \Phi_2(X) \quad (5)$$

Оно также может быть найдено методом простых итераций, при $X_{n+1} = \Phi_2(X_n)$, $n \geq 0$, начиная с $X_0 = 0$.

Построение допустимых троек

Представим первоначальный оператор A в виде $A = A_0 - B$, где $A_0 : D(A) \subset \mathbf{H} = \ell_2(\mathbb{Z}) \rightarrow \mathbf{H}$, $(A_0 x)(n) = anx(n)$. Оператор A_0 – это оператор простой структуры, который рассматривается в качестве невозмущенного оператора. Оператор возмущения $B \in \mathbf{B}(\ell_2)$ определяется формулой $(Bx)(n) = c_1(n)x(n-1) + c_2(n)x(n+1)$, $n \in \mathbb{Z}$, и является, во-первых, ограниченным оператором, а во-вторых, оператором из $\sigma_2(\ell_2)$. Спектральные характеристики оператора A_0 известны. А именно, числа вида $\lambda_n = an$, $n \in \mathbb{Z}$ – его простые изолированные собственные значения, соответствующие собственные векторы – векторы стандартного базиса пространства ℓ_2 , спектральные проекторы $P_n = P(\{\lambda_n\}, A_0)$ действуют по формуле $P_n x = x(n)e_n$, $n \in \mathbb{Z}$. Также обозначим $P_{(n)} = \sum_{|i| \leq n} P_i$.

Напомним следующие определения.

Определение 3. Оператор $A : D(A) \subset \mathbf{H} \rightarrow \mathbf{H}$, $\overline{D(A)} = \mathbf{H}$ называется нормальным, если для сопряженного оператора $A^* : D(A^*) \subset \mathbf{H} \rightarrow \mathbf{H}$, $D(A^*) = D(A)$ и $\|Ax\| = \|A^*x\|$, $x \in D(A)$. Оператор $A : D(A) \subset \mathbf{H} \rightarrow \mathbf{H}$ называется самосопряженным, если он нормальный и $Ax = A^*x$, $x \in D(A)$.

Оператор A_0 является нормальным, в общем случае $a \in \mathbb{C}$. Если $a \in \mathbb{R}$, то оператор A_0 является самосопряженным.

Сначала положим $\mathfrak{R} = \sigma_2(\mathbf{H})$. Очевидно, что $\|B\|_2^2 = \sum_{i \in \mathbb{Z}} (|c_1(i)|^2 + |c_2(i)|^2)$. Поэтому к разностному оператору

$A = A_0 - B$ можно применить все выкладки из [22], [23], что мы и сделаем ниже.

Трансформаторы $J, \Gamma \in \mathbf{B}(\sigma_2(\ell_2))$ и $J_k, \Gamma_k \in \mathbf{B}(\sigma_2(\ell_2))$, $k \in \mathbb{Z}_+$, определяются для оператора $X \in \sigma_2(\mathbf{H})$, имеющего матрицу $X \sim (x_{ij})$, $i, j \in \mathbb{Z}$, через свои матрицы следующим образом

$$(JX)_{ij} = \begin{cases} x_{ij}, & i = j; \\ 0, & i \neq j; \end{cases} \quad (J_k X)_{ij} = \begin{cases} x_{ij}, & \max\{|i|, |j|\} \leq k; \\ x_{ij}, & i = j, |i| > k, \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases};$$

$$(\Gamma X)_{ij} = \begin{cases} 0, & i = j; \\ \frac{x_{ij}}{a(i-j)}, & i \neq j. \end{cases} \quad (\Gamma_k X)_{ij} = \begin{cases} 0, & \max\{|i|, |j|\} \leq k; \\ 0, & i = j, |i| > k, \\ \frac{x_{ij}}{a(i-j)}, & \text{в противном случае.} \end{cases}.$$

Отметим, что оператор $J \in \mathbf{B}(\sigma_2(\ell_2))$ определяется формулой $JX = J_0 X = \sum_{i \in \mathbb{Z}} P_i X P_i$ и $J_k \in \mathbf{B}(\sigma_2(\ell_2))$, $k \in \mathbb{Z}_+$

формулой $J_k X = \sum_{|i| > k} P_i X P_i + P_{(k)} X P_{(k)}$, $X \in \sigma_2(\ell_2)$, $k \in \mathbb{Z}_+$.

Основные результаты

Из [22] немедленно следует теорема о диагонализации исходного оператора A .

Теорема 2. Пусть выполнено условие

$$3\|B\|_2 < |a|,$$

тогда оператор $A = A_0 - B$ подобен оператору $\tilde{A} = A_0 - \sum_{i \in \mathbb{Z}} P_i X_* P_i$, $X_* \in \sigma_2(\ell_2)$, имеющему диагональную матрицу в пространстве ℓ_2 , и X_* решение нелинейного операторного уравнения (5). Преобразование подобия оператора A в оператор \tilde{A} осуществляет оператор $U = I + \Gamma X_* \in \mathbf{B}(\ell_2)$, где $\Gamma X_* \in \sigma_2(\ell_2)$.

Теперь, следуя работам [22], [23], рассмотрим для ненулевого $X \in \sigma_2(\ell_2)$ двустороннюю последовательность

$$\text{вещественных чисел вида } \alpha_n(X) = \|X\|_2^{-\frac{1}{2}} \max \left\{ \left(\sum_{|k| \geq n, k \in \mathbb{Z}} \|P_k X\|_2^2 \right)^{\frac{1}{4}}, \left(\sum_{|k| \geq n, k \in \mathbb{Z}} \|X P_k\|_2^2 \right)^{\frac{1}{4}} \right\}, \quad n \in \mathbb{Z}.$$

Обозначим $\alpha_n(B) = \alpha_n$. Будем рассматривать некоторое подпространство операторов из $\sigma_2(\ell_2)$, а именно, подпространство операторов $\sigma_{2,\alpha}(\ell_2)$, представимых в виде $X = X_l f(A_0)$, $X = f(A_0) X_r$, где $X_l, X_r \in \sigma_2(\ell_2)$ и $f(A_0) = \sum_{n \in \mathbb{Z}} \alpha_n P_n$. Норма в $\sigma_{2,\alpha}(\ell_2)$ определяется формулой $\|X\|_{2,\alpha} = \max \{\|X_l\|_2, \|X_r\|_2\}$. Сразу же отметим, что так как $\sigma_{2,\alpha}(\ell_2) \subset \sigma_2(\ell_2)$, то трансформаторы $J, \Gamma \in B(\sigma_{2,\alpha}(\ell_2))$. Причем они переводят $\sigma_{2,\alpha}(\ell_2)$ в $\sigma_{2,\alpha}(\ell_2)$.

Из [22], [23] следует теорема о блочной диагонализации оператора A .

Теорема 3. Можно найти такое $k \geq 0$, что оператор $A = A_0 - B$ подобен оператору $\tilde{A} = A_0 - P_{(k)} X P_{(k)} - \sum_{|i| > k} P_i X P_i$

имеющему блочно-диагональную структуру, где $X \in \sigma_{2,\alpha}(\ell_2) \subset \sigma_2(\ell_2)$. При этом оператор $U = I + \Gamma_k X \in B(\ell_2)$ такой, что $U - I \in \sigma_{2,\alpha}(\ell_2) \subset \sigma_2(\ell_2)$ осуществляет преобразование подобия оператора A в оператор \tilde{A} .

Рассмотрим еще одно подпространство операторов $\sigma_2(\ell_2, \alpha, \beta)$ из идеала $\sigma_2(\ell_2)$. Для его описания нам понадобятся две ненулевые последовательности чисел $\alpha = (\alpha_i)$, $\beta = (\beta_i)$ из пространства $\ell_2(\mathbb{Z})$. Оператор $X \in \sigma_2(\ell_2)$ отнесем к $\sigma_2(\ell_2, \alpha, \beta)$, если $|x_{ij}| \leq \text{Const } \alpha_i \beta_j$, для всех $i, j \in \mathbb{Z}$. Такое весовое пространство впервые было рассмотрено в работе [24], затем использовалось в работах [25], [37]. В [24] и [25] приводятся его свойства и показано, что оно является банаховым пространством с нормой $\|X\|_{\alpha\beta} = \inf \text{Const}$. Далее считается выполненным следующее предположение.

Предположение 1. Последовательности $c_1: \mathbb{Z} \rightarrow \mathbb{C}$ и $c_2: \mathbb{Z} \rightarrow \mathbb{C}$ таковы, что $|c_1(n)| \leq \text{Const } \alpha(n) \beta(n-1)$, $|c_2(n)| \leq \text{Const } \alpha(n) \beta(n+1)$ для некоторых ненулевых последовательностей положительных чисел $\alpha: \mathbb{Z} \rightarrow \mathbb{R}_+$, $\beta: \mathbb{Z} \rightarrow \mathbb{R}_+$ из $\ell_2(\mathbb{Z})$.

В этом случае возмущение B принадлежит $\sigma_2(\ell_2, \alpha, \beta)$. Еще раз отметим, что, как и в предыдущем случае, так как $\sigma_2(\ell_2, \alpha, \beta)$ вложено в $\sigma_2(\ell_2)$, то трансформаторы J и Γ уже построены.

Применяя к возмущенному оператору $A_0 - B$ результаты, например из [37, теорема 1], получаем следующую теорему

Теорема 4. Пусть $B \in \sigma_2(\ell_2, \alpha, \beta)$ и выполнено условие

$$3\|B\|_{\alpha\beta} < |a|,$$

тогда оператор $A_0 - B$ подобен оператору $A - JX_*$, имеющему диагональную матрицу, где $X_* \in \sigma_2(\ell_2, \alpha, \beta)$ является решением нелинейного операторного уравнения (5). Преобразование подобия оператора A в оператор $A - JX_*$ осуществляет оператор $I + \Gamma X_* \in B(\ell_2)$, где $\Gamma X_* \in \sigma_2(\ell_2, \alpha, \beta)$.

Теперь поясним, зачем нужна диагонализация (блочная диагонализация) исходного оператора. Например, она необходима для оценки собственных значений и собственных векторов, и не только, мы просто приводим это как пример. Из теоремы 3 о блочной диагонализации немедленно следует

Теорема 5. Собственные значения оператора A имеют асимптотическое представление

$$\lambda_i = ai + \xi_i, |i| > k,$$

где последовательность $\{\xi_i, |i| > k\}$ принадлежит ℓ_1 . Собственные векторы $\tilde{e}_i, |i| > k$ удовлетворяют оценке

$$\|\tilde{e}_i - e_i\| < \xi'_i, |i| > k,$$

где последовательность $\{\xi'_i, |i| > k\}$ принадлежит ℓ_2 , $e_i, i \in \mathbb{Z}$ – стандартный базис в ℓ_2 .

Преобразование подобия в весовых операторных пространствах полезно, например, для оценки матричных элементов спектральных проекторов возмущенных операторов. Из теоремы 4 о диагонализации получается следующий результат.

Теорема 6. Пусть оператор $A_0 - B$ подобен оператору $A - JX_*$. Тогда для спектральных проекторов $\tilde{P}_i = P(\tilde{\lambda}_i, A_0 - B)$, $i \in \mathbb{Z}$ возмущенного оператора $A_0 - B$ имеют место оценки матричных элементов

$$\left\| \left(\tilde{P}_n - P_n \right)_{ij} \right\| \leq cd_{in} \alpha_i \beta_j, \quad n, i, j \in \mathbb{Z}, \text{ где } d_{in} = \text{dist}(\sigma_i, \sigma_n).$$

Заключение

В работе рассмотрен разностный оператор, матрица которого в стандартном базисе пространства ℓ_2 является трехдиагональной. Получены теоремы об условиях диагонализуемости такого оператора в различных пространствах при использовании метода подобных операторов. получены асимптотическое представление собственных значений, оценки собственных векторов и элементов матриц спектральных проекторов.

Финансирование

Работа выполнена при финансовой поддержке
РФФИ (проект № 19-01-00732).

Funding

This article supported in by RFBR grant 19-01-00732.

Список литературы / References

1. Данфорд Н. Линейные операторы. Спектральные операторы / Н. Данфорд, Дж. Т. Шварц. Т.3. – М.: Мир, 1974.
2. Голуб Дж. Матричные вычисления / Дж. Голуб, Ч. Ван Лоун. – М. Мир, 1999 – 548с.
3. Лебедев, В. И. Функциональный анализ и вычислительная математика : учебное пособие. / В. И. Лебедев– 4-е изд., перераб. и доп. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 296 с.
4. Скрынников А.В. О квазинильпотентном варианте метода Фридрихса в теории подобия линейных операторов / А.В. Скрынников // Функци. анализ и его прил. – 1983 – Т. 17. – №3 – С. 89 – 90.
5. Hinkkanen A. On the diagonalization of a certain class of operators / A. Hinkkanen // Michigan Math. J – 1985 32 – p.349 – 359
6. Гаркавенко Г.В. О диагонализации некоторых классов линейных операторов / Г.В. Гаркавенко // изв. вузов. Матем. – 1994. – №11. – С. 14 – 19.
7. Бройтигам И.Н. Асимптотика собственных значений бесконечных блочных матриц / И.Н. Бройтигам, Д.М. Поляков // Уфимский матем. жур. – 2019. – Т. 11. – № 3. – С. 10-29.
8. Malejke M. Asymptotic behaviour and approximation of eigenvalues for unbounded block Jacobi matrices / M. Malejke // Opuscula Mathematica. – 2010. – V. 30. – №3 – P. 311 – 330.
9. Malejke M. Asymptotics of large eigenvalues for some discrete unbounded Jacobi matrices / M. Malejke // Linear Algebra and its Applications. – 2009. – V. 431 – P. 1952 – 1970.
10. Malejke M. Eigenvalue for some complex infinite tridiagonal matrices / M. Malejke // Journal of Advances in Mathematics and Computer Science. – 2018. – V.26. – №5 – P. 1 – 9.
11. Баскаков А. Г. Методы абстрактного гармонического анализа в теории возмущений линейных операторов / А. Г. Баскаков // Сиб. матем. журн. – 1983. – Т. 24 – №1. – С. 21 – 39.
12. Баскаков А. Г. Спектральный анализ возмущенных неквазианалитических и спектральных операторов / А. Г. Баскаков // Изв. РАН. Сер. матем. – 1994. – Т. 58. – №4. – С. 3 – 32.
13. Баскаков А. Г. Метод подобных операторов в спектральном анализе несамосопряженного оператора Дирака с негладким потенциалом / А. Г. Баскаков, А. В. Дербушев, А. О. Щербаков // Известия РАН. Сер. матем. – 2011. – Т. 75, №3. – С. 3–28.
14. Баскаков А.Г. Метод подобных операторов в спектральном анализе оператора Хилла с негладким потенциалом / А.Г. Баскаков, Д.М. Поляков // Матем. сб. – Т. 208 – №1 – 2017 – С. 3–47.
15. Гаркавенко Г.В. О спектральных свойствах одного класса возмущенных операторов / Г.В. Гаркавенко // Итоги науки и техн. Сер. Соврем. мат. и ее прил. Темат. обз. – 2019. – Т. 171. – С. 57–69.
16. Гаркавенко Г.В. Спектральный анализ одного класса разностных операторов с растущим потенциалом / Г. В. Гаркавенко, Н. Б. Ускова // Изв. Саратовского ун-та. Нов. сер. Сер. Математика. Механика. Информатика. – 2016. – Т. 16. – №4 – С. 395-402.
17. Garkavenko G. V. Spectral analysis of a difference operator with a growing potential. / G. V. Garkavenko, A. R. Zgolic, N. B. Uskova // J. Phys.: Conf. Series. – 2018. – V.973. – 012053.
18. Гаркавенко Г. В. Спектральный анализ разностных операторов второго порядка с растущим потенциалом / Г. В. Гаркавенко, Н. Б. Ускова // Таврический вестник информатики и математики. – 2015. – №3(28). – С. 40 – 48.
19. Гаркавенко Г.В. Асимптотика собственных значений разностного оператора с растущим потенциалом и полугруппы операторов / Г. В. Гаркавенко, Н. Б. Ускова // Математическая физика и компьютерное моделирование. – 2017. – Т. 20. – № 4. – С. 6 – 17.
20. Ускова Н.Б. Теорема о расщеплении линейных операторов и асимптотика собственных значений разностных операторов с растущим потенциалом / Н. Б. Ускова, Г. В. Гаркавенко // Сиб. журн. чист. и прикл. матем. — 2018 – Т. 18. – №1. – С. 91 – 106.
21. Garkavenko G.V. Decomposition of linear operators and asymptotic behavior of eigenvalues of differential operators with growing potencial / G. V. Garkavenko, N. B. Uskova // J. of Math. Sciences. – 2020. – V. 246. – № 6 – p.812 – 827.
22. Baskakov A. G. Similarity techniques in the spectral analysis of perturbed operator matrices / A. G. Baskakov, I. A. Krishtal, N.B. Uskova // J. Math. Anal. Appl. – 2019. – V.477. –p. 930–960.

23. Баскаков А. Г. Метод подобных операторов в спектральном анализе операторных бесконечных матриц / А. Г. Баскаков, И. А. Криштал, Н. Б. Ускова // Прикладная математика & Физика. – 2020. – Т. 52. – №2. – С. 71 – 85.
24. Баскаков А. Г. Спектральный анализ относительно конечномерных возмущений спектральных операторов / А. Г. Баскаков // Изв. вузов. Математика. – 1991. – №1. – С. 3 – 11.
25. Ульянова Е. Л. О спектральных свойствах относительно конечномерных возмущений самосопряженных операторов / Е. Л. Ульянова // Известия высших учебных заведений – 1997 – №10 (425) – С. 75 – 78.
26. Garkavenko G. V. Spectral analysis of one class of the integro-differential operators. / G. V. Garkavenko, A. R. Zgolic, N. B. Uskova // J. Phys.: Conf. Series. – 2019. – V.1203. – 012102.
27. Baskakov A. G. Linear differential operator with an involution as a generator of an operator group / A. G. Baskakov, I. A. Krishtal, N. B. Uskova // Operators and Matrices. – 2018. – V. 12. – №3. – P. 723 – 756.
28. Баскаков А. Г. Обобщенный метод Фурье для системы дифференциальных уравнений первого порядка с инволюцией и группы операторов / А. Г. Баскаков, Н. Б. Ускова // Дифференциальные уравнения. – 2018. – Т. 54. – №2. – С. 276 – 280.
29. Баскаков А. Г. Спектральный анализ дифференциальных операторов с инволюцией и группы операторов / А. Г. Баскаков, Н. Б. Ускова // Дифференциальные уравнения. – 2018. – Т. 54. – №9. – С. 1287 – 1291.
30. Баскаков А. Г. Метод подобных операторов в исследовании спектральных свойств возмущенных дифференциальных операторов первого порядка / А. Г. Баскаков, И. А. Криштал, Н. Б. Ускова // Итоги науки и техн. Сер. Современ. мат. и ее прил. Темат. обз. – 2019. – Т. 171. – С. 3 – 18.
31. Баскаков А. Г. Метод Фурье для дифференциальных уравнений первого порядка с инволюцией и группы операторов / А. Г. Баскаков, Н. Б. Ускова // Уфимск. матем. журн. – 2018. – Т. 10. – №3. – С. 11 – 34.
32. Криштал И. А. Спектральные свойства дифференциальных операторов первого порядка с инволюцией и группы операторов / И. А. Криштал, Н. Б. Ускова // Сиб. электрон. матем. изв. – 2019. – Т. 16. – С. 1091 – 1132.
33. Бурлуцкая М. Ш. Классическое и обобщенное решение смешанной задачи для системы уравнений первого порядка с непрерывным потенциалом / М. Ш. Бурлуцкая // Ж. Вычисл. матем. и матем. физ. – 2019. – Т. 59. – №3. – С. 380 – 390.
34. Бурлуцкая М. Ш. Оператор Дирака с потенциалом специального вида и периодическими краевыми условиями / М. Ш. Бурлуцкая, А. П. Хромов // Дифференциальные уравнения – 2018. – Т. 54. – №5. – С. 592 – 601.
35. Бурлуцкая М. Ш. Смешанная задача для системы дифференциальных уравнений первого порядка с непрерывным потенциалом / М. Ш. Бурлуцкая // Известия Саратовского ун-та. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика. – 2016. – Т. 16. – №2. – С. 145 – 151.
36. Баскаков А. Г. Метод подобных операторов в спектральном анализе бесконечных операторных матриц. Примеры I. / А. Г. Баскаков, И. А. Криштал, Н. Б. Ускова // Прикладная математика & Физика. – 2020. – Т. 52. – №3. – С. 185 – 194.
37. Ускова Н. Б. Матричный анализ спектральных проекторов возмущенных самосопряженных операторов / Н. Б. Ускова // Сиб. электрон. матем. изв. – 2019. – Т.16. – С. 369 – 405.

Список литературы на английском языке / References in English*

1. Dunford N. Linejnye operatory. Spektral'nye operatory [Linear operators. Spectral operators] / N. Dunford, J. T. Schwartz. Vol. 3. – M.: Mir, 1974. [in Russian]
2. Golub J. Matrichnye vychisleniya [Matrix calculations] / J. Golub, Ch. Van Lawn – M. Mir, 1999-548 p. [in Russian]
3. Lebedev, V. I. Funkcional'nyj analiz i vychislitel'naja matematika [Functional analysis and computational Mathematics]: a textbook. / V. I.-Lebedev 4th ed., reprint. and additional – Moscow: FIZMATLIT, 2005. – 296 p. [in Russian]
4. Skrynnikov A.V. O kvazini'potentnom variante metoda Fridrihsa v teorii podobija linejnyh operatorov [On the quasinilpotent variant of the Friedrichs method in the similarity theory of linear operators] / A.V. Skrynnikov // Funkc. analiz i ego pril. [Function. analysis and its adj]. - 1983-Vol. 17. - No. 3-p. 89-90. [in Russian]
5. Hinkkanen A. On the diagonalization of a certain class of operators / A. Hinkkanen // Michigan Math. J – 1985 32 – p.349 – 359
6. Garkavenko G. V. O diagonalizacii nekotoryh klassov linejnyh operatorov [On diagonalization of certain classes of linear operators] / G.V. Garkavenko // izv. vuzov. Matem. [Russian Math. Iz. VUZ]. – 1994 – V.38, №11 – p.11 – 16. [in Russian]
7. Braeutigam I.N. Asimptotika sobstvennyh znachenij beskonechnykh blochnykh matric [Asymptotics of eigenvalues of infinite block matrices]. / I.N. Brojtigam, D.M. Poljakov // Ufimskij matem. zhur. [Ufa Math. J]. – 2019. – Vol. 11 №.3 – p.11 – 28. [in Russian]
8. Malejke M. Asymptotic behaviour and approximation of eigenvalues for unbounded block Jacobi matrices / M. Malejke // Opuscula Mathematica. – 2010. – V. 30. – №3 – P. 311 – 330.
9. Malejke M. Asymptotics of large eigenvalues for some discrete unbounded Jacobi matrices / M. Malejke // Linear Algebra and its Applications. – 2009. – V. 431 – P. 1952 – 1970.
10. Malejke M. Eigenvalue for some complex infinite tridiagonal matrices / M. Malejke // Journal of Advances in Mathematics and Computer Science. – 2018. – V.26. – №5 – P. 1 – 9.
11. Baskakov A. G. Metody abstraktnogo garmonicheskogo analizav teorii vozmoscheniy lineynih operatorov [Methods of abstract harmonic analysis in the theory of perturbations of linear operators] / A. G. Baskakov // Siberian Math. J. – 1983. – V.24 - №1 – P.17–32 [in Russian]
12. Baskakov A. G. Spektral'nyj analiz vozmushhennyh nekvazianaliticheskikh i spektral'nyh operatorov [Spectral analysis of perturbed non-quasi-analytical and spectral operators] / A. G. Baskakov // Izv. RAS. Ser. matem. - 1994. - Vol. 58. - No. 4. - p. 3-32. [in Russian]

13. Baskakov A. G. Metod podobnyh operatorov v spektral'nom analize nesamosoprjazhennogo operatora Diraka s negladkim potencialom [The method of similar operators in the spectral analysis of a non-self-adjoint Dirac operator with a non-smooth potential] / A. G. Baskakov, A.V. Derbushev, A. O. Shcherbakov // *Izvestiya RAS. Ser. matem.* - 2011. - Vol. 75, No. 3. - p. 3-28. [in Russian]
14. Baskakov A. G. Metod podobnyh operatorov v spektral'nom analize operatora Hilla s negladkim potencialom [The method of similar operators in the spectral analysis of the Hill operator with a non-smooth potential] / A. G. Baskakov, D. M. Polyakov // *Matem. sb.* - Vol. 208-No. 1-2017-p. 3-47. [in Russian]
15. Garkavenko G. V. O spektralnih svoystvakh odnogo klassa vozmushchennykh operatorov [About spectral properties of one class of perturbed operators] / G. V. Garkavenko // *Itogi nauki i tekhniki, Ser. Sovremen. Math. and its applications* – 2019. – T. 171. – P. 57–69. [in Russian]
16. Garkavenko G. V. Spektralnyi analiz odnogo klassa raznostnykh operatorov s rastushchim potencialom [Spectral analysis of one class of difference operators with growing potential] / G. V. Garkavenko, N. B. Uskova // *Izvestiya Saratovskogo universiteta Novaya seriya Matematika Mekhanika Informatika.* – 2016. – V. 16. – №4 – P. 395-402. [in Russian]
17. Garkavenko G. V. Spectral analysis of a difference operator with a growing potential. / G. V. Garkavenko, A. R. Zgolic, N. B. Uskova // *J. Phys.: Conf. Series.* – 2018. – V.973. – 012053.
18. Garkavenko G. V. Spektralnyi analiz raznostnykh operatorov vtorogo poradka s rastushchim potencialom [Spectral analysis of second-order difference operators with growing potential] / G. V. Garkavenko, N. B. Uskova // *Tavricheskiy Vestnik informatiki i matematiki.* – 2015. – №3(28). – P. 40 – 48. [in Russian]
19. Garkavenko G. V. Asimptotika sobstvennykh znacheniy raznostnogo operatora s rastushchim potencialom i polugruppi operatorov [Asymptotics of the eigenvalues of a difference operator with growing potential and a semigroups of operators] / G. V. Garkavenko, N. B. Uskova // *Matematicheskaya fizika i komputernoe modelirovanie [Mathematical physics and computer modeling].* – 2017. – V. 20. – № 4. – P. 6 – 17. [in Russian]
20. Garkavenko G. V. Teorema o rasshcheplenii lineynykh operatorov I asimptotika sobstvennykh znacheniy raznostnykh operatorov s rastushchim potencialom [A theorem on the splitting of linear operators and the asymptotics of the eigenvalues of difference operators with growing potential] / G. V. Garkavenko, N. B. Uskova // *Sib. J. Chist. i prikl. matem.* — 2018 – V. 18. – №1. – P. 91 – 106. [in Russian]
21. Garkavenko G.V. Decomposition of linear operators and asymptotic behavior of eigenvalues of differential operators with growing potencial / G. V. Garkavenko, N. B. Uskova // *J. of Math. Sciences.* – 2020. – V. 246. – № 6 – p.812 – 827.
22. Baskakov A. G. Similarity techniques in the spectral analysis of perturbed operator matrices / A. G. Baskakov, I. A. Krishtal, N.B. Uskova // *J. Math. Anal. Appl.* – 2019. – V.477. –p. 930–960.
23. Baskakov A. G. Metod podobnyh operatorov v spektralnom analize operatornykh beskonечnykh matric [The method of similar operators in the spectral analysis of operator infinite matrices] / A. G. Baskakov, I. A. Krishtal, N. B. Uskova // *Prikladnaya matematika & Fizika [Applied Mathematics & Physics].* – 2020. – V. 52. – №2. – P. 71 – 85. [in Russian]
24. Baskakov A. G. Spektralnyi analiz otnositelno konechnonernykh vozmushcheniy spektralnykh operatorov [Spectral analysis with respect to finite-dimensional perturbations of spectral operators] / A. G Baskakov // *Soviet Math. (Iz. VUZ),* 35:1 (1991) - P.1–11 [in Russian]
25. Ul'yanova Y. L. O spektralnykh svoystvakh otnositelno konechnomernykh vozmushcheniy samosoprjazhennykh operatorov [Spectral properties of relatively finite-dimensional perturbations of selfadjoint operators] / Y. L. Ul'yanova // *Russian Math. (Iz. VUZ),* 41:10 (1997), - P.72–75. [in Russian]
26. Garkavenko G. V. Spectral analysis of one class of the integro-differential operators. / G. V. Garkavenko, A. R. Zgolic, N. B. Uskova // *J. Phys.: Conf. Series.* – 2019. – V.1203. – 012102.
27. Baskakov A. G. Linear differential operator with an involution as a generator of an operator group / A. G. Baskakov, I. A. Krishtal, N. B. Uskova // *Operators and Matrices.* – 2018. – V. 12. – №3. – P. 723 – 756.
28. Baskakov A. G. Obobshchenniy metod Furie dlya sistemy differentsialnykh uravneniy pervogo poryadka s involutsiey i polugruppi operatorov [A generalized fourier method for the system of first-order differential equations with an involution and a group of operators] / A. G. Baskakov, N. B. Uskova // *Differential Equations.* – 2018. – V. 54. № 2. – P. 277-281. [in Russian]
29. Baskakov A. G. Spektralnyi analiz differentsialnykh operatorov i gruppi operatorov [Spectral analysis of differential operators with involution and operator groups] / A. G. Baskakov, N. B. Uskova // *Differential Equations.* – 2018. – V. 54. № 9. – P. 1261 - 1265. [in Russian]
30. Baskakov A. G. Metod podobnyh operatorov v issledovanii spektralnykh svoystv vozmushchennykh differentsialnykh operatorov pervogo poryadka [The method of similar operators in the study of spectral properties of perturbed first-order differential operators] / A. G. Baskakov, I. A. Krishtal, N. B. Uskova // *Itogi nauki i tekhniki, Ser. Sovremen. Math. and its applications* – 2019. – Vol. 171. – P. 3–18. [in Russian]
31. Baskakov A. G. Metod Furie dlya sistemy differentsialnykh uravneniy pervogo poryadka s involutsiey i gruppi operatorov [Fourier method for first order differential equations with involution and groups of operators] / A. G. Baskakov, N. B. Uskova // *Ufa Math. J.,* 10:3 (2018), 11–34. [in Russian]
32. Krishtal I. A. Spektralnye svoystva differentsialnykh operatorov pervogo poryadka s involutsiey i gruppi operatorov [Spectral properties of differential operators of the first order with involution and groups of operators] / I. A. Krishtal, N. B. Uskova // *Sib. electron. math. izv.* – 2019. – V. 16. – P. 1091 – 1132. [in Russian]
33. Burlutskaya M. Sh. Klassicheskoe i obobshchennoe reshenie smeshannoy zadachi dlya uravneniy pervogo poryadka s neprerivnym potencialom [Classical and generalized solution of a mixed problem for a system of first-order equations with a continuous potential] / M. Sh. Burlutskaya // *J. Vichislit. mathem. and mathem. fiz. [Comput. Math. Math. Phys.]* – 2019. – V. 59. – №3. – P. 380 – 390. [in Russian]

34. Burlutskaya M. Sh. Operator Diraka s potencialom specialnogo vida i periodicheskimi kraevimi usloviyami [Dirac operator with a potential of special form and with the periodic boundary conditions] / M. Sh. Burlutskaya, A. P. Khromov // Differential Equations. – 2018. – V. 54. № 5. – P. 586 – 595. [in Russian]
35. Burlutskaya M. Sh. Smeshannaya zadacha dlya sistemi differencialnih uravneniy pervogo poryadka s neprerivnim potencialom [Mixed problem for a system of first order differential equations with continuous potential] / M. Sh. Burlutskaya // Izvestiya Saratovskogo universiteta Novaya seriya Matematika Mehanika Informatika. – 2016. – V. 16. – №2. – P. 145 – 151. [in Russian]
36. Baskakov A. G. Metod podobnih operatorov v spektralnom analize operatornih beskonечnih matric. Primeri I [The method of similar operators in the spectral analysis of operator infinite matrices. Examples I.] / A. G. Baskakov, I. A. Krishtal, N. B. Uskova // Prikladnaya matematika & Fizika [Applied Mathematics & Physics]. – 2020. – V. 52. – №3. – P. 185 – 194. [in Russian]
37. Uskova N. B. Matrichniy analiz spektralnih proektorov vozmushchennih samosopryazhennih operatorov [Matrix analysis of spectral projectors of perturbed self-adjoint operators] / N. B. Uskova // Sib. electron. math. izv. – 2019. – V.16. – P. 369 – 405. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.109.7.003>**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕЛАНОМЫ**

Научная статья

Гончарова А.Б.^{1,*}, Зимина Е.И.², Колпак Е.П.³^{1, 2, 3} Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

* Корреспондирующий автор (a.goncharova[at]spbu.ru)

Аннотация

Разработана математическая модель четырехстадийной поверхностно растущей меланомы. Модель представлена задачей Коши для системы четырех обыкновенных дифференциальных уравнений. Стадии заболевания моделируются камерами различной емкости с перемещением злокачественных клеток из камеры в камеру. В модели химиотерапии учитывается прямое действие препаратов на опухолевые клетки на заданном временном интервале. С применением статистического подхода разработана модель построения распределения условных «больных» по времени постановки диагноза, продолжительности лечения и времени наступления рецидива. Дана оценка расхода количества препаратов на лечение до заданного требуемого уровня выживаемости. Параметры модели определяются исходя из клинических данных по скорости роста новообразования, временного промежутка лечения.

Ключевые слова: дифференциальные уравнения; математическое моделирование; модель лечения; новообразование; рецидив; устойчивость.

MATHEMATICAL MODEL OF MELANOMA

Research article

Goncharova A.B.^{1,*}, Zimina E.I.², Kolpak E.P.³^{1, 2, 3} Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

* Corresponding author (a.goncharova[at]spbu.ru)

Abstract

The current article introduces a mathematical model of a growing four-stage surface melanoma. The model is represented by the Cauchy problem for a system of four ordinary differential equations. The stages of the disease are modeled by chambers of various capacities with the movement of malignant cells from chamber to chamber. The chemotherapy model takes into account the direct effect of drugs on tumor cells at a given time interval. Using a statistical approach, the authors develop a model for constructing the distribution of patients by the time of diagnosis, the duration of treatment, and the time of relapse. Also, the article provides an estimation of the drugs to be consumed for treatment to a given required level of survival. The model parameters are determined based on clinical data on the growth rate of the neoplasm, the time interval of treatment.

Keywords: differential equations; mathematical modelling; treatment model; neoplasm; relapse; resistance.

Введение

Меланома в ряду злокачественных новообразований не является наиболее распространенным онкологическим заболеванием. Но по своей агрессивности не уступает таким локализациям как рак легких у мужчин и рак молочной железы у женщин. Рост числа больных меланомой в России растет последние 30 лет независимо от методов количественной оценки заболевших, вылеченных, умерших [1]. Когорта больных в стране, как в абсолютном выражении, так и в расчете на 100 000 населения увеличивается на 3,5% в год. В возрастных группах старше 50 лет темпы роста «грубого показателя» достигают 5,5%. По всем локализациям меланомы после постановки на учет около 30% умирает в течение 5 лет. Смертность на первом году лечения достигает 15% от обратившихся за помощью лиц. Временной промежуток от среднего возраст постановки диагноза до среднего возраста смертности около 2-х лет [1].

Ожидаемые результаты лечения зачастую остаются неудовлетворительными из-за позднего обращения за медицинской помощью. Около 25% больных обращаются за помощью, имея IV стадию заболевания с множественными метастазами. Не всегда эффективна и химиотерапия, поскольку опухолевые клетки в процессе воздействия на них постепенно приобретают стойкость к препаратам. Достоверность действия лекарств зачастую имеет низкую статистическую достоверность [2].

Меланома является злокачественным заболеванием верхнего слоя кожи – эпидермиса. Постоянное обновление клеток эпидермиса происходит за счет кератиноцитов, образующихся в нижнем слое эпидермиса. Цикл обновления клеток эпидермиса длится 26-28 суток. Одновременно с кератиноцитами в нижнем слое эпидермиса образуются и меланоциты, придающие цвет коже.

Меланоциты могут скапливаться в эпидермисе в виде небольших пятен. В отдельных меланоцитах под действием внутренних и внешних факторов могут быть нарушены механизмы передачи сигналов, затрагивающих клеточный апоптоз [3]. Это и является основной причиной неограниченного роста меланомы. Временные промежутки возникновения меланом в пределах одного анатомического могут составлять несколько лет [4]. В результате может начаться процесс бесконечного деления меланоцитов и, соответственно, увеличение их количества с последующим распространением образовавшегося скопления вдоль поверхности эпидермиса. Таким образом, небольшое пятно меланоцитов может превратиться в злокачественную опухоль постоянно делящихся клеток, поверхностно распространяющуюся в виде плоского пятна [5], [6]. Поперечные размеры опухоли, в зависимости от органа, на котором она растет, могут быть более 10 см. Линейный рост опухоли может достигать 0,25 мм в день [7]. При этом индекс митотической активности может зависеть от поперечных размеров опухоли, и увеличиваться с ростом ее размеров. Удельная скорость роста популяции делящихся клеток по разным оценкам изменяется в диапазоне от 0.003 до 0.100 1/день [8], [9].

Современные методы лечения больных меланомой кожи предусматривают использование хирургических, лучевых, лекарственных методов или их комбинаций. Однако практические результаты лечения остаются неудовлетворительными: высока частота рецидивов, короткий срок дожития после лечения. На первое место выходит лекарственная профилактика после хирургического вмешательства [2]. В клинической практике химиотерапия включает в себя несколько препаратов, попеременно принимаемых больным. Курс лечения может продолжаться от нескольких дней до нескольких недель и повторяться несколько раз. Лечение может продолжаться несколько месяцев [10], [11].

Математическая модель

Математических модели злокачественных новообразований разрабатываются на основе аппарата обыкновенных дифференциальных уравнения или уравнений в частных производных [12]. Аналогичный подход предложен и в работах [13], [14], [15], в которых моделируется рост меланомы без разделения на стадии. Не рассматриваются и варианты лечения, позволяющие оценить увеличение продолжительности жизни пациентов.

В модели радиального роста популяции делящихся клеток пренебрегается толщиной эпидермиса, считается, что кератиноциты не мешают росту опухоли вдоль поверхности. Численность популяции делящихся клеток, как отмечается в экспериментальных работах, описывается экспоненциальной зависимостью [16], [17], [18]. Однако функциональное пространство, в котором размножаются делящиеся клетки ограничено плоскостью. Поскольку вертикальный рост радиально распространяющейся опухоли незначителен, а плотность клеточной массы в очаге возникновения не может быть бесконечно большой, то размножающиеся клетки после достижения предельного значения плотности начнут распространяться вдоль поверхности. С учетом этого считается, что численность популяции делящихся клеток описывается логистической зависимостью.

Заболевание в клинической практике условно подразделяется на четыре стадии, каждой из которой сопоставляется конкретный поперечный размер опухоли. В [16] линейный размер первой зоны принимается равной 2 см, второй – 3 см, третьей – 5 см, четвертой – 10 см. С учетом этого положения в модель вводятся четыре зоны разного размера, в которых размножаются делящиеся клетки. В начальный момент времени делящиеся клетки возникают в первой зоне, а по достижении некоторого количества часть делящихся клеток начинает перемещаться во вторую зону. После наполнения второй зоны начинается перемещение в последующие зоны. Введенные зоны можно сопоставлять со стадиями заболевания.

Химические препараты, необходимые для уничтожения делящихся клеток, свободно поступают через базальную мембрану в эпидермис. Поскольку делящиеся клетки распространяются параллельно дерме, то в модели считается, что в каждую зону поступает одинаковое количество препаратов, предназначенных для уничтожения делящихся клеток. Уничтожение делящихся клеток происходит при непосредственном контакте препаратов и делящихся клеток, а скорость уничтожения пропорциональна численности клеток и концентрации препаратов.

С учетом этих предположений и ограниченности функционального пространства каждой зоны модель распространения делящихся клеток примет вид

$$\begin{aligned}\frac{dN_1}{dt} &= \mu_1 N_1 \left(1 - \frac{N_1}{K_1}\right) - v_1 N_1 - \gamma_1 Drug(t) N_1, \\ \frac{dN_2}{dt} &= \mu_2 N_2 \left(1 - \frac{N_2}{K_2}\right) + v_1 N_1 - v_2 N_2 - \gamma_2 Drug(t) N_2, \\ \frac{dN_3}{dt} &= \mu_3 N_3 \left(1 - \frac{N_3}{K_3}\right) + v_2 N_2 - v_3 N_3 - \gamma_3 Drug(t) N_3, \\ \frac{dN_4}{dt} &= \mu_4 N_4 \left(1 - \frac{N_4}{K_4}\right) + v_3 N_3 - \gamma_4 Drug(t) N_4,\end{aligned}\tag{1}$$

где N_k - количество делящихся клеток в k -й зоне ($k=1,2,3,4$), μ_k - удельные скорости роста популяций делящихся клеток в каждой из зон, а K_k - емкости зон, v_k - доля клеток, переходящих из одной зоны в другую ($k=1,2,3$), $Drug(t)$ - количество лекарственных препаратов, уничтожающих делящиеся клетки, γ_k ($k=1,2,3,4$) - параметры, характеризующие скорости уничтожения делящихся клеток препаратами. Под емкостью зон понимается максимальное количество делящихся клеток, которое может находиться в зоне. Заполнение четвертой зоны сопоставляется с началом роста опухоли в вертикальном направлении.

Программы лечения больных состоят из нескольких курсов применения чередующихся в течение нескольких дней препаратов [10], поступающих в функциональное пространство в заданном в протоколе лечения количестве. Поскольку лечение длится несколько месяцев, то можно принять, что на временном промежутке лечения подается одно и то же количество препаратов с усредненным действием:

$$Drug(t) = \begin{cases} Drug_0, & \text{if } t \in [t_1, t_2], \\ 0, & \text{if } t \notin [t_1, t_2], \end{cases}\tag{2}$$

где t_1 - момент времени начала лечения, а t_2 - момент времени окончания лечения, $Drug_0$ - количество вводимых препаратов в единицу времени. Расход препаратов подсчитывается по формуле

$$Drug_{\Sigma} = Drug_0(t_2 - t_1).$$

К системе уравнений (1) добавляются начальные условия

$$N_1 = N_1^0, N_2 = 0, N_3 = 0, N_4 = 0,$$

соответствующие случаю возникновения небольшого количества ($N_1^0 \ll K_1$) делящихся клеток в первой зоне.

Из первого уравнения в (1) при $Drug(t) = 0$ следует, что в первой зоне равновесное состояние

$$N_1 = K_1 \left(1 - \frac{v_1}{\mu_1} \right)$$

реализуется, если выполняется неравенство $v_1 < \mu_1$, и оно будет устойчивым. В противном случае устойчивым будет состояние $N_1 = 0$. То есть это неравенство является необходимым условием роста численности популяции делящихся клеток.

Устойчивая стационарная точка второго уравнения в (1) при $N_1 \neq 0$ находится как положительный корень квадратного уравнения

$$\frac{1}{K_2} N_2^2 - \left(1 - \frac{v_2}{\mu_2} \right) N_2 - \frac{v_1}{\mu_2} N_1 = 0.$$

Аналогичным образом определяются стационарные значения N_3 и N_4 . То есть при появлении в первой зоне делящихся клеток они постепенно будет распространяться и в остальные зоны при условии выполнения неравенства $v_1 < \mu_1$.

При наличии лекарственных препаратов делящиеся клетки в первой зоне будут убывать, если выполняется неравенство $\mu_1 - v_1 < \gamma_1 Drug(t)$. Аналогичными необходимыми условиями убыли делящихся клеток в остальных зонах являются $\mu_k - v_k < \gamma_k Drug(t)$ ($k = 2, 3, 4$).

Результаты моделирования

Таким образом, модель (1) объясняет рост популяции делящихся клеток высокой скоростью их размножения по сравнению с линейной скоростью распространения. Лекарственная терапия может быть эффективной в том случае, если скорость уничтожения делящихся клеток препаратами будет больше, чем скорость размножения клеток. В рамках модели (1)-(2) можно оценить зависимость времени «лечения» опухоли от количества расходуемых препаратов. За «базовые» значения параметров приняты

$$K = 2, 3, 5, 10, v_k = 0.001, \mu_k = 0.025 \ (k = 1, 2, 3, 4), \gamma = 0.010, 0.011, 0.012, 0.013 \quad (3)$$

На рис. 1 отражена эта зависимость расхода препаратов от продолжительности лечения: лечение считалось законченным при достижении неравенств $N_i < 0.01$ ($i = 1, 2, 3, 4$). За единичный расход принят расход, при котором делящиеся клетки уничтожаются за 1/4 года (момент времени на рис. 1 отмечен вертикальной пунктирной линией). Как следует из анализа полученных результатов (рис. 1) зависимость «расход препаратов - время лечения» не является линейной. Вместе с тем она отражает естественное понимание влияния препаратов: чем эффективнее препарат, тем короче процесс лечения. Зависимость на рис.1 является усредненной для 50 000 наборов параметров системы уравнений (1), выбранных случайным образом, но не отличающихся от значений (3) более чем в три раза.

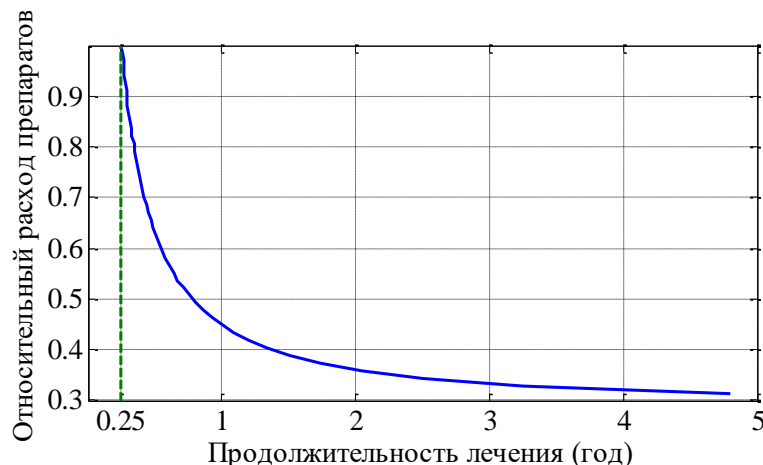


Рис. 1 – График усредненной зависимости расхода препаратов от продолжительности «лечения» для 50 000 условных больных

Математическая модель статистики лечения

Параметры μ_k , ν_k , γ_k в системе уравнений (1)-(2) сопоставляются с конкретным «больным». Выбирая случайным образом эти параметры n раз, можно построить распределение больных по времени постановки диагноза, времени окончания лечения и времени наступления рецидива [19]. За время постановки диагноза принимается время достижения заданного значения N_4 (принято $0.75K_4$) [20], за время окончания «лечения» – время достижения диагностически неопределимого значения количества делящихся клеток (принято $0.01K_4$), за время наступления рецидива – время достижения значения N_4 , установленного на момент постановки «диагноза» (принято $0.75K_4$). На рис. 2 отражено распределение «больных» по времени постановки диагноза (кривая I), по времени окончания лечения (кривая II) и времени наступления рецидива (кривая III) для 50 000 условных больных. Средние значения для зависимости I – 1.6 года, для зависимости II – 2.2 года, для зависимости III – 2.7 года, отмечены вертикальными линиями. Параметры выбирались случайным образом, отличающимися от значений (3) не более чем в три раза. При заданных значениях параметров системы уравнений (1) $Drug_0$ выбиралось таким образом

$$Drug_0 = 1.1 \max_{k=1,2,3,4} (\lambda_k / \gamma_k),$$

где λ_k – собственные значения матрицы Якоби правой части системы уравнений (1) в точке $N_k = 0$ ($k = 1, 2, 3, 4$). При таком выборе параметра $Drug_0$ тривиальная стационарная точка системы уравнений будет устойчивой.

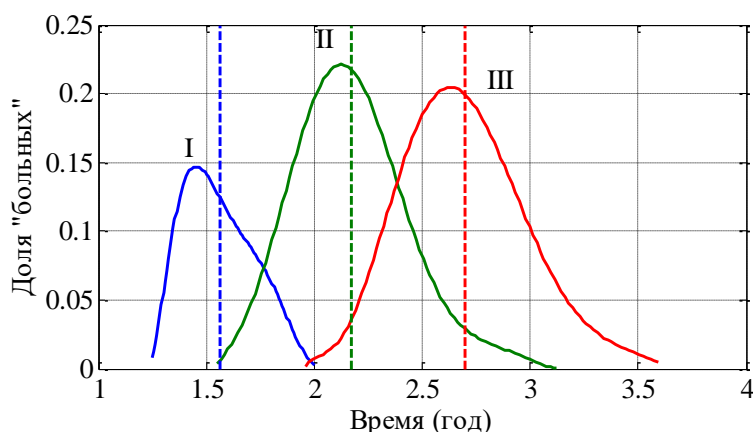


Рис. 2 – Графики распределения больных по времени постановки «диагноза» (зависимость I), по времени окончания «лечения» (зависимость II), по времени наступления «рецидива» (зависимость III)

Полученные расчетные значения момента постановки диагноза, промежутка времени от окончания лечения до возникновения рецидива согласуются со статистическими данными: согласно данным различных авторов, 2-х летняя безрецидивная выживаемость после радикального лечения первичной опухоли составляет около 40 %, а общая выживаемость — около 50 – 60 %. Медиана выживаемости может достигать 3-х лет [21]. В клинической практике обращение за медицинской помощью может происходить от нескольких месяцев до нескольких лет после начала заболевания [22], [23]. Поздние сроки обращения происходят при IV стадии заболевания. Медиана выживаемости в этом случае может составлять 6-7 месяцев, а продолжительность жизни – 10-11 месяцев. В условно принятой IV стадии заболевания при выбранном наборе параметров среднее (3) время постановки «диагноза» – 18 месяцев,

продолжительность лечения – 7 месяцев, а продолжительность периода от окончания лечения до наступления условного «рецидива» – 6 месяцев, среднее время «жизни» от постановки диагноза до рецидива 13 месяцев. Эти показатели согласуются с данными клинических исследований. Разработанный вероятностный подход оценки времени достижения определенного размера опухоли может быть использован при адаптивной терапии [24] для определения оптимального времени для точек переключения лечения с учетом специфики пациента.

Заключение

Разработанный подход математического моделирования роста меланомы и прогнозирования статистических показателей заболеваемости и результатов лечения позволяет оценить длительность лечения, обеспечивающую максимальную выживаемость больных. В дополнение к этому позволяет осуществить рациональный подбор препаратов при заданных наперед продолжительности лечения и экономических затратах.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. The State of Cancer Care Provided to the Population of Russia in 2018. Moscow: FSBI P.A. Herzen Moscow Cancer Research Institute, Branch Office of FSBI NMRRRC, Ministry of Health of Russia; 2018. p. 236. [Electronic resource]. URL: <https://nnood.ru/wp-content/uploads/2019/04/Staticheskij-ezhegodnik-Gercena-2018.pdf>. (accessed: 12.06.2021)
2. Zakurdyayeva I.G. The treatment of patients with late relapses of skin melanoma with isolated metastatic regional lymph nodes involvement / I.G. Zakurdyayeva, A.F. Tsyb, V.S. Parshin et al. // *Voprosy Onkologii*. - 2012. - V. 58 (3). - P. 402-405.
3. Ruksha T. G. High throughput analysis of single cancer cells as the basis for personalized therapy of oncological diseases / T. G. Ruksha, E. Yu. Sergeeva, A. V. Komina // *Tsitologiya*. - 2017. - V. 59 (10). - P. 654-661.
4. Буров Д.А. Клиника Первично-множественная меланома кожи. Клинический случай / Д.А. Буров, Я.А. Божченко, А.А. Тарарыкова // *Саркомы костей, мягких тканей и опухоли кожи*. - 2016. - № 1. - С. 76-80.
5. Kopnin B.P. Genome instability and oncogenesis / B.P. Kopnin // *Molecular Biology*. - 2007. - V. 41 (2). - P. 329-339.
6. Clément Chatelain, Pasquale Ciarletta, Martine Ben Amar Morphological changes in early melanoma development: Influence of nutrients, growth inhibitors and cell-adhesion mechanisms // *Journal of Theoretical Biology*. - 2011. - V. 290. - P. 46–59. DOI:10.1016/j.jtbi.2011.08.029.
7. Снарская Е.С. Беспигментная узловатая меланома кожи голени / Е.С. Снарская, К.М. Аветисян, В.В. Андрюхина // *Российский журнал кожных и венерических болезней*. - 2014. - № 2. - С. 4-7.
8. Проценко А. Таргетная терапия при меланоме, гастроинтестинальных стромальных опухолях, дерматофибросаркоме протуберанс / А. Проценко // *Практическая онкология*. - 2010. - Т. 11. - №3. - С. 1262-170.
9. Tsur N. Response of patients with melanoma to immune checkpoint blockade –insights gleaned from analysis of a new mathematical mechanistic model / N. Tsur, Y. Kogan, M. Rehm et al. // *Journal of Theoretical Biology*. - 2020. - V. 485. № 110033. DOI: 10.1016/j.jtbi.2019.110033.
10. Chu E. Physicians cancer chemotherapy drug manual / E. Chu, V.T. DeVita // Jones and Bartlett publishers. Boston, USA. 2007.
11. Закурдяева И.Г. Метастатическая меланома кожи (обзор литературы) / И.Г. Закурдяева, А.Ф. Цыб // *Сибирский онкологический журнал*. - 2010. - №6 (42). - С. 56-62.
12. Byrne H.M. The role of cell-cell interactions in a two-phase model for avascular tumour growth / H.M. Byrne, C.J.W. Breward, C.E. Lewis // *Journal of Mathematical Biology*. - 2001. - V. 45 (2). - P. 125 – 131.
13. Haridas P. Quantifying rates of cell migration and cell proliferation in co-culture barrier assays reveals how skin and melanoma cells interact during melanoma spreading and invasion / Parvathi Haridas, Catherine J. Penington, Jacqui A. McGovern et al. // *Journal of Theoretical Biology*. - 2017. - V. 423. - P. 13–25.
14. Albano G. Estimating and determining the effect of a therapy on tumor dynamics by means of a modified Gompertz diffusion process / Giuseppina Albano, Virginia Giorno, Patricia Román-Román et al. // *Journal of Theoretical Biology*. - 2015. - V. 364. - P. 206–219.
15. Akhmetzhanov A.R. Modelling bistable tumour population dynamics to design effective treatment strategies / Andrei R. Akhmetzhanov, Jong Wook Kim, Ryan Sullivan et al. // *Journal of Theoretical Biology*. - 2019. - V. 474. - P. 88–102. DOI: 10.1016/j.jtbi.2019.05.005.
16. Проценко С.А. Меланома кожи: новое в лекарственном лечении / С.А. Проценко // *Природа*. - 2018. - № 6. - С. 26-28.
17. Palkina, N.V. Prooncogenic effects of inhibiting the microRNA miR-106A in skin melanoma cells in vitro / N.V. Palkina, A.V. Komina, M.B. Akseenko, et al. // *Tsitologiya*. - 2016. - V. 58 (9). - P. 679-687.
18. Rommelfanger D.M. Dynamics of melanoma tumor therapy with vesicular stomatitis virus: explaining the variability in outcomes using mathematical modeling / D.M. Rommelfanger, C.P. Offord, J. Dev et al. // *Gene Therapy*. - 2012. - V. 19. - 543–549.
19. Гончарова А.Б. Математическое моделирование лечения онкологического заболевания / А.Б. Гончарова, Е.П. Колпак, М.М. Расулова и др. // *Вестник Санкт-Петербургского университета. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления*. 2020. Т. 16. № 4. С. 437-446 DOI: 10.21638/11701/SPBU10.2020.408.
20. Гончарова А.Б. Постановка предварительного медицинского диагноза на основе теории нечетких множеств с использованием меры Сугено / А.Б. Гончарова // *Вестник Санкт-Петербургского университета. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления*. 2019. Т. 15. № 4. С. 529-543. DOI: 10.21638/11702/spbu10.2019.409.
21. Тарков С.А. Особенности течения меланомы кожи головы и шеи / С.А. Тарков, А.Е. Михнин, К.В. Шелехова и др. // *Вопросы онкологии*. - 2013. – Т. 59. - № 1. - С. 114-117.

22. Мяснянкин М.Ю. Подногтевая меланома / М.Ю. Мяснянкин, Г.И. Гафтон, В.В. Анисимов и др. // Эффективная фармакотерапия. - 2016. - Т. 39. - С. 40-44.

23. Kolpak E.P. Oncological diseases in St. Petersburg, Russia / E.P. Kolpak, I.S. Frantsuzova, E.O. Evmenova // Drug Invention Today. - 2019. - V. 11 (3). - P. 510-516.

24. Kim E. Adaptive therapy for metastatic melanoma: Predictions from patient calibrated mathematical models / E. Kim J.S. Brown, et al. // Cancers February - 2021. - V. 13(4). - P. 1-15. DOI: 10.3390/cancers13040823.

Список литературы на английском языке / References in English

1. The State of Cancer Care Provided to the Population of Russia in 2018. Moscow: FSBI P.A. Herzen Moscow Cancer Research Institute, Branch Office of FSBI NMRRRC, Ministry of Health of Russia; 2018. p. 236. [Electronic resource]. URL: <https://nnood.ru/wp-content/uploads/2019/04/Statichiticheskiy-ezhegodnik-Gercena-2018.pdf>. (accessed: 12.06.2021)

2. Zakurdyaeva I.G. The treatment of patients with late relapses of skin melanoma with isolated metastatic regional lymph nodes involvement / I.G. Zakurdyaeva, A.F. Tsyb, V.S. Parshin et al. // Voprosy Onkologii. - 2012. - V. 58 (3). - P. 402-405.

3. Ruksha T. G. High throughput analysis of single cancer cells as the basis for personalized therapy of oncological diseases / T. G. Ruksha, E. Yu. Sergeeva, A. V. Komina // Tsitologiya. - 2017. - V. 59 (10). - P. 654-661.

4. Burov D.A. Klinika Pervichno-mnozhestvennaya melanoma kozhi. Klinicheskij sluchaj [Clinical Picture of Primary Multiple Melanoma of the Skin. Clinical Case] / D.A. Burov, Ja.A. Bozhchenko, A.A. Tararykova et al. // Sarkomy kostej, mjagkih tkanej i opuholi kozhi [Sarcomas of Bones, Soft Tissues and Skin Tumors]. - 2016. - № 1. - pp. 76-80. [in Russian]

5. Kopnin B.P. Genome instability and oncogenesis / B.P. Kopnin // Molecular Biology. - 2007. - V. 41 (2). - P. 329-339.

6. Clément Chatelain, Pasquale Ciarletta, Martine Ben Amar Morphological changes in early melanoma development: Influence of nutrients, growth inhibitors and cell-adhesion mechanisms // Journal of Theoretical Biology. - 2011. - V. 290. - P. 46-59. DOI:10.1016/j.jtbi.2011.08.029.

7. Snarskaja E.S. Bepigmentnaya uzlovaya melanoma kozhi goleni [Pigmentless Nodular Melanoma of the Shin Skin] / E.S. Snarskaja, K.M. Avetisjan, V.V. Andriuhina // Rossijskij zhurnal kozhnyh i venericheskikh boleznej [Russian Journal of Skin and Venereal Diseases]. - 2014. - № 2. - pp. 4-7. [in Russian]

8. Procenko A. Targetnaya terapija pri melanome, gastrointestinal'nyh stromal'nyh opuholjah, dermatofibrosarkome protuberans [Targeted Therapy for Melanoma, Gastrointestinal Stromal Tumors, Dermatofibrosarcoma Prominence] / A. Procenko // Prakticheskaja onkologija [Practical Oncology]. - 2010. - Vol. 11. - №3. - pp. 1262-170. [in Russian]

9. Tsur N. Response of patients with melanoma to immune checkpoint blockade –insights gleaned from analysis of a new mathematical mechanistic model / N. Tsur, Y. Kogan, M. Rehm et al. // Journal of Theoretical Biology. - 2020. - V. 485. № 110033. DOI: 10.1016/j.jtbi.2019.110033.

10. Chu E. Physicians cancer chemotherapy drug manual / E. Chu, V.T. DeVita // Jones and Bartlett publishers. Boston, USA. 2007.

11. Zakurdjaeva I.G., Cyb A.F. Metastaticheskaja melanoma kozhi (obzor literatury) [Metastatic Skin Melanoma (Literature Review)] / I.G. Zakurdjaeva, A.F. Cyb // Sibirskij onkologicheskij zhurnal [Siberian Oncological Journal]. - 2010. - №6 (42). - pp. 56-62. [in Russian]

12. Byrne H.M. The role of cell-cell interactions in a two-phase model for avascular tumour growth / H.M. Byrne, C.J.W. Breward, C.E. Lewis // Journal of Mathematical Biology. - 2001. - V. 45 (2). - P. 125 – 131.

13. Haridas P. Quantifying rates of cell migration and cell proliferation in co-culture barrier assays reveals how skin and melanoma cells interact during melanoma spreading and invasion / Parvathi Haridas, Catherine J. Penington, Jacqui A. McGovern et al. // Journal of Theoretical Biology. - 2017. - V. 423. - P. 13-25.

14. Albano G. Estimating and determining the effect of a therapy on tumor dynamics by means of a modified Gompertz diffusion process / Giuseppina Albano, Virginia Giorno, Patricia Román-Román et al. // Journal of Theoretical Biology. - 2015. - V. 364. - P. 206-219.

15. Akhmetzhanov A.R. Modelling bistable tumour population dynamics to design effective treatment strategies / Andrei R. Akhmetzhanov, Jong Wook Kim, Ryan Sullivan et al. // Journal of Theoretical Biology. - 2019. - V. 474. - P. 88-102. DOI: 10.1016/j.jtbi.2019.05.005.

16. Procenko S.A. Melanoma kozhi: novoe v lekarstvennom lechenii [Skin Melanoma: New in Drug Treatment] / S.A. Procenko // Priroda [Nature]. - 2018. - № 6. - pp. 26-28. [in Russian]

17. Palkina, N.V. Prooncogenic effects of inhibiting the microRNA miR-106A in skin melanoma cells in vitro / N.V. Palkina, A.V. Komina, M.B. Aksenenko, et al. // Tsitologiya. - 2016. - V. 58 (9). - P. 679-687.

18. Rommelfanger D.M. Dynamics of melanoma tumor therapy with vesicular stomatitis virus: explaining the variability in outcomes using mathematical modeling / D.M. Rommelfanger, C.P. Offord, J. Dev et al. // Gene Therapy. - 2012. - V. 19. - 543-549.

19. Goncharova A.B. Matematicheskoe modelirovanie lechenija onkologicheskogo zabolovaniya [Mathematical Modeling of Cancer Treatment] / A.B. Goncharova, E.P. Kolpak, M.M. Rasulova et al. // Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Prikladnaja matematika. Informatika. Processy upravleniya. [Bulletin of the Saint Petersburg University. Applied Mathematics. Computer Science. Management Processes.] 2020. Vol. 16. № 4. pp. 437-446 DOI: 10.21638/11701/SPBU10.2020.408. [in Russian]

20. Goncharova A.B. Postanovka predvaritel'nogo medicinskogo diagnoza na osnove teorii nechetkih mnozhestv s ispol'zovaniem mery Sugeno [Making a Preliminary Medical Diagnosis Based on the Theory of Fuzzy Sets Using the Sugeno Measure] / A.B. Goncharova // Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Prikladnaja matematika. Informatika. Processy upravleniya. [Bulletin of the Saint Petersburg University. Applied Mathematics. Computer Science. Management Processes.] 2019. Vol. 15. № 4. pp. 529-543. DOI: 10.21638/11702/spbu10.2019.409. [in Russian]

21. Tarkov S.A. Osobennosti techenija melanom kozhi golovy i shei [Features of the Course of Melanomas of the Scalp and Neck] / S.A. Tarkov, A.E. Mihnin, K.V. Shelehova // Voprosy onkologii [Issues of Oncology]. - 2013. – Vol. 59. - № 1. - pp. 114-117. [in Russian]
22. Mjasnjankin M.Ju. Podnogtevaja melanoma [Subungual Melanoma] / M.Ju. Mjasnjankin, G.I. Gafton, V.V. Anisimov et al. // Jeffektivnaja farmakoterapija [Effective Pharmacotherapy]. - 2016. - Vol. 39. - pp. 40-44. [in Russian]
23. Kolpak E.P. Oncological diseases in St. Petersburg, Russia / E.P. Kolpak, I.S. Frantsuzova, E.O. Evmenova // Drug Invention Today. - 2019. - V. 11 (3). – P. 510-516.
24. Kim E. Adaptive therapy for metastatic melanoma: Predictions from patient calibrated mathematical models / E. Kim J.S. Brown, et al. // Cancers February - 2021. - V. 13(4). – P. 1-15. DOI: 10.3390/cancers13040823.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.109.7.004>**ОСОБЕННОСТИ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ПЕРЕНОСА ЭЛЕКТРОНОВ
КОЛЛОИДНЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК InSb и PbS**

Научная статья

Жуков Н.Д.^{1,*}, Ягудин И.Т.²
^{1,2} ООО «НПП ВОЛГА», Саратов

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

Аннотация

На образцах в структуре мультизеренного слоя коллоидных квантовых точек узкозонных полупроводников антимонида индия и сульфида свинца электроны транспортируются в межзеренных нанозазорах во время протекания тока путем термоэмиссии из квантовых точек без оболочки и туннельной эмиссии из квантовых точек с оболочкой. Инжекция электронов в квантовые точки происходит туннельной эмиссией и пролётом через оболочку. Для КТ без оболочки для тока наблюдается ограничение пространственным зарядом подобно кулоновской блокаде. Результаты обсуждаются с использованием модели линий тока по всему слою. Согласно характеристикам, подсчитано, что в линиях тока имеется 100-200 квантовых точек.

Ключевые слова: полупроводник, квантовые точки, поликристаллическая структура, наночастицы, атомно-силовой микроскоп, вольт-амперные характеристики.

**FEATURES OF MULTICRYSTALLINE TRANSPORT OF ELECTRONS
OF COLLOIDAL QUANTUM POINTS OF InSb AND PbS**

Research article

Zhukov N.D.^{1,*}, Yagudin I.T.²
^{1,2} NPP Volga LLC, Saratov, Russia

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

Abstract

On samples in the structure of a multi-grained layer of colloidal quantum dots of narrow-gap semiconductors of indium antimonide and lead sulfide, electrons are transported in intergranular nanogaps during current flow by thermal emission from quantum dots without a shell and tunnel emission from quantum dots with a shell. Electrons are injected into quantum dots by tunneling emission and flight through the shell. For the variant without a shell, the current is limited by space charge, similar to the Coulomb blockade. The results are discussed using the streamline model across the layer. According to the characteristics, it is calculated that there are 100-200 quantum dots in the streamlines.

Keywords: Semiconductor (SC), quantum dots (QDs), multicrystalline structure (MCS), nanoparticles, atomic force microscope (AFM), current-voltage characteristics (CVC).

Introduction

The study of the physics of processes in a multicrystalline structure (MCS) relates to the field of disordered structures, for example, semiconductor (SC) polycrystals. Numerous publications in the literature on polycrystalline materials refer to densely packed structures with almost zero gaps between crystallite grains [1]. For them, physical models of contact phenomena are used. The specific features of the MCS under consideration are relatively large gaps between the grains, at which electrons experience emission from the grain into the gap and injection from the gap into the grain. We studied these processes on separate grains of the substrate surface using the method of scanning tunneling microscopy [2], [3].

In our work [4], the current mechanisms in the MCS nanoparticles most promising for semiconductor applications (Si, GaAs, InAs, InSb) were studied. A detailed analysis of the current-voltage characteristics made it possible to establish that their behavior is determined by the mechanism of intergranular tunnel emission from the near-surface electronic states of submicron particles. The parameters of the emission process are determined, and the formula for the dependence of current I on voltage U is obtained.

Of particular interest are the MCS based on quantum dots (QDs) of narrow-gap semiconductors, for which intra and intergranular quantum size effects can occur, which have a strong influence on electron transport [2].

In the work, colloidal quantum dots were investigated: QDs-InSb without a shell and QDs with a shell — InSb / CdS, InSb / InP, PbS / CdS.

Experimental results

MCS samples were made by QDs deposition from solutions based on alcohols, followed by deposition on a glass substrate with comb aluminum film electrodes by self-organizing ensembles on the substrate surface with controlled evaporation of the solvent [5]. Figure 1a shows a typical fragmentary image of the layer surface obtained on a 3D atomic force (AFM) microscope. The coatings had a layered structure of tightly packed islands with irregularities between them not exceeding 10 nm, which at places had mutual tight contact.

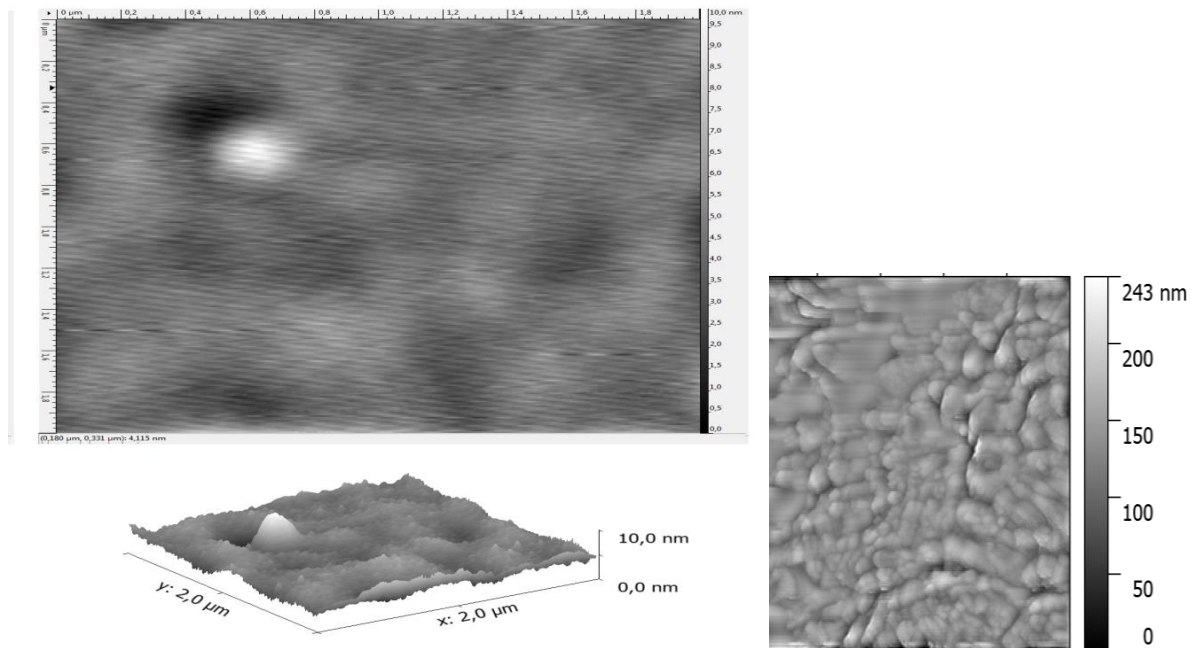


Fig. 1 –3D-AFM- display of surface fragments of the PbSmulticrystalline layer

The study of current mechanisms was carried out on the basis of measurements of current-voltage characteristics (CVC). For measurements of the CVC-MCS, a non-standard generator of a unipolar low-frequency pulsed "sawtooth" voltage was used up to 300 V, a pulse duration of 500 μ s, a duty cycle of 128. The parameters of the circuit elements and modes were selected taking into account the absence of influence on the CVC of the reactive components, the transients were controlled by oscillograms. Methodical details are given in our work [4]. Studies of the current-voltage characteristics of individual nanoparticles were carried out on a STM SOLVER NANO scanning tunneling microscope by repeated measurements and averaging. Experimental CVC were processed in Microsoft Excel and only those for which an analytical approximation of the curves gave the maximum values of the reliability coefficients, but not less than 0,99, were used for the analysis.

The discussion of the results

To explain the results obtained and the choice of electron transport models, we carried out an STM study of individual nanoparticles on a conducting substrate.

Analysis of all I–V characteristics (current I as a function of voltage V) and the choice of models were carried out on the basis of classical representations of electron transport through the heterointerface into a semiconductor: thermal emission — $I \sim \exp [B_e V]$, tunnel emission — $I \sim \exp [B_t / V]$, limited by charge current $I \sim V^C$ ($2 < C < 3$).

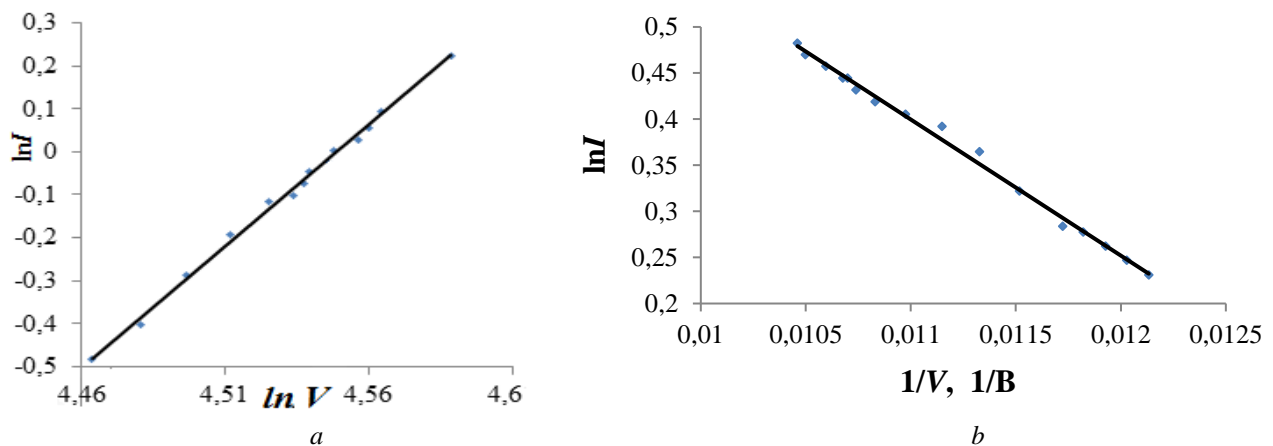
Fig. 2 – CVC-MCS:
a – InSb; b – InSb/InP

Table 1 summarizes the main measurement results. ~ 20 measurements were made on each sample, random samples were taken from ~ 5 measurements, the average approximation parameters found in the table were found. The maximum deviations from the mean were $\pm (10-15)\%$.

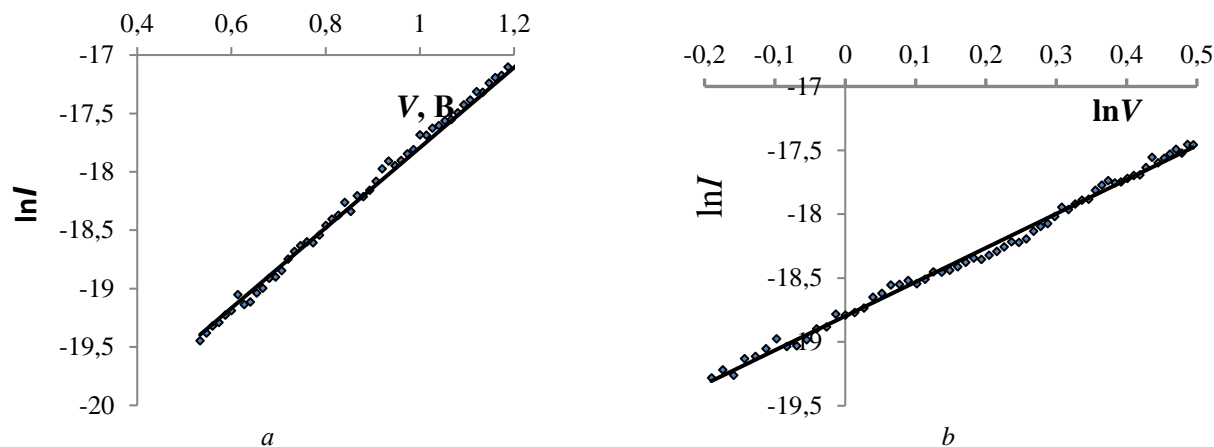


Fig. 3 – CVC-STM emission from QDs InSb (a) and probe (b)

From the obtained data it is possible to make a model representation of the intergranular transport of electrons.

During emission from quantum dots (-V on the sample) for QDs-InSb, two sections of the current – voltage characteristics are observed: in the low-voltage region (up to 1.2 V) - thermoemission with $B_e \approx 3.43$ and in the high-voltage region (more than 1.2 V) - tunnel emission with the parameter $B_t \sim 2.23$. For QDs-InSb/CdS and InSb/InP, the tunnel-emission mechanism at $B_t \sim 7$ is the prevailing one. The ratio of indicators, equal to about three, is explained by the fact that the determining value in the formula for the parameter B_t is the square root of the effective mass [2], the ratio of which in this case is approximately three ($m_{\text{InSb}} \sim 0,015m_0$; $m_{\text{CdS}} \sim 0,2 m_0$; $m_{\text{InP}} \sim 0,1m_0$). Such a result may indicate that the emission occurs from the shell layer, and not from the QDs core.

During emission from the probe (+ V on the sample), the CVC for QDs-InSb/CdS and InSb/InP is determined by tunneling and the passage of electrons into the QDs core through the shell. The B_t parameter has a value intermediate between the core (InSb) and the shell (CdS and InP). For the QDs-InSb / InP sample, at voltages above 1,5 V, the Fowler-Nordheim dependence was observed (in table 1, the parameter is marked “3,9*”), that is, the current-voltage characteristic was determined by the emission from the probe. This may indicate the fast nature of tunneling through the InP shell, which has better dimensional quantization properties than the CdS shell.

For QDs-InSb, a characteristic power dependence was observed by which one can judge the Coulomb current limit by space charge (SCLC) of QDs (Table 1, $C \sim 2,67$). This effect is similar to the Coulomb blockade and is a direct proof of the quantum dimension of nanoparticles.

The CVC-MZS for QDs-InSb had the form of a SCLC, but with a higher value of the parameter C (Table 1, $C \sim 4,9$). The CVC for QDs-InSb/InP had a clearly tunneling character with a large value of the parameter $B_t \sim 140$. Based on the model of current flow through successive QDs with hops through many intergrainnanogap [4] and using the ratio of the parameters B_t (140: 2,23), we can assume that the current lines average $\sim (50-60)$ gaps, that is, the layer consists from about 100-200 QDs (1-2 microns).

Table 1 – Summary of data on the measurement results of the current-voltage characteristic

options CVC	STM, minus on SC			STM, plus on SC			MCS		MCS PbS
	InSb	InSb/CdS	InSb/InP	InSb	InSb/CdS	InSb/InP	InSb	InSb/InP	
B_e	3,43		15,75						1,2
B_t	2,23	-6,98	-6,63		-4,72	-3,3/-3,9*		-140	-9,1
C				2,67			4,9		2,25

Conclusion

Thus, the structure of the multicrystalline layer of quantum dots for current flow and electron transport has intergrainnanogap, in which electrons overcome barriers by an emission method for QDs without a shell and tunneling-emission ones for QDs with a shell. When a quantum dot is injected into a semiconductor, electrons experience tunneling emission and passage through the shell and are limited by space charge like a Coulomb blockade.

Финансирование

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ 19-07-00595.

Funding

The study was carried out with the financial support of the RFBR grant 19-07-00595.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Bueno P. R. SnO₂, ZnO and related polycrystalline compound semiconductors: An overview and review on the voltage-dependent resistance (non-ohmic) feature / P. R. Bueno, J. A. Varela, E. Longo // Journal of the European Ceramic Society. – 2008. – V. 28, Is. 3. – P. 505-529.

2. Zhukov N.D. Local emission spectroscopy of surface micrograins in AIIIBV semiconductors / N.D. Zhukov, E.G. Gluhovskoy, D.S. Mosiyash // Semiconductors. –2016. – Vol. 50, No. 7. – P. 894–900.
3. Zhukov N.D. On the local injection of emitted electrons into micrograins on the surface of AIII–BV semiconductors / N.D. Zhukov, E.G. Glukhovskoi, A.A. Khazanov // Semiconductors. –2016. –Vol. 50, No. 6. – P. 756–760.
4. Zhukov N.D. Mechanisms of Current Transfer in Electrodeposited Layers of Submicron Semiconductor Particles / N.D. Zhukov, D.S. Mosiyash, I.V. Sinyov et al. // Technical Physics Letters. – 2017. – Vol. 43, No. 12. – P. 1124–1127.
5. Adrianov V.E. Spectral study of the self-organization of quantum dots during the evaporation of colloidal solutions / V.E. Adrianov, V.G. Maslov, A.V. Baranov et al. // Journal of Optical Technology. – 2011. – Vol. 78, No. 11. – P. 699-705.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.109.7.005>

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНО-ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОЛЛОИДНЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК УЗКОЗОННЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ МЕТОДАМИ ЭЛЕКТРОННОЙ И СКАНИРУЮЩЕЙ ЗОНДОВОЙ МИКРОСКОПИИ

Научная статья

Жуков Н.Д.^{1,*}, Штыков С.Н.², Гавриков М.В.³, Лазарев С.А.⁴, Цветкова О.Ю.⁵^{1, 4, 5} ООО «НПП Волга», Саратов, Россия;^{2, 3} Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского, Саратов, Россия

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

Аннотация

На основе вариаций параметров синтеза квантовых точек и измерений на электронном и зондовом микроскопах установлено, что определяющей для структурно-физических свойств квантовых точек является скорость кристаллизации в процессе их коллоидного синтеза. При этом, при медленном росте кристаллов гистограмма распределения по размерам имеет два максимума, что связано, вероятно, с термодинамической анизотропией кристаллизации. Исследование туннельно-эмиссионных свойств квантовых точек позволило оценить величины эффективной массы их электронов проводимости и предположить применимость её метода к квантовым точкам. При этом величины потенциального барьера эмиссии определяются по характеристике дифференциальной туннельной проводимости $(dI/dV)/(I/V)$.

Ключевые слова: узкозонный полупроводник, кристаллическая структура, зонная структура, эффективная масса, наноструктура, наночастица, квантовая точка, коллоидный синтез, термодинамическое равновесие, кристаллизация, скорость роста.

AN INVESTIGATION OF THE STRUCTURAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF COLLOIDAL QUANTUM DOTS OF NARROW-BAND SEMICONDUCTORS VIA ELECTRON AND SCANNING PROBE MICROSCOPY

Research article

Zhukov N.D.^{1,*}, Shtykov S.N.², Gavrikov M.V.³, Lazarev S.A.⁴, Tsvetkova O.Yu.⁵^{1, 4, 5} Scientific Industrial Enterprise Volga LLC (ООО "NPP Volga"), Saratov, Russia;^{2, 3} Saratov State University, Saratov, Russia

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

Abstract

Based on variations in the parameters of the synthesis of quantum dots and measurements on electron and probe microscopes, the study establishes that the crystallization rate during their colloidal synthesis is the determining factor for the structural and physical properties of quantum dots. At the same time, with the slow growth of crystals, the histogram of the size distribution has two maxima, which is probably due to the thermodynamic anisotropy of crystallization. The study of the tunnel-emission properties of quantum dots makes it possible to estimate the values of the effective mass of their conduction electrons and to assume the applicability of its method to quantum dots. At the same time, the values of the potential emission barrier are determined by the characteristic of the differential tunneling conductivity $(dI/dV)/(I/V)$.

Keywords: narrow-band semiconductor, crystal structure, band structure, effective mass, nanostructure, nanoparticle, quantum dot, colloidal synthesis, thermodynamic equilibrium, crystallization, growth rate.

Введение

Анализ научных публикаций по направлениям коллоидных квантоворазмерных структур за последние 5 лет показывает, что подавляющее их число посвящено широкозонным полупроводникам, в основном, халькогенидам кадмия [1], [2]. При этом главной тенденцией являются управляемый коллоидный синтез и исследование свойств наноструктур разных форм – нитей, пластинок, свёрток и др. [3], [4]. Основная практическая направленность этих работ связана с оптоэлектроникой – структур для светодиодов и фотовольтаики [5], [6]. Узкозонные квантоворазмерные полупроводники, например, антимонид индия, имеющие существенно более высокие параметры размерного квантования благодаря экстремально низким значениям эффективной массы электронов проводимости и специфике своей зонной структуры, по нашему мнению, представляют больший интерес. Публикации в этом направлении малочисленны и не исчерпывают всей возможной проблематики [7], [8].

Несмотря на большое число физических моделей и предложений для применения коллоидных квантовых точек (КТ), они используются пока только как люминофоры в светодиодах и дисплеях [2], [6], [9]. При этом, определяющим физическим процессом фотон-электронных взаимодействий является экситонный механизм в условиях простого размерного ограничения [10]. Проводятся многочисленные исследования квантоворазмерных эффектов в квантовых точках, а практических применений мало. На наш взгляд, причиной такого состояния является то, что технология пока не обеспечивает основного требования к квантоворазмерным частицам – необходимую точность задания и воспроизводимости их размеров.

Размеры коллоидных квантовых точек и кристаллическая структура принципиально влияют на их электрофизические и оптические свойства. Электронные процессы и квантовые состояния в КТ обусловлены резонансным движением электронов в условиях размерного ограничения и квантования [2], [6]. Этот процесс зависит от структуры зон, энергетической и Бриллюэна, которые, в свою очередь, определяются степенью совершенства кристаллической решётки [6], [11].

Несмотря на большое число работ и публикаций, главная проблема технологии коллоидного синтеза квантовых точек – получение узкого разброса их по размерам – остаётся достаточно сложной. При этом, видимо, определяющим технологическим параметром является степень пересыщения раствора, выражаемая на практике в скорости кристаллизации. В технологиях полупроводниковых структур скорость роста кристаллической структуры – определяющий интегральный параметр для любого процесса образования структуры твёрдой фазы, например, эпитаксии тонких плёнок. В коллоидной химии наночастиц, интегральным параметром процесса является его время, варьируемое на практике от единиц секунд до десятков минут.

Целью данной работы явилось сравнительное исследование структурно-физических свойств наиболее изучаемых вариантов квантовых точек на основе полупроводников PbS, InSb, CdSe, полученных при варьировании природы растворителя, температуры, соотношения концентраций прекурсоров, времени процесса.

Исследование основано на результатах измерений методами электронной (сканирующей – СЭМ, просвечивающей – ПЭМ, ТЕМ) и сканирующей зондовой (СЗМ: атомно-силовой – АСМ; туннельной – СТМ) микроскопии. Примеры использования методов электронной и сканирующей зондовой микроскопии для исследования свойств кристаллических полупроводников, в частности квантовых точек, приведены, например, в работах [12], [13].

Методика исследования

Коллоидный синтез квантовых точек КТ-PbS проводили с учётом данных методики, описанной в работе [14], в среде безводного уайт-спирита или октадецена с использованием в качестве прекурсоров олеатов свинца, серы и сероводорода. При этом использование нескольких типов растворителей, значительно отличающихся предельной растворимостью серы, нескольких источников прекурсора и разной температуры позволило получить зависимость размера и формы кристаллов от указанных параметров. Коллоидный синтез квантовых точек InSb проводили по методике, апробированной ранее [8], в среде безводного олеиламина, с использованием в качестве прекурсоров смеси ацетата и хлорида индия в соотношении 4:1 и трис[бис(триметилсилил)амида] сурьмы $\text{Sb}[\text{N}(\text{Si}(\text{Me})_3)_2]_3$. Квантовые точки на основе CdSe изготовлены по технологии, описанной в работе [15].

Образцы квантовых точек синтезированы в лабораториях ООО «НПП Волга» (сульфид свинца), НИИ ПА (Дубна, сульфид свинца-кадмия, селенид-сульфид кадмия, антимонид индия), Института химии Саратовского государственного университета (селенид-сульфид кадмия-цинка).

Использованные в данной работе методы исследования КТ позволяли контролировать следующие структурно-физические свойства: СЭМ – элементный состав наночастиц; ПЭМ (ТЕМ) – одномерную форму и размеры кристаллитов; АСМ – трёхмерную форму кристаллитов; СТМ – вольтамперные характеристики (ВАХ) отдельных наночастиц в планарной наноструктуре, выращенной по методу Ленгмюра-Блоджетт.

Элементный состав наночастиц контролировали рентгеновским микроанализом на сканирующем электронном микроскопе MiraII LMU, оснащённом системой энергодисперсионных спектрометров INCAEnergy 350 (TESCAN, Чехия). Экспериментальная погрешность определения атомного состава материала была около одного процента. Непосредственно перед измерениями квантовые точки освобождали от сорбированных на их поверхности лигандов и антиоксиданта отделением осадка центрифугированием (1 мин 10000g), редиспергировали в гексане и высаживали островками на кремниевую подложку толстым слоем (не менее 10 мкм).

Контроль размеров и формы КТ позволяет качественно судить об их кристаллической структуре с учётом того, что закономерный рост кристаллита определяет полигональный характер и параметры геометрической фигуры. Исследования проводили на просвечивающем микроскопе Libra-120 (CarlZeiss, Германия) и атомно-силовом – SOLVER Nano (NT-MDT, Россия).

СТМ-исследование вольт-амперных характеристик (ВАХ) одиночных квантовых точек позволяет определить эффективную массу их электронов проводимости – фундаментальное свойство полупроводника, отражающее его зонную структуру и кристаллическое совершенство. Перед исследованием ВАХ отдельной наночастицы поверхность пленки сканировали в режиме стабилизированного тока и анализа СТМ-образа (3D-топограммы) поверхности. После анализа полученного СТМ-образа поверхности образца на нём выбирали не менее 10 точек для снятия ВАХ. В автоматическом режиме измеряли не менее 15 ВАХ на точку. По воспроизводимости результатов измерений отбирали точки с устойчивыми характеристиками, после чего усредняли измеренные ВАХ. Все эти меры приняты для избежания методических ошибок, приводящих к получению артефактных результатов. Результаты измерений обрабатывали по общепринятым методикам сканирующей зондовой микроскопии полупроводниковых наноструктур [16].

Анализ ВАХ проводили методом построения кривых в разных координатах с использованием программы Excel и сопоставления значений коэффициентов достоверности аппроксимации. При этом использованы построения в координатах $(\ln I \sim \ln V)$, $(\ln I \sim V)$, $(\ln I \sim 1/V)$, как это принято для полупроводниковых структур [17], [18]. 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 проводили при создании ненулевого нанозазора d_0 зонд-образец, который обеспечивали манипуляциями положением зонда и заданием определённых значений тока и напряжения. Контроль величин зазора d_0 проводили по ВАХ эмиссии из зонда методом, описанным в [19] и наших работах [17], [20]. Измерения и обработку данных проводили для зазоров четырёх вариантов в интервале от 1 до 10 нм. Все основные данные приведены для варианта минимального (1–2 нм) зазора. 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.

Все измерения проводили на случайных выборках, используя аликвоты коллоидного раствора изготовленных образцов.

Измерения на электронных микроскопах проводили в лабораториях ИБФРМ РАН (Саратов, ПЭМ) и Института наноструктур и биосистем СГУ (СЭМ).

Результаты и их обсуждение

В работе исследованы следующие варианты квантовых точек (в скобках указаны химические формулы оболочки): PbS, PbS(CdS), InSb-big, InSb-smal, InSb(InP/CdS), CdSe(CdS), CdSe(CdS/ZnS) .

Данные по параметрам синтеза и размерам квантовых точек приведены в табл. 1, где номерами 1-8 обозначены образцы KT-PbS, 9 – KT PbS(CdS), 10 – KT-InSb-big, 11 – KT-InSb-smal, 12 – KT-CdSe(CdS/ZnS).

Таблица 1 – Данные по параметрам синтеза размерам квантовых точек

№№ п/п	Темпе- ратура С	Концен- трация 1-го прекурс, М	Растворитель	Концен- трация 2-го прек, М	Время роста, мин	Размеры КТ, нм	Тип кривой распределения по рис. 2
1	200	0,01	октадецен	0,01	~0,5	7 ± 3	4
2	200	0,15	октадецен	0,15	~ 0,2	8 ± 4	4
3	200	0,15	уайт-спирит	0,01	3	2,5±0,5	1
4	200	0,01	уайт-спирит	0,01	5	3,0±1,0	1
5	150	0,1	ксилол	H ₂ S	~1	4 ± 1,0	1
6	20	0,15	уайт-спирит	H ₂ S	~ 0,5	4,5±1,0	2
7	200	0,1	уайт-спирит	0,05	10	3,2±0,5	1
8	150	0,1	уайт-спирит	0,05	40	4,5±0,5	2
9	150		олеиламин		~ 0,5	4,5±0,5	2
10	250	0,2	олеиламин	0,1	40	12 ± 1	2
11	250	0,2	олеиламин	0,1	20	7 ± 0,5	2
12	140		октадецен		10	7,5±0,5	3

Состав и стехиометрия квантовых точек

Химический состав синтезированных КТ и его соответствие расчетным данным, с целью оценки стехиометрии их структуры, приведены в табл. 2. В качестве примера можно рассмотреть результаты для КТ InSb(InP/CdS), имеющих самую сложную структуру. Как видно из таблицы 2, определены все компоненты состава образцов. При этом обнаружены следы углерода и практически отсутствовал кислород, что объясняет важный для практики факт практически полного отсутствия окисления для случая сложной оболочки (InP/CdS). Кроме того, оболочка, видимо, частично препятствует освобождению от лиганда и антиоксиданта с поверхности КТ, о чём свидетельствуют обнаруженные следы углерода.

Таблица 2 – Данные измерений рентгеновского СЭМ-микроанализа

КТ	Элемент	In	Sb	Cd	P	Pb	S	
	Атомная масса	115	122	112	31	207	32	
InSb InP/CdS	Содержание, %	5,02	6,55	63,76	6,62		18,05	100
	Относительное содержание, усл. ед.	22,95	18,63	1,75	4,68		1,77	
PbS	Содержание, %					86,3 (86,6)	13,7 (13,4)	100
	Относительное содержание, усл. ед.					2,40	2,34	

Оценку стехиометрического соотношения элементов в КТ проводили, измеряя сигнал датчика характеристического рентгеновского излучения, как показатель относительного содержания, который пропорционален атомной массе элемента и току в возбуждающем электронном луче и обратно пропорционален количеству наночастиц, с которыми взаимодействуют электроны. В качестве характеристики количества атомов мы выбрали условную величину, пропорциональную отношению атомной массы к долевого содержанию – в табл. 2 она обозначена как «относительное содержание». По полученным данным (табл. 2) и по химическим формулам образцов можно заключить, что составы КТ соответствуют желаемому стехиометрическому соотношению элементов, а именно: для КТ-InSb/InP/CdS – содержание индия (22.95) примерно равно содержанию сурьмы и фосфора (23.31); а содержание кадмия (1.75) – содержанию серы (1.77); для КТ-PbS – содержание свинца (2.40) – примерно равно содержанию серы (2.34). Незначительное отклонение от точного равенства объясняется неизбежной погрешностью определений.

Форма и размеры квантовых точек

Форму и размеры квантовых точек исследовали на ПЭМ, с разрешением не хуже 0.3 нм, по общепринятой методологии [21]. Измерения проводили многократно, используя в каждой партии несколько образцов. На рисунке 1 представлены типичные картины снимков фрагментов групп квантовых точек нескольких типов.

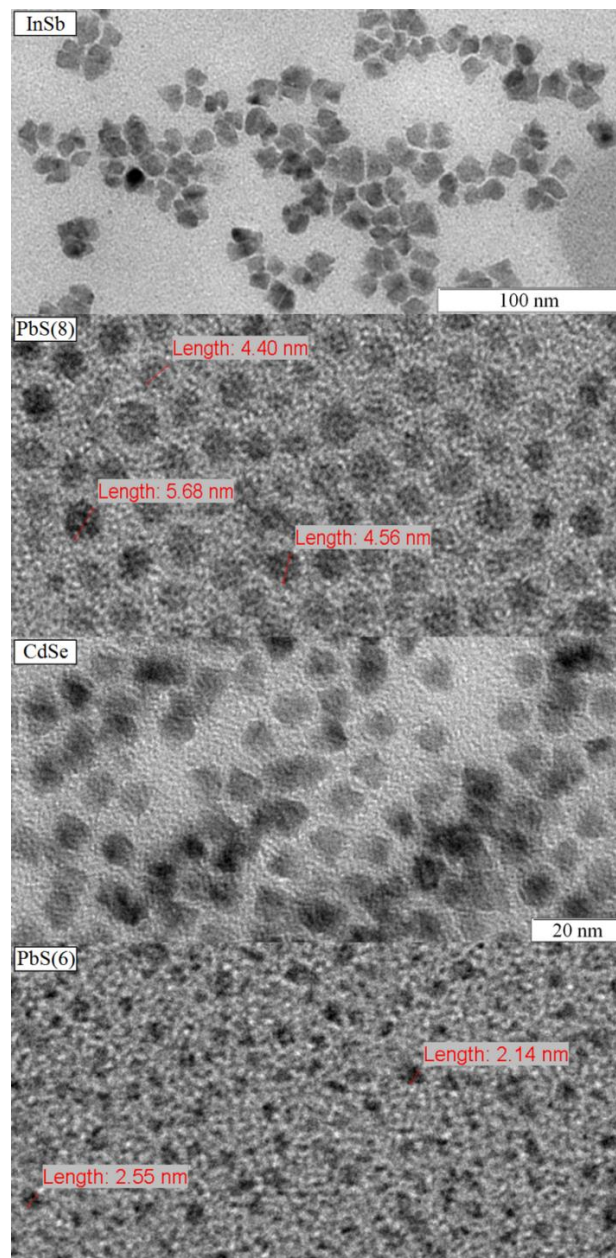


Рис. 1 – Фрагменты ТЕМ-снимков квантовых точек

Статистический анализ показал, что плоская форма квантовых точек имеет полигональный вид. При этом для КТ-PbS и CdSe преобладает четырёх-пятигранная форма, а для КТ-InSb и в отдельных случаях вариантов КТ-PbS – трёх-четырёхгранная. Эти результаты указывают на то, что синтезированные кристаллиты имеют структуру, соответствующую сингонии кристаллической решётки полупроводников [22], а именно: CdSe – гексагональную, PbS – гексагональную или кубическую, InSb – кубическую. Похожие ТЕМ-изображения получены для КТ-PbS, например, в работе [23].

Исследование трёхмерной формы проводили по 3D-топограммам АСМ. При большом увеличении на экране хорошо просматривалась уплощённая форма наночастиц. Такая форма может быть связана с тем, что при синтезе быстрее происходит рост кристаллита в направлении минимума энергии взаимодействия (связи). Для сульфида свинца, например, энергетическая анизотропность решётки сравнительно велика и имеет минимум энергии связи в (100)-плоскости [24].

Кристаллическая структура квантовых точек при коллоидном синтезе зависит от условий кристаллизации, одним из важнейших параметров которого является степень пересыщения раствора при добавлении в него второго прекурсора, выводящего раствор из термодинамического равновесия. При этом большую роль играет локальность и кинетика химического процесса. В этих условиях, очевидно, что пересыщение зависит от концентраций компонентов реакции, их взаимодействия с растворителем, скорости перемешивания самого раствора и его температуры. Результирующим параметром при этом является время кристаллизации наночастиц, определяемое обычно по появлению характерной окраски раствора. Процесс образования наночастиц быстро останавливали на нужной стадии резким понижением температуры раствора.

Измерения размеров наночастиц проводили по ТЕМ-снимкам, при большом увеличении на экране, рядами по 100 частиц подряд. Они показали, что во всех случаях наблюдаются одна или две области распределения – один или два горба на гистограмме (рис. 2). При этом может быть вариант, когда второй горб проявляется слабо (рис. 2, кр. 1 и 3).

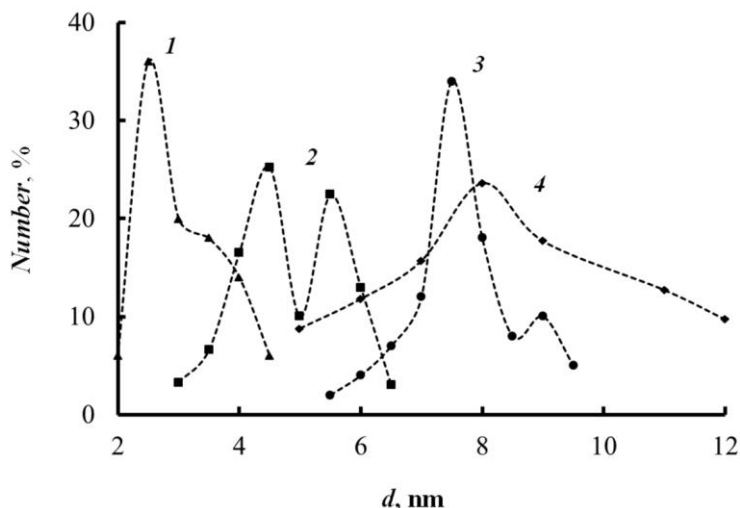


Рис. 2 – Гистограммы распределения количества наночастиц по размерам для разных вариантов образцов:
1 – КТ-PbS(3); 2 – КТ-PbS(CdS); 3 – КТ-CdSe(CdS/ZnS); 4 – КТ-PbS(2)

Объём раствора реакционной смеси реагентов всегда был постоянным и составлял 15 мл. Объём добавляемого раствора прекурсора серы был равен 1 мл, молярные концентрации соли свинца и серы приведены в табл. 1. При использовании в качестве прекурсора серы сравнивали два растворителя: октадецен (хорошая растворимость серы, быстрый синтез, менее минуты) и уайт-спирит (медленный синтез, более 10 минут). Кроме того, в качестве прекурсора серы апробировали газообразный сероводород (быстрый синтез).

Использование в качестве растворителя октадецена и в качестве источника серы газообразного сероводорода приводит к резкому росту скорости процесса (табл. 1, обр. 1, 2, 5, 6). Наночастицы имеют больший размер, больший его разброс и неоднозначную форму (рис. 1, КТ-PbS(5, 6)).

В табл. 1 отмечены все наблюдаемые варианты условий синтеза, соответствующие формам кривых распределения КТ по размерам (по рис. 2) в зависимости от параметров синтеза. Видна явная зависимость от основного фактора – такого, как время протекания синтеза, определяющего скорость роста КТ-кристаллитов.

Для очень быстрого процесса синтеза (образцы 1 и 2) наблюдается широкая кривая распределения наночастиц по размерам (рис. 2, кр. 4). Для умеренной скорости синтеза (образцы 3, 4, 5, 7, 12) – кривыми вида 1 или 3, на которых наблюдается небольшого второй максимум. Для очень медленного процесса (образцы 8–11) получена зависимость, чётко имеющая два максимума (рис. 2, кр. 2).

Исключением из этой закономерности является образец 6 (с двумя максимумами), синтезированный при большой скорости роста с использованием сероводорода, но при низкой (комнатной) температуре. Этот результат представляет практический интерес для высокопроизводительной технологии производства.

Наблюдаемое распределение размеров КТ с двумя максимумами в случае медленной кристаллизации мы объясняем наличием у них различных размеров в двух взаимно-перпендикулярных геометрических (кристаллографических) направлениях. Мы связываем это с неізотропным ростом КТ-кристаллитов, определяемым анизотропией термодинамических свойств кристаллической решётки. Очевидно, что в условиях медленного роста кристаллита лимитирующим будет термодинамический механизм с проявлением анизотропии процесса кристаллизации, максимально близкой к идеальному формированию кристаллической решётки.

Наблюдаемое распределение размеров КТ с двумя максимумами в случае быстрой кристаллизации, например, образец КТ PbS(6) (рис. 1), мы объясняем образованием двух структурных форм кристаллов – кубической и гексогональной. Мы предполагаем, что при «медленном» синтезе успевают пройти все стадии кристаллизации – нуклеация, рост и «освальдовское созревание».

В случае гистограмм с двумя максимумами распределения по размерам, следуя теории фотолюминесценции в квантовых точках, должны быть так же два максимума на спектральной кривой фотолюминесценции, что и наблюдалось нами экспериментально для КТ PbS(CdS) – рис. 3. Расчёт величин спектральных максимумов, проведённый методом, описанным в нашей работе [25], подтвердил вид распределения с двумя максимумами. Необходимо, однако, отметить, что для квантовых точек на основе антимонида индия, имеющих чётко выраженные зависимости распределения по размерам с двумя максимумами, в спектрах фотолюминесценции такого не наблюдалось [8].

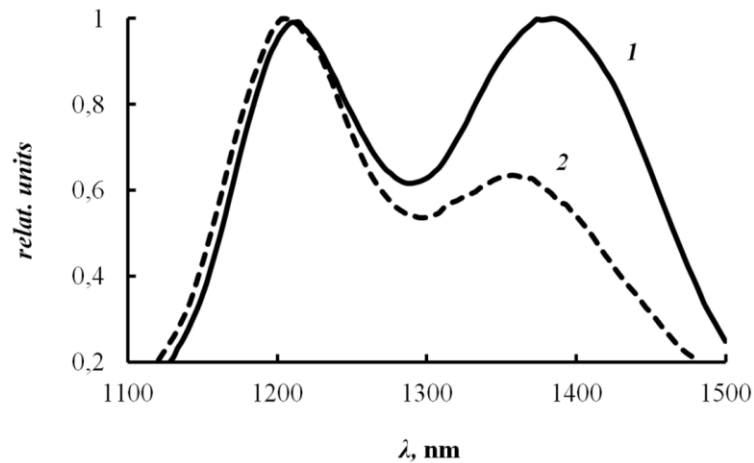


Рис. 3 – Спектральные зависимости фотолюминесценции:
1 – KT-PbS(CdS); 2 – KT-PbS(6)

Эффективная масса

Метод эффективной массы является фундаментальным в квантовой механике теории полупроводников. По существу, эффективная масса электрона и, пропорционально-обратная ей величина – его подвижность, определяются степенью структурного совершенства кристаллической решётки. Для квантовой точки, которую иногда в литературе представляют как большую молекулу, применение метода эффективной массы не является очевидным и требует соответствующих обоснований. Для идеальной по структуре наночастицы эффективная масса электрона определяет квантовомеханический процесс туннельной эмиссии электрона через потенциальный барьер [19]. Поэтому исследование эмиссионного процесса в отдельной квантовой точке является подходящим инструментом определения эффективной массы и, соответственно, качества кристаллической структуры КТ.

Для всех образцов при полярности «минус» на образце (режим эмиссии) в интервале величин напряжения от 0.2 до 0.5 В ВАХ хорошо аппроксимировались зависимостью $I \sim \text{Dexp}(-B_{TI}/V)$, (рис. 3), которая интерпретируется механизмом туннелирования электронов с приповерхностных уровней полупроводника [17], [19]. О туннельном механизме свидетельствует также и слабая температурная зависимость параметра B_{TI} (1 и 3 на рис. 4). Сравнение с расчётной формулой для эмиссии электронов в полупроводнике с приповерхностных уровней позволяет получить выражение для $B_{TI} \sim 8\pi\psi^{3/2}(2m)^{1/2}(qhE)^{-1}F(E,\psi)$ [17], [19], [21], где: E – напряжённость электрического поля на поверхности образца, ψ – величина 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 10^6 В/см (наш случай) $F \sim 1$ [19]. При этом полупроводниковая специфика эмиссии функционально выражена в параметре D , который слабо зависит от E . Полагая, как обоснованно принимается [17], [19], [21], $E \sim V/d_0$, получим для параметра B_{TI} следующее выражение: $B_{TI} \sim 3,5d_0(m/m_0)^{1/2}\psi^{3/2}$, где: d_0 – величина зазора между зондом и образцом в нанометрах, ψ – [эВ].

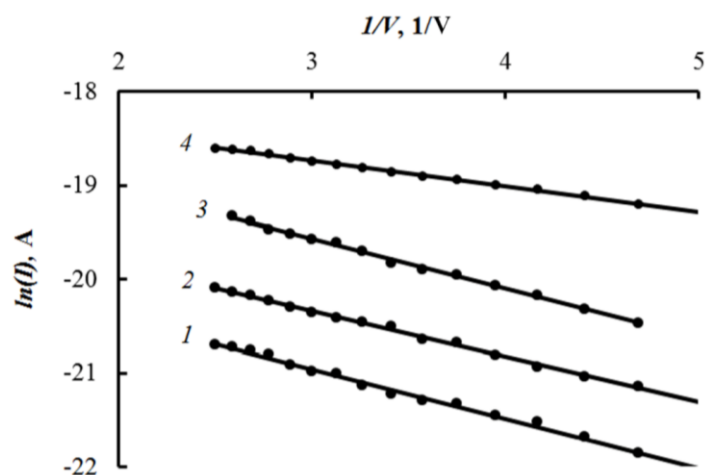


Рис. 4 – ВАХ в координатах $\ln(I)-1/V$ («минус» на образце):
1 – KT-InSb (363K); 2 – KT-CdSe(CdS); 3 – KT-InSb (293K); 4 – KT-PbS

Найденные по ВАХ (рис. 4) усреднённые значения величин $B_{TI\text{medu}}$ были следующими: для KT-PbS – 0.35; KT-InSb – 0.53; KT-CdSe(CdS) – 0.43. Усреднение проводилось по 10–20 измерениям, максимальные отклонения от среднего не превышали $\pm 25\%$.

На рис. 5 приведён пример зависимости $(dI/dV)/(I/V)$ от V , используемой для оценки плотности состояний [20], [22]. 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 [23]: $dI \propto \rho_s(E)dE$, 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 (рис. 5). 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 добавкой на падение напряжения в образце, которое может быть существенным из-за возможного электронного обеднения приповерхностной зоны полупроводника.

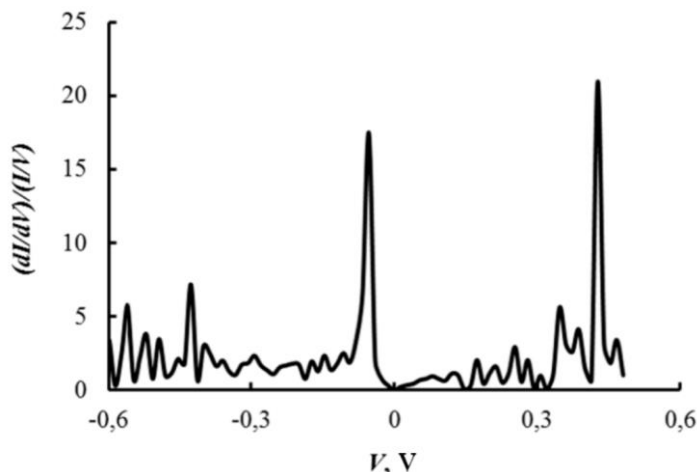


Рис. 5 – Пример характеристики дифференциальной туннельной проводимости для образца КТ-CdSe(CdS/ZnS)

В случае квантоворазмерных полупроводниковых частиц использование этого метода проблематично и требует специального теоретического анализа. Однако, мы предположили возможность его применения в случаях, когда зависимость $(dI/dV)/(I/V)$ от V устойчиво наблюдалась экспериментально. Для полученных значений параметра V_{T1med} и по формуле $V_{T1} \sim 3,5d_0(m/m_0)^{1/2} \psi^{3/2}$ рассчитаны величины параметра $m/m_0(эксн)$. При этом за величины ψ приняты значения V пиков, справа от нуля (рис. 5) 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 самым прямым туннелированием (термин «прямое туннелирование» применён, например, в работе [18]).

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. В этом случае за величину ψ можно принять разницу всего энергетического интервала на рис. 5 и ширины запрещённой зоны полупроводника. Рассчитанные таким образом значения $m/m_0(эксн)$ хорошо соответствовали их величинам для объёмных полупроводников: PbS – 0.06; InSb – 0.03; CdSe – 0.13. Это соответствие может означать, что метод эффективной массы применим к квантовым точкам.

Заключение

На основе вариаций параметров синтеза квантовых точек и измерений на электронном и зондовом микроскопах установлено, что определяющей для структурно-физических свойств КТ является скорость кристаллизации в процессе их коллоидного синтеза. При этом при медленном росте кристаллов гистограмма распределения по размерам имеет два максимума, что мы связываем с анизотропией термодинамических свойств кристаллизации. Исследование туннельно-эмиссионных свойств КТ позволило оценить величины эффективной массы их электронов проводимости и предположить применимость её метода к квантовым точкам. При этом величины потенциального барьера эмиссии мы определили по характеристике дифференциальной туннельной проводимости $(dI/dV)/(I/V)$.

Финансирование

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта 20-07- 00307-а.

Funding

The work was carried out with the financial support of grant 20-07 - 00307-a.

Благодарности

Авторы благодарны за научно-консультативную помощь профессору Смирновой Т.Д. и доктору химических наук Крыльскому Д.В. Авторы благодарны за помощь при измерениях Бурову А.М. (ЦКП «Симбиоз» ИБФРМ РАН) и Захаревичу А.М. (лаборатория диагностики наноматериалов и структур СГУ).

Acknowledgement

The authors are grateful for the scientific and advisory assistance of Professor T. D. Smirnova and Doctor of Chemical Sciences D. V. Krylsky. The authors are grateful for the help in measurements to A. M. Burov (CCP "Symbiosis" IBFRM RAS) and A.M. Zakharevich (Laboratory for Diagnostics of Nanomaterials and structures of SSU).

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Alizadeh-Ghodsi M. State-of-the-Art and Trends in Synthesis, Properties, and Application of Quantum Dots-Based Nanomaterials / M. Alizadeh-Ghodsi, M. Pourhassan-Moghaddam, A. Zavari-Nematabad et al. // Part. Syst. Charact. – 2019. – № 36. – P. 1800302–1800322.
2. Бричкин С.Б. Коллоидные квантовые точки: синтез, свойства и применение / С.Б. Бричкин, В.Ф. Разумов // Успехи химии. – 2016. – Т. 85. – № 12. – С. 1297–1312.
3. Porotnikov D. Progress and Prospects of Solution-Processed Two-Dimensional Semiconductor Nanocrystals / D. Porotnikov, M. Zamkov. // J. Phys. Chem. C. – 2020. – V. 124. – № 40. – P. 21895–21932.
4. Hens Z. Atomic precision nanocrystals / Z. Hens, J. De Roo // J. Amer. Chem. Soc. – 2020. – V. 142. – № 37. – P. 15627–15637.
5. Altintas Y. Giant Alloyed Hot Injection Shells Enable Ultralow Optical Gain Threshold in Colloidal Quantum Wells / Y. Altintas, B. Liu, P. LudwigHernández-Martínez et al. // ACS Nano. – 2019. – V. 13. – № 9. – P. 10662–10670.
6. Wang D. Recent progress in quantum dot-sensitized solar cells employing metal chalcogenides / D. Wang, F. Yin, Z. Du et al. // J. Mater. Chem. A. – 2019. – V. 7. – № 46. P. 26205–26226.
7. Tamang S. Synthesis of colloidal InSb nanocrystals via in situ activation of InCl₃ / S. Tamang, K. Kim, H. Choi et al. // Dalton Trans. – 2015. – V. 44. – P. 16923–16928.
8. Крыльский Д.В. Синтез, состав, фотолюминесценция, стабильность свойств коллоидных квантовых точек на основе антимиона индия / Д.В. Крыльский, Н.Д. Жуков // Письма в ЖТФ. – 2019. – Т. 45. № 16. – С. 10–13.
9. Shrestha A. Near-Infrared Active Lead Chalcogenide Quantum Dots: Preparation, Post-Synthesis Ligand Exchange, and Applications in Solar Cells / A. Shrestha, M. Batmunkh, A. Tricoli et al. // Angewandte Chemie International Edition. – 2019. – V. 58. – № 16. – P. 5202–5224.
10. Ghimire S. Relations of exciton dynamics in quantum dots to photoluminescence, lasing, and energy harvesting / S. Ghimire, V. Biju. // Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews. – 2018. – V. 34. – P. 137–151.
11. Борисенко С.И. Физика полупроводниковых наноструктур: учебное пособие / С. И. Борисенко. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета. 2010. – 115 с.
12. Yu K. Thermodynamic Equilibrium-Driven Formation of Single-Sized Nanocrystals: Reaction Media Tuning CdSe Magic-Sized versus Regular Quantum Dots / K. Yu, M. Z. Hu, R. Wang et al. // J. Phys. Chem. – 2010. – V. 114. – № 8. – P. 3329–3339.
13. Navarro-Pardo F. Structure/Property Relations in “Giant” Semiconductor Nanocrystals: Opportunities in Photonics and Electronics / F. Navarro-Pardo, H. Zhao, Z.M. Wang et al. // Acc. Chem. Res. – 2018. – V. 51. – № 3. – P. 609–618.
14. Матюшкин Л. Б. Особенности синтеза люминесцирующих полупроводниковых наночастиц в полярных и неполярных средах / Л. Б. Матюшкин, О. А. Александрова, А. И. Максимов и др. // Биотехносфера. – 2013. – Т. 2. – № 26. – С. 27–32.
15. 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.
16. Алексеев П. А. Диагностика материалов методами сканирующей зондовой микроскопии / П.А. Алексеев, И.Е. Кононова, А.И. Максимов, и др. – С-Пб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2017. – 172 с.
17. Жуков Н. Д. О механизме и особенностях полевой эмиссии в полупроводниках / Н.Д. Жуков, А.И. Михайлов, Д.С. Мосияш // Физика и техника полупроводников. – 2019. – Т. 53. – № 3. – С. 340–344.
18. 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.
19. Егоров Н. В. Автоэлектронная эмиссия. Принципы и приборы / Н. В. Егоров, Е. П. Шешин. – М.: Интеллект, 2011. – 704 с.
20. Mikhailov A. I. Methodology of analyzing the InSb semiconductor quantum dots parameters / A. I. Mikhailov, V. F. Kabanov, M. V. Gavrikov // Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics. – 2019. – V. 10. – № 6. – P. 720–724.
21. Zhang H. Shape-Controlled HgTe Colloidal Quantum Dots and Reduced Spin–Orbit Splitting in the Tetrahedral Shape / H. Zhang, P. Guyot-Sionnest // J. Phys. Chem. Lett. – 2020. – V. 11. – № 16. – P. 6860–6866.
22. Reiss P. Core/Shell Semiconductor Nanocrystals / P. Reiss, M. Protiere, L. Li // Small. – 2009. – V. 5. – № 2. – P. 154–168.
23. Hines M. A. Colloidal PbS Nanocrystals with Size-Tunable Near-Infrared Emission: Observation of Post-Synthesis Self-Narrowing of the Particle Size Distribution / M. A. Hines, G. D. Scholes. // Adv. Mater. – 2003. – V. 15. – № 21. – P. 1844–1849.
24. Tersoff J. Method for the calculation of scanning tunneling microscope images and spectra / J. Tersoff // Phys. Rev. – 1989. – V. 40. – № 17. – P. 11990–11993.
25. Жуков Н. Д. Синтез, фото- и катодолюминесцентные свойства коллоидных квантовых точек CdSe, CdTe, PbS, InSb, GaAs / Н. Д. Жуков, Д. В. Крыльский, М. И. Шишкин, А. А. Хазанов // Физика и техника полупроводников. – Т. 53. – № 8. – С. 1103–1109.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Alizadeh-Ghodsi M. State-of-the-Art and Trends in Synthesis, Properties, and Application of Quantum Dots-Based Nanomaterials / M. Alizadeh-Ghodsi, M. Pourhassan-Moghaddam, A. Zavari-Nematabad et al. // Part. Syst. Charact. – 2019. – № 36. – P. 1800302–1800322.
2. Brichein S. B. Kolloidnye kvantovye tochki: sintez, svojjstva i primenenie [Colloidal quantum dots: synthesis, properties and application] / S. B. Brichein, V. F. Razumov // Uspekhi khimii [Advances in Chemistry]. – 2016. – Vol. 85. – No. 12. – pp. 1297–1312 [in Russian]

3. Porotnikov D. Progress and Prospects of Solution-Processed Two-Dimensional Semiconductor Nanocrystals / D. Porotnikov, M. Zamkov // J. Phys. Chem. C. – 2020. – V. 124. – № 40. – P. 21895–21932.
4. Hens Z. Atomic precision nanocrystals / Z. Hens, J. De Roo // J. Amer. Chem. Soc. – 2020. – V. 142. – № 37. – P. 15627–15637.
5. Altintas Y. Giant Alloyed Hot Injection Shells Enable Ultralow Optical Gain Threshold in Colloidal Quantum Wells / Y. Altintas, B. Liu, P. Ludwig, Hernández-Martínez et al. // ACS Nano. – 2019. – V. 13. – № 9. – P. 10662–10670.
6. Wang D. Recent progress in quantum dot-sensitized solar cells employing metal chalcogenides / D. Wang, F. Yin, Z. Du et al. // J. Mater. Chem. A. – 2019. – V. 7. – № 46. P. 26205–26226.
7. Tamang S. Synthesis of colloidal InSb nanocrystals via in situ activation of InCl₃ / S. Tamang, K. Kim, H. Choi et al. // Dalton Trans. – 2015. – V. 44. – P. 16923–16928.
8. Krylsky D. V. Sintez, sostav, fotoluminescenciya, stabil'nost' svojjstv kolloidnykh kvantovykh toček 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 [Letters to the Journal of Technical Physics]. – 2019. – Vol. 45. No. 16 – pp. 10–13 [in Russian]
9. Shrestha A. Near-Infrared Active Lead Chalcogenide Quantum Dots: Preparation, Post-Synthesis Ligand Exchange, and Applications in Solar Cells / A. Shrestha, M. Batmunkh, A. Tricoli et al. // Angewandte Chemie International Edition. – 2019. – V. 58. – № 16. – P. 5202–5224.
10. Ghimire S. Relations of exciton dynamics in quantum dots to photoluminescence, lasing, and energy harvesting / S. Ghimire, V. Biju. // Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews. – 2018. – V. 34. – P. 137–151.
11. Borisenko S. I. Fizika poluprovodnikovykh nanostruktur: uchebnoe posobie [Physics of semiconductor nanostructures: a textbook] / S. I. Borisenko. Tomsk: Tomsk Polytechnic University Publishing House. 2010. – 115 p. [in Russian]
12. Yu K. Thermodynamic Equilibrium-Driven Formation of Single-Sized Nanocrystals: Reaction Media Tuning CdSe Magic-Sized versus Regular Quantum Dots / K. Yu, M. Z. Hu, R. Wang et al. // J. Phys. Chem. – 2010. – V. 114. – № 8. – P. 3329–3339.
13. Navarro-Pardo F. Structure/Property Relations in “Giant” Semiconductor Nanocrystals: Opportunities in Photonics and Electronics / F. Navarro-Pardo, H. Zhao, Z.M. Wang et al. // Acc. Chem. Res. – 2018. – V. 51. – № 3. – P. 609–618.
14. Matyushkin L. B. Osobennosti sinteza luminescyrushchikh poluprovodnikovykh nanochastich v poljarnykh i nepoljarnykh sredakh [Features of the synthesis of luminescent semiconductor nanoparticles in polar and nonpolar media] / L. B. Matyushkin, O. A. Alexandrova, A. I. Maksimov et al. // Biotechnosfera [Biotechnosphere]. – 2013. – Vol. 2. – No. 26. – pp. 27–32 [in Russian]
15. Dezhurov S. V. Sintez vysokostabil'nykh kolloidnykh kvantovykh toček CdTeSe/CdS, CdZnS/ZnS, fluorescyrushchikh v BIIK-diapazone 650–750 nm [Synthesis of highly stable colloidal quantum dots CdTeSe/CdS, CdZnS/ZnS, fluorescent in the range of 650–750 nm] / S. V. Dezhurov, A. Yu. Trifonov, M. V. Lovygin, et al. // Rossijskie nanotekhnologii [Russian nanotechnologies]. – 2016. – Vol. 11. – No. 5–6 – pp. 54–59 [in Russian]
16. 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. – S-Pb.: Publishing house SPbGhTU «LEhTI», 2017 – 172 p. [in Russian]
17. Zhukov N. D. O mekhanizme i osobennostjakh polevoj ehmissii v poluprovodnikakh [On the mechanism and features of field emission in semiconductors] / N. D. Zhukov, A. I. Mikhailov, D. S. Mosiyash // Fizika i tekhnika poluprovodnikov [Physics and Technology of Semiconductors]. – 2019. – Vol. 53. – No. 3. – pp. 340–344 [in Russian]
18. Goldman E. I. Prjamoetunnelirovanie 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 nonstationary depletion of the semiconductor surface by the main charge carriers] / E. I. Goldman, Yu. V. Gulyaev, A. G. Zhdan, et al. // FTP [Semiconductor physics and technology]. – 2010. – Vol. 44. – No. 8. – pp. 1050–1052 [in Russian]
19. Egorov N. V. Avtoehlektronnaja ehmissija. Principy i pribory [Auto-electronic emission. Principles and devices] / N. V. Egorov, E. P. Sheshin. – M.: Intellect, 2011 – 704 p. [in Russian]
20. Mikhailov A. I. Methodology of analyzing the InSb semiconductor quantum dots parameters / A. I. Mikhailov, V. F. Kabanov, M. V. Gavrikov // Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics. – 2019. – V. 10. – № 6. – P. 720–724.
21. Zhang H. Shape-Controlled HgTe Colloidal Quantum Dots and Reduced Spin–Orbit Splitting in the Tetrahedral Shape / H. Zhang, P. Guyot-Sionnest // J. Phys. Chem. Lett. – 2020. – V. 11. – № 16. – P. 6860–6866.
22. Reiss P. Core/Shell Semiconductor Nanocrystals / P. Reiss, M. Protiere, L. Li // Small. – 2009. – V. 5. – № 2. – P. 154–168.
23. Hines M. A. Colloidal PbS Nanocrystals with Size-Tunable Near-Infrared Emission: Observation of Post-Synthesis Self-Narrowing of the Particle Size Distribution / M. A. Hines, G. D. Scholes. // Adv. Mater. – 2003. – V. 15. – № 21. – P. 1844–1849.
24. Tersoff J. Method for the calculation of scanning tunneling microscope images and spectra / J. Tersoff // Phys. Rev. – 1989. – V. 40. – № 17. – P. 11990–11993.
25. Zhukov N. D. Synthesis, photo- and cathodoluminescent properties of colloidal quantum dots CdSe, CdTe, PbS, InSb, GaAs / N. D. Zhukov, D. V. Krylsky, M. I. Shishkin, A. I. Khazanov // Fizika i tekhnika poluprovodnikov [Physics and technology of semiconductors] / M. I. Krylsky, A. I. Shishkin, A. I. Khazanov. – Vol. 53. – No. 8. – pp. 1103–1109 [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.109.7.006>**ТЕПЛООБМЕН МЕЖДУ СТРУЕЙ ПЛАЗМОТРОНА И НАГРЕВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ
РАСПЛАВА ГЛИНОЗЕМА ДЛЯ АЗОТА, АРГОНА И ВОДОРОДА**

Научная статья

Кисон В.Э.^{1,*}, Мустафаев А.С.², Сухомлинов В.С.³¹ ORCID: 0000-0001-9584-8474;² ORCID: 0000-0003-2554-8526;³ ORCID: 0000-0002-9986-4209;^{1,2} Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия;³ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

* Корреспондирующий автор (kison.vika[at]mail.ru)

Аннотация

В статье проведена оценка эффективности теплообмена между струей плазматрона и нагреваемой поверхностью расплава глинозема с целью выбора оптимального рабочего газа для технологии производства чистого белого корунда. Данная технология разрабатывается с целью ее промышленного применения, с производительностью корунда 50 кг в час. По технологии кристаллы корунда получают путем расплавления порошка глинозема в реакторе струей плазматрона. В качестве рабочего газа плазматрона рассмотрены азот, аргон и водород. При расчетах использовались оценки теплофизических характеристик азота, аргона и водорода при рабочей температуре плазматрона, то есть около 8000К. Были рассчитаны скорости струй и числа Нуссельта, характеризующие теплообмен, с учетом необходимой производительности. Согласно результатам расчетов, наиболее эффективный газ для нагревания и плавления глинозема – азот, ввиду его неполной диссоциации при рабочей температуре плазматрона и, как следствие, более высокой теплопроводности и удельной энтальпии.

Ключевые слова: плазма, рабочий газ, плазматрон, корунд.**HEAT EXCHANGE BETWEEN THE PLASMA TORCH JET AND THE HEATED SURFACE
OF THE ALUMINA MELT FOR NITROGEN, ARGON AND HYDROGEN**

Research article

Kison V.E.^{1,*}, Mustafae A.S.², Sukhomlinov V.S.³¹ ORCID: 0000-0001-9584-8474;² ORCID: 0000-0003-2554-8526;³ ORCID: 0000-0002-9986-4209;^{1,2} Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russia;³ Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

* Corresponding author (kison.vika[at]mail.ru)

Abstract.

The article evaluates the efficiency of heat transfer between the plasma torch jet and the heated surface of the alumina melt in order to select the optimal working gas for the production technology of pure white corundum. This technology is being developed for the purpose of its industrial application with a corundum capacity of 50 kg per hour. According to this technology, corundum crystals are obtained by melting alumina powder in a reactor with a plasma torch jet. Nitrogen, argon, and hydrogen are considered as the working gas of the plasma torch. The calculations use estimates of the thermophysical characteristics of nitrogen, argon, and hydrogen at the operating temperature of the plasma torch, which approximately amounts to 8000K. The jet velocity and Nusselt numbers characterizing heat transfer were calculated taking into account the required performance. According to the results of calculations, the most effective gas for heating and melting alumina is nitrogen because of its incomplete dissociation at the operating temperature of the plasma torch and, as a result, higher thermal conductivity and specific enthalpy.

Keywords: plasma, working gas, plasma torch, corundum.**Введение**

Технические системы в процессе развития усложняются, для их модернизации или разработки новых систем все чаще требуются материалы, обладающие особыми свойствами. Одним из таких материалов является синтетический корунд. Благодаря его абразивным свойствам, оптической прозрачности, химической, термической и радиационной стойкости он уже незаменим в электронной, оптической, авиационной и других отраслях промышленности и рынок только растет [1]. В связи с этим, возникает необходимость разработки промышленной технологии производства чистого белого корунда, так как существующие на данный момент способы получения оксида алюминия не применимы промышленно или не обеспечивают высокую чистоту материала [2]. Решением проблемы может стать плазменная технология с производительностью 40-50 кг чистого корунда в час, для достижения производительности сравнимой с существующими промышленными способами.

При разработке технологий плазменной плавки материалов неизбежно встает вопрос ее эффективности и энергопотребления. Эффективность переноса тепла при плазменной плавке определяется, в том числе, и эффективностью теплообмена между плазменной струей и нагреваемой поверхностью.

При взаимодействии струи со свободной поверхностью жидкой или твердой фазы поток испытывает торможение (при больших скоростях – адиабатическое), что следует учитывать при расчете теплопереноса.

Теплообмен между плазмой и расплавом через пятно в окрестности точки торможения потока плазмы можно оценить с использованием числа Нуссельта (Nu) и закона Фурье [3]

$$P/S = Nu \cdot \lambda \frac{dT}{dx}, \quad (1)$$

где P – передаваемая тепловая мощность,

S – площадь пятна разогрева,

λ – теплопроводность рабочего газа,

$\frac{dT}{dx}$ – градиент температуры в окрестности точки торможения.

Число Нуссельта, в свою очередь, зависит от чисел Рэлея (Ra), Рейнольдса (Re) и Прандтля (Pr). Эта связь определяется типом конвекции (вынужденная или естественная), типом течения (плёночное, ламинарное или турбулентное, дозвуковое или сверхзвуковое) и т.п. [4].

Струю плазматрона можно считать практически равновесной [5], [6]. Будем также считать, что состав атмосферы над поверхностью совпадает с составом рабочего газа плазматрона. Тогда можно воспользоваться известным решением задачи о "затопленной струе", которая дает пространственные распределения газовых параметров при истечении струи через отверстие в покоящийся собственный газ [7]. Расчеты показывают, что в рассматриваемых условиях струя плазматрона является турбулентной, а тип конвективного переноса тепла – вынужденный.

При оценке числа Нуссельта для конкретных условий необходимо иметь в виду, что оно меняется по сечению струи из-за изменений параметров самой струи (чисел Рейнольдса, Прандтля и т.д.). Согласно результатам расчетов, проведенных авторами [8] и экспериментальным данным [9] по радиальному распределению давления в окрестностях точки торможения турбулентной газовой струи при ее взаимодействии с плоской поверхностью, можно заключить, что на радиусе давление спадает более чем на порядок, при этом наблюдается слабая зависимость от числа Рейнольдса. Само же число Нуссельта на радиусе струи падает приблизительно в три раза. Это необходимо учитывать при оценке эффективности теплообмена между струей плазматрона и нагреваемой поверхностью.

Реализуемый при технологии плазменного плавления глинозема режим соответствует взаимодействию «горячей» турбулентной струи с «холодной» плоской поверхностью при относительно больших числах Рейнольдса (порядка 10^4 [10]). Определения «горячий» и «холодный» здесь и далее употребляются для сравнения температур пары тел относительно друг друга, как «имеющий большую/меньшую температуру». Для рассматриваемого режима связь чисел Nu, Re, Pr имеет вид [11]:

$$\begin{aligned} Nu &= 0,76 Re^{0,4} Pr^{0,37} \varepsilon_t \varepsilon_q \varepsilon_\varphi \text{ если } 1 < Re < 40; \\ Nu &= 0,52 Re^{0,5} Pr^{0,37} \varepsilon_t \varepsilon_q \varepsilon_\varphi \text{ если } 40 < Re < 10^3; \\ Nu &= 0,26 Re^{0,6} Pr^{0,37} \varepsilon_t \varepsilon_q \varepsilon_\varphi \text{ если } 10^3 < Re < 2 \cdot 10^5; \\ Nu &= 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4} \varepsilon_t \varepsilon_q \varepsilon_\varphi \text{ если } 2 \cdot 10^5 < Re < 10^7. \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь

$\varepsilon_t = \left(\frac{Pr_f}{Pr_w}\right)^2$ – поправка, учитывающая зависимость физических свойств текучей среды от температуры,

$\varepsilon_q = \left[1 - \left(\frac{d}{H}\right)^2\right]^{0,8}$ – поправка, учитывающая сужение потока в самом узком сечении канала,

$\varepsilon_\varphi = 1 - 0,54 \cos \varphi^2$ – поправка, учитывающая влияние угла φ на коэффициент теплоотдачи;

Pr_f, Pr_w – числа Прандтля при температуре потока и стенки, соответственно;

d, H – кривизна поверхности и характерный поперечный размер течения;

φ – угол, который составляет массовая скорость на оси струи с касательной к поверхности. То есть, в случае нормального падения выполняется $H \rightarrow \infty$ и $\varepsilon_q = \varepsilon_\varphi = 1$. Для оценки чисел Re, Pr использовались известные соотношения [12]:

$$Re = \frac{\rho v L}{\eta} \text{ и } Pr = \frac{c_p \eta}{\lambda}, \quad (3)$$

где η – динамическая вязкость газа; c_p – удельная теплоемкость среды при постоянном давлении.

При расчетах чисел Рейнольдса и Прандтля для молекулярных газов при высокой температуре необходимо учитывать, что их физические свойства с ее ростом существенно изменяются и отклоняются от значений, характерных для одноатомных газов. Это происходит в результате частичной диссоциации молекул при высоких температурах. Так, теплоемкость аргона при постоянном давлении практически не зависит от температуры. Удельные же теплоемкости азота и водорода, напротив, существенно возрастают при увеличении температуры [13], причем изменение составляет десятки процентов. Это следует из данных, приведенных на рисунках 1 и 2, на которых представлены теплоемкости водорода и азота в широком диапазоне температур.

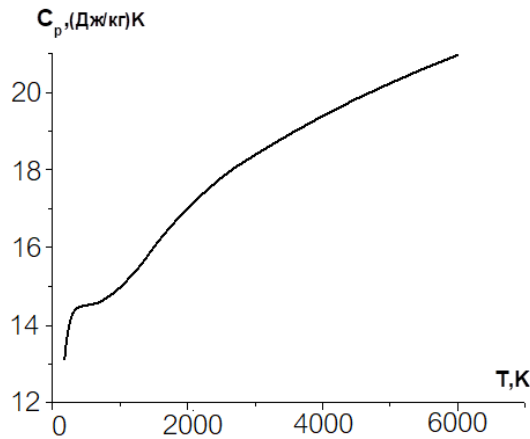


Рис. 1 – Удельная теплоемкость водорода как функция температуры

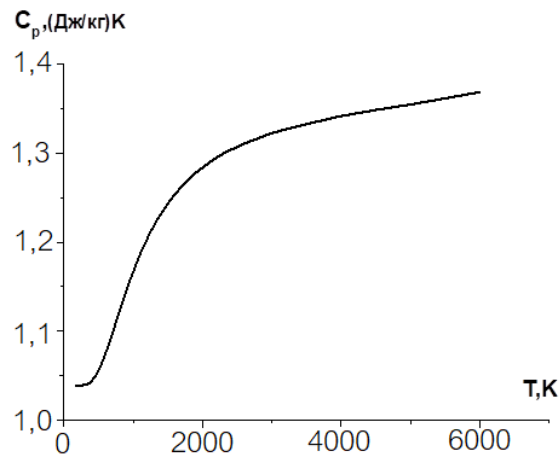


Рис. 2 – Удельная теплоемкость азота как функция температуры

В расчете также понадобятся данные об удельной энтальпии (h) выбранных газов от температуры в широком диапазоне. Согласно [14], зависимость энтальпии аргона от температуры можно условно считать линейной. Это не имеет места для молекулярных газов водород и азот, поскольку они диссоциируют при температурах выше 2500 К и 5000 К, соответственно. Водород при температуре выше 5000 К становится практически атомным газом, а к 8000К степень диссоциации равна 0,999, поэтому его энтальпия от 5000К растет линейно. Степень диссоциации азота при 5000 К равна 0,26, что существенно меньше, чем у водорода из-за разницы энергий диссоциации, поэтому при рабочей температуре 8000 К заметная часть азота будет все еще находиться в молекулярном состоянии.

Важная проблема эксплуатации реакторов с применением газовой плазмы при высоких температурах – накопление атомов этих газов в приповерхностных слоях за счет абсорбции и дальнейшей диффузии внутрь материала стенок. Эти процессы приводят к изменениям физико-химических свойств поверхности стенок реактора (как правило, к уменьшению теплопроводности и механической прочности, увеличению хрупкости и т.п.). В отличие от азота, водород на поверхности, как правило, диссоциирует на атомы. Вследствие этого адсорбция молекулярного азота приводит к заметно меньшим диффузионным потокам вглубь материала стенок, чем атомарного водорода, из-за сильно различающихся коэффициентов диффузии [15]. Таким образом, накопление поглощенного газа в случае азота происходит существенно медленнее, чем для водорода.

Итак, после рассмотрения температурных зависимостей теплофизических характеристик выбранных газов, можно оценить величины чисел Нуссельта Nu_{Ar} , Nu_H , Nu_N при применении качестве рабочего газа плазматрона аргона, водорода и азота, соответственно. Для этого, как следует из соотношений (2), необходимо вычислить соответствующие числа Рейнольдса и Прандтля. Они, в свою очередь, кроме теплофизических характеристик, зависят от скорости струи на выходе из плазматрона.

Скорость струи на выходе из плазматрона зависит от требуемой производительности установки. Как было сказано во введении, целью является оценка возможности применения плазматрона для производства 50 кг белого корунда в час. Соответственно, для производства 50 кг в час белого корунда необходимо расплавлять 50 кг в час глинозема. Требуемую для этого мощность находилась из разности энтальпии твердого и расплавленного глинозема, имея виду, что эту энергию нужно выработать за 1 час:

$$\Delta P = \frac{h_{2400K} - h_{300K}}{3600s} = 50 \text{ кВт.}$$

При были использованы значения удельных энтальпий [13]:

$$h_{2400K} = -1267055 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}} = 1,135 \cdot 10^7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}};$$

$$h_{300K} = -1638379 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}} = 1.243 \cdot 10^7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

Для оценки скорости истечения струи из плазмотрона принято, что к.п.д. плазмотрона $\gamma_p = 0,8$ [16]. При этом струя при взаимодействии с поверхностью остывает от температуры $T_f = 8000 \text{ K}$ до температуры $T_w = 2500 \text{ K}$ (температура получаемого расплава). Таким образом, мощность, передаваемая поверхности P_s равна:

$$P_s = (h_{T_f} - h_{T_w}) S v \rho_f = \frac{\Delta P}{\gamma_p}, \quad (4)$$

где величины с индексом "f" вычисляются при температуре струи, с индексом "w" - при температуре поверхности. Отсюда оценка для скорости истечения газа на срезе выходного сопла плазмотрона

$$v = \frac{\Delta P}{\gamma_p (h_{T_f} - h_{T_w}) S \rho_f}. \quad (5)$$

Оценки скорости разных газов по формуле (5) с использованием вышеприведенных данных о теплофизических константах газов в предположении, что $S = 8 \text{ см}^2$ (типичное значение для плазмотрона мощностью порядка 50-100 кВт), что соответствует радиусу струи $r = 1.6 \text{ см}$, дают следующие результаты

$$v_{Ar} \approx 430 \frac{\text{м}}{\text{с}}; v_{N_2} \approx 60 \frac{\text{м}}{\text{с}}; v_{H_2} \approx 700 \frac{\text{м}}{\text{с}}. \quad (6)$$

Для чисел Прандтля всех трех газов с использованием данных об их физических характеристиках получаем $Pr \approx 1$. Соответственно, для чисел Рейнольдса течений газа имеем для рассматриваемых условий: $Re_{Ar} \approx 3800$; $Re_{N_2} \approx 500$; $Re_{H_2} \approx 400$.

Наконец, расчет чисел Нуссельта по соотношениям (2) дает

$$Nu_{Ar} \approx 40; Nu_{N_2} \approx 11; Nu_{H_2} \approx 10. \quad (7)$$

Отметим, что экспериментальные данные [17], [18] для близких к рассматриваемым условиям дают величину числа Нуссельта для аргона $Nu_{Ar} \approx 35 \div 40$, что хорошо согласуется с полученной оценкой.

С помощью специализированного программного CAD-пакета SpaceClaim (продукт компании ANSYS) была получена упрощенная осесимметричная модель плазмотрона. Результаты моделирования процесса истечения плазменной струи приведены на рис. 3, где слева показано распределение температуры по струе, а справа – распределение скоростей.

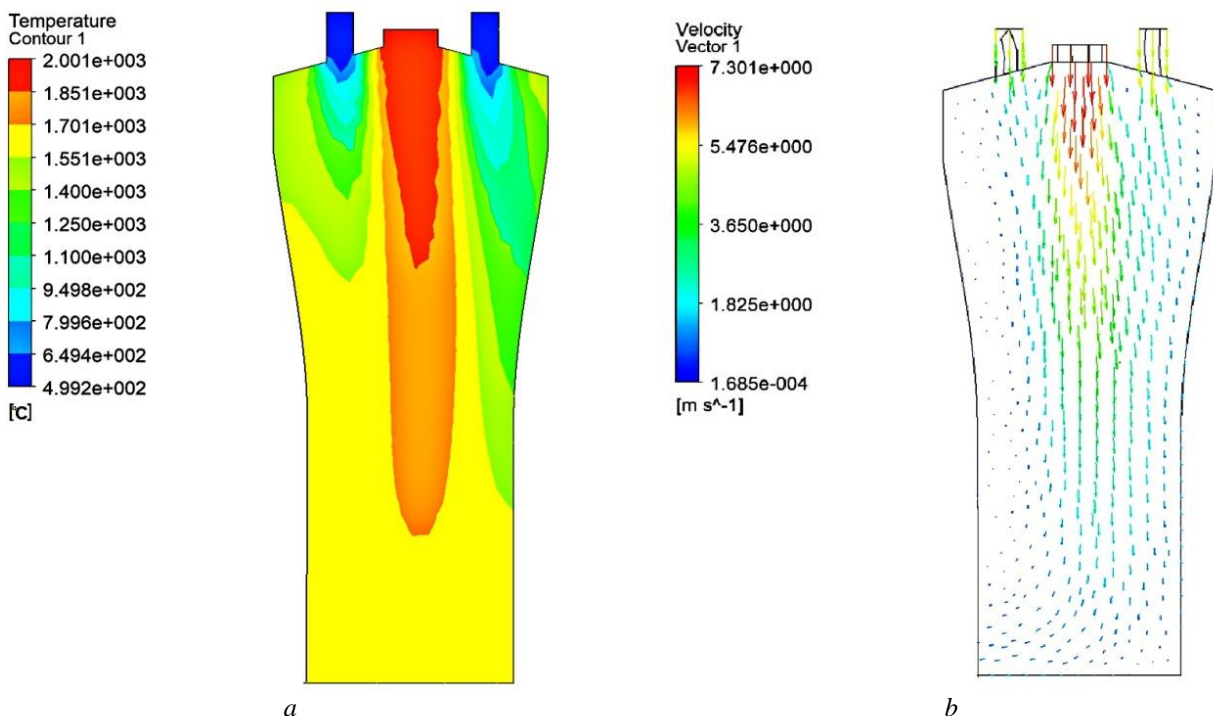


Рис. 3 – Результат моделирования процесса истечения плазменной струи из плазмотрона:
a – распределение температур; b – распределение скоростей

Теперь можно оценить подводимую мощность с использованием соотношения (1). Для оценки, положим $\frac{dT}{dx} \approx \frac{\Delta T}{\Delta x}$; $\Delta T = 5600$. Необходимо также вычислить величину Δx . Это можно сделать, оценивая толщину пограничного теплового слоя течения δ_T .

Толщина динамического погранслоя δ (области течения, где массовая скорость меняется от значения скорости невозмущенного потока до нуля на обтекаемой поверхности) и толщина теплового погранслоя δ_T (области течения, где температура меняется от соответствующей невозмущенному течению до температуры T_f , соответствующей поверхности T_w) при дозвуковом течении связаны соотношением [19]:

$$\frac{\delta_T}{\delta} \approx \frac{1}{\sqrt{Pr}}. \quad (8)$$

Как показано выше, в рассматриваемых условиях выполняется $Pr \approx 1$. Таким образом, толщину теплового слоя можно оценить, оценивая толщину динамического слоя, поскольку $\delta_T \approx \delta$. Для этого можно использовать соотношение [20]:

$$\delta = \frac{0,37l}{(Re)^{0,2}}, \quad (9)$$

где $l \approx 2r$.

Формула (9) является оценкой сверху для величины Δx . Таким образом, для $r = 1,6$ см:

$$\Delta x_{Ar} < \delta_{Ar} \approx 0,23 \text{ см}; \Delta x_{N_2} < \delta_{N_2} \approx 0,35 \text{ см}; \Delta x_{H_2} < \delta_{H_2} \approx 0,35 \text{ см}.$$

Тогда поверхностная плотность мощности:

$$\left(\frac{P}{S}\right)_{Ar} > 5 \cdot 10^4 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}; \left(\frac{P}{S}\right)_{N_2} > 2 \cdot 10^5 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}; \left(\frac{P}{S}\right)_{H_2} > 2 \cdot 10^5 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}$$

Согласно данным [8], [9], число Нуссельта спадает на радиусе струи приблизительно в два с половиной - три раза и среднее его значение по пятну контакта поверхности с струей плазмотрона примерно в 2 раза ниже, чем в центре пятна. Тогда для оценки снизу подводимой мощности получаем при площади пятна нагрева $S = 8 \text{ см}^2$ и скоростях потока на срезе сопла плазмотрона, определенных соотношениями (6):

$$P_{Ar} > 20 \text{ кВт}; P_{N_2} > 80 \text{ кВт}; P_{H_2} > 80 \text{ кВт}.$$

То есть, расчетные режимы плазмотрона для азота и водорода с энергетической точки зрения способны обеспечить планируемый выход белого корунда в 50 кг в час с площадью пятна контакта струи с расплавом, даже равной площади выходного отверстия. Что касается аргона, то для него необходимо увеличение площади пятна контакта минимум в два раза. Реально, за счет расширения струи плазмы от выходного отверстия плазмотрона до поверхности расплава требуемое увеличение существенно меньше и может быть обеспечено небольшим отклонением струи от нормали к поверхности.

Заключение

Таким образом, как и ожидалось, получено, что рабочие газы азот и водород более эффективны с точки зрения нагрева и дальнейшего плавления глинозема, чем аргон. Физическая причина этого – более высокая теплопроводность и удельная энтальпия молекулярных газов при высоких температурах, обусловленные диссоциацией молекул этих газов на атомы. Тем не менее, необходимо отметить различие в параметрах плазмотрона в случаях использования азота и водорода в качестве рабочих газов.

Как видно из приведенных выше данных, при одинаковой подводимой к расплаву энергии, скорость струи у плазмотрона на азоте может быть существенно (почти на порядок) ниже, чем у плазмотрона на водороде и в пять-шесть раз ниже, чем у плазмотрона на аргоне. Причиной этого является низкая плотность водорода по сравнению с азотом при примерно одинаковой их удельной энтальпии.

Кроме того, использование водорода менее предпочтительно по причине его быстрого накопления материалом первого слоя тепловой защиты и изменения вследствие этого его физико – химических характеристик.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Рыбкина Е.А. Рынок синтезированных монокристаллов (сапфиров): реалии и перспективы / Е.А. Рыбкина // Инновации №9 (215), 2016, с. 106-110
2. Попова А.Н. Новые плазменные технологии в материаловедении и металлургии / А.Н. Попова, В.Э. Кисон, А.С. Мустафаев, В.С. Сухомлинов // Нанопластика и наноматериалы. Сборник научных трудов семинара 2020, Санкт-Петербург, с. 282-285
3. Boulos M.I. Fundamentals of plasma particle momentum and heat transfer / M.I. Boulos, P. Fauchais, A. Fardelle et al. // Plasma Spraying: Theory and Applications 1993, pp. 3-57.
4. Михеев М.А. Основы теплопередачи / М.А. Михеев. - М. - Л.: ГЭИ, 1956. - 390 с.

5. Жуков М.Ф. Электродуговые генераторы термической плазмы / М.Ф. Жуков, И.М. Засыпкин, А.Н. Тимошевский и др. - Новосибирск: Наука. Сиб. предпр. РАН, 1999 – 712с.
6. Энгельшт В.С. Теория столба электрической дуги / В.С. Энгельшт, В.Ц. Гурович, Г.А. Десятков и др. - Новосибирск: Наука, 1990. – 375с.
7. Ландау Л.Д. Гидродинамика. Теоретическая физика: т. VI / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. 3-е изд., -М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986, - 736с.
8. Бухмиров В.В. Расчет коэффициента конвективной теплоотдачи (основные критериальные уравнения): метод. указ. [Электронный ресурс] / Бухмиров В.В., Ивановский государственный энергетический университет им. Ленина, Иваново, 2007. – 39с. URL: <https://clck.ru/VsGNy> (дата обращения 15.04.2021)
9. Aihara T. Effects of temperature-dependent fluid properties on heat transfer due to an axisymmetric impinging gas jet normal to a flat surface / T. Aihara, J.K. Kim, and S. Maruyama // *Waerme - und Stofffibertragung* 25 (1990), Sendai, Japan, pp. 145-153 (1990) DOI: 10.1007/BF01590145
10. Корсунов К.А. Расчет параметров электродуговой плазмы в канале плазмотрона. / К.А. Корсунов // *Успехи прикладной физики* 2013 №6. (т.1), с.724-733
11. Галин Н.М. Теплообмен (в ядерной энергетике) / Галин Н.М., Кириллов Л.П. // М.: Энергоатомиздат, 1987. – 376 с.
12. Бухмиров В.В. Нестационарная теплопроводность. Справочные материалы для решения задач: метод. указ. / В.В. Бухмиров, С.В. Носова, Д.В. Ракутина // Ивановский государственный энергетический университет им. Ленина, Иваново, 2005 – 32 с.
13. McBride B. J. NASA Glenn Coefficients for Calculating Thermodynamic Properties of Individual Species / Bonnie J. McBride, Dr. Michael J. Zehe, and Sanford Gordon // Report Number: NASA/TP-2002-211556, September 2002.
14. Зинченко А.В. Новый справочник химика и технолога, химическое равновесие. Свойства растворов. / А.В. Зинченко, С.Г. Изотова, А.В. Румянцев и др. -Пб.: АНО НПО "Профессионал", 2004, -998 стр.
15. Зайт В. Диффузия в металлах / В. Зайт. Перевод с немецкого. М.: Издательство иностранной литературы, 1958, - 381 с.
16. Жуков М.Ф. Электродуговые генераторы термической плазмы / М.Ф. Жуков, И.М. Засыпкин, А.Н. Тимошевский и др. Новосибирск: Наука, 1999. – 712 стр.
17. Halmann M. Carbothermal Reduction of Alumina: Thermochemical Equilibrium Calculations and Experimental Investigation / M. Halmann, A. Frei, and A. Steinfeld // *Energy*, 32(12), 2007, pp. 2420-2427.
18. Lacamera A.F. Carbothermic Aluminium Production using Scrap Aluminium as a Coolant / A.F. Lacamera // US Patent 6,475,260, 2002.
19. Кружилин Г. Н. Исследование теплового пограничного слоя / Г. Н. Кружилин // *Журнал технической физики*, 1936, т. 6, вып. 3, стр. 205.
20. Черный Г.Г. Газовая динамика / Г.Г. Черный. М.: Наука, Главная редакция физ.-мат. литературы, 1988, 424 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Rybkina E. A. Rynok sintezirovannyh monokristallov (saffirov): realii i perspektivy [The market of synthesized single crystals (sapphires): realities and prospects] / E. A. Rybkina // *Innovacii [Innovations]* No. 9 (215), 2016, pp. 106-110. [in Russian]
2. Popova A. N. Novye plazmennye tehnologii v materialovedenii i metallurgii [New plasma technologies in materials science and metallurgy] / A. N. Popova, V. E. Kison, A. S. Mustafaev et al. // *Nanofizika i nanomaterialy. Sbornik nauchnyh trudov seminarov 2020 [Nanophysics and Nanomaterials. Collection of scientific papers of the seminar 2020]*, St. Petersburg, pp. 282-285. [in Russian]
3. Boulos M.I. Fundamentals of plasma particle momentum and heat transfer / M.I. Boulos, P. Fauchais, A. Fardelle et al. // *Plasma Spraying: Theory and Applications* 1993, pp. 3-57.
4. Mikheev M. A. Osnovy teploperedachi [Fundamentals of heat transfer] / M. A. Mikheev. - M.-L.: GEI, 1956. - 390 p.
5. Zhukov M. F. Jelektrodugovye generatory termicheskoy plazmy [electric Arc generators of thermal plasma] / M. F. Zhukov, I. M. Zasyupkin, A. N. Timoshevsky, etc. - Novosibirsk: Nauka. Sib. predpr. Academy of Sciences, 1999 – 712 p. [in Russian]
6. Angelist V. S. Teorija stolba jelektricheskoy dugi [Theory of post electric arc] / Angellist V. S., V. T. Gurovich, A. G. Tens, etc. - Novosibirsk: Nauka, 1990. – 375 p. [in Russian]
7. Landau, L. D. Gidrodinamika. Teoreticheskaja fizika [Hydrodynamics. Theoretical Physics]: vol. VI / L. D. Landau, E. M. Lifshits. 3rd ed., - M.: Nauka. Gl. ed. fiz.-mat. lit., 1986, - 736 p. [in Russian]
8. Bukhmirov V. V. Raschet koefeffienta konvektivnoj teplootdachi (osnovnye kriterial'nye uravnenija) [Calculation of the convective heat transfer coefficient (basic criteria equations)]: method. the decree. [Electronic resource] / Bukhmirov V. V., Ivanovo State Power Engineering University named after Lenin, Ivanovo, 2007. – 39 p. URL: <https://clck.ru/VsGNy> (accessed 15.04.2021) [in Russian]
9. Aihara T. Effects of temperature-dependent fluid properties on heat transfer due to an axisymmetric gas jet impinging normal to a flat surface / T. Aihara, J. K. Kim, and S. Maruyama // *Waerme - und Stofffibertragung* 25 (1990), Sendai, Japan, pp. 145-153 (1990) DOI: 10.1007/BF01590145
10. Korsunov K. A. Raschet parametrov jelektrodugovoj plazmy v kanale plazmotrona [Calculation of parameters of electric arc plasma channel is presented] / K. A. Korshunkov // *Uspehi prikladnoj fiziki [advances in applied physics]* 2013 №6. Vol. 1., pp. 724-733 [in Russian]
11. Galin N. M. Teplomassoobmen (v jadernoj jenergetike) [Heat and mass transfer (nuclear energy)] / N. M. Galin, L. P. Kirillov, // М.: Energoatomizdat, 1987. – 376 p. [in Russian]

12. Bukhmirov V. V. Nestacionarnaja teploprovodnost'. Spravochnye materialy dlja reshenija zadach [Non-stationary thermal conductivity. Reference materials for solving problems]: method. decree. / V. V. Bukhmirov, S. V. Nosova, D. V. Rakutina // Ivanovo State Power Engineering University named after Lenin, Ivanovo, 2005-32 p. [in Russian]
13. McBride B. J. NASA Glenn Coefficients for Calculating Thermodynamic Properties of Individual Species / Bonnie J. McBride, Dr. Michael J. Zehe, and Sanford Gordon // Report Number: NASA/TP-2002-211556, September 2002.
14. Zinchenko A.V. Novyj spravocnik himika i tehnologa, himicheskoe ravnovesie. Svojstva rastvorov [New Handbook of Chemist and Technologist, chemical equilibrium. Properties of solutions]. / A.V. Zinchenko, S. G. Izotova, A.V. Rummyantsev, et al. S.-Pb.: ANO NPO "Professional", 2004, -998 p. [in Russian]
15. Zayt V. Diffuzija v metallah [Diffusion in metals] / V. Zayt. Translated from German. Moscow: Publishing House of Foreign Literature, 1958, - 381 p. [in Russian]
16. Zhukov M. F. Jelektrodugovye generatory termicheskoj plazmy [Electric arc generators of thermal plasma] / M. F. Zhukov, I. M. Zasytkin, A. N. Timoshevsky, etc. Novosibirsk: Nauka, 1999 – 712 p. [in Russian]
17. Halmann M. Carbothermal Reduction of Alumina: Thermochemical Equilibrium Calculations and Experimental Investigation / M. Halmann, A. Frei, and A. Steinfeld // Energy, 32(12), 2007, pp. 2420-2427.
18. Lacamera A.F. Carbothermic Aluminium Production using Scrap Aluminium as a Coolant / A.F. Lacamera // US Patent 6,475,260, 2002.
19. Kruzhilin G. N. Issledovanie teplovogo pograničnogo sloja [Investigation of the thermal boundary layer] / G. N. Kruzhilin // Zhurnal tehničeskoj fiziki [Journal of Technical Physics], 1936, vol. 6, issue 3, p. 205. [in Russian]
20. Cherny G. G. Gazovaja dinamika [Gas dynamics] / G. G. Cherny. M.: Nauka, Main Editorial Office of phys. - checkmate. literature, 1988, 424 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.109.7.007>**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭДС
В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ**

Научная статья

Сидоров А.В.^{1,*}, Зайцев А.А.², Кузнецов Д.В.³¹ ORCID: 0000-0003-4460-0414;² ORCID: 0000-0003-3377-0805;³ ORCID: 0000-0003-2156-4000;^{1, 2, 3} Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, Елец, Россия

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

Аннотация

На основе уравнений, описывающих разности электрических потенциалов, фиксируемые электродами в растворе электролита, находящегося в неизотермических условиях, проводится анализ процесса формирования термоэлектрической ЭДС. Анализируются вклады в измеряемый сигнал от различных эффектов и их изменение с течением времени. Предложена методика измерения термоэлектрической ЭДС, позволяющая идентифицировать отдельные составляющие возникающей разности потенциалов. На основе анализа полученных экспериментальных результатов показано, что основной вклад в измеряемую разность термоэлектрических потенциалов вносит термодиффузионная разность электрических потенциалов в узком смысле, формирующаяся в начальном состоянии.

Ключевые слова: термоэлектричество, термодиффузия, коллоидные растворы, явления переноса, неравновесная термодинамика.

**AN INVESTIGATION OF THE FORMATION OF THERMOELECTRIC EMF
IN AQUEOUS SOLUTIONS OF ELECTROLYTES**

Research article

Sidorov A.V.^{1,*}, Zaytsev A.A.², Kuznetsov D.V.³¹ ORCID: 0000-0003-4460-0414;² ORCID: 0000-0003-3377-0805;³ ORCID: 0000-0003-2156-4000;^{1, 2, 3} Yelets State University named after I. A. Bunin, Yelets, Russia

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

Abstract

The current article analyzes the process of thermoelectric EMF formation on the basis of equations describing the electric potential differences fixed by electrodes in an electrolyte solution under non-isothermal conditions. The authors also conduct an analysis of the contributions to the measured signal from various effects and their changes over time. A method for measuring the thermoelectric EMF is proposed, which allows identifying individual components of the resulting potential difference. Based on the analysis of the obtained experimental results, the article demonstrates that the main contribution to the measured difference of thermoelectric potentials, in the narrow sense, is made by the thermodiffusion difference of electric potentials, which is formed in the initial state.

Keywords: thermoelectricity, thermodiffusion, colloidal solutions, transport phenomena, nonequilibrium thermodynamics.

Введение

Возникновение разности потенциалов при приложении градиента температуры к исследуемому образцу называют эффектом Зеебека, который относят к классу термоэлектрических явлений. Данный эффект традиционно связывают с твердотельными средами: полупроводниками и металлами. Однако, как показали дальнейшие исследования, явление формирования разности электрических потенциалов под действием неоднородного температурного поля имеет место также в жидкостях: растворах и расплавах ионных электролитов [1], коллоидных растворах [2], жидких металлах [3]. При этом объяснение данного явления в твердых и жидких веществах различается. Так, например, если в твердотельных средах в измерительной цепи, предназначенной для определения коэффициента Зеебека, присутствуют только контакты двух разных металлов или полупроводников, то в случае жидких сред помимо контакта разных жидкостей обязательно присутствуют границы раздела фаз, т.е. контакты твердое тело – жидкость. Вследствие этого измеряемая термоэлектрическая разность потенциалов в жидкой среде является вкладом разных по своей природе гомогенного (внутри жидкости) и гетерогенного (на границе раздела фаз) эффектов. При этом оба данных эффекта обладают различными временными характеристиками, которые определяются режимами нагрева, конструкцией измерительной ячейки, соотношением между скоростями массовой и тепловой диффузии в жидких электролитах. В связи с этим, указанные эффекты на различных временных этапах будут вносить различный вклад в измеряемый сигнал, регистрируемый в режиме реального времени. Целью данной работы является анализ процесса формирования термоэлектрической разности потенциалов в растворах жидких электролитов и выделение парциальных составляющих измеряемого результирующего сигнала.

Уравнения, описывающие термоэлектрическую разность потенциалов в жидких электролитах

Гомогенный вклад обусловлен термодиффузионными потоками противоположно заряженных частиц, формирующимися в неоднородном температурном поле. В рамках термодинамики неравновесных процессов для

раствора, состоящего из N различных видов заряженных частиц, плотности их потоков \vec{J}_i могут быть выражены линейно через термодинамические силы [4]

$$\vec{J}_i = - \sum_{k=2}^N a_{ik} \left(\text{grad}(\mu_k) + z_k F \cdot \text{grad}(\varphi) + \frac{Q_k^*}{T} \text{grad}(T) \right) \quad (1)$$

В выражении (1) a_{ik} – феноменологические коэффициенты, μ_k – химический потенциал частиц вида k , z_k – их заряд, F – постоянная Фарадея, φ – электрический потенциал, T – абсолютная температура, Q_k^* – приведенные теплоты переноса. Таким образом, в случае электролита, находящегося в неоднородном температурном поле, градиент температуры вызывает формирование градиентов концентрации и электрического потенциала, который носит название термодиффузионного потенциала [4]. Его величину можно определить из условия отсутствия электрического тока в случае электрически разомкнутой цепи

$$\sum_i z_i \vec{J}_i = 0 \quad (2)$$

Подставляя (1) в (2) и выражая оттуда $\text{grad}(\varphi)$, получим

$$\text{grad}(\varphi) = \frac{1}{F} \frac{\sum_{i,k} z_i a_{ik}}{\sum_{i,k} z_i z_k a_{ik}} \left[- \text{grad}(\mu_k) - \frac{Q_k^*}{T} \text{grad}(T) \right] \quad (3)$$

Из соотношений взаимности Онзагера следует, что

$$\frac{\sum_i z_i a_{ik}}{\sum_i z_i z_k a_{ik}} = \tau_k \quad (4)$$

где τ_k – т.н. приведенные числа переноса, которые равны относительной доле, которую поток частиц вида k вносит в суммарную плотность электрического тока [5]. Приведенные числа переноса связаны с числами переноса Хитторфа t_k соотношением

$$t_k = z_k \tau_k \quad (5)$$

Данные величины можно выразить через подвижности u_k и объемные концентрации c_k заряженных частиц электролита

$$t_k = \frac{|z_k| c_k u_k}{\sum_k |z_k| c_k u_k} \quad (6)$$

Таким образом, в момент создания градиента температуры в растворе электролита в соответствии с соотношением (3) должен практически сразу же возникать градиент электрического потенциала, который, как следует из (3) при условии $\text{grad}(\mu_k) = 0$, будет равен

$$\text{grad}(\varphi_0) = - \frac{1}{F} \sum_k \frac{t_k Q_k^*}{z_k} \frac{\text{grad}(T)}{T} \quad (7)$$

Данная величина носит название градиента термодиффузионного потенциала в узком смысле [6]. Очевидно соотношение (7) должно быть справедливо некоторое время после начала нагрева, пока можно пренебречь слагаемым пропорциональным градиенту химического потенциала по сравнению со слагаемым пропорциональным градиенту температуры. Это обусловлено тем, что в жидкостях скорость массовой диффузии меньше скорости тепловой на несколько порядков.

С течением времени, по мере нагрева, начинают формироваться заметные перепады концентрации, и разность электрических потенциалов будет определяться соотношением (3), которое носит название термодиффузионной разности потенциалов в широком смысле.

Наконец, при наступлении стационарного состояния, когда термодиффузионные потоки (1) обращаются в нуль, градиент электрического потенциала будет выражаться соотношением

$$z_k \cdot \text{grad}(\varphi_\infty) = \frac{1}{F} \left[-\text{grad}(\mu_k) - \frac{Q_k^*}{T} \text{grad}(T) \right] \quad (k = 2, 3, \dots, N) \quad (8)$$

Как показано в [5], если обозначить через j – тип ионов в растворе, для которых электроды являются обратимыми, то

$$z_i \text{grad}(\varphi_\infty) = -\frac{1}{F} \frac{Q_i^*}{T} \text{grad}(T) \quad (9)$$

Вводя среднее значение коэффициента термоэлектрической ЭДС для интервала температур $\Delta T = T_2 - T_1$: $\alpha = \frac{\Delta \varphi}{\Delta T}$, из соотношений для разности потенциалов в начальном состоянии (7) и стационарном состоянии (9), получим выражения для соответствующих коэффициентов термоЭДС

$$\alpha_0 = -\frac{1}{F} \sum_k \frac{t_k Q_k^*}{T z_k} \quad (10)$$

$$\alpha_\infty = -\frac{1}{F} \frac{Q_i^*}{T} \quad (11)$$

Таким образом, если коэффициент термоЭДС в растворе в начальном состоянии определяется как теплотами, так и числами переноса всех заряженных частиц, присутствующих в растворе, то в стационарном состоянии вклад вносит только теплота переноса ионов, относительно которых электроды обратимы.

Кроме гомогенной термодиффузионной разности электрических потенциалов, возникающей внутри раствора при создании перепада температур, в фиксируемую измерительным прибором разность термоэлектрических потенциалов может также вносить вклад гетерогенная часть на границе раздела фаз электрод-раствор. Так согласно уравнению Нернста [7], электродный потенциал $\varphi_{эл}$ зависит от температуры и активности потенциалопределяющих ионов γ_i электролита в приэлектродной области

$$\varphi_{эл} = \varphi_0 + \frac{RT}{nF} \ln(\gamma_i) \quad (12)$$

В уравнении (12) φ_0 – стандартный электродный потенциал, R – универсальная газовая постоянная, n – количество электронов участвующих в полуреакции на электроде. Поэтому, если температура электродов в измерительной цепи будет различаться, суммарная разность термоэлектрических потенциалов будет складываться из гомогенной термодиффузионной разности и гетерогенной.

Экспериментальная установка по измерению термоэлектрической ЭДС, экспериментальные результаты

Авторы ранее в работах по измерению термоэлектрической ЭДС в растворах ионных соединений [8], [9] и в коллоидных растворах использовали экспериментальную установку, представленную на рис. 1. Ее основным элементом является U – образная трубка с исследуемым раствором 2. Электрический нагреватель 3, соединенный с источником тока предназначен для создания градиента температуры в электролите. Температура в нагреваемой области измеряется термистором 4, в холодной – термометром 5. Разность электрических потенциалов между горячей и холодной областями электролита регистрируется двумя хлорсеребряными электродами – 6.

Хлорсеребряные электроды состоят из серебряной проволоочки, покрытой нерастворимой в воде солью хлорида серебра ба, которая размещается в стеклянном корпусе, содержащем насыщенный раствор хлористого калия – бб. Снизу корпуса располагается электролитический ключ – бв, с помощью которого раствор хлористого калия контактирует с исследуемым раствором.

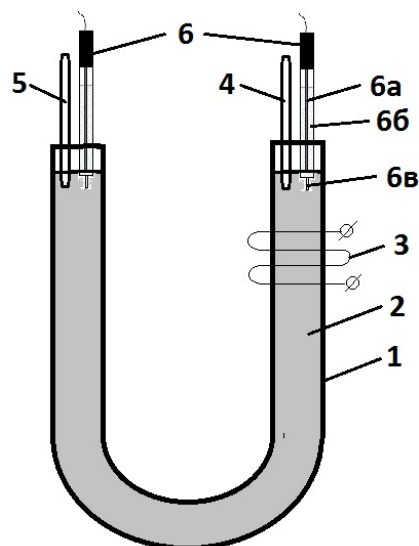


Рис. 1 – Схема экспериментальной установки для измерения коэффициента термоэлектрической ЭДС в растворах электролитов:

1, 2 – U – образная трубка с исследуемым раствором; 3 – электрический нагреватель; 4 – термистор; 5 – термометр; 6 – два хлорсеребряных электрода; 6а – серебряная проволока, покрытая нерастворимой в воде солью хлорида серебра; 6б – стеклянный корпус, содержащий насыщенный раствор хлористого калия; 6в – электролитический ключ

Таким образом, в предложенной схеме измерительные электроды всегда контактируют с насыщенным раствором KCl. В соответствии с вышеизложенным, при включении электрического нагревателя 3 в данной установке сразу же возникает разность электрических потенциалов $\Delta\varphi_0$ внутри электролита, соответствующая начальному состоянию (7). С течением времени должна повыситься температура измерительного электрода, контактирующего с нагреваемой областью, и в регистрируемой разности потенциалов должен появиться гетерогенный вклад, обусловленный неравенством температур однотипных хлорсеребряных электродов

$$\Delta\varphi_{\text{гет}} = \frac{R\Delta T}{nF} \ln(\gamma_{\text{Cl}^-}) \quad (13)$$

Наконец, с течением времени, по мере формирования градиента концентрации, вызванного термодиффузией, гомогенная часть разности электрических потенциалов $\Delta\varphi_{\text{гом}}$ будет уже определяться более общим выражением, которое следует из соотношения (3). При наступлении в системе стационарного состояния по распределению температуры и концентрации разность электрических потенциалов внутри раствора будет уже определяться соотношением (8) или (9) для φ_{∞} .

На рисунке 2 приведен пример экспериментально измеренной зависимости разности электрических потенциалов от температуры электролита – водного раствора KCl концентрацией $c = 0,15$ г/л от момента начала нагрева.

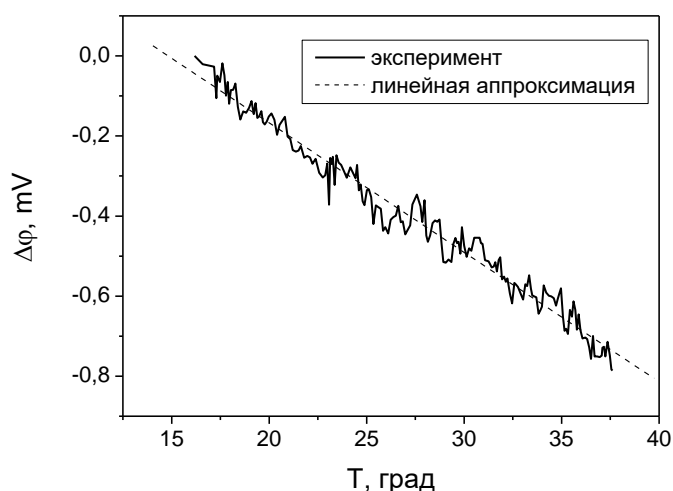


Рис. 2 – Зависимость разности термоэлектрических потенциалов для водного раствора KCl концентрацией $c = 0,15$ г/л. Электрод касается нагреваемой области кончиком электролитического ключа

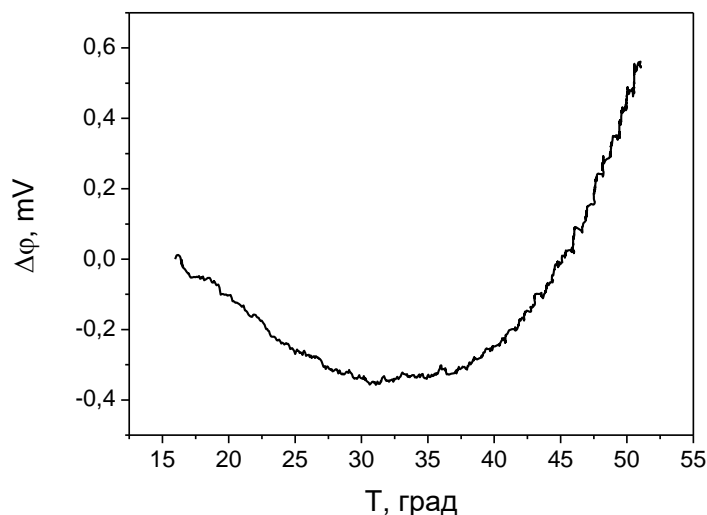


Рис. 3 – Зависимость разности термоэлектрических потенциалов для водного раствора KCl концентрацией $c = 0,15$ г/л. Электрод погружен глубоко в нагреваемую область

Длительность нагрева составляла 6 минут, очевидно, за это время заметная разность концентраций не успевала сформироваться, поэтому при анализе полученных экспериментальных результатов вклад в разность термоэлектрических потенциалов, обусловленный градиентами концентрации, можно не учитывать. Электрод в процессе измерения находился вблизи верхней границы раствора.

На следующем этапе эксперимент повторялся с более глубоким погружением электрода в раствор, так, чтобы его электролитический ключ находился внутри области, охватываемой электрическим нагревателем. Полученная зависимость разности потенциалом $\Delta\varphi$ между электродами от температуры показана на рисунке 3. Данное изменение в методике эксперименте было произведено намеренно, чтобы увеличить вклад, вносимый в регистрируемый сигнал от гетерогенной части, обусловленной нагревом хлорсеребряных электродов. Длительность нагрева составляла 40 минут.

Температурные зависимости, представленные на рисунках 2 и 3, существенно различаются, однако, начальные области графиков вплоть до 30°C близки друг к другу. При более высоких температурах рост разности потенциалов в отрицательную область замедляется и, начиная с температуры 37°C , разность потенциалов начинает расти в положительную область. Данный результат, по-видимому, обусловлен ростом температуры хлорсеребряного электрода и его приэлектродного раствора. Если проанализировать график 2 и начальный участок на графике 3 до 30°C , то они с высокой точностью аппроксимируются линейными зависимостями, наклон которых позволяет оценить коэффициент термоЭДС $\alpha = \frac{\Delta\varphi}{\Delta T}$. В обоих случаях они оказываются близки друг к другу и составляют -32 мкВ/К и -29 мкВ/К.

Полученный результат свидетельствует о том, что в обоих случаях на начальном этапе нагрева раствора электродами фиксируется именно разность термоэлектрических потенциалов в начальном состоянии $\Delta\varphi_0$ (7) и соответствующий коэффициент термоЭДС α_0 (10). Это косвенно подтверждается результатами, полученными при измерении термоэлектрической разности потенциалов в условиях намеренного нагрева самого электрода рис. 3. Следует заметить, что по мере прогрева самого электрода, разность потенциалов начинает расти в положительную область. Это может быть обосновано его характеристиками, а именно температурным коэффициентом электродных потенциалов, составляющим $+500$ мкВ/К [10]. Отметим, что заметный вклад в регистрируемый сигнал, обусловленный зависимостью электродных потенциалов от температуры, проявляется только при длительном нагреве раствора.

Заключение

Проведен теоретический анализ процесса формирования термоЭДС в жидких электролитах. Созданная экспериментальная установка и разработанная методика позволяют измерять термоэлектрические потенциалы в различных растворах электролитов: растворах ионных электролитов и их смесях и коллоидных растворах. Данная методика позволяет измерять коэффициент термоэлектрической ЭДС в начальном состоянии (10)

$$\alpha_0 = -\frac{1}{F} \sum_k \frac{t_k Q_k^*}{T z_k}.$$

Указанный коэффициент определяется соотношением между подвижностями (числами переноса) заряженных частиц раствора и их теплотами переноса. Вкладами в измеряемый сигнал гетерогенной части термоэлектрического эффекта и слагаемым, обусловленным формирующимися градиентами концентрации, можно пренебречь.

Финансирование

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Липецкой области в рамках научного проекта № 20-42-480001.

Funding

The research was carried out with the financial support of the RFBR and the Lipetsk region within the framework of the scientific project No. 20-42-480001.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Agar J.N. Thermal diffusion in non-isothermal cells. Part 2.—Experiments on solutions of cadmium salts Trans / J.N. Agar, and W.G. Breck // Faraday soc., 1957, 53, 179.
2. Würger, A. Transport in Charged Colloids Driven by Thermoelectricity / A. Würger // Phys. Rev. Lett. 2008, 101, 108302.
3. Barker G. C. Thermal diffusion and thermoelectric powers in molten Na-K, Na-Rb, K-Rb and Ag-Au / G. C. Barker, W. Jones // Journal of Physics F: Metal Physics, 1984, 14, 437-447.
4. Де Грот С. Неравновесная термодинамика / С. Де Грот, П. Мазур. Москва: Мир, 1964.
5. Эткинс П. Физическая химия / П. Эткинс. Москва: Мир, 1980.
6. Хазе Р. Термодинамика необратимых процессов / Р. Хаазе. Москва: Мир, 1967.
7. Антропов Л. И. Теоретическая электрохимия / Л.И. Антропов Москва: Высшая школа, 1984.
8. Грабов В.М. Термоэлектрокинетический эффект в слабых водных растворах электролитов / В.М. Грабов, А.А. Зайцев, Д.В. Кузнецов и др. // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия: Естественные науки. 2008. № 3. – С. 112-123.
9. Sidorov A. V. Thermoelectric and Thermoelectrokinetic Phenomena in Colloidal Solutions / A. V. Sidorov, V. M. Grabov, A. A. Zaitsev et al. // Semiconductors, 2019, 53, 756-760.
10. Сухотин А.М. Справочник по электрохимии / А.М. Сухотин. - Л.: Химия, 1981.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Agar J.N. Thermal diffusion in non-isothermal cells. Part 2.—Experiments on solutions of cadmium salts Trans / J.N. Agar, and W.G. Breck // Faraday soc., 1957, 53, 179.
2. Würger, A. Transport in Charged Colloids Driven by Thermoelectricity / A. Würger // Phys. Rev. Lett. 2008, 101, 108302.
3. Barker G. C. Thermal diffusion and thermoelectric powers in molten Na-K, Na-Rb, K-Rb and Ag-Au / G. C. Barker, W. Jones // Journal of Physics F: Metal Physics, 1984, 14, 437-447.
4. De Grot S. Neravnovesnaja termodinamika [Nonequilibrium thermodynamics] / S. De Grot, P. Mazur. Moskva: Mir, 1964. [in Russian]
5. Jetkins P. Fizicheskaja himija [Physical Chemistry] / P. Jetkins. Moskva: Mir, 1980. [in Russian]
6. Haze R. Termodinamika neobratimyh processov [Thermodynamics of irreversible processes] / R. Haaze. Moskva: Mir, 1967. [in Russian]
7. Antropov L. I. Teoreticheskaja jelektrohimija [Theoretical electrochemistry] / L.I. Antropov. Moskva: Vysshaja shkola, 1984. [in Russian]
8. Grabov V.M., Zaitsev A.A., Kuznetsov D.V., Sidorov A.V., Novikov I.V. Termojelektrokineticheskij jeffekt v slabyh vodnyh rastvorah jelektrolitov [Thermoelectrokinetic effect in weak aqueous solutions of electrolytes] / V. M. Grabov, A. A. Zaitsev, D. V. Kuznetsov, etc. // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta im. N. Je. Bauman. Serija: Estestvennye nauki [Bulletin of the Bauman Moscow State Technical University. Series: Natural Sciences]. 2008. № 3. – P. 112-123. [in Russian]
9. Sidorov A. V. Thermoelectric and Thermoelectrokinetic Phenomena in Colloidal Solutions / A. V. Sidorov, V. M. Grabov, A. A. Zaitsev et al. // Semiconductors, 2019, 53, 756-760.
10. Suhotin A.M. Spravochnik po jelektrohimii [Handbook of Electrochemistry] / A.M. Suhotin. - L.: Himija, 1981. [in Russian]

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.109.7.008>

РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ ДИОДНОГО СИНХРОННОГО АМПЛИТУДНОГО ДЕТЕКТОРА С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО И СХЕМОТЕХНИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Научная статья

Буренко Е.А.*

ORCID: 0000-0003-0660-0843,

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва, Россия

* Корреспондирующий автор (super.evgeny-burenko2012[at]yandex.ru)

Аннотация

Разработаны принципиальные схемы диодного синхронного последовательного и параллельного детекторов для демодуляции амплитудно-модулированного радиосигнала. Проведено математическое моделирование разработанного устройства методом несущей с применением математического аппарата функциональных звеньев и дифференциальных уравнений. Представлены осциллограммы сигналов в контрольных точках схем детекторов, полученные как на математической модели, так и на разработанной принципиальной схеме в результате схмотехнического моделирования. Произведена оценка сходимости результатов математического и схмотехнического моделирования (сравнение осциллограмм сигналов, формируемых математической моделью и осциллограмм, полученных на разработанных принципиальных схемах детектора).

Ключевые слова: амплитудный детектор, принципиальная схема, амплитудно-модулированный радиосигнал, модуляция, демодуляция, детектирование, фильтрация, метод несущей, метод дифференциальных уравнений, математическое моделирование, схмотехническое моделирование.

DEVELOPING A SCHEMATIC DIAGRAM OF A DIODE SYNCHRONOUS AMPLITUDE DETECTOR USING MATHEMATICAL AND CIRCUIT MODELING METHODS

Research article

Burenko E. A.*

ORCID: 0000-0003-0660-0843,

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

* Corresponding author (super.evgeny-burenko2012[at]yandex.ru)

Abstract

The current article introduces schematic diagrams of diode synchronous serial and parallel detectors for demodulation of an amplitude-modulated radio signal. The author carries out mathematical modeling of the developed device by the carrier method using the mathematical apparatus of functional links and differential equations. The waveforms of the signals at the control points of the detector circuits are also presented, they were obtained both on a mathematical model and on the developed circuit diagram as a result of circuit modeling. The article also contains an estimation of convergence of the results of mathematical and circuit modeling (comparison of waveforms of signals generated by a mathematical model and waveforms obtained on the developed circuit diagrams of the detector).

Keywords: amplitude detector, circuit diagram, amplitude-modulated radio signal, modulation, demodulation, detection, filtering, carrier method, method of differential equations, mathematical modeling, circuit modeling.

Введение

В настоящее время широкое развитие вычислительной и компьютерной техники позволяет производить математическое и схмотехническое моделирование различных устройств в режиме реального времени. Целью настоящей статьи является разработка принципиальной схемы диодного синхронного амплитудного детектора двух типов – последовательного и параллельного с визуальным отображением осциллограмм сигналов в контрольных точках схемы. Для разработки принципиальных схем устройства предварительно осуществляется математическое моделирование всего тракта детектора. В ходе математического моделирования осуществляется расчёт, а затем оптимизация параметров схемы и всех необходимых характеристик устройств, входящих в состав детектора. Далее по разработанной и отлаженной математической модели осуществляется синтез принципиальной схемы всего устройства с дальнейшей отладкой, проводимой в ходе схмотехнического моделирования. После отладки принципиальной схемы производится оценка сходимости результатов математического и схмотехнического моделирования (для разрабатываемого устройства – это оценка качества выделения сигнала информационного параметра из амплитудно-модулированного радиосигнала).

Одним из наиболее мощных и эффективных средств математического моделирования различных устройств и процессов является среда компьютерной алгебры MathCAD, в которой разработана математическая модель детектора. Для моделирования был использован метод несущей с применением математического аппарата дифференциальных уравнений и эквивалентного ему аппарата функциональных звеньев [1]. Для разработки и моделирования принципиальной схемы детектора использовалась среда схмотехнического моделирования Electronics Workbench [6].

Общие сведения о методе моделирования

Для моделирования радиоустройств методом несущей с помощью дифференциальных уравнений необходимо описать уравнением каждый блок, входящий в схему. Уравнение блока связывает входные и выходные фазовые переменные. Предварительно осуществляется расстановка фазовых переменных. Выходная переменная каждого блока должна быть описана соответствующим уравнением. Если блок описывается уравнением высокого порядка, то это уравнение нужно представить в виде системы уравнений первого порядка путём введения вспомогательных переменных. В этом случае количество переменных, описывающих блок, будет равно порядку исходного уравнения. Из них одна будет выходной фазовой переменной блока.

Если уравнение не имеет производных от входной величины $x(t)$, то преобразование может быть осуществлено следующим образом. Например, пусть имеется линейное однородное дифференциальное уравнение n -го порядка:

$$a_n \cdot \frac{d^n y(t)}{dt^n} + a_{n-1} \cdot \frac{d^{n-1} y(t)}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \cdot \frac{dy(t)}{dt} + a_0 \cdot y(t) = b_0 \cdot x(t) \quad (1)$$

или

$$a_n y^{(n)} + a_{n-1} y^{(n-1)} + \dots + a_1 \dot{y} + a_0 y = b_0 x \quad (2)$$

Вводя вспомогательные переменные $y_1 \div y_n$, оно преобразуется к виду:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{y}_1 = y_2, \\ \dot{y}_2 = y_3, \\ \dots \\ \dot{y}_{n-1} = y_n, \\ \dot{y}_n = \frac{1}{a_n} \cdot (b_0 x - a_{n-1} y_n - a_{n-2} y_{n-1} - \dots - a_0 y_1). \end{array} \right. \quad (3)$$

Таким образом, получена система из n уравнений с n неизвестными. При этом выходной переменной, соответствующей $y(t)$ в исходном уравнении будет переменная y_1 . Нумерация переменных в схеме проводится с учётом всех вспомогательных переменных.

Если линейное динамическое звено задано передаточной функцией, её необходимо преобразовать в операторное уравнение, в которое входят изображения по Лапласу входной и выходной фазовых переменных $X(p)$, $Y(p)$, а также комплексная переменная p . Затем осуществляется переход к временной области путём взятия обратного преобразования Лапласа. При этом умножение функции на комплексную переменную p эквивалентно взятию производной от данной временной функции.

Пусть имеется передаточная функция:

$$W(p) = \frac{b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + \dots + b_1 p + b_0}{a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_1 p + a_0} \quad (4)$$

Представив $W(p) = \frac{Y(p)}{X(p)}$, получим операторное уравнение:

$$\begin{aligned} a_n Y(p) \cdot p^n + a_{n-1} Y(p) \cdot p^{n-1} + \dots + a_1 Y(p) \cdot p + a_0 Y(p) = \\ = b_m X(p) \cdot p^m + b_{m-1} X(p) \cdot p^{m-1} + \dots + b_1 X(p) \cdot p + b_0 X(p) \end{aligned} \quad (5)$$

Теперь взяв обратное преобразование Лапласа, получим линейное однородное дифференциальное уравнение n -го порядка:

$$a_n \cdot \frac{d^n y(t)}{dt^n} + a_{n-1} \cdot \frac{d^{n-1} y(t)}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \cdot \frac{dy(t)}{dt} + a_0 \cdot y(t) = \quad (6)$$

$$= b_m \cdot \frac{d^m x(t)}{dt^m} + b_{m-1} \cdot \frac{d^{m-1} x(t)}{dt^{m-1}} + \dots + b_1 \cdot \frac{dx(t)}{dt} + b_0 \cdot x(t)$$

или

$$a_n y^{(n)} + a_{n-1} y^{(n-1)} + \dots + a_1 \dot{y} + a_0 y = b_m x^{(m)} + b_{m-1} x^{(m-1)} + \dots + b_1 \dot{x} + b_0 x \quad (7)$$

Далее это уравнение раскладывается на систему уравнений первого порядка, которые представляются в правильной форме Коши. Решение уравнений осуществляется методом Рунге–Кутты четвертого порядка с фиксированным шагом интегрирования [1].

Математическая модель амплитудного детектора

Амплитудным детектором называется радиоустройство, осуществляющее выделение сигнала информационного параметра из амплитудно-модулированного радиосигнала. При этом входной сигнал детектора моделируется методом решения дифференциального уравнения вида $\ddot{y} + a_1 \dot{y} + a_0 y = 0$, где a_1 , a_0 – коэффициенты, определяемые различными видами модуляции узкополосного сигнала, в частности, для амплитудно-модулированного радиосигнала, они равны [1]:

$$a_1 = -\frac{2m_{AM} \dot{\lambda}(t)}{1 + m_{AM} \lambda(t)}, \quad a_0 = \omega_0^2 + 2 \cdot \left(\frac{m_{AM} \dot{\lambda}(t)}{1 + m_{AM} \lambda(t)} \right)^2 - \frac{m_{AM} \ddot{\lambda}(t)}{1 + m_{AM} \lambda(t)},$$

где m_{AM} – индекс амплитудной модуляции,

$\omega_0 = 2\pi f_0$ – угловая частота несущего колебания [рад/с],

$\lambda(t)$ – сигнал информационного параметра (модулирующий сигнал).

Сигнал информационного параметра $\lambda(t)$ задаётся в виде гармонического процесса с угловой частотой $\Omega = 2\pi F$ с помощью дифференциального уравнения $\ddot{y} + \Omega^2 y = 0$.

Полная структурная схема моделируемого амплитудного детектора представлена на рис. 1.

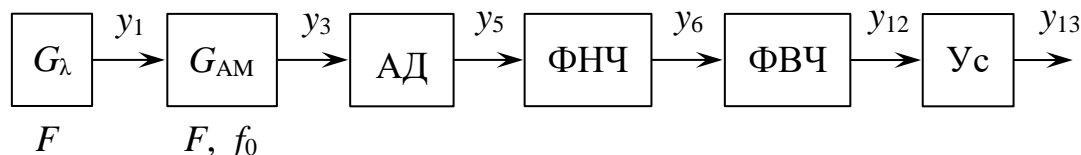


Рис. 1 – Полная структурная схема моделируемого амплитудного детектора

Здесь:

G_λ – генератор информационного параметра,

G_{AM} – генератор амплитудно-модулированного сигнала,

АД – амплитудный детектор,

ФНЧ – фильтр нижних частот,

ФВЧ – фильтр верхних частот,

Ус – усилитель.

Моделируется диодный последовательный амплитудный детектор (рис. 2) и диодный параллельный амплитудный детектор (рис. 3).

Последовательный диодный амплитудный детектор (рис. 2) описывается дифференциальным уравнением:

$$\tau_{\text{дет}} \dot{y} + y - R_{\text{дет}} G(x - y) = 0 \quad (8)$$

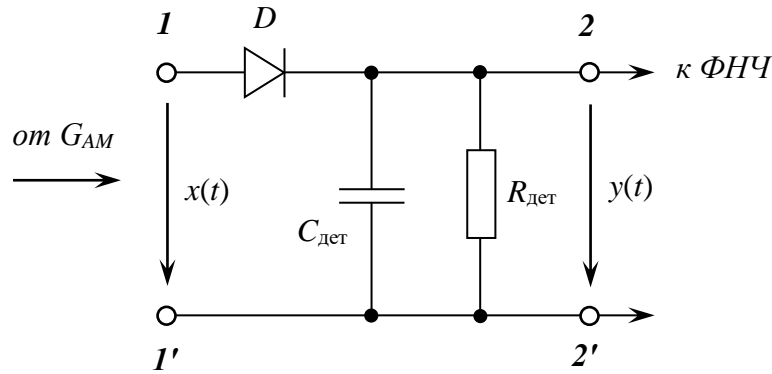


Рис. 2 – Последовательный диодный амплитудный детектор

Параллельный диодный амплитудный детектор (рис. 3) описывается дифференциальным уравнением:

$$\tau_{\text{дет}}(\dot{y} - \dot{x}) + y - R_{\text{дет}}G(-y) = 0 \quad (9)$$

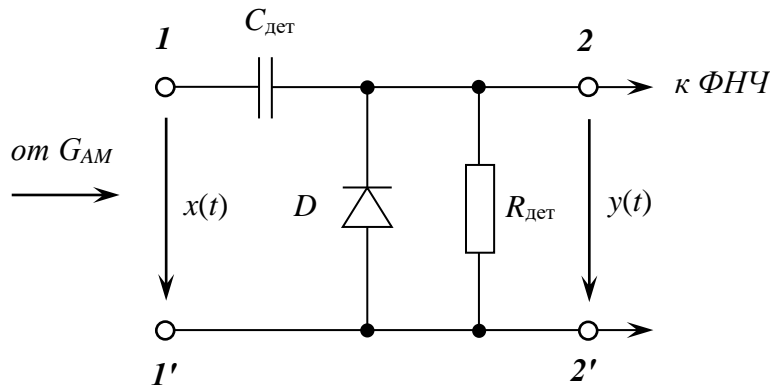


Рис. 3 – Параллельный диодный амплитудный детектор

В уравнениях (8) и (9) $i_d = G(u_d)$ – нелинейная вольт-амперная характеристика (ВАХ) диода, определяемая, в соответствии с моделью Эберса–Молла, следующим выражением [1]:

$$i_d = G(u_d) = I_0 \cdot \left[\exp\left(\frac{u_d}{m \cdot \varphi_T}\right) - 1 \right] - I_0 \cdot \exp\left[A \cdot \left(U_{\text{пр}} - B \cdot u_d\right)\right] + \frac{u_d - R_6}{R_{\text{ут}}} \quad (10)$$

где:

$I_0 = 10^{-4}$ А – тепловой ток диода,

u_d – напряжение, приложенное к диоду; для схемы (рис. 2) оно равно $u_d = x - y$, для схемы (рис. 3) $u_d = -y$,

$\varphi_T = \frac{k \cdot T}{q_e} \approx 25,271$ мВ – температурный потенциал, где $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана, $q_e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл – заряд электрона, $T = 293$ К – температура окружающей среды при нормальных условиях (соответствует 20 °C),

m – эмпирический коэффициент, вводимый в режиме больших токов,

A, B – параметры, определяемые по обратной ветви вольт-амперной характеристики в области пробоя,

$U_{\text{пр}}$ – напряжение пробоя,

$R_6 = (1 \div 2)$ Ом – сопротивление базы диода (под базой понимаются элементы конструкции, находящиеся вне p - n -перехода),

$R_{\text{ут}} = (10 \div 20)$ Ом – сопротивление утечки диода,

$R_{\text{дет}}$ – сопротивление в цепи детектора, $C_{\text{дет}}$ – ёмкость в цепи детектора, выбираемая из условия:

$$C_{\text{дет}} [\text{мкФ}] \approx \frac{10^3}{f_0 [\text{кГц}]},$$

$\tau_{\text{дет}} = R_{\text{дет}} C_{\text{дет}}$ – постоянная времени детектора; она должна быть соизмерима с периодом несущего колебания $\tau_{\text{дет}} \approx k_{\text{дет}} \cdot T_{\text{нес}}$, где $k_{\text{дет}}$ – эмпирический коэффициент, определяемый экспериментальным путём.

Фильтр нижних частот представляется в виде пассивного LC -четырёхполюсника (рис. 4) и моделируется динамическим звеном шестого порядка с полиномиальной передаточной функцией [2], [3]:

$$W_{\text{ФНЧ}}(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{b_0}{a_6 p^6 + a_5 p^5 + a_4 p^4 + a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + a_0} \quad (11)$$

при этом величина b_0 представляет собой коэффициент усиления фильтра на нулевой частоте.

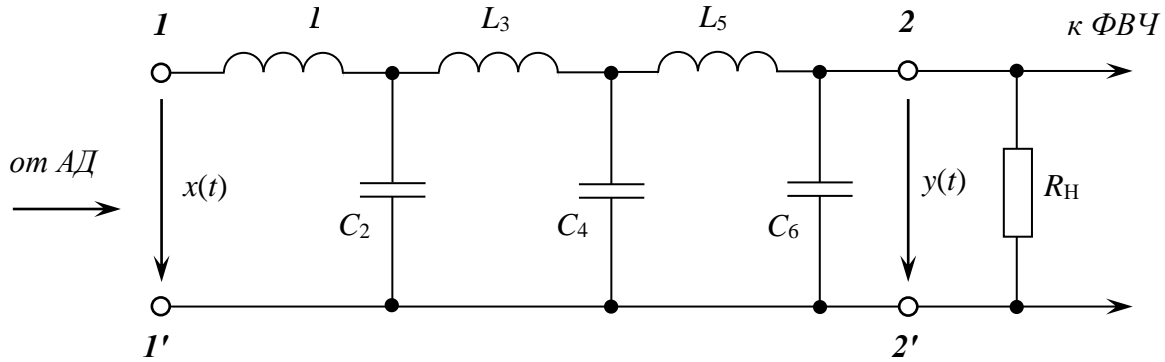


Рис. 4 – Пассивный LC-фильтр нижних частот шестого порядка

Применяя к данной передаточной функции обратное преобразование Лапласа, получается следующее дифференциальное уравнение:

$$\begin{aligned} a_6 \cdot \frac{d^6 y(t)}{dt^6} + a_5 \cdot \frac{d^5 y(t)}{dt^5} + a_4 \cdot \frac{d^4 y(t)}{dt^4} + a_3 \cdot \frac{d^3 y(t)}{dt^3} + \\ + a_2 \cdot \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + a_1 \cdot \frac{dy(t)}{dt} + a_0 \cdot y(t) = b_0 \cdot x(t) \end{aligned} \quad (12)$$

или

$$a_6 y^{(6)} + a_5 y^{(5)} + a_4 y^{(4)} + a_3 y^{(3)} + a_2 \ddot{y} + a_1 \dot{y} + a_0 y = b_0 x \quad (13)$$

При переходе к правильной форме Коши получается система из шести дифференциальных уравнений первого порядка:

$$\left\{ \begin{aligned} \dot{y}_1 &= y_2, \\ \dot{y}_2 &= y_3, \\ \dot{y}_3 &= y_4, \\ \dot{y}_4 &= y_5, \\ \dot{y}_5 &= y_6, \\ \dot{y}_6 &= \frac{b_0 x - a_5 y_6 - a_4 y_5 - a_3 y_4 - a_2 y_3 - a_1 y_2 - a_0 y_1}{a_6}. \end{aligned} \right. \quad (14)$$

Коэффициенты $a_0 \div a_6$ зависят от вида фильтра и определяются методом аппроксимации амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) фильтра. В модели используется оптимально монотонная аппроксимация АЧХ, как наиболее оптимальный вариант между аппроксимацией Баттерворта и Чебышёва I рода. Сам фильтр в данном случае будет являться оптимально монотонным [7].

Для низкочастотного оптимально монотонного фильтра шестого порядка с частотой среза $\omega_\chi = 2\pi f_\chi$ по уровню максимального затухания $\alpha_{\max} = 2$ дБ в полосе пропускания, коэффициенты $a_0 \div a_6$ дифференциального уравнения (13) определяются следующим образом:

$$a_0 = 1, a_1 = \frac{4,6156}{\omega_\chi}, a_2 = \frac{10,6521}{\omega_\chi^2}, a_3 = \frac{15,4183}{\omega_\chi^3}, a_4 = \frac{16,1867}{\omega_\chi^4}, a_5 = \frac{10,2412}{\omega_\chi^5}, a_6 = \frac{5,4078}{\omega_\chi^6}.$$

Так как пассивные LC -фильтры не усиливают сигнал по мощности, то коэффициент усиления фильтра на нулевой частоте равен единице ($b_0 = 1$).

Частота среза f_χ ФНЧ выбирается из условия выделения фильтром сигнала информационного параметра и подавления сигнала несущего колебания (рис. 5).

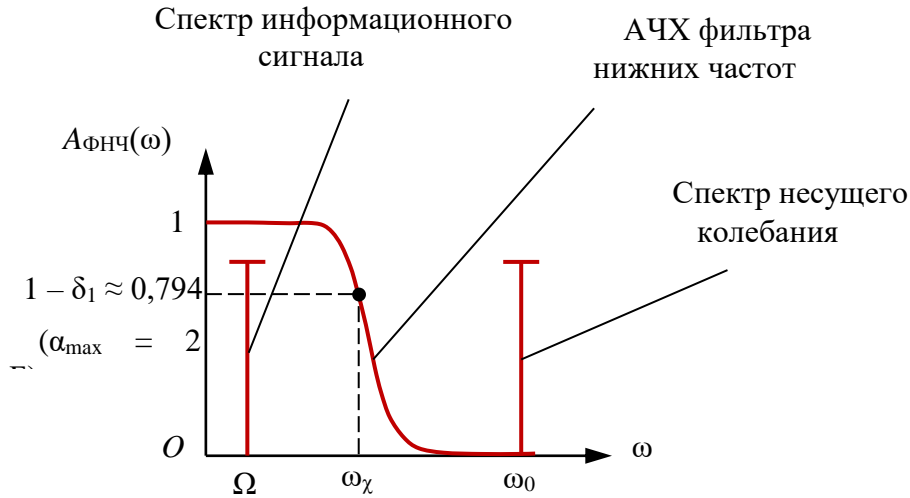


Рис. 5 – Схема выбора частоты среза фильтра нижних частот

Нормированные значения элементов односторонне нагруженного оптимально монотонного LC -фильтра нижних частот шестого порядка (рис. 4) при нормированном сопротивлении нагрузки $R_H = 1$ и максимальном затухании $\alpha_{\max} = 2$ дБ равны:

$$\hat{L}_1 = 1,56716, \hat{C}_2 = 1,78296, \hat{L}_3 = 1,77551, \hat{C}_4 = 1,62165, \hat{L}_5 = 1,27297, \hat{C}_6 = 0,52804.$$

Значения элементов реального ФНЧ с заданными частотой среза ω_χ и сопротивлением нагрузки R_H определяются по формулам денормирования [2]:

$$L = \frac{\hat{L}R_H}{\omega_\chi}, C = \frac{\hat{C}}{\omega_\chi R_H}.$$

Фильтр верхних частот представляется динамическим звеном первого порядка в виде CR -цепи (рис. 6) с передаточной функцией [3], [4]:

$$W_{\text{ФВЧ}}(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{\tau_{\text{ФВЧ}} p}{1 + \tau_{\text{ФВЧ}} p} \quad (15)$$

где $\tau_{\text{ФВЧ}} = RC$ – постоянная времени ФВЧ.

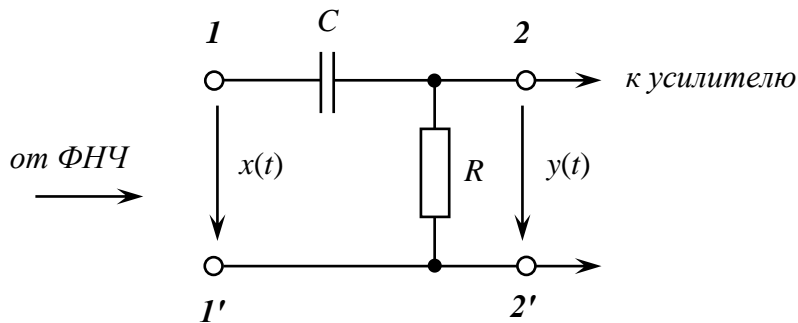


Рис. 6 – Пассивный CR -фильтр верхних частот первого порядка

Частота среза ФВЧ по уровню половинной мощности определяется соотношением:

$$f'_\chi = \frac{1}{2\pi\tau_{\text{ФВЧ}}}.$$

При переходе к временной области получается дифференциальное уравнение:

$$\tau_{\text{ФВЧ}} \dot{y} + y = \tau_{\text{ФВЧ}} \dot{x} \quad (16)$$

Постоянная времени ФВЧ выбирается из условия совпадения по фазе исходного информационного сигнала y_1 и сигнала y_{13} , получаемого на выходе всей схемы (рис. 1), и должна составлять $\tau_{\text{ФВЧ}} \approx (0,01 \div 1) \cdot T_{\text{мод}}$, где $T_{\text{мод}}$ – период модулирующего процесса.

Поскольку при моделировании схемы производная от входного сигнала $x(t)$ ФВЧ вычисляется (при решении дифференциальных уравнений от впередистоящего звена, а именно ФНЧ), то в правильной форме Коши уравнение (16) будет иметь вид [1]:

$$\dot{y} = \dot{x} - \frac{y}{\tau_{\text{ФВЧ}}} \quad (17)$$

Усилитель повышает уровень сигнала, полученного на выходе ФВЧ, до заданного уровня 1 В. Поэтому он представляется простейшей схемой усиления входного сигнала без инверсии на операционном усилителе [3], [5] (рис. 7).

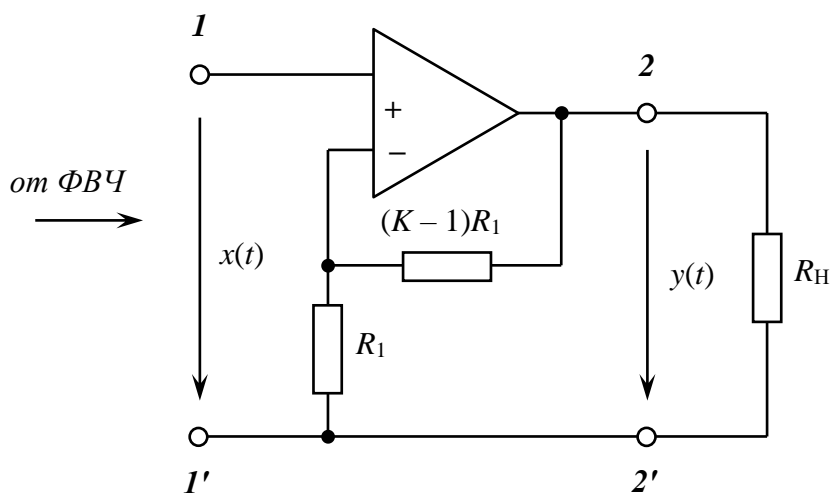


Рис. 7 – Неинвертирующий усилитель сигнала на операционном усилителе

Математическая модель данного устройства представляет собой безынерционное звено с постоянным коэффициентом усиления K , и может быть описана линейным алгебраическим уравнением:

$$y(t) = K \cdot x(t).$$

Коэффициент усиления K выбирается из условия повышения уровня сигнала на выходе ФВЧ до заданного уровня 1 В.

Таким образом, полная структурная схема амплитудного детектора (рис. 1) описывается пятью дифференциальными уравнениями, первые два из которых второго порядка, а предпоследнее – шестого порядка, и одним линейным алгебраическим уравнением. Представив все уравнения в правильной форме Коши, получим систему из 13-ти уравнений. Вводя соответствующие переменные $y_1 \div y_{13}$, получим систему из 12-ти дифференциальных уравнений первого порядка и одного линейного алгебраического уравнения:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{y}_1 = y_2, \\ \dot{y}_2 = -\Omega^2 y_1, \\ \dot{y}_3 = y_4, \\ \dot{y}_4 = \frac{2m_{AM}y_2}{1+m_{AM}y_1} \cdot y_4 - \left[\omega_0^2 + 2 \cdot \left(\frac{m_{AM}y_2}{1+m_{AM}y_1} \right)^2 + \frac{m_{AM}\Omega^2 y_1}{1+m_{AM}y_1} \right] \cdot y_3, \\ \dot{y}_5 = \frac{R_{дет}G(y_3 - y_5) - y_5}{\tau_{дет}} \quad \text{или} \quad \dot{y}_5 = y_4 + \frac{R_{дет}G(-y_5) - y_5}{\tau_{дет}}, \\ \dot{y}_6 = y_7, \\ \dot{y}_7 = y_8, \\ \dot{y}_8 = y_9, \\ \dot{y}_9 = y_{10}, \\ \dot{y}_{10} = y_{11}, \\ \dot{y}_{11} = \frac{y_5 - a_5 y_{11} - a_4 y_{10} - a_3 y_9 - a_2 y_8 - a_1 y_7 - a_0 y_6}{a_6}, \\ \dot{y}_{12} = y_7 - \frac{y_{12}}{\tau_{ФВЧ}}. \end{array} \right. \quad (18)$$

Численное решение данной системы уравнений, осуществляемое методом Рунге–Кутты четвёртого порядка с фиксированным шагом интегрирования, позволит определить выходные сигналы всех блоков структурной схемы (рис. 1). При решении численным методом для некоторых переменных задаются начальные условия: $y_2 = \Omega$, $y_4 = \omega_0$, $y_{12} = 0$.

Для контроля процессов, протекающих в схеме, в графическом режиме выводятся значения контрольных переменных y_1 , y_3 , y_5 , y_6 , y_{12} , y_{13} , которые указаны на структурной схеме (рис. 1).

Шаг моделирования (он же шаг интегрирования) должен быть как минимум на порядок-два меньше периода несущего колебания, а время моделирования выбирается из условия обзора трёх-пяти периодов модулирующего процесса.

Исходные данные для моделирования

Для моделирования были выбраны следующие исходные данные (параметры амплитудно-модулированного радиосигнала):

1. Частота информационного процесса: $F = 1$ кГц (период $T_{мод} = 1$ мс).
2. Частота несущего колебания: $f_0 = 0,2$ МГц = 200 кГц (период $T_{нес} = 5$ мкс).
3. Индекс амплитудной модуляции: $m_{AM} = 0,8$.

Результаты расчёта характеристик и параметров модели

В результате расчёта и дальнейшей оптимизации параметров и характеристик блоков модели были получены следующие результаты.

Найдены параметры вольт-амперной характеристики (ВАХ) полупроводникового диода (10), при которых обеспечивается наилучшее качество детектирования сигнала: $m = 1$, $A = 12$, $B = 1$, $U_{пр} = -6$ В, $R_6 = 1$ Ом, $R_{yt} = 20$ Ом. Соответствующий график ВАХ диода представлен на рис. 8.

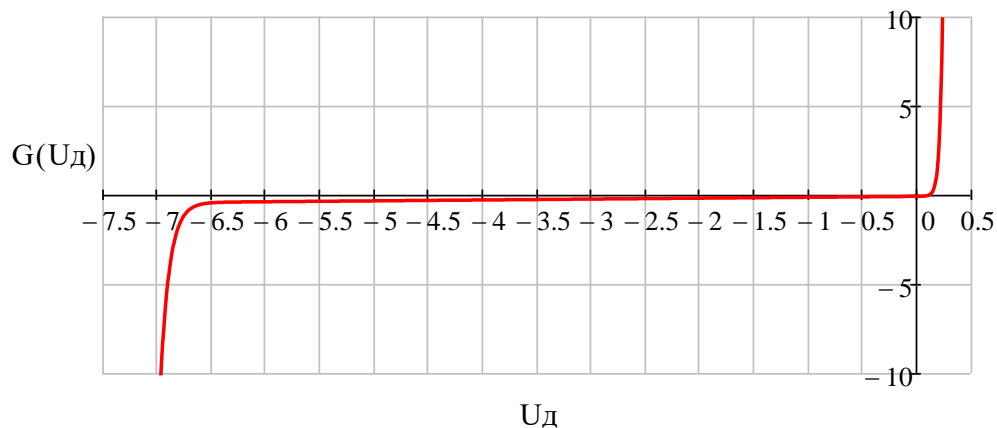


Рис. 8 – Вольт-амперная характеристика диода в соответствии с моделью Эберса–Молла

Найдены параметры цепи детектора (рис. 2 и 3): $\tau_{\text{дет}} = 2$ мс, $C_{\text{дет}} = 10$ мкФ, $R_{\text{дет}} = 200$ Ом.

Найдены параметры фильтра нижних частот (рис. 4) и рассчитаны значения его элементов, при которых обеспечивается наилучшее качество детектирования сигнала: $f_{\chi} = 10$ кГц, $R_H = 100$ Ом, $L_1 = 2,4942$ мГн, $C_2 = 283,7669$ нФ, $L_3 = 2,8258$ мГн, $C_4 = 258,0936$ нФ, $L_5 = 2,026$ мГн, $C_6 = 84,0402$ нФ. График амплитудно-частотной характеристики рассчитанного ФНЧ представлен на рис. 9.

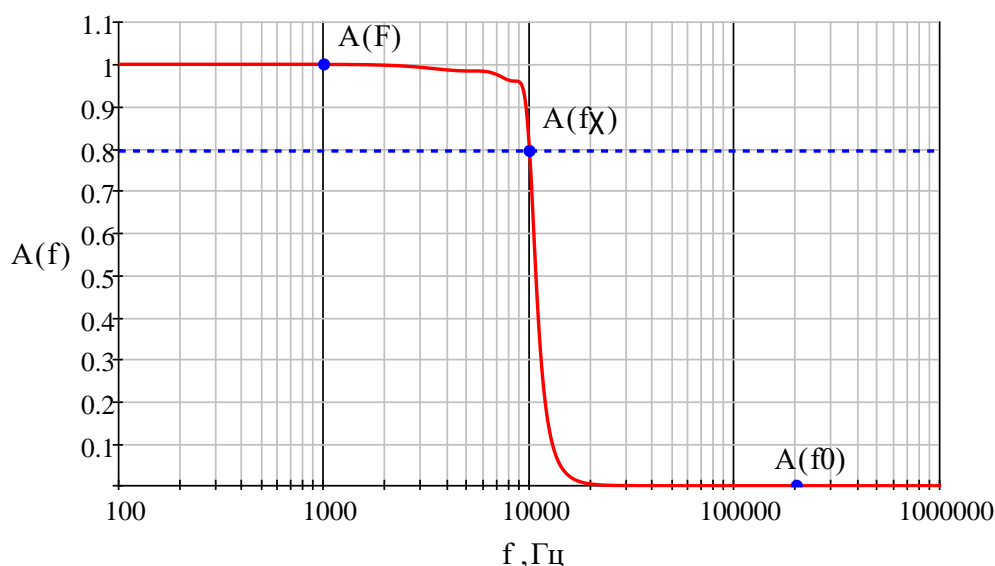


Рис. 9 – Амплитудно-частотная характеристика фильтра нижних частот

Найдены параметры фильтра верхних частот (рис. 6) и рассчитаны значения его элементов, при которых обеспечивается наилучшее качество детектирования сигнала: $\tau_{\text{ФВЧ}} \approx 0,3 \cdot T_{\text{мод}} \approx 0,3$ мс, $f_{\chi}' \approx 530,516$ Гц, $R = 200$ Ом, $C \approx 1,5$ мкФ. График амплитудно-частотной характеристики рассчитанного ФВЧ представлен на рис. 10.

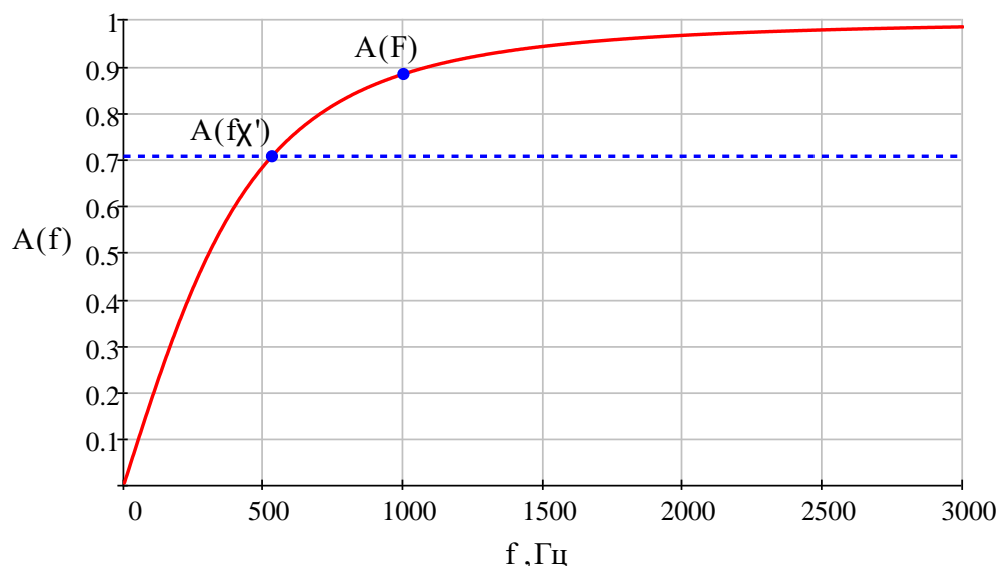


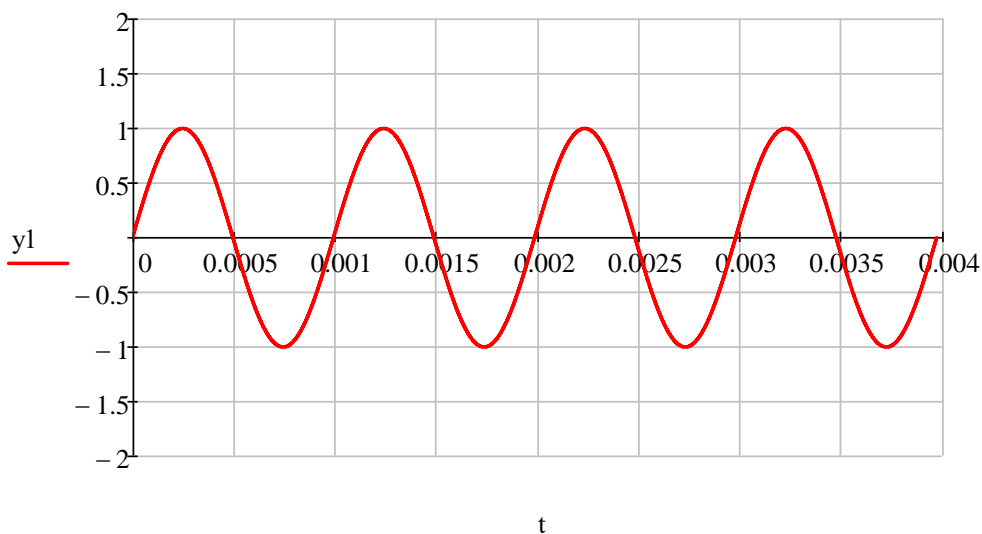
Рис. 10 – Амплитудно-частотная характеристика фильтра верхних частот

Найдены оптимальные параметры усилителя (рис. 7): $K = 1,471$, $R_1 = 1$ кОм, $(K - 1)R_1 = 470,588$ Ом.

Результаты математического моделирования

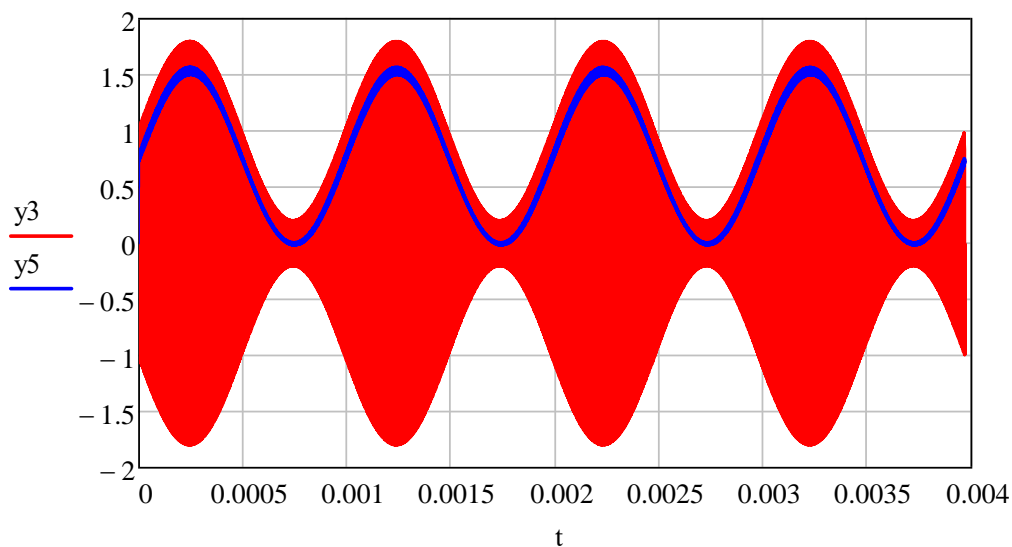
В результате математического моделирования получены осциллограммы сигналов в контрольных точках структурной схемы детектора (рис. 1).

Осциллограммы сигналов для схемы (рис. 1) с включённым последовательным диодным детектором (рис. 2) представлены на рис. 11 – 16.



— Исходный сигнал информационного параметра

Рис. 11 – Исходный сигнал информационного процесса (переменная y_1)



— Амплитудно-модулированный радиосигнал

— Сигнал на выходе последовательного диодного детектора

Рис. 12 – Амплитудно-модулированный радиосигнал (переменная y_3) и сигнал на выходе последовательного диодного детектора (переменная y_5)

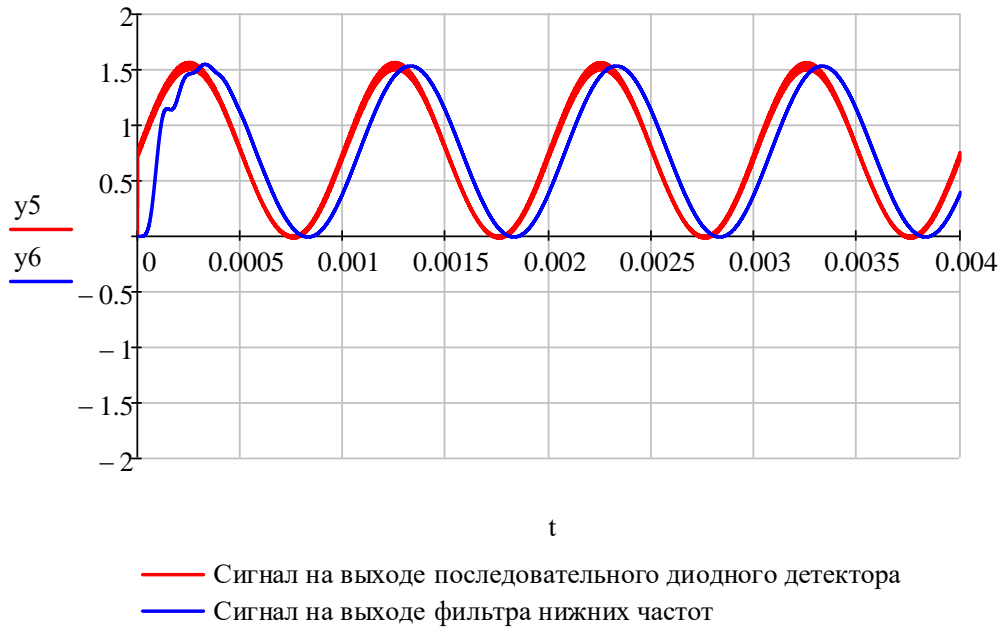


Рис. 13 – Сигналы на выходе последовательного диодного детектора (переменная y_5) и фильтра нижних частот (переменная y_6)

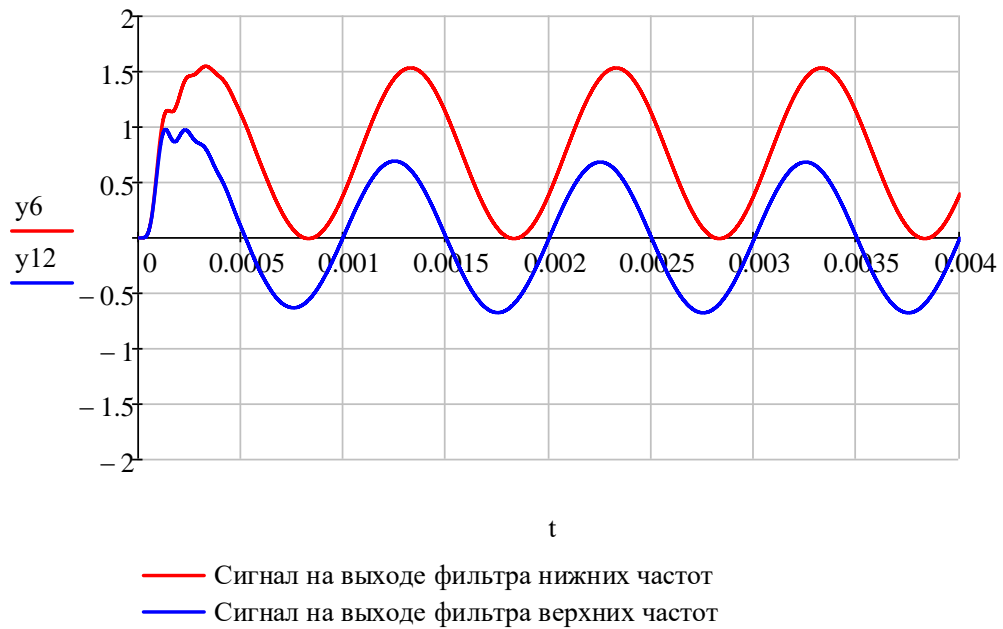


Рис. 14 – Сигналы на выходе и фильтров нижних (переменная y_6) и верхних (переменная y_{12}) частот

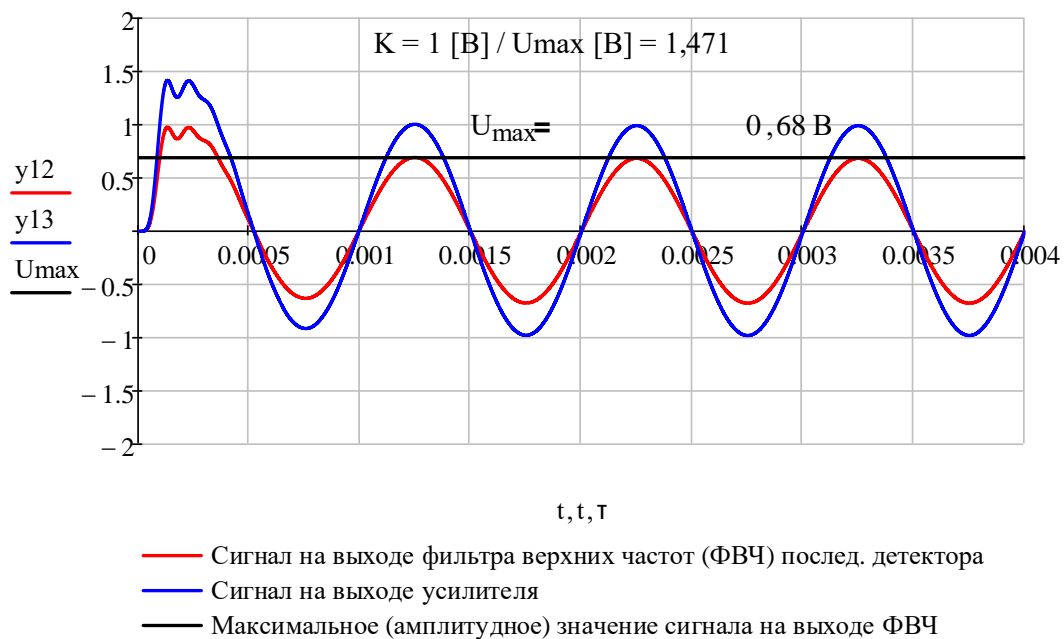
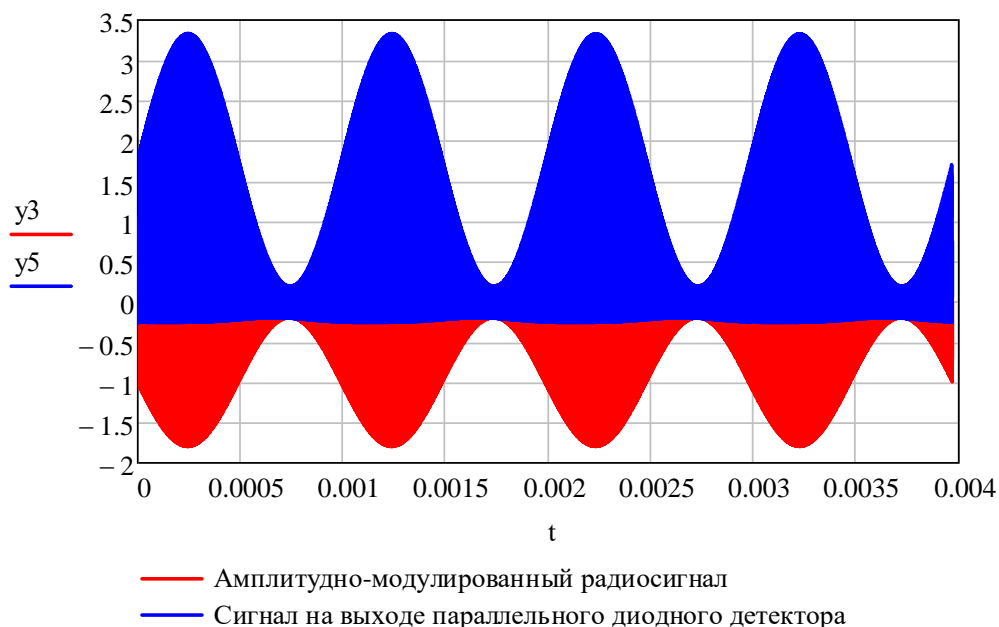
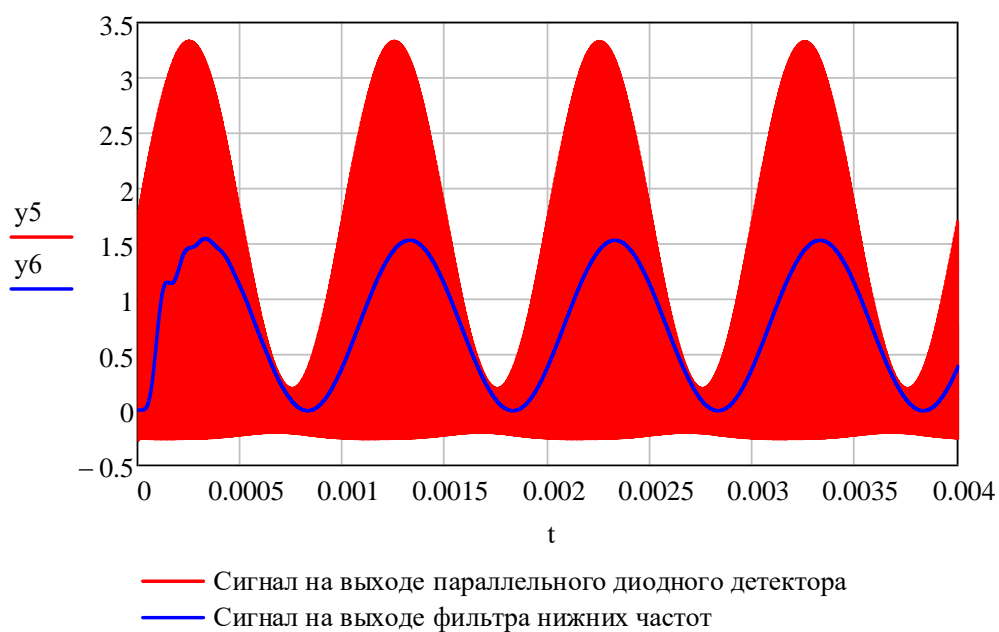
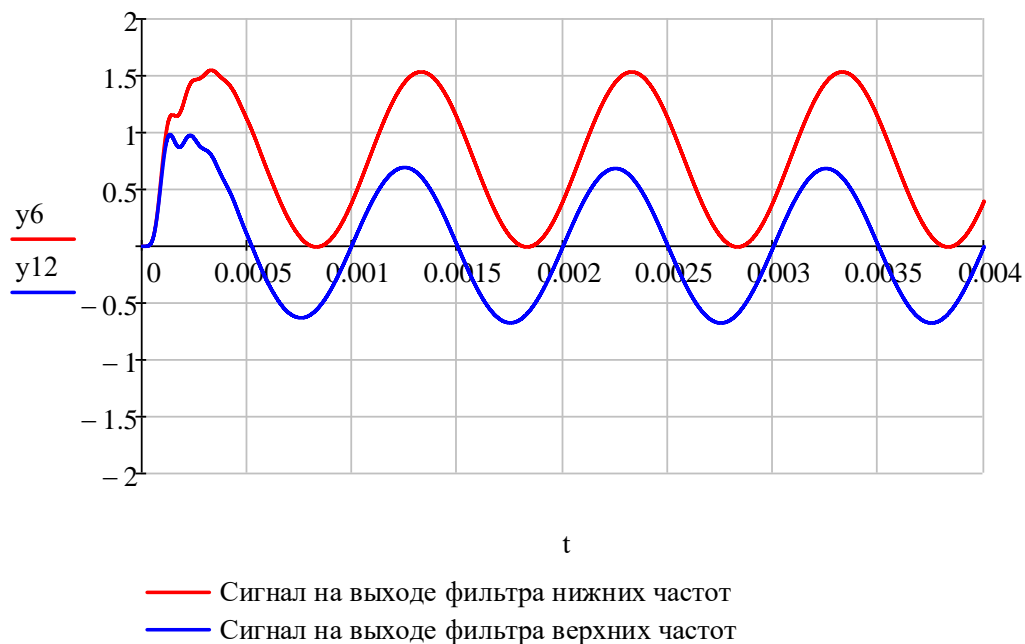


Рис. 15 – Сигналы на выходе фильтра верхних частот y_{12} (указано амплитудное значение в установившемся режиме $U_{\max} = 0,68 \text{ В}$) и на выходе усилителя y_{13}



Рис. 16 – Сравнение исходного информационного процесса (y_1) и сигнала на выходе усилителя y_{13} (коэффициент усиления $K = 1 \text{ [В]} / U_{\max} \text{ [В]} = 1,471$)

Осциллограммы сигналов для схемы (рис. 1) с включённым параллельным диодным детектором (рис. 3) представлены на рис. 17 – 21.

Рис. 17 – Амплитудно-модулированный радиосигнал (y_3) и сигнал на выходе параллельного диодного детектора (y_5)Рис. 18 – Сигналы на выходе параллельного диодного детектора (y_5) и фильтра нижних частот (y_6)Рис. 19 – Сигналы на выходе и фильтров нижних (y_6) и верхних частот (y_{12})

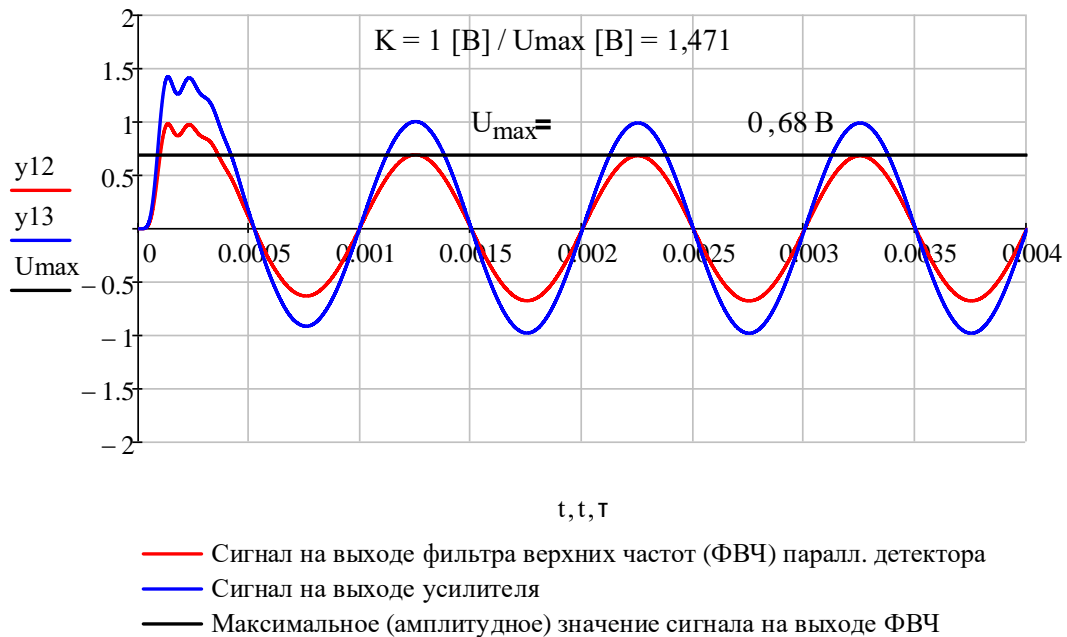


Рис. 20 – Сигналы на выходе фильтра верхних частот y_{12} (указано амплитудное значение в установившемся режиме $U_{\max} = 0,68 \text{ B}$) и на выходе усилителя y_{13}



Рис. 21 – Сравнение исходного информационного процесса (y_1) и сигнала на выходе усилителя y_{13} (коэффициент усиления $K = 1 \text{ [B]} / U_{\max} \text{ [B]} = 1,471$)

Разработка принципиальной схемы амплитудного детектора

Таким образом, из результатов моделирования следует, что при найденных параметрах и характеристиках всех блоков структурной схемы детектора (рис. 1) обеспечивается наилучшее качество выделения информационного процесса из амплитудно-модулированного радиосигнала.

После проведения математического моделирования производится разработка принципиальной схемы детектора (рис. 22 и 23).

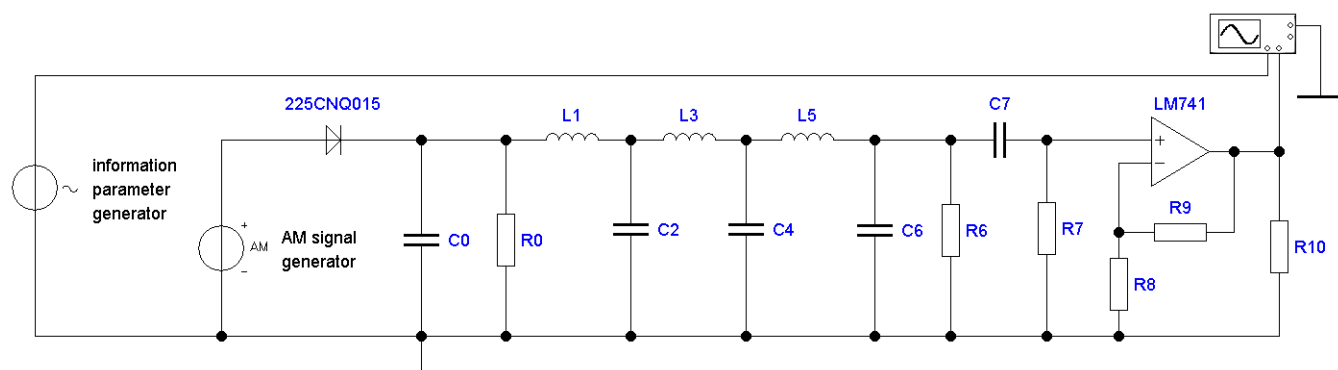


Рис. 22 – Принципиальная схема диодного последовательного амплитудного детектора, разработанная в среде Electronics Workbench

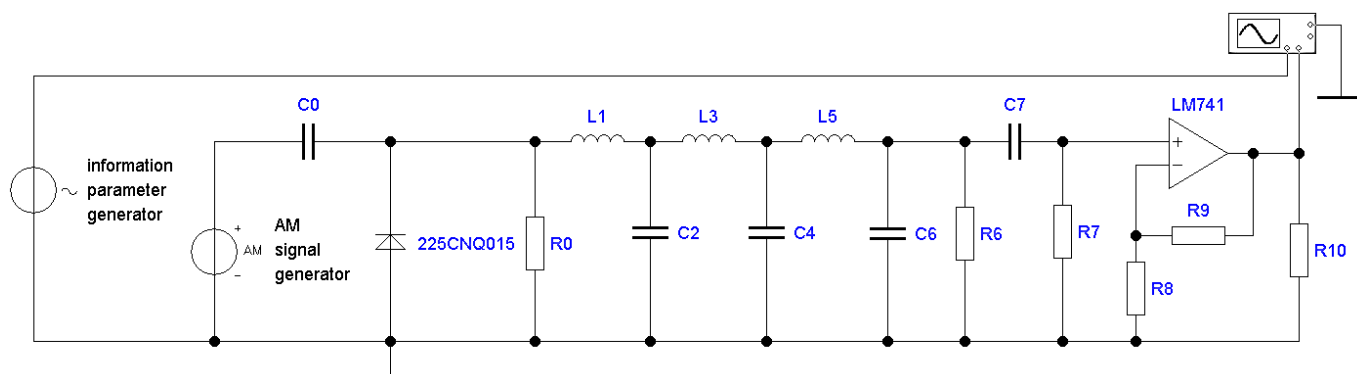


Рис. 23 – Принципиальная схема диодного параллельного амплитудного детектора, разработанная в среде Electronics Workbench

Амплитудное детектирование производится путём нелинейного преобразования амплитудно-модулированного сигнала [1]. В данной работе разрабатывается диодный синхронный амплитудный детектор последовательного (рис. 22) и параллельного (рис. 23) типа, состоящий непосредственно из самого детектора, собранного на диоде 225CNQ015, а также имеющий сопротивление R_0 и ёмкость C_0 детектора, пассивного фильтра нижних частот шестого порядка, собранного из элементов L_1 , C_2 , L_3 , C_4 , L_5 , C_6 , R_6 (R_6 является нагрузкой ФНЧ), пассивного фильтра верхних частот первого порядка, собранного из элементов C_7 , R_7 , и усилителя, собранного по схеме усиления входного сигнала без инверсии на операционном усилителе LM741, имеющий резистивный делитель, составленный из сопротивлений R_8 , R_9 . В качестве нагрузки всей схемы введено сопротивление R_{10} .

При амплитудном детектировании производится перенос спектра сигнала из области частот, примыкающих к несущей частоте в область низких частот, примыкающих к нулю [1] (рис. 24).

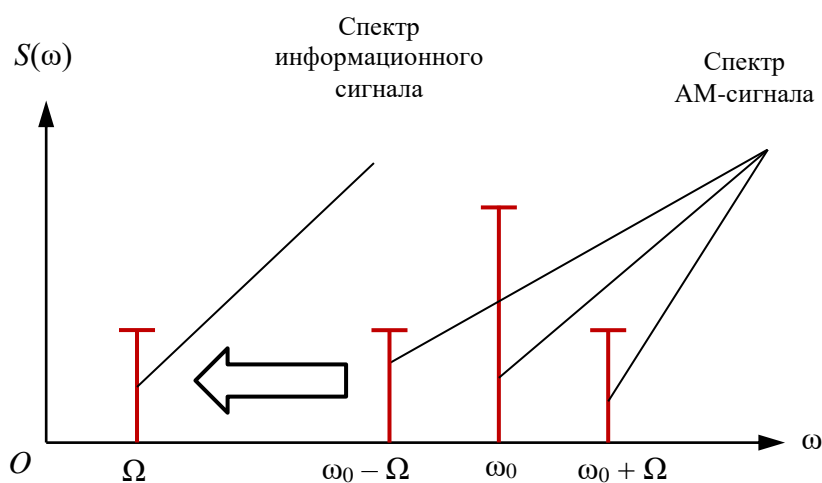


Рис. 24 – Преобразование спектра амплитудным детектором

АМ-сигнал формируется в генераторе «AM signal generator». Амплитуда колебаний устанавливается 1 В. В схеме (рис. 23) отрицательная полуволна АМ-сигнала шунтируется диодом, положительная – выделяется на сопротивлении R_0 . Фильтр нижних частот отфильтровывает высокочастотную составляющую сигнала детектора и выделяет информационный сигнал с постоянной составляющей на сопротивлении R_6 . Ёмкость ФВЧ C_7 – разделительная, предназначена для фильтрации постоянной составляющей сигнала на выходе ФНЧ. Сопротивление R_7 – нагрузка ФВЧ. Для повышения уровня сигнала, полученного на выходе ФВЧ до заданного уровня 1 В, в схему введён

усилитель, построенный на операционном усилителе LM741. Необходимый коэффициент усиления K задаётся сопротивлениями $R8$ и $R9 = (K - 1) \cdot R8$.

Для фиксации фазового сдвига выходного сигнала всей схемы, в неё введён генератор исходного информационного параметра «information parameter generator», действующее значение которого устанавливается равным 0,707 В для получения требуемого уровня (амплитуды) 1 В. Путём оптимизации параметров схемы, необходимо добиться формы выходного сигнала наиболее близкой к форме сигнала исходного информационного параметра, а именно амплитуды 1 В и полного устранения фазового сдвига.

После расчётов и оптимизации параметров, принципиальные схемы детектора с указанными номинальными значениями элементов имеют вид (рис. 25 и 26).

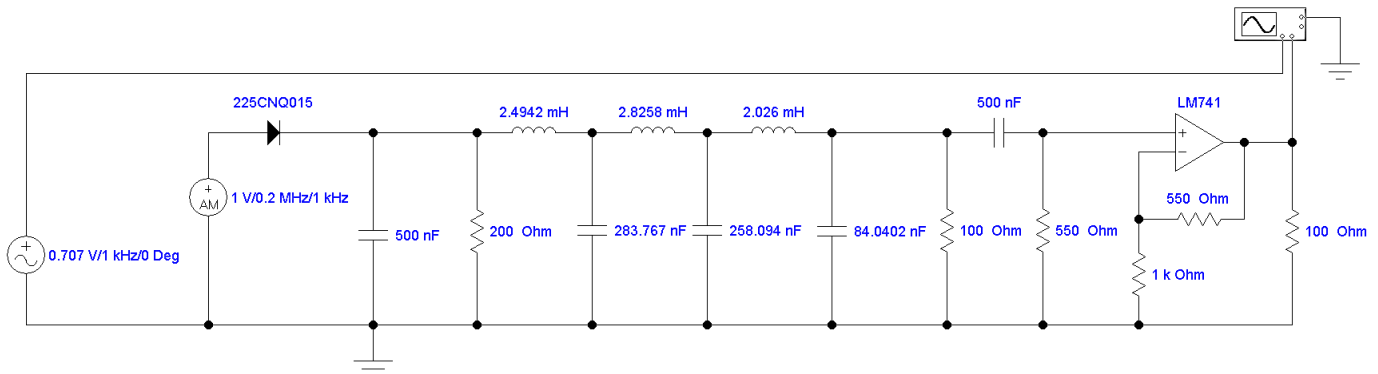


Рис. 25 – Принципиальная схема диодного последовательного амплитудного детектора с оптимизированными параметрами в среде Electronics Workbench

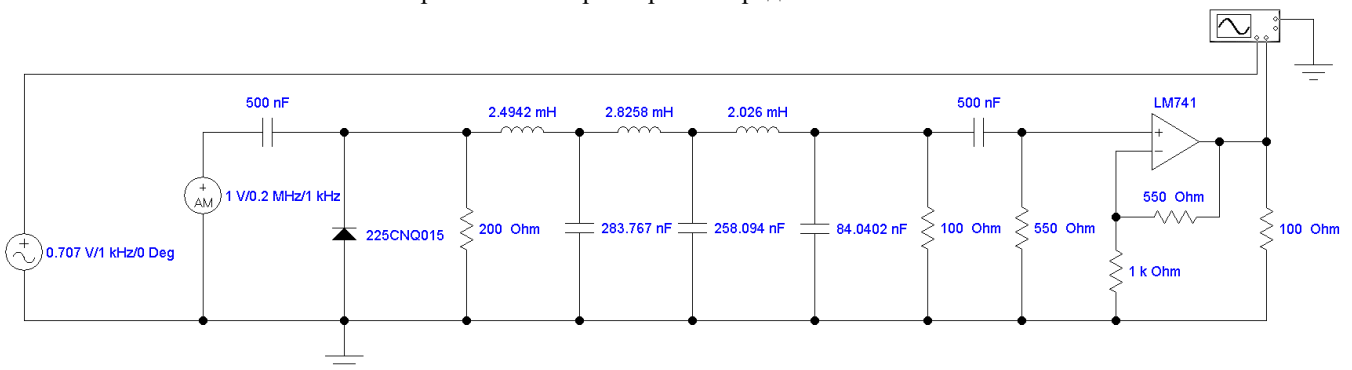


Рис. 26 – Принципиальная схема диодного параллельного амплитудного детектора с оптимизированными параметрами в среде Electronics Workbench

Результаты схемотехнического моделирования

В результате схемотехнического моделирования разработанных принципиальных схем (рис. 25 и 26) получены осциллограммы сигналов в контрольных точках диодного последовательного (рис. 27 – 32) и диодного параллельного (рис. 27 и 33 – 37) детекторов, подтверждающие результаты численного математического моделирования в среде MathCAD.

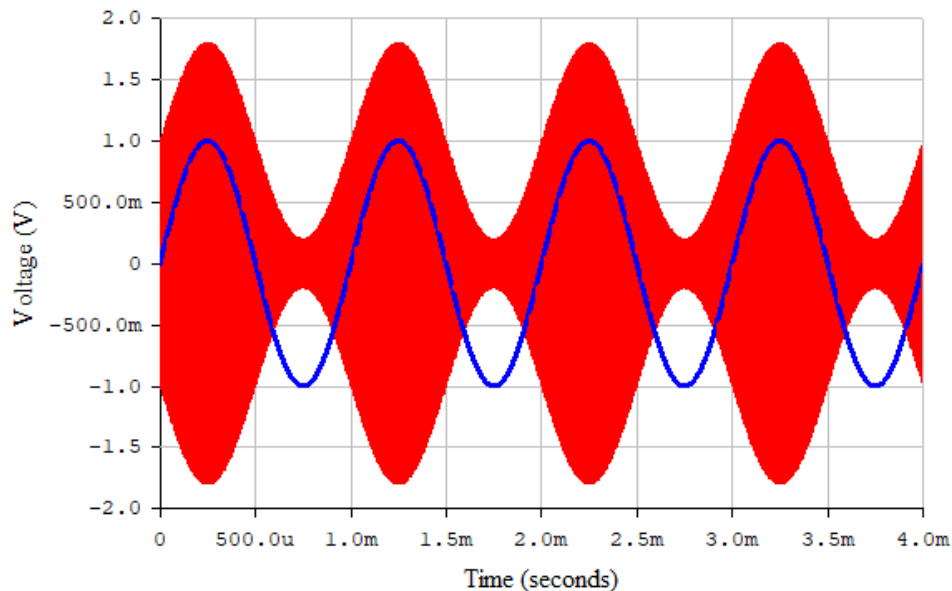


Рис. 27 – Амплитудно-модулированный радиосигнал (красная линия) и исходный информационный сигнал (синяя линия) в среде Electronics Workbench

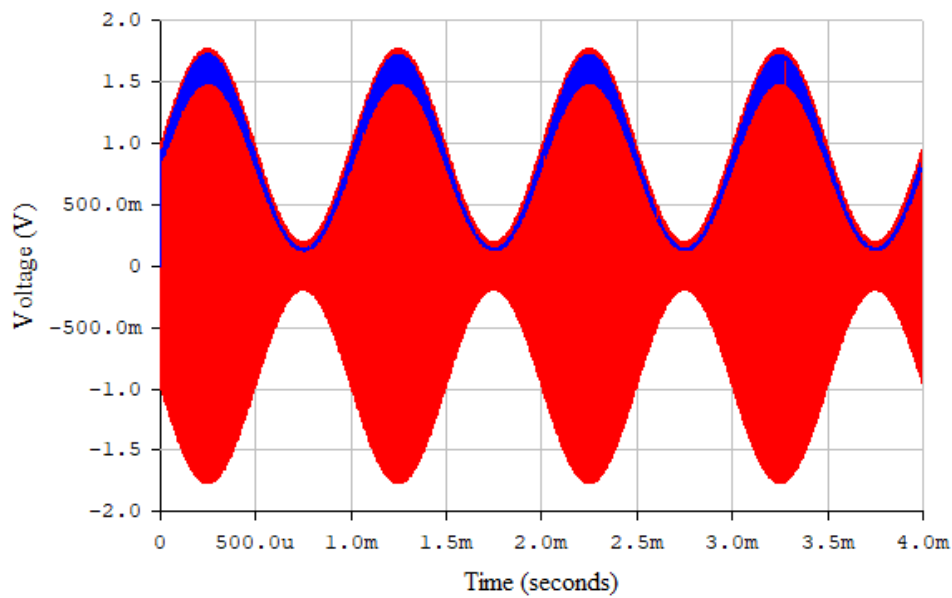


Рис. 28 – Амплитудно-модулированный радиосигнал (красная линия) и сигнал на выходе последовательного диодного детектора (синяя линия) в среде Electronics Workbench

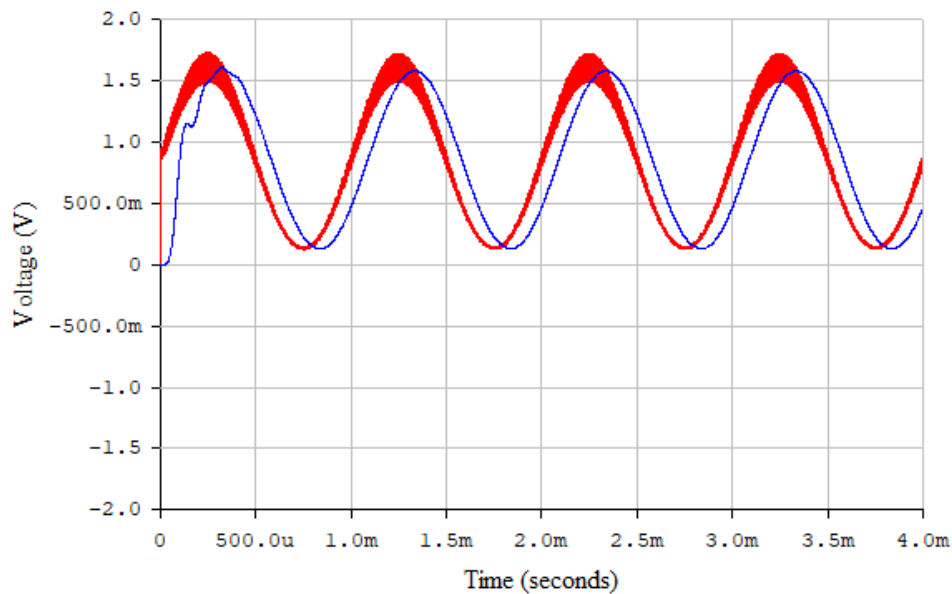


Рис. 29 – Сигналы на выходе последовательного диодного детектора (красная линия) и на выходе фильтра нижних частот (синяя линия) в среде Electronics Workbench

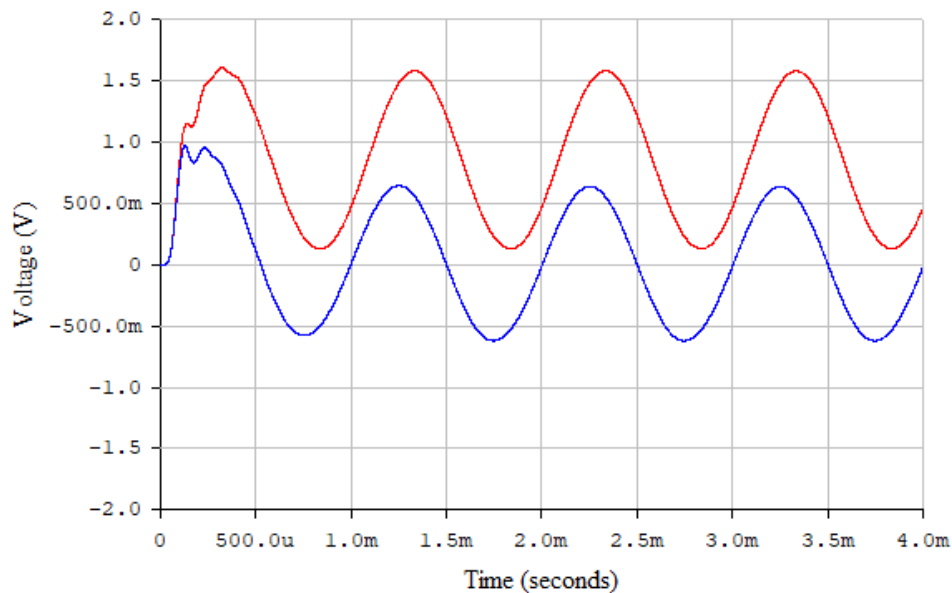


Рис. 30 – Сигналы на выходе фильтров нижних частот (красная линия) и верхних частот (синяя линия) в среде Electronics Workbench

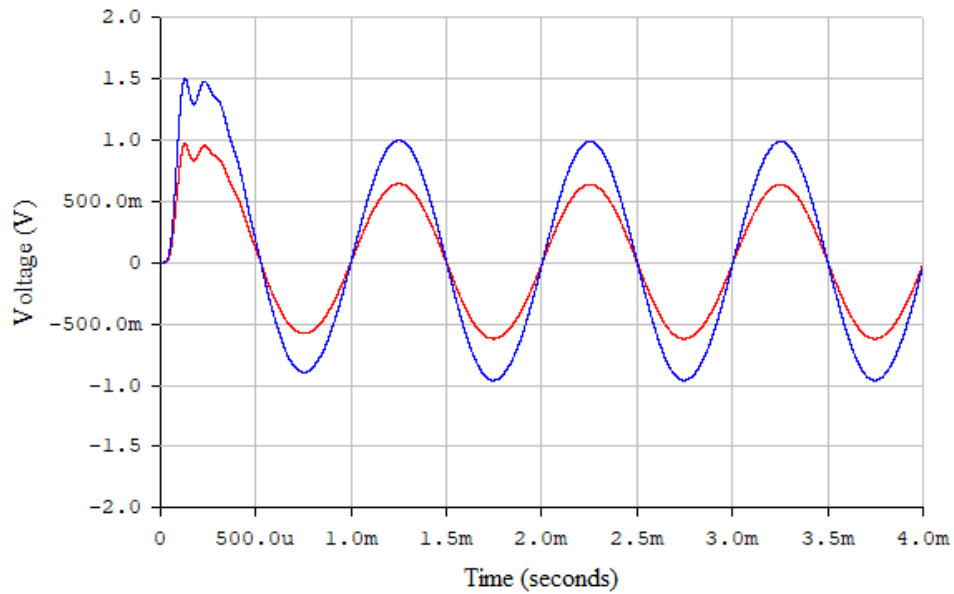


Рис. 31 – Сигналы на выходе фильтра верхних частот (красная линия) и усилителя (синяя линия) в среде Electronics Workbench

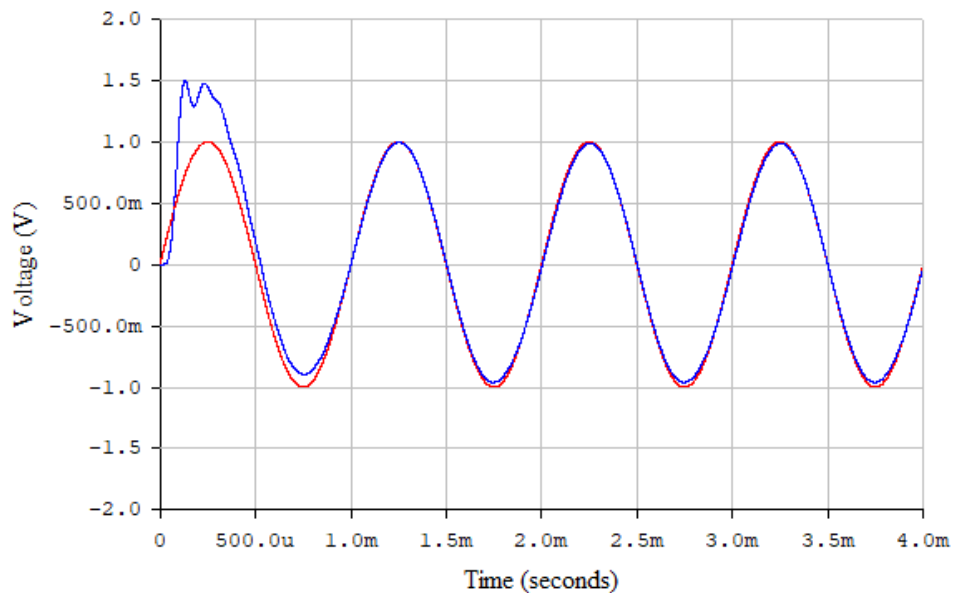


Рис. 32 – Сравнение исходного информационного процесса (красная линия) и сигнала на выходе усилителя (синяя линия) в среде Electronics Workbench (последовательный детектор, оптимизированный коэффициент усиления $K = 1 \text{ [B]} / U_{\text{max}} \text{ [B]} = 1,55$)

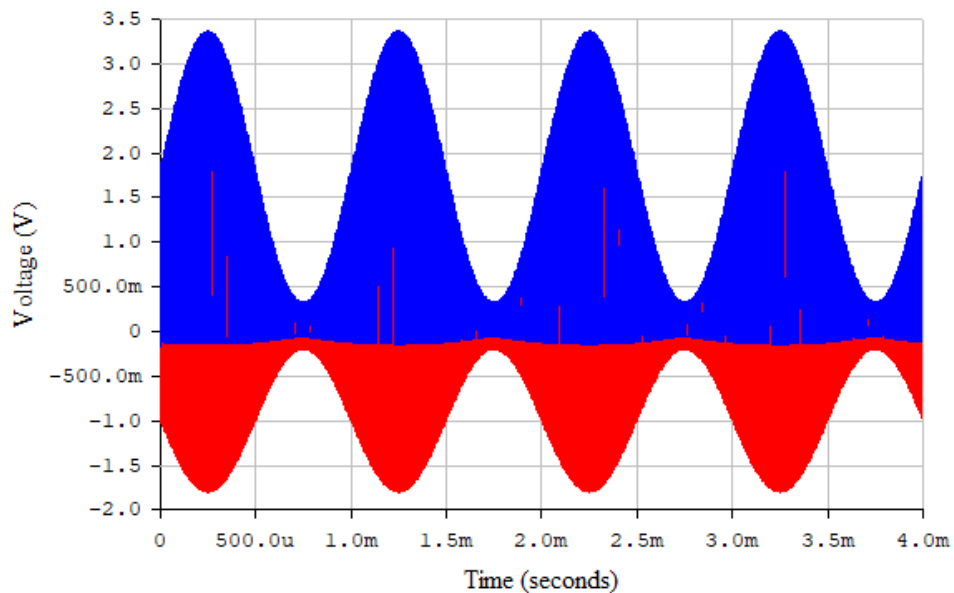


Рис. 33 – Амплитудно-модулированный радиосигнал (красная линия) и сигнал на выходе параллельного диодного детектора (синяя линия) в среде Electronics Workbench

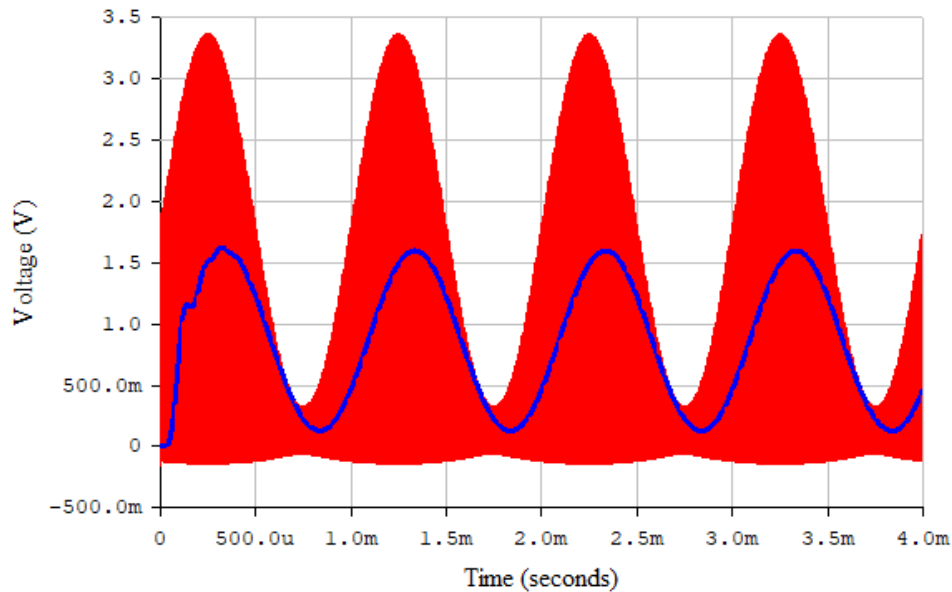


Рис. 34 – Сигналы на выходе параллельного диодного детектора (красная линия) и на выходе фильтра нижних частот (синяя линия) в среде Electronics Workbench

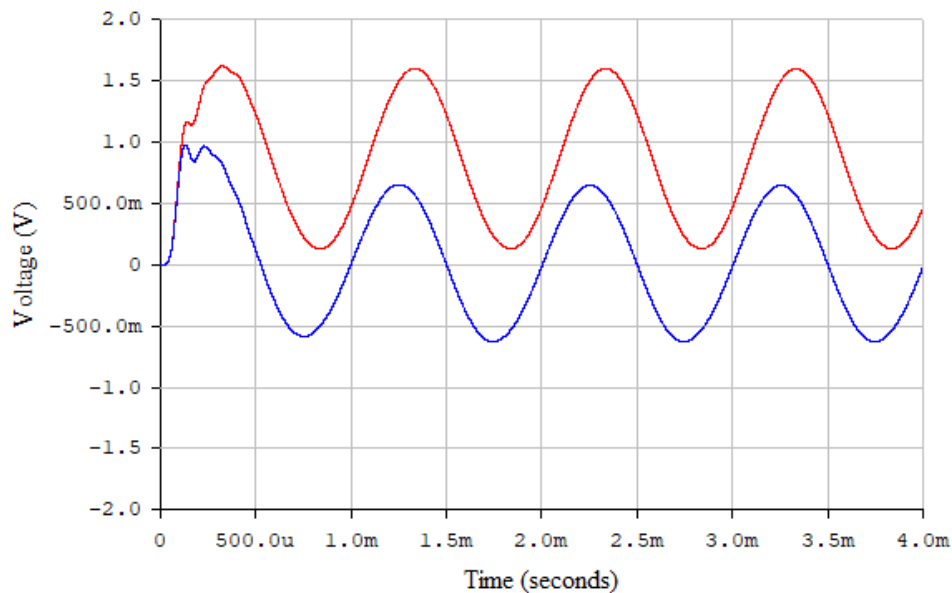


Рис. 35 – Сигналы на выходе фильтров нижних частот (красная линия) и верхних частот (синяя линия) в среде Electronics Workbench

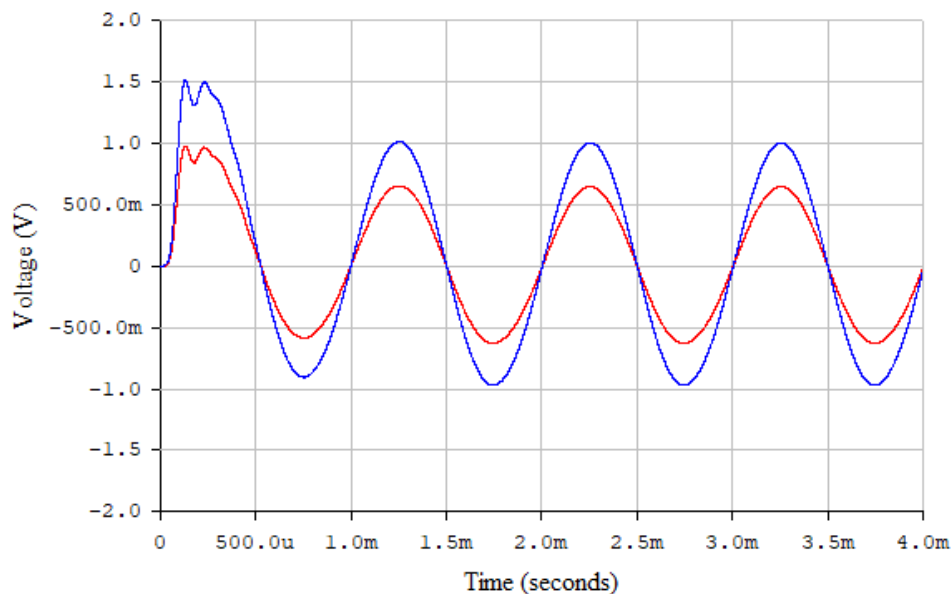


Рис. 36 – Сигналы на выходе фильтра верхних частот (красная линия) и усилителя (синяя линия) в среде Electronics Workbench

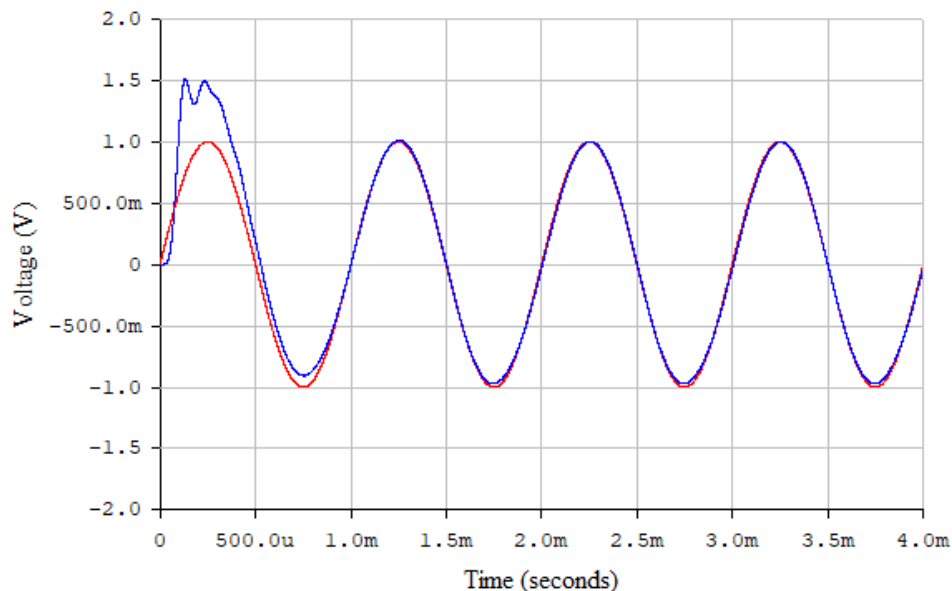


Рис. 37 – Сравнение исходного информационного процесса (красная линия) и сигнала на выходе усилителя (синяя линия) в среде Electronics Workbench (параллельный детектор, оптимизированный коэффициент усиления $K = 1 [B] / U_{\max} [B] = 1,55$)

Анализ полученных результатов математического (рис. 11 – 21) и схемотехнического (рис. 27 – 37) моделирования показывает, что смоделированные процессы соответствуют реальным процессам в амплитудном детекторе. Применение метода дифференциальных уравнений позволяет выполнять проектирование различных электронных устройств на уровне функциональных и принципиальных схем.

Заключение

Таким образом, в работе описан способ разработки и оптимизации принципиальных схем радиотехнических и электронных устройств различного назначения (на примере амплитудного детектора) с применением методов численного математического моделирования на основе решения дифференциальных уравнений. Применение численного математического моделирования позволяет значительно повысить точность теоретического расчёта и практической оптимизации параметров принципиальных схем при разработке данных электронных устройств.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Быков А.В. Основы математического моделирования радиоэлектронных устройств: Учебное пособие по курсу «Основы компьютерного проектирования и моделирования радиоэлектронных средств» / А.В. Быков, В.В. Харитонов; Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. проф. образования «Моск. авиац. ин-т (Нац. исслед. ун-т) (МАИ)». Фил. «Взлёт», г. Ахтубинск. – Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2012. – 232 с.
2. Нестеров С.В. Синтез линейных электрических цепей / С.В. Нестеров. – Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2013. – 84 с.
3. Улахович Д.А. Основы теории линейных электрических цепей / Д.А. Улахович. СПб.: БХВ-Петербург, 2009. – 816 с.
4. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы / С.И. Баскаков. – М.: Высшая школа, 2016. – 528 с.
5. Волович Г.И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств / Г.И. Волович. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2005. – 528 с.
6. Карлашук В.И. Электронная лаборатория на IBM PC. Программа Electronics Workbench и её применение / В.И. Карлашук. – М.: Салон-Р, 2000. – 506 с.
7. Буренко Е. А. Аппроксимация амплитудно-частотных характеристик и синтез по ним радиотехнических фильтров высокого порядка на основе полиномов Лежандра, Гегенбауэра и Якоби / Е. А. Буренко // Международный научно-исследовательский журнал. – 2021. – Выпуск № 6 (108) от 17.06.2021 г., Часть 1. – С. 49 – 63. DOI: 10.23670/IRJ.2021.108.6.009

Список литературы на английском языке / References in English

1. Bykov A.V. Osnovy matematicheskogo modelirovaniya radiojelektronnykh ustrojstv: Uchebnoe posobie po kursu «Osnovy komp'yuternogo proektirovaniya i modelirovaniya radiojelektronnykh sredstv» [Fundamentals of mathematical modeling of radio-electronic devices: A textbook for the course "Fundamentals of computer design and modeling of radio-electronic means"] / A.V. Bykov, V.V. Haritonov // Feder. gos. bjudzh. obrazovat. uchrezhdenie vyssh. prof. obrazovaniya «Mosk. aviac. in-t (Nac. issled. un-t) (MAI)». Fil. «Vzljot» [«Vzljot», branch of the Moscow Aviation Institute (National Research University)], Ahtubinsk. – Volgograd: VolGU publishing house, 2012. – p. 232 [in Russian]
2. Nesterov S.V. Sintez linejnyh jelektricheskikh cepej [Synthesis of Linear Electric Circuits] / S. V. Nesterov. - Volgograd: Publishing house VolGU, 2013. – p. 84 [in Russian]
3. Ulahovich D.A. Osnovy teorii linejnyh jelektricheskikh cepej [Fundamentals of the Theory of Linear Electric Circuits] / D. A. Ulanovich. SPb.: BHV-Peterburg, 2009. – p. 816 [in Russian]

4. Baskakov S.I. Radiotekhnicheskie cipi i signaly [Radio Engineering Circuits and Signals] / S. I. Baskakov. – M.: Vysshaja shkola, 2016. – p. 528 [in Russian]
5. Volovich G.I. Shemotekhnika analogovyh i analogo-cifrovyyh jelektronnyh ustrojstv [Circuitry of Analog and Analog-Digital Electronic Devices] / G. I. Volovich. – M.: Dobjeka-XXI, 2005. – p. 528 [in Russian]
6. Karlashhuk V.I. Jelektronnaja laboratorija na IBM PC. Programma Electronics Workbench i ejo primenenie. [Electronic Laboratory on an IBM PC. The Electronics Workbench Program and Its Application.] / V. I. Karlashhuk – M.: Salon-R, 2000. – p. 506 [in Russian]
7. Burenko E. A. Approksimacija amplitudno-chastotnyh harakteristik i sintez po nim radiotekhnicheskikh fil'trov vysokogo porjadka na osnove polinomov Lezhandra, Gegenbaujera i Jakobi [Approximation of Amplitude-Frequency Characteristics and Synthesis of High-Order Radio Engineering Filters Based on Legendre, Gegenbauer and Jacobi Polynomials] / E. A. Burenko // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. – 2021. – Issue № 6 (108) ot 17.06.2021 g., Part 1. – pp. 49 – 63. DOI: 10.23670/IRJ.2021.108.6.009 [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.109.7.009>**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ МЯСНОГО РУБЛЕННОГО ПОЛУФАБРИКАТА С ДОБАВЛЕНИЕМ СОЕВОГО ТЕКСТУРАТА ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ФАСТ ФУД**

Научная статья

Емелина В.В.^{1,*}, Кененбай Ш.Ы.²^{1,2} Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан

* Корреспондирующий автор (2742032[at]mail.ru)

Аннотация

Производство бургеров имеет множество особенностей. Возникает масса вопросов о том, что нужно использовать в производстве, чтобы получить пышную, ароматную, золотистую булочку или сочную, вкусную котлету, а также как можно удивить покупателей новыми вкусами. А если вы уже открыли производство, наверняка задумывались о том, как можно удешевить себестоимость котлеты, не теряя вкусовых качеств. Ведь индустрия фаст фуда была создана для того, чтобы удовлетворить голод за самые малые средства. Но с каждым годом развитие индустрии происходит в геометрической прогрессии. Меняется абсолютно все, начиная от формы и вида подачи, заканчивая методами и схемами производства. Фаст фуд в Казахстан пришел только в конце 90-х годов, несмотря на бурное развитие, находится еще в процессе становления.

Ключевые слова: фарш, котлеты, соевый текстурат, соя, фаст фуд.**DEVELOPMENT OF THE TECHNOLOGY OF MINCED MEAT SEMI-FINISHED PRODUCT WITH THE ADDITION OF TEXTURED SOY PROTEIN FOR FAST FOOD ENTERPRISES**

Research article

Emelina V.V.^{1,*}, Kenenbay Sh.Y.²^{1,2} Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan

* Corresponding author (2742032[at]mail.ru)

Abstract

The production of burgers has many aspects. There are a lot of questions about what is needed to use in production to get a lush, fragrant, golden bun or a juicy, delicious cutlet as well as how to surprise customers with new tastes. And if the production is already launched, there's a high probability that a question about how to reduce the cost of the cutlet without losing its taste qualities can arise. After all, the fast food industry was created in order to satisfy hunger through the smallest means. Every year the industry is developing exponentially, altering its every aspect, from the form and type of service, to the methods and schemes of production. Fast food came to Kazakhstan only in the late 90s, despite the rapid development, it is still in the process of forming.

Keywords: minced meat, cutlets, textured soy protein, soy, fast food.**Введение**

Мясо и мясопродукты являются наиболее ценными пищевыми продуктами, поэтому крайне важно не только сохранить их первоначальные свойства, но и улучшить их в процессе технологической переработки [1, С. 736].

Согласно данным ФАО/ВОЗ, потребление мяса и мясопродуктов, по прогнозам, увеличится до 52 кг на душу населения к 2050 году. Ожидается также рост производства животноводческой продукции, но темпы роста сельскохозяйственного производства значительно ниже. Растущий спрос требует увеличения производства мяса во всем мире на 200 миллионов тонн. Однако соответствующее увеличение использования земельных и водных ресурсов, несомненно, будет сопровождаться экологическими проблемами [2].

По данным агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан Бюро национальной статистики за первый квартал 2021 года в Казахстане мяса и мясопродуктов потребляется 20,5 кг на душу населения, что на 1,9 кг больше по сравнению с аналогичным периодом прошлого года.

Из белков животного происхождения в организме синтезируются вещества, способствующие выработке нейромедиаторов серотонина, дофамина, эпинефрина и норэпинефрина, которые оказывают благоприятное воздействие на работу центральной нервной системы [3].

Чтобы преодолеть разрыв между потреблением белка и его фактической потребностью, необходимо использовать различные заменители и добавки животного белка для мясных продуктов, а также новые источники белка для питания человека.

Соя является одной из самых распространенных зернобобовых культур мирового значения, так как имеет высокую концентрацию полноценного белка, а также является экономически выгодной. Особую ценность в составе соевых белков имеет присутствие лизина, который не синтезируется в организме человека и должен обязательно употребляться с продуктами питания для обеспечения полноценной жизнедеятельности. Наибольшая суточная потребность в лизине определена для раннего детского возраста: дети до года нуждаются в 100 мг/кг, к взрослому возрасту потребность снижается до 44 мг/кг. В белкосодержащих продуктах переработки сои содержится 50–70 % протенинов. Соевые белки обладают высокой питательной ценностью и перевариваемостью. Показатель усвояемости соевого белка из соевого изолята приближен к перевариваемости коровьего молока и находится на уровне 91–96 %.

Согласно многочисленным научным исследованиям выявлен химический состав соевого текстурата, который представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав соевого текстурированного продукта

Компонент	Содержание, %
Вода	7
Белок	48
Липиды	8
Углеводы	32
Зола	5

Соевый текстурат - продукт переработки соевых бобов - заменитель мяса, обычно изготавливаемый из соевой муки. В отличие от обычного мяса, соевый текстурат не содержит холестерина, адреналина и гормонов. Он легче усваивается и не приводит к ожирению. Сам по себе он безвкусен, но в сочетании с другими продуктами приобретает насыщенный вкус.

Соя обеспечивает наибольшее количество белка на гектар земли - 655 кг, что обеспечивает существование человека до 5494 суток. Соя — это источник, который идеально подходит для разных отраслей производства продуктов питания.

В белковых продуктах растительного происхождения значительно меньшая доля содержания насыщенных жиров, в большем же количестве содержатся полиненасыщенные жирные кислоты, которые участвуют в поддержании функционирования клеточных мембран, снижают риск развития атеросклероза и сердечно-сосудистых заболеваний. Именно поэтому в рационе следует соблюдать баланс животного и растительного белка.

А так же в статье «Проектирование рецептур мясорастительных полуфабрикатов повышенной пищевой ценности» Казанского национального исследовательского технологического университета, авторами которого являются Габдукаева Л., Решетник О. проведено исследование, результатами которого является вывод, что частичная замена мясного сырья растительными ингредиентами привела к снижению количества водорастворимых белков в растворе. Внесение бобовой культуры привело к увеличению концентрации солерастворимой фракции.

Методы и принципы исследования

Объектом исследования является фарш говяжий в соотношении 80/20 (80% постного мяса и 20% корпусного говяжьего жира), производителем фарша является ТОО “KazBeef LTD” имеющий сертификат безопасности пищевых продуктов FSSC 22000.

Так же объектом исследования являлся соевый текстурат «Росстекс», который соответствует ГОСТ 8057-95.

Контрольным образцом является котлета говяжья, уже используемая на производстве предприятия общественного питания в Республике Казахстан. Особенностью котлеты для бургера является то, что она не имеет хлебной панировки и добавления различных ингредиентов привычных для котлет. Технологическая карта котлеты для бургера приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Технологическая карта котлеты для бургера

Наименование	Кол-во, кг
Фарш говяжий 80/20	1,000
Смесь 5 перцев молотая	0,001
Горчица	0,017
Масло растительное	0,009
Жидкий дым	0,006
Соль	0,009
Выход	1,000

Для создания экспериментального образца в котлетную массу добавили 20% (от массы фарша) соевого текстурата.

Для рассмотрения изменений в котлетах были проведены физико-химические анализы на определения белка, жира и углеводов в контрольных котлетах сырых и обжаренных и экспериментальных котлетах сырых и обжаренных.

Испытания проводились согласно ГОСТ 25011 – 2017 и ГОСТ 23042 – 2015, углеводы определяли перманганатным методом.

Основные результаты

Согласно научной литературе, количество добавления соевого текстурата в фарш мясной от 15% до 30%. Для определения оптимального процента добавления соевого текстурата были проведены контрольные испытания. В мясной фарш было добавлено 20%, 25% и 30% соевого текстурата от массы фарша. Фарш с добавлением соевого текстурата в объеме 20%, оказался самым оптимальным, т.к. при увеличении процента текстурата форма котлет деформировалась при термической обработке. Результаты физико-химических анализов для котлеты контрольной сырой и котлеты экспериментальной сырой приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты физико-химических показателей для контрольного и экспериментального образцов сырых

Наименование показателей, единицы измерения	Фактические результаты контрольного образца	Фактические результаты экспериментального образца
Массовая доля белка, %	9,91±0,11	13,01±0,19
Массовая доля жира, %	11,08±0,15	14,38±0,18
Массовая доля углеводов, %	5,61±0,07	3,28±0,03

По результатам анализов можно сделать вывод, что добавление соевого текстурата положительно сказывается на нутриентный состав котлет, так как содержание белка в контрольном образце составляет 9,91%, а в экспериментальном образце 13,01%. Результаты физико-химических анализов для котлеты контрольной обжаренной и котлеты экспериментальной обжаренной приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты физико-химических показателей для контрольного и экспериментального образцов обжаренных

Наименование показателей, единицы измерения	Фактические результаты контрольного образца	Фактические результаты экспериментального образца
Массовая доля белка, %	12,84±0,15	17,45±0,26
Массовая доля жира, %	13,14±0,19	15,04±0,16
Массовая доля углеводов, %	5,04±0,05	2,94±0,02

Анализируя таблицу 4, можно сделать вывод, что после термической обработке котлеты с соевым текстуратом так же имеют высокое содержание белка. Массовая доля белка контрольного образца составила 12,84%, а экспериментального 17,45%.

В научной литературе описано, что соевые белки экструзионных продуктов имеют высокие показатели жиропоглощательной способности, что, очевидно, объясняется тем, что молекулы белка сои наряду с гидрофильными имеют и гидрофобные функциональные группы, которые способны удерживать, захватывать и связывать молекулы липидов. Жиропоглощательная способность текстурата в виде гранул составляет 82 %, т. е. максимальное количество поглощаемого масла на 1 г текстурата в виде гранул – 0,82 г. Данный факт объясняет увеличение процента жира в экспериментальных образцах.

Был проведен анализ выхода готовых котлет после термической обработки из которого следует, что выход в готовом виде экспериментальной котлеты больше, чем контрольной. Обе котлеты имели вес в сыром виде 0,1 кг, после термической обработки контрольная котлета имела вес 0,068 кг, а экспериментальная 0,074 кг.

Заключение

Недостаточное производство мясного сырья, а иногда и его низкое качество побуждают производителей мяса и мясных продуктов максимально использовать существующие источники белка, к которым относится сухой растительный белок. Различные растительные белки отличаются по типу используемого сырья, технологии производства, а, следовательно, по составу и функциональным свойствам.

Проведены физико-химические анализы образца котлеты, уже применяемой на рынке в Республике Казахстан, а также котлеты усовершенствованной соевым текстуратом.

Результаты исследований показали, что введение в котлету соевого текстурата положительно сказалось, так как увеличился выход готового изделия, увеличился процент содержания белка, а также котлета стала экономически выгодной.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Shynar Kenenbay. Evaluation of autolysis induced histologic alterations in skeletal muscle tissue of non-traditional meat animals / Leila Kaimbayeva1, Shynar Kenenbay, Daniyar Zhantleuov et al. // Food Sci. Technol, Campinas, 40(3): 736-740, July-Sep. 2020.
2. Wittenberg, K. Meat and the Enviroment – Future directions / K. Wittenberg // in 58th International Congress of Meat Science and Technology – Montreal, Canada, 2012.
3. Штерман, С.В. Антиоксиданты в спортивном питании / С.В. Штерман, М.Ю. Сидоренко, В.С. Штерман и др. // Пищевая промышленность. – Часть I. – 2019. – № 5. – С. 60–64; часть II. – 2019. – № 6. – С. 30–34.
4. Самченко, О.Н. Рубленые полуфабрикаты с семенами масличных культур / О.Н. Самченко, М.А. Меркучева // Техника и технология пищевых производств. - 2016. - №4 (43).
5. Решетник, Е.И. Влагоудерживающая способность как критерий качества мясо-растительных полуфабрикатов / Е.И. Решетник, В.А. Максимюк, Т.В. Шарипова // Потенциал современной науки. - 2015. - № 2 (10).
6. Габдукаева Л.З. Функционально-технологические свойства мясных полуфабрикатов, обогащенных растительными компонентами / Л.З. Габдукаева, О. А. Решетник // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2018. Т. 7. № 4(44).
7. Лузан, В.Н. Современные подходы использования растительных добавок в пищевой промышленности / В.Н. Лузан, В.А. Аникина // Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство: мат-лы II Междунар. науч.-техн. конф. – Воронеж: Изд-во Воронежского государственного университета инженерных технологий, 2015.
8. Петий, И.А. Исследование влияния температурного режима обработки полуфабриката высокой степени готовности / И. А. Петий, Н. А. Притыкина // Инновации в науке, образовании и бизнесе – 2014: XII Международная научная конференция: труды. – Калининград, 2014. – С. 172 -176.
9. Притыкина, Н. А. Разработка технологии мясного полуфабриката высокой степени готовности / Н. А. Притыкина, И. А. Петий // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2016. – № 40. – С. 69-80.

10. Масалова, В.В. Перспективы использования безглютенового растительного сырья в производстве пищевых продуктов для диетического и профилактического питания / В.В. Масалова, Н.П. Оботурова // Пищевая промышленность. – 2016. – №3. – С.21-26.

11. Гаврилова, Е.В. Сравнение консистенции мясных полуфабрикатов, исследованной структурно-механическими и органолептическими методами / Е.В. Гаврилова, Н.Б. Губер, Б.К. Асенова // Молодой ученый. – 2014. – № 15. – С. 68-70.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Shynar Kenenbay. Evaluation of autolysis induced histologic alterations in skeletal muscle tissue of non-traditional meat animals / Leila Kaimbayeva¹, Shynar Kenenbay, Daniyar Zhantleuov et al. // Food Sci. Technol, Campinas, 40(3): 736-740, July-Sep. 2020.

2. Wittenberg, K. Meat and the Environment – Future directions / K. Wittenberg // in 58th International Congress of Meat Science and Technology – Montreal, Canada, 2012.

3. Shterman, S. V. Antioksidanty v sportivnom pitanii [Antioxidants in sports nutrition] / S. V. Shterman, M. Yu. Sidorenko, V. S. Shterman et al. // Pishhevaya promyshlennost' [Food industry]. - Part I.-2019. - No. 5. - pp. 60-64; part II. - 2019. - No. 6 – pp. 30-34 [in Russian]

4. Samchenko, O. N. Rublenye polufabrikaty s semenami maslichnykh kul'tur [Chopped semi-finished products with oilseeds] / O. N. Samchenko, M. A. Merkucheva // Tekhnika i tekhnologiya pishhevykh proizvodstv [Equipment and technology of food production]. - 2016. - №4 (43) [in Russian]

5. Reshetnik, E. I. Vlagouderszhivajushhaja sposobnost' kak kriterijj kachestva mjaso-rastitel'nykh polufabrikatov [Moisture-retaining capacity as a quality criterion of meat and vegetable semi-finished products] / E. I. Reshetnik, V. A. Maksimuk, T. V. Sharipova // Potencial sovremennoj nauki [The potential of modern science]. - 2015. - № 2 (10) [in Russian]

6. Gabdukaeva L. Z. Funkcional'notekhnologicheskie svojstva mjasnykh polufabrikatov, obogashhennykh rastitel'nymi komponentami [Functional and technological properties of semi-finished meat products enriched with vegetable components] / L. Z. Gabdukaeva, O. A. Reshetnik // XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastojashhego plus [21st century: the results of the past and the problems of the present plus]. 2018. Vol. 7. No. 4(44) [in Russian]

7. Luzan, V. N. Sovremennye podkhody ispol'zovaniya rastitel'nykh dobavok v pishhevoj promyshlennosti [Modern approaches to the use of vegetable additives in the food industry] / V. N. Luzan, V. A. Anikina // Innovacionnye tekhnologii v pishhevoj promyshlennosti: nauka, obrazovanie i proizvodstvo: mat-ly II Mezhdunar. nauch.-tekh. konf. – Voronezh [Innovative technologies in the food industry: science, education and production: materials of the II International Scientific and Technical Conf] – Voronezh: Publishing House of the Voronezh State University of Engineering Technologies, 2015 [in Russian]

8. Petiy, I. A. Issledovanie vlijaniya temperaturnogo rezhima obrabotki polufabrikata vysokoj stepeni gotovnosti [Investigation of the influence of the temperature regime of processing a semi-finished product of a high degree of readiness] / I. A. Petiy, N. A. Pritykina // Innovacii v nauke, obrazovanii i biznese – 2014: XII Mezhdunarodnaja nauchnaja konferencija: trudy [Innovations in science, education and business-2014: XII International Scientific Conference: works]. - Kaliningrad, 2014. - pp. 172 -176 [in Russian]

9. Pritykina, N. A. Razrabotka tekhnologii mjasnogo polufabrikata vysokoj stepeni gotovnosti [Development of technology of meat semi-finished product of high degree of readiness] / N. A. Pritykina, I. A. Petya // Izvestija Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Proceedings of the Kaliningrad State Technical University]. - 2016. - No. 40. - pp. 69-80 [in Russian]

10. Masalova, V. V. Perspektivy ispol'zovaniya bezglutenovogo rastitel'nogo syr'ja v proizvodstve pishhevykh produktov dlja dieticheskogo i profilakticheskogo pitaniya [Prospects for the use of gluten-free vegetable raw materials in the production of food products for dietary and preventive nutrition] / V. V. Masalova, N. P. Oboturova // Pishhevaya promyshlennost' [Food industry]. - 2016. - No. 3. - pp. 21-26 [in Russian]

11. Gavrilova, E. V. Sravnenie konsistencii mjasnykh polufabrikatov, issledovannykh strukturno-mekhanicheskimi i organolepticheskimi metodami [Comparison of the consistency of semi-finished meat products studied by structural-mechanical and organoleptic methods] / E. V. Gavrilova, N. B. Guber, B. K. Asenova // Molodoy uchenyy [Young scientist]. - 2014. - No. 15. - pp. 68-70 [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.109.7.010>**ГРАФИТОВЫЕ АНОДЫ В ЭЛЕКТРОЛИЗЕ МАГНИЯ**

Научная статья

Еремин Р.Н.^{1,*}, Матыльский Б.Э.²^{1,2} Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

* Корреспондирующий автор (intruder55[at]bk.com)

Аннотация

Электролиз расплава хлоридов является одним из основных способов получения металлического магния. Данная технология зачастую сопряжена с производством титана. Продуктом электролиза также является газообразный хлор, выделяющийся на анодах.

Аноды магниевых электролизеров изготавливаются из склеиваемых друг с другом блоков искусственного графита. К анодам предъявляются требования по устойчивости к воздействию газообразного хлора и кислорода воздуха, инертностью относительно электролита, высоким показателям механической прочности и электропроводности.

Изменение профиля анода в ходе эксплуатации за счет механического износа и окисления поверхности в значительной степени влияет на выход по току и целесообразность дальнейшего ведения процесса. Основными причинами уменьшения площади поверхности анода являются: электрохимический износ за счет выделения кислорода, абразивный износ за счет истирания твердыми частицами электролита, окисление при температурах от 500 до 700 °С. Для минимизации расхода анода необходимо определение степени влияния каждого из данных факторов.

В данной работе проведен анализ факторов, влияющих на разрушение анодов, а также описан опыт их оценки с помощью лабораторного электролизера.

Ключевые слова: электролиз магния, графитовый анод, искусственный графит, абразивный износ.

GRAPHITE ANODES IN MAGNESIUM ELECTROLYSIS

Research article

Eremin R.N.^{1,*}, Matylsky B.E.²^{1,2} Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russia

* Corresponding author (intruder55[at]bk.com)

Abstract

Electrolysis of molten chlorides is one of the main methods for obtaining metallic magnesium. This technology is often associated with the production of titanium. The product of electrolysis is also chlorine gas released on the anodes.

The anodes of magnesium electrolyzers are made of artificial graphite blocks glued together. The anodes are subject to requirements for resistance to the effects of gaseous chlorine and oxygen in the air, inertia relative to the electrolyte, high mechanical strength, and electrical conductivity.

Changing the profile of the anode during operation due to mechanical wear and oxidation of the surface significantly affects the current output and the feasibility of further conducting the process. The main reasons for reducing the surface area of the anode are electrochemical wear due to the release of oxygen, abrasive wear due to abrasion by solid particles of the electrolyte, oxidation at temperatures from 500 to 700 °C. To minimize anode consumption, it is necessary to determine the degree of influence of each of these factors.

The current article conducts an analysis of factors affecting the destruction of anodes and describes the experience of their evaluation using a laboratory electrolyzer.

Keywords: magnesium electrolysis, graphite anode, artificial graphite, abrasive wear.

Введение

Технология электролиза магния, не смотря на ряд усовершенствований, в целом не испытывала кардинальных изменений с момента запуска первого электролизера в 1883 году. Существующие технологии электролитического производства магния различаются способами получения исходного магниевых сырья и конструкциями магниевых электролизеров [1], [2].

Главным сырьевым источником для получения магния электролитическим методом служат его хлориды: бишофит $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ и карналлит $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$, которые обезвоживают в две стадии [3], [4].

В магниевом производстве наряду с магнием товарной продукцией является хлор, образующийся на анодах. Повышение извлечения хлора в процессе электролиза важная задача магниевой промышленности. Эффективность технологического процесса и интервал между капитальными ремонтами в значительной степени определяется анодами и их характеристиками. Оценка стойкости графитовых анодов в технологических средах в промышленных условиях затруднительна вследствие большой инертности данных систем. Существует необходимость обеспечения достоверной оценки в лабораторных условиях стойкости анодов к разрушению.

Основная часть**1. Аноды магниевых электролизеров**

Аноды магниевых электролизеров предназначены для подвода электрического тока и разряда на них анионов хлора [5]. К анодам предъявляются следующие требования:

- устойчивость к воздействию газообразного хлора, расплавленного электролита и кислорода воздуха;
- высокие электропроводность и механическая прочность;
- низкая стоимость.

В магниевом электролизере конструкция анода представляет собой несколько графитовых брусьев, которые притираются и склеиваются смазкой из графитового порошка и калиевого жидкого стекла. Сечение брусьев составляет приблизительно 350×150..200 мм [6].

Уменьшение поперечного сечения анодов может приводить к снижению срока службы электролизера и ухудшению технико-экономических показателей. Изменение размеров анодов в ходе технологического процесса определяется косвенно по токовой нагрузке.

2. Причины разрушения анодов

В процессе электролитического получения магния графитированный анод находится в агрессивных условиях. Рабочая часть анода, на которой выделяется хлор, погружена в электролит. Она разрушается главным образом за счет электрохимического взаимодействия с примесями, содержащимися в расплаве. Наиболее опасными являются гидроксид и сульфат ионы, разряд которых приводит к выделению кислорода, окисляющего углерод анода. Механическое воздействие расплавленного электролита оказывает значительно меньшее влияние.

Вторая часть анода (токоведущий элемент) находится между электролитом и токоподводами. При верхнем вводе один токоведущий участок анода находится в газовой среде, содержащей до 90% (объемн.) хлора и до 10% воздуха. Температура в этом пространстве изменяется от 500 до 700 °С. При этом в данном температурном диапазоне происходит окисление графита по механизму, описанному в [7], [8]. Вследствие окисления происходит изменение межэлектродного пространства [6], [9].

Также твердые частицы электролита могут приводить к изнашиванию образцов анодов. Абразивный износ анодов связан с присутствием в электролите MgO и MgOHCl, в виду их нерастворимости в электролите. Предполагается, что доля механического износа анодов незначительна [10], [11]. Сопротивление к такому типу износа коррелирует с размером гранул коксового наполнителя в исходной сырьевой смеси для производства анодов, объемной плотностью и механической прочностью [12]. Уменьшение среднего размера гранул наполнителя приводит также к уменьшению количества связующего, что положительно влияет на стойкость анода к окислению кислородом. Помимо этого, следует обратить внимание на содержание золы в анодах из-за более высокой ее склонности к окислению.

Таким образом, основными причинами разрушения анодов являются:

- окисление на границе расплав – газовая фаза, вследствие подсоса воздуха через неплотности электролизера;
- разряд на аноде гидроксид- и сульфат-ионов; участие углерода в реакциях хлорирования оксида магния газообразным хлором, которые протекают в объеме электролита; механические повреждения, возникающие в процессе технологических обработок.

3. Замена электродов

Замену электродов осуществляют по мере изменения выхода по току. Конструктивные особенности магниевых электролизеров позволяют осуществлять замену анодов только в электролизерах с верхним вводом анодов, как диафрагменных так и бездиафрагменных. Для остальных случаев необходима остановка электролизера на капитальный ремонт. Новый анод перед установкой проходит ряд предварительных операций. Верхняя часть анодных брусьев пропитывается растворами ортофосфорной кислоты или расплавами метафосфатов калия или натрия. Затем анодные брусья склеиваются между собой специальной замазкой. Требуемую жесткость аноду придает медный токоподвод, закрепляемый путем болтового соединения. Подготовленный анод, предварительно подогретый до 350 – 400 °С, вводят взамен прежнего в соответствующее окно анодного перекрытия, тщательно выставляют для обеспечения плоскопараллельного размещения относительно катодной поверхности, уплотняют асбестовым шнуром и огнеупорной замазкой и подключают к шинопроводу.

4. Конструкции лабораторных электролизеров

Оценку устойчивости графитовых анодов можно проводить путем физического моделирования в лабораторных условиях, которое для пирометаллургических процессов сопряжено с рядом трудностей и носит достаточно условный характер. Тем не менее, для ряда систем это единственная возможность изучения влияния на технологический процесс переменных факторов. Был проведен анализ известного опыта моделирования процесса электролитического получения магния в лабораторных условиях. Очевидно, что основными параметрами, которые можно воспроизвести и изменять, являются температура электролита, его состав и скорость движения

В открытых источниках описаны конструкции лабораторных электролизеров. На рисунке 1 представлен один из них. Установка представляет собой тигель из термо- и коррозионно-стойкого материала (например, фарфор, кварц, алунд), установленный в электрической печи сопротивления, обеспечивающей заданный температурный режим электролиза, регулирование которого реализуется по показаниям термопары типа К, помещенной внутрь установки. Электроды смонтированы на подвижном штативе, позволяющем перемещать их в вертикальной плоскости изменять тем самым межполюсное расстояние. Анод выполнен из графита, катод – из стали. Электродные пространства разделены керамической перегородкой. Источником тока является выпрямительное устройство с измерительными приборами, установленными на выходе (вольтметр, амперметр).

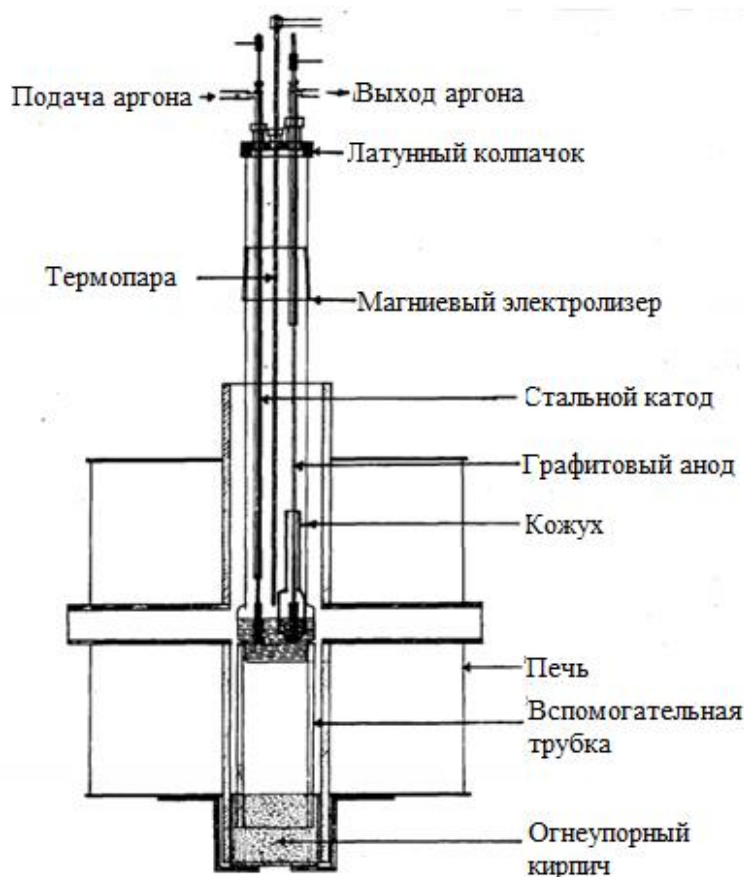


Рис. 1 – Лабораторная электролитическая ячейка для получения Mg [13]

Очевидным недостатком подобной конструкции для решения поставленной задачи являются недостаточные размеры электродов и объем электролит, что не позволяет получать адекватные данные об устойчивости анодных материалов.

На рисунке 2 показана электролизная установка (а) и электродная сборка (б), которые помещены в алюминиевый тигель, расположенный в более широком сосуде из нержавеющей стали. Алюминиевая оболочка на вершине тигля предотвращает попадание продуктов коррозии из стального сосуда в электролит. Крышка электролизера герметизирует вершину внешнего сосуда для предотвращения доступа воздуха или влаги в ячейку.

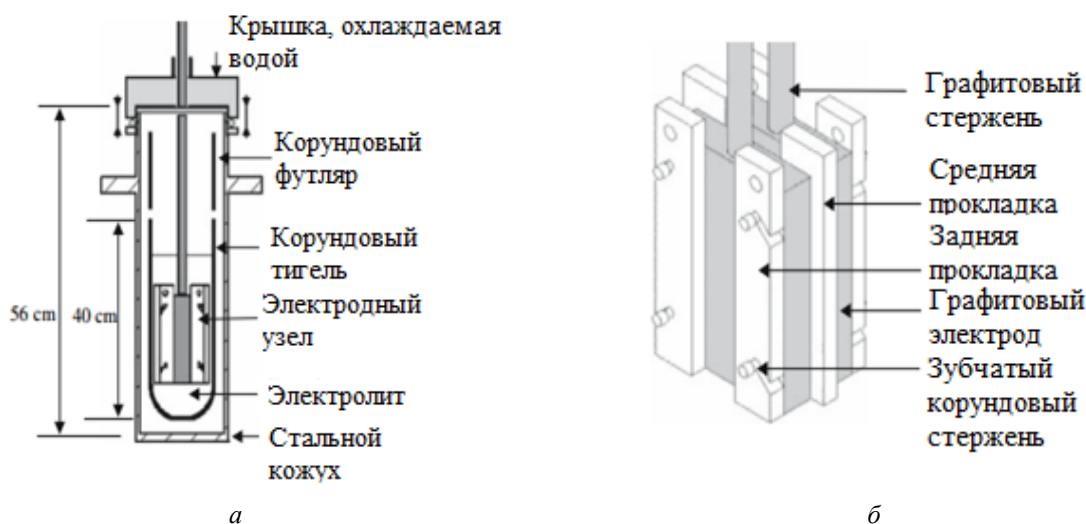


Рис. 2 – Электролизная установка (а) и электродная сборка (б) [14]

Недостаток данной конструкции – не предусмотрена циркуляция воздуха в реакционной зоне, которая позволила бы воспроизводить подсосы воздуха на промышленных электролизерах.

5. Разработки и создание лабораторной установки

Разработанная и использованная для проведения предварительных экспериментов по устойчивости анодных материалов лабораторная электролитическая ячейка представлена на рисунке 3. Она состоит из корпуса 19, внутри которого находится графитовый тигель 6 с расплавом электролита 7, в который помещается исследуемый образец 8, соединенный посредством резьбового соединения с валом верхнеприводной мешалки 17, приводящей анод во

вращение. Для поддержания температуры электролитическая ячейка помещается в печь, которая состоит из корпуса 1 и нагревательных стержней 2. Температура контролируется при помощи термопары типа «К», помещенной в стальной чехол 4, погруженный в расплав электролита 7, и корректируется посредством терморегулятора 10. Постоянный ток подводится от источника 14 на вал посредством соединения 16 и отводится от металлического кольца 5, охватывающего тигель 6. Между кольцом 5 и корпусом ячейки, как и между корпусами печи и ячейки проложен слой электроизоляции 3. Разрежение в ячейке создается посредством вакуум-линии и контролируется вакуумметром 12. Образующийся в ходе электролиза хлор абсорбируется в поглотительном растворе 13, находящемся в герметичной емкости 20. Для герметизации ячейки и обеспечения вращения вала предусмотрен диэлектрический подшипник скольжения 15, установленный на конце втулки со змеевиком водяного охлаждения 18.

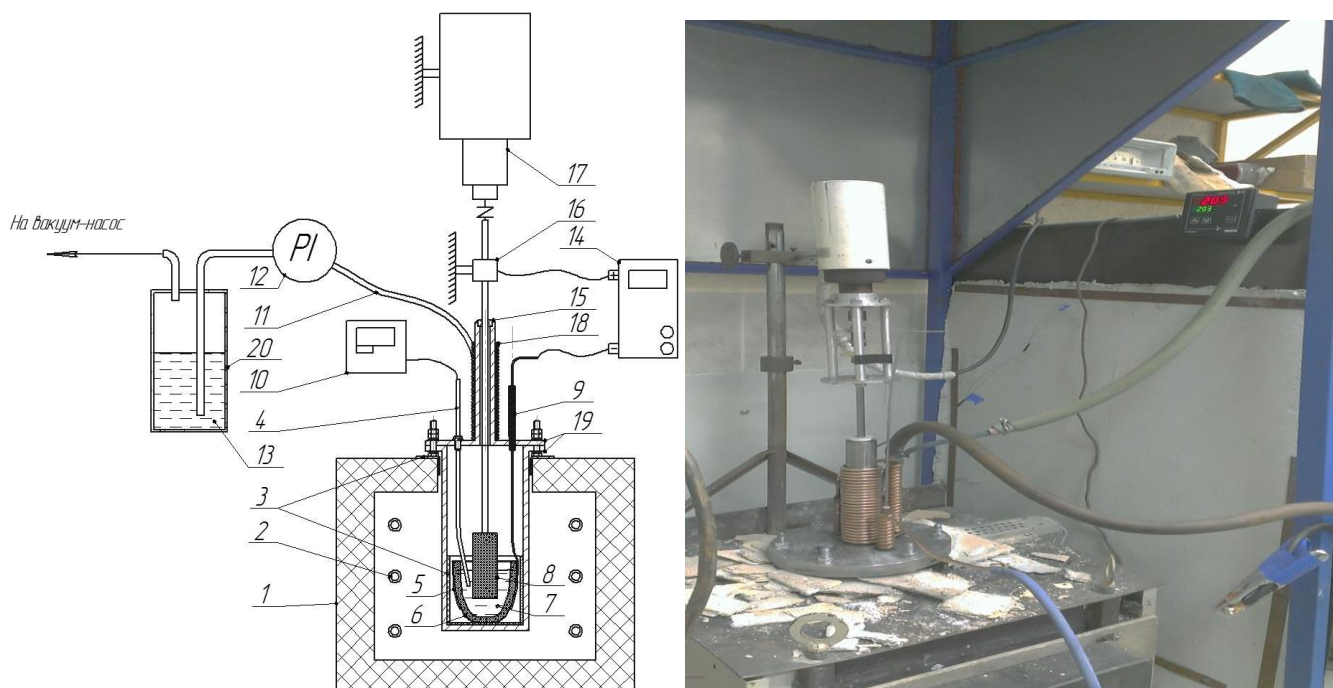


Рис. 3 – Схема лабораторного электролизера для оценки стойкости графита ЭГП в условиях процесса электролитического получения Mg

Таблица 1 – Технические параметры лабораторного электролизера

Габаритные размеры ДхШхВ, мм	500x1000x1500
Скорость вращения образца, об/мин	≥300
Температурный интервал, °С	20..800
Время бесперебойной работы, ч	≥12
Абсолютное давление в рабочем режиме, Па	700
Нагрузка постоянного тока, А	≥40
Анодная плотность тока, А/см ²	≥0,3

6. Испытание анодов марки в лабораторной электролитической ячейке

Для оценки возможности применения лабораторной электролитической ячейки была проведена серия опытов на изготовленной установке. Испытания проводились на цилиндрических образцах графитированных электродов марки ЭГП следующих геометрических размеров: высота Н – 120 мм, диаметр D – 45 мм. Образец помещался в расплав электролита на 2/3 высоты. Плотность тока составляла 0,3 А/см². Использовали электролит следующего состава: NaCl ~ 40%, KCl ~ около 40%, MgCl₂ ~ 9 – 18%, CaF₂ - не менее 0,2% по F иону. Скорость вращения образца – 4 оборота в секунду. Температура – 700 °С.

Образец после испытаний на протяжении 12 ч. (рисунок 4) показал небольшую прибавку массы, которая объясняется кристаллизацией электролита на его поверхности. При помощи штангенциркуля определили диаметр образца после опыта с точностью 0,1мм. Измерения проводили в 3 точки: отступая 5 мм от торцов и в середине образца. Геометрические размеры образца в ходе опыта остались неизменными.



Рис. 4 – Тестируемый образец анода после 12 часовой выдержки в электролите

Очевидно, 12 часов недостаточно для получения значимых результатов, позволяющих судить о характере разрушения образцов графитированных электродов, используемых в качестве анодов. Увеличение продолжительности опыта приведет к существенному увеличению трудоемкости и не обеспечит гарантированное получение адекватных результатов. Кислорода, подсасываемого с воздухом через конструктивные элементы, недостаточно для окисления непогруженной в электролит части образца, а создание атмосферы с постоянным соотношением Cl_2/O_2 не представляется возможным.

Заключение

Для физического моделирования в лабораторных условиях процесса электролитического получения магния может быть использована разработанная установка. При этом существует возможность перенести с промышленных условий ряд определяющих протекание процесса параметров, таких как температура процесса, состав и скорость движения электролита, плотность тока.

Для оценки устойчивости к разрушению графитовых анодов испытания в лабораторной ячейке не подходят, поскольку не обеспечивают получение значимых результатов за относительно короткие временные интервалы. Причиной этого является слишком низкий вклад абразивного и химического износа поверхности анодов за счет контакта с электролитом. По всей видимости, основной вклад в разрушение анодов вносит окисление кислородом воздуха, попадающего в пространство над электролитом элеткролизеров с верхним вводом анодов через конструктивные неплотности. По этой причине представляется целесообразным оценивать материал анодов на устойчивость в условиях технологического процесса путем изотермической выдержки при температуре электролиза в избытке воздуха.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Liu C. Scale-up design of a 300 kA magnesium electrolysis cell based on thermo-electric mathematical models / C. Liu et al. // The Canadian Journal of Chemical Engineering. – 2014. – Vol. 92. – №. 7. – P. 1197-1206.
2. Liu C. L. Analysis of magnesium droplets characteristics and separation performance in a magnesium electrolysis cell based on multiphysical modeling / C. Liu et al. // Arabian Journal for Science and Engineering. – 2018. – Vol. 43. – №. 11. – P. 5965-5976.
3. Güden M. Electrolysis of MgCl_2 with a top inserted anode and an Mg-Pb cathode / M. Güden, İ. Karakaya // Journal of applied electrochemistry. – 1994. – Vol. 24. – №. 8. – P. 791-797.
4. Wypartowicz J. The solubility of magnesium metal and the recombination reaction in the industrial magnesium electrolysis / J. Wypartowicz, T. Østfold, H. A. Øye // Electrochimica Acta. – 1980. – Vol. 25. – №. 2. – P. 151-156
5. Cathro K. J. Electrowinning magnesium from its oxide in a melt containing neodymium chloride / K. J. Cathro, R. L. Deutscher, R. A. Sharma // Journal of applied electrochemistry. – 1997. – Vol. 27. – №. 4. – P. 404-413.
6. Лебедев В.И. Металлургия магния: учеб. пособие / В.И. Лебедев, В.И. Седых. – Иркутск: ИрГТУ, 2010. – 176 с.
7. Kim E. S. Experimental study on the oxidation of nuclear graphite and development of an oxidation model / E. S. Kim, H. C. No // Journal of Nuclear Materials. – 2006. – Vol. 349. – №. 1-2. – P. 182-194.
8. Theodosiou A. The complete oxidation of nuclear graphite waste via thermal treatment: An alternative to geological disposal / A. Theodosiou et al. // Journal of Nuclear Materials. – 2018. – Vol. 507. – P. 208-217
9. Haarberg G. M. Trends and Challenges for Electrowinning of Aluminium and Magnesium from Molten Salt Electrolytes / G. M. Haarberg // TMS 2020 149th Annual Meeting & Exhibition Supplemental Proceedings. – Springer, Cham, 2020. – P. 1911-1922
10. Rubenstein J. Wear testing of inert anodes for magnesium electrolyzers / J. Rubenstein, B. Davis // Metallurgical and Materials Transactions B. – 2007. – Vol. 38. – №. 2. – P. 193-201.
11. Li B. Electrochemical investigation on chlorine and electrolyte intercalation into graphite anodes during magnesium electrolysis process / B. Li et al. // Magnesium Technology 2012. – Springer, Cham, 2012. – P. 71-73.
12. Николаев И.В. Металлургия легких металлов: учебник для вузов / И.В. Николаев, В.И. Москвитин, В.А. Фомин // М.: Интернет Инжиниринг, 2005. — 416 с.

13. Sadoway D.R. Transport phenomena in improved electrochemical cell design for the production of magnesium / D.R. Sadoway // Applied science division.- 1983.- 43p.

14. Rubenstein J. Wear Testing of Inert Anodes for Magnesium Electrolyzers / J.Rubenstein, B. Davis // Metallurgical and Materials Transactions B. - 2007. - V. 38 - № 2. - P. 193-201

Список литературы на английском языке / References in English

1. Liu C. Scale-up design of a 300 kA magnesium electrolysis cell based on thermo-electric mathematical models / C. Liu et al. // The Canadian Journal of Chemical Engineering. – 2014. – Vol. 92. – №. 7. – P. 1197-1206.

2. Liu C. L. Analysis of magnesium droplets characteristics and separation performance in a magnesium electrolysis cell based on multiphysical modeling / C. Liu et al. // Arabian Journal for Science and Engineering. – 2018. – Vol. 43. – №. 11. – P. 5965-5976.

3. Güden M. Electrolysis of $MgCl_2$ with a top inserted anode and an Mg-Pb cathode / M. Güden, İ. Karakaya // Journal of applied electrochemistry. – 1994. – Vol. 24. – №. 8. – P. 791-797.

4. Wypartowicz J. The solubility of magnesium metal and the recombination reaction in the industrial magnesium electrolysis / J. Wypartowicz, T. Østvold, H. A. Øye // Electrochimica Acta. – 1980. – Vol. 25. – №. 2. – P. 151-156

5. Cathro K. J. Electrowinning magnesium from its oxide in a melt containing neodymium chloride / K. J. Cathro, R. L. Deutscher, R. A. Sharma // Journal of applied electrochemistry. – 1997. – Vol. 27. – №. 4. – P. 404-413.

6. Lebedev V.I. Metallurgiya magniya: ucheb. Posobie [Metallurgy of magnesium] / V.I. Lebedev, V.I. Sedyh– Irkutsk: IrGTU, 2010. – 176 p. . [in Russian]

7. Kim E. S. Experimental study on the oxidation of nuclear graphite and development of an oxidation model / E. S. Kim, H. C. No // Journal of Nuclear Materials. – 2006. – Vol. 349. – №. 1-2. – P. 182-194.

8. Theodosiou A. The complete oxidation of nuclear graphite waste via thermal treatment: An alternative to geological disposal / A. Theodosiou et al. // Journal of Nuclear Materials. – 2018. – Vol. 507. – P. 208-217

9. Haarberg G. M. Trends and Challenges for Electrowinning of Aluminium and Magnesium from Molten Salt Electrolytes / G. M. Haarberg // TMS 2020 149th Annual Meeting & Exhibition Supplemental Proceedings. – Springer, Cham, 2020. – P. 1911-1922

10. Rubenstein J. Wear testing of inert anodes for magnesium electrolyzers / J. Rubenstein, B. Davis // Metallurgical and Materials Transactions B. – 2007. – Vol. 38. – №. 2. – P. 193-201.

11. Li B. Electrochemical investigation on chlorine and electrolyte intercalation into graphite anodes during magnesium electrolysis process / B. Li et al. // Magnesium Technology 2012. – Springer, Cham, 2012. – P. 71-73.

12. Nikolaev I.V. Metallurgiya legkih metallov: uchebnik dlya vuzov [Metallurgy of light metals] / I.V. Nikolaev, V.I. Moskvitin, B.A. Fomin // M. : Intermet Inzhiniring, 2005. — 416 p. [in Russian]

13. Sadoway D.R. Transport phenomena in improved electrochemical cell design for the production of magnesium / D.R. Sadoway // Applied science division.- 1983.- 43p.

14. Rubenstein J. Wear Testing of Inert Anodes for Magnesium Electrolyzers / J.Rubenstein, B. Davis // Metallurgical and Materials Transactions B. - 2007. - V. 38 - № 2. - P. 193-201

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.109.7.011>**ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МУЧНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ С ОВОЩНЫМИ ДОБАВКАМИ**

Научная статья

Игнатова А.А.^{1,*}, Феденишина Е.Ю.², Елисеева С.А.³² ORCID: 0000-0002-5224-7182;³ ORCID: 0000-0003-1051-4016;^{1, 2, 3} Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

* Корреспондирующий автор (alina.ignatova.1997[at]mail.ru)

Аннотация

Рассмотрена возможность использования в технологии мучных изделий для здорового питания овощных пюре, богатых макро и микроэлементами. В качестве объектов исследования выбраны пюре из моркови и свеклы, заварное тесто и выпеченный полуфабрикат из него. Разработана технология заварного теста с заменой 15% муки на овощное пюре, закладка яиц в тесто снижена на 20% без ухудшения технологических параметров (влажность, упек, удельный объем полуфабриката). Экспериментальные образцы с морковью имеют оригинальный золотистый цвет, со свеклой – розоватый оттенок; приятный сладковатый вкус. Показано положительное влияние овощных добавок на пищевую ценность заварного полуфабриката. Так, энергетическая ценность заварных изделий с овощным пюре снизилась на 5,5%, содержание пищевых волокон увеличилось на 42%, повысилось содержание каротина, витамина С. Экспериментальные изделия можно рекомендовать в качестве гарнира к супам, съедобной емкости для сладких и холодных блюд.

Ключевые слова: заварное тесто, мучной полуфабрикат, морковное пюре, свекольное пюре, физико-химические показатели.

A JUSTIFICATION OF THE TECHNOLOGY OF FLOUR-BASED SEMI-FINISHED PRODUCTS WITH VEGETABLE ADDITIVES

Research article

Ignatova A.A.^{1,*}, Fedinishina E.Yu.², Eliseeva S.A.³² ORCID: 0000-0002-5224-7182;³ ORCID: 0000-0003-1051-4016;^{1, 2, 3} Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia

* Corresponding author (alina.ignatova.1997[at]mail.ru)

Abstract

The current article assesses the possibility of using vegetable purees rich in macro and microelements in the technology of flour products for healthy nutrition. Carrot and beet puree, choux pastry, and baked semi-finished product from it were selected as the subjects of research. The article introduces the technology of custard dough with the replacement of 15% flour with vegetable puree, the amount eggs in the dough have been reduced by 20% without deterioration of technological parameters (humidity, baking loss, specific volume of the semi-finished product). Experimental samples with carrots have an original golden color, while the samples with beet have a pink tint and a pleasant sweet taste. The authors demonstrate the positive effect of vegetable additives on the nutritional value of the choux semi-finished product. The energy value of custard products with vegetable puree decreased by 5,5%, the content of dietary fiber increased by 42%, the content of carotene and vitamin C increased. These experimental products can be recommended as a side dish for soups and an edible container for sweet and cold dishes.

Keywords: choux pastry, flour-based semi-finished product, carrot puree, beet puree, physical and chemical parameters.

Введение

На протяжении ряда лет отмечается стабильное развитие рынка мучных кулинарных и кондитерских изделий. Высокая конкуренция среди производителей и стремление населения к здоровому питанию способствует увеличению доли изделий повышенной пищевой ценности в ассортименте кулинарной продукции.

Анализ литературных данных показал, что для обогащения мучных изделий используют различные виды растительного сырья, в том числе региональные овощи, имеющие ряд преимуществ: высокую пищевую ценность, безвредность, доступность, низкую себестоимость. Витамины и минеральные вещества содержатся в овощах в виде природных соединений и лучше усваиваются. В ряде исследований качестве добавки использованы пюре из овощей, в составе которых есть растворимый пектин. Введение в рецептуру теста таких добавок благоприятно влияет на технологические показатели теста (текстуру, пористость и пр.), повышает качество готовых изделий по органолептическим и физико-химическим показателям, пролонгирует сроки годности [5], [8], [10]. При этом отмечается зависимость качества продукции от дозировки и дисперсности овощной добавки, соотношения в ней жидкой и твердой фаз, способа замеса теста и режима выпечки, причем для каждого вида теста эти факторы индивидуальны [7].

В Северо-Западном регионе выращиваются и активно используются в питании такие корнеплоды как морковь и свекла, богатые микро и макроэлементами. В моркови содержатся витамины С, В, РР, К, Е, минеральные вещества – фосфор, калий, железо, магний, а также некоторые кислоты и пектиновые вещества. Морковь содержит значительное количество β-каротина, который является предшественником витамина А. Свекла богата минеральными веществами (калий, магний, железо, медь), содержит витамины С и группы В, а также сапонин, обладающий свойствами пенообразователя. Высокая пищевая ценность моркови и свеклы дает возможность рассматривать их в качестве перспективных добавок при разработке новых видов мучных изделий.

Целью работы стало обоснование технологии заварного полуфабриката с использованием добавки в виде пюре из моркови и свеклы.

Методы и принципы исследования

В качестве объекта исследования выбрано заварное тесто, которое широко используется для производства мучных кондитерских изделий. Заварные полуфабрикаты различной формы и размера планируется использовать в качестве съедобных емкостей для порционирования и подачи десертов и холодных закусок. В экспериментальных образцах тесто готовили с добавлением морковного и свекольного пюре. Контрольный образец заварного полуфабриката вырабатывался по традиционной рецептуре [11]. Образцы готовились из одной партии сырья.

Показатели качества экспериментальных изделий определяли по известным методикам: отбор проб и подготовка их к анализу по ГОСТ 5904-82; массовую долю влаги заварного теста и выпеченных изделий определяли по ГОСТ 21094 методом высушивания; упек выпеченных изделий из заварного теста как соотношение разности массы теста до выпечки и готового изделия к массе тестовой заготовки [4]; содержание бета-каротина – спектрофотометрическим методом; пищевую ценность расчетным методом, используя справочные данные [12].

Органолептический анализ проводился с учетом требований ГОСТ 31986 [2] по пятибалльной шкале. Лабораторная выпечка и оценка качества продукции проводились в лабораториях Высшей школы биотехнологий и пищевых производств СПбПУ.

Результаты и их обсуждение

На первом этапе работы на основании пробных выработок с различными сочетаниями ингредиентов определены оптимальные соотношения компонентов в рецептуре и разработан технологический процесс замеса и выпечки заварных полуфабрикатов с овощными добавками (таблица 1).

Таблица 1 – Рецептуры заварных полуфабрикатов

Наименование сырья	Массовая доля сухих веществ, %	Контрольная рецептура по сборнику		Морковные заварные изделия		Свекольные заварные изделия	
		масса, г	в сухих веществах, %	масса, г	в сухих веществах, %	масса, г	в сухих веществах, %
Мука пшеничная	86,0	100	86,0	100	86,0	100	86,0
Меланж	27,0	150	40,5	120	32,4	120	32,4
Масло сливочное	26,0	50	13,0	50	13,0	50	13,0
Вода	-	80	-	110	-	110	-
Морковное пюре	11,3	-	-	15	1,7	-	-
Свекольное пюре	14,5	-	-	-	-	15	2,2
Масса теста	-	380	139,5	395	133,1	395	133,6
Выход готовых изделий	-	250	-	260	-	260	-

Установлено, что оптимальной дозировкой является введение в тесто 15 % овощного пюре от массы муки. Добавление овощного пюре позволило снизить закладку меланжа на 20 % без ухудшения качества теста, что предположительно, связано с наличием в составе моркови и свеклы пектина. Внесение пектинсодержащего сырья способно повысить устойчивость структуры теста. Это объясняется тем, что пектин, взаимодействуя с различными группами белков и крахмала в тесте, образует сложный белково-полисахаридный комплекс, положительно влияющий на реологию теста, оно становится более эластичным. За счет этого при выпечке увеличивается удельный объем воздушной камеры заварных полуфабрикатов. Благодаря наличию в свекольном пюре сапонинов, которые обладают высокой пенообразующей и эмульгирующей способностями, так же происходит стабилизация структуры теста. [7].

Технологический процесс приготовления экспериментального заварного полуфабриката состоит из следующих стадий: приготовление заварки на основе овощного пюре; приготовление теста; формование теста; выпекание.

Для приготовления заварки на основе овощного пюре в варочный котел добавляют воду и нарезанные овощи и варят их до готовности, затем гомогенизируют в полученном отваре. Затем добавляют соль и нарезанное сливочное масло, доводят до кипения. В кипящую массу добавляют пшеничную муку в несколько приемов и проваривают 2-3 минуты до образования однородного комка теста, который легко отстает от стенок и дна. Охлажденное до 60 °С тесто взбивают, постепенно добавляя меланж. Влажность теста 56-57 %. Изделия отсаживают при помощи кондитерского мешка с круглой насадкой в виде шариков диаметром 2-3 см и выпекают в пароконвектомате в два этапа: при температуре 200 °С 5 минут, а затем при 180 °С 15 минут.

Готовые экспериментальные изделия обладают хорошими органолептическими показателями: ровная поверхность, золотистый цвет с оранжевым или розовым оттенком и оригинальный сладковатый вкус. Физико-химические показатели и пищевая ценность образцов представлены в таблице 2 и 3.

Разработанные рецептура и технология положительно влияют на показатели качества заварного теста и готовых изделий. Влажность заварного теста и готовых изделий несколько выше, чем контрольных образцов, что, по-видимому, связано с образованием белково-полисахаридных комплексов при замесе, повышающих влагоудерживающую способность муки. При выпечке из-за более высокой влажности теста экспериментальных образцов замедляется образование корочки, благодаря этому изделия имеют хороший удельный объем.

Упек экспериментальных образцов находится в пределах установленных норм [6].

Таблица 2 – Физико-химические показатели качества заварных полуфабрикатов

Показатель	Контрольный образец	Полуфабрикат с морковным пюре	Полуфабрикат со свекольным пюре
Влажность овощных пюре, %	-	87,4±0,17	85,5±0,09
Влажность готовых изделий, %	25,4±0,08	27,2±0,21	26,1±0,14
Упек готовых изделий, %	33,9±0,15	34,1±0,11	34,1±0,19
Удельный объем готового изделия, см ³ /г	10,5±0,10	10,4±0,03	11,0±0,18

Таблица 3 – Пищевая ценность заварных полуфабрикатов

Содержание, г на 100 г сырья			
Пищевые вещества	Контрольный образец	Морковные профитроли	Свекольные профитроли
Белки	8,9	8,2	8,1
Жиры	16,8	15,4	15,4
Углеводы	19,6	19,4	19,4
в т.ч. пищевые волокна	1,3	1,9	1,8
Энергетическая ценность, ккал	269,0	249,0	247,0
Витамины, на 100 г сырья			
β-каротин, мкг	75,6±0,4	586,3±0,5	75,1±0,5
С, мг	0	0,44±0,5	0,56±0,3

Из данных таблицы 3 видно, что экспериментальные образцы не уступают по пищевой ценности опытным. Частичная замена в рецептуре яиц на морковное или свекольное пюре позволяет снизить в готовых изделиях содержание жира на 8,3 %, увеличить количество пищевых волокон на 43 %. Отмечено некоторое снижение белка, что можно будет компенсировать путем подбора белоксодержащих начинок для холодных блюд и десертов. В экспериментальных образцах обнаружен β-каротин и витамин С. По содержанию каротина образцы с морковным пюре превосходят контрольные образцы в 7,5 раз.

При хранении в заварных полуфабрикатах параллельно и независимо друг от друга протекают два процесса: усыхание и черствение [7]. При хранении готовых полуфабрикатов при постоянной температуре в течении 72 час. у контрольных образцов наблюдается подсыхание корочки, изделия становятся более жесткими, а через 96 час. хранения – эти заварные изделия полностью высыхают. У заварных полуфабрикатов с добавками овощей процесс усыхания замедляется, изделия дольше остаются мягкими (до 120 час), что может быть связано с влиянием углеводного комплекса овощей на влагоудерживающую способность муки. Результаты микробиологических исследований показывают, что внесение овощного пюре повышает микробиологическую чистоту и благоприятно влияет на сохранение свежести заварных полуфабрикатов. На пятый день испытаний в овощных профитролях содержание плесневых грибов не превышает 50 КОЕ/г, количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов составляет $9,8 \cdot 10^3$ КОЕ/г, что не превышает значения, допустимые по нормативным документам [4]. В контрольном образце нормативные показатели были превышены уже на четвертые сутки.

Заключение

В ходе исследования разработана и научно обоснована технология заварного полуфабриката с добавками морковного или свекольного пюре. Показано положительное влияние овощных добавок на технологические параметры, органолептические показатели и пищевую ценность готовых изделий. Срок годности заварных полуфабрикатов с овощной добавкой в виде пюре увеличивается до 120 часов. Частичная замена яиц овощными пюре позволяет снизить себестоимость продукции на 3 %.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. ГОСТ 25832-89 Изделия хлебобулочные диетические. Технические условия: Сб. ГОСТов. -М.: Стандартинформ, 2009. – 16 с.
2. ГОСТ 31986-2012. Услуги общественного питания. Метод органолептической оценки качества продукции общественного питания. Москва: Стандартинформ, 2014. – 11 с.
3. ГОСТ 5900-14 Изделия кондитерские. Методы определения влаги и сухих веществ. М.: Стандартинформ, 2015. – 16 с.
4. ГОСТ 5904-2019 Изделия кондитерские. Правила приемки, методы отбора и подготовки проб. М.: Стандартинформ, 2010. – 8 с.

5. Гудкова Т.И. Использование натуральных растительных добавок для производства хлебобулочных изделий / Т.И. Гудкова, Н. С. Порядина, О. Г. Хохлова // Успехи современного естествознания. – 2003. – № 7. – С. 45-47.
6. Ковалев Н.И. Технология приготовления пищи / Н.И. Ковалев, М.Н. Куткина, В.А. Кравцова. ИД «Деловая литература», 2008. – 480 с.
7. Корячкина С.Я. Новые виды мучных и кондитерских изделий. Научные основы, технологии, рецептуры [Текст] / С.Я. Корячкина. – Орел: Изд-во «Труд», 2006. – 480 с.
8. Пат. 1099933 СССР, МПК А21 D 13/08. Способ производства теста для бисквита / С.Я. Корячкина, В.С. Баранов, И.В. Корсакова. – №3484446/28-13; Заявл. 13.08.82; Опубл. 30.06.84.
9. Поздняковский В.М. Мучные кондитерские изделия: учебное пособие / В.М. Поздняковский, И.Ю. Резниченко. Кемерово: Изд-во КТИПП, 1999. – 53 с.
10. Присухина Н.В. Разработка хлебобулочных изделий с пюре моркови / Н.В. Присухина, К.А. Бабаева, Ю.С. Черепанов и др. // Вестник КрасГАУ. – 2017. - №7. – С.67-73.
11. Сборник рецептур мучных кондитерских и булочных изделий для предприятий общественного питания. – Санкт-Петербург: Троицкий мост, 2017. – 194 с. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://ibooks.ru/reading.php?productid=356274> (дата обращения: 14.03.2020).
12. Скурихина И.М. Химический состав российских пищевых продуктов: Справочник / Под ред. член-корр. МАИ, проф. И. М. Скурихина и академика РАМН, проф. В. А. Тутельяна. -: ДеЛи принт, 2002. - 236 с.
13. Фединашина Е.Ю. Разработка мучных кондитерских изделий функциональной направленности / Е.Ю. Фединашина, А.А. Игнатова, С.А. Елисеева // В книге: здоровое питание и нутриционная поддержка: медицина, образование, инновационные технологии. Сборник материалов XV Всероссийского форума. Санкт-Петербург, 2020. С. 47-50.

Список литературы на английском языке / References in English

1. GOST 25832-89 Izdelija hlebobulochnye dieticheskie. Tehnicheskie uslovija [Diet bakery products. Technical conditions]. Sb. GOSTov. -M.: Standartinform, 2009. – 16 p. [in Russian]
2. GOST 31986-2012. Uslugi obshhestvennogo pitaniya. Metod organolepticheskoy ocenki kachestva produkcii obshhestvennogo pitaniya [Catering services. The method of organoleptic assessment of the quality of public catering products]. Moskva: Standartinform, 2014. – 11 p. [in Russian]
3. GOST 5900-14 Izdelija konditerskie. Metody opredelenija vlagi i suhij veshhestv [Confectionery products. Methods for determination of moisture and dry matter]. M.: Standartinform, 2015. – 16 p. [in Russian]
4. GOST 5904-2019 Izdelija konditerskie. Pravila priemki, metody otbora i podgotovki prob [onfectionery products. Acceptance rules, methods of sampling and sample preparation]. M.: Standartinform, 2010. – 8 p. [in Russian]
5. Gudkova T.I. Ispolzovanie natural'nyh rastitel'nyh dobavok dlja proizvodstva hlebobulochnykh izdelij [The use of natural plant additives for the production of bakery products] / T.I. Gudkova, N. S. , Porjadina O. G. Hohlova // Uspehi sovremennogo estestvoznaniya [Successes of modern natural science]. – 2003. – № 7. – P. 45-47. [in Russian]
6. Kovalev N.I. Tehnologija prigotovleniya pishhi [Cooking technology] / N.I. Kovalev, M.N. Kutkina, V.A. Kravcova. Publishing House «Delovaja literatura» [Business Literature], 2008. – 480 p. [in Russian]
7. Korjachkina S.Ja. Novye vidy mучnyh i konditerskih izdelij. Nauchnye osnovy, tehnologii, receptury [New types of flour and confectionery products. Scientific bases, technologies, recipes] / S.Ja. Korjachkina. – Orel: Publishing house «Trud», 2006. – 480 p. [in Russian]
8. Pat. 1099933 SSSR, MPK A21 D 13/08. Sposob proizvodstva testa dlja biskvita [Method for the production of biscuit dough] / S.Ja. Korjachkina, V.S. Baranov, I.V. Korsakova. – №3484446/28-13; Zajavl. 13.08.82; Opubl. 30.06.84. [in Russian]
9. Pozdnjakovskij V.M. Muchnye konditerskie izdelija: uchebnoe posobie [Flour confectionery: a tutorial] / V.M. Pozdnjakovskij, I.Ju. Reznichenko. Kemerovo: Publishing house KTIPP, 1999. – 53 p. [in Russian]
10. Prisuina N.V. Razrabotka hlebobulochnykh izdelij s pjure morkovi [Development of bakery products with carrot puree] / N.V. Prisuina, K.A. Babaeva, Ju.S. Cherepanov et al. // Vestnik KrasGAU. – 2017. - №7. – P.67-73. [in Russian]
11. Sbornik receptur muchnyh konditerskih i bulochnykh izdelij dlja pred-prijatij obshhestvennogo pitaniya [Collection of recipes for flour confectionery and bakery products for public catering enterprises]. – Sankt-Peterburg: Troickij most, 2017. – 194 p. . – [Electronic resource]. – URL: <https://ibooks.ru/reading.php?productid=356274> (accessed: 14.03.2020). [in Russian]
12. Skurichina I.M. Himicheskij sostav rossijskih pishhevyh produktov: Spravochnik [Chemical composition of Russian food products: Handbook] / ed. prof. I. M. Skurichina i akademika RAMN, prof. V. A. Tutel'jana. -: DeLi print, 2002. - 236 p. [in Russian]
13. Fedinishina E.Ju. Razrabotka muchnyh konditerskih izdelij funkcional'noj napravlenosti [Development of functional confectionery products]. / E.Ju. Fedinishina, A.A. Ignatova, S.A. Eliseeva // V knige: zdorovoe pitanie i nutricionnaja podderzhka: medicina, obrazovanie, innovacionnye tehnologii. Sbornik materialov XV Vserossijskogo foruma [In the book: healthy eating and nutritional support: medicine, education, innovative technologies. Collection of materials of the XV All-Russian Forum]. Saint-Petersburg, 2020. P. 47-50. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.109.7.012>**РАЗРАБОТКА КЛАССИФИКАЦИИ ИЗДЕЛИЙ БЮСТГАЛЬТЕРНОЙ ГРУППЫ**

Научная статья

Косова Е.В.^{1,*}, Андросова Г.М.²¹ Омский государственный технический университет, Омск, Россия;² Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Санкт-Петербург, Россия

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

Аннотация

В статье рассмотрены вопросы классификации корсетных изделий. Авторами приведены существующие классификации корсетных изделий, в анализ которых показал, что на данный момент единой классификации, включающей полную совокупность изделий бюстгальтерной группы, представленных на современном рынке нижнего белья, не существует. Кроме того, в работе приведены результаты структурного анализа изделий бюстгальтерной группы, а также выявлены классификационные признаки. Целью разработки классификации изделий бюстгальтерной группы является получение систематизированной информации о конкретной модели бюстгальтера. В основу предложенной классификации изделий бюстгальтерной группы вошли признаки, которые отвечают за реализуемый корректирующий и визуальный эффект, функциональное назначение изделия и его конструктивных элементов. Разработанная классификация корсетных изделий бюстгальтерной группы является структурным элементом информационного обеспечения проектируемой экспертной системы и позволяет систематизировать базу знаний.

Ключевые слова: корсетные изделия, изделия бюстгальтерной группы, классификация.**ON THE DEVELOPMENT OF CLASSIFICATION OF BRAS**

Research article

Kosova E.V.^{1,*}, Androsova G.M.²¹ Omsk State Technical University, Omsk, Russia;² St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, St. Petersburg, Russia

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

Abstract

The article deals with the classification of corset products. The authors present the existing classifications of corset products, the analysis of which demonstrates that at the moment there is no single classification that includes the full set of bra-type presented on the modern lingerie market. In addition, the article presents the results of a structural analysis of bras, as well as identifies the classification features. The purpose of developing a classification of bra-type products is to obtain systematized information about a specific bra model. The basis of the proposed classification of bra-type products includes features that are responsible for the implemented corrective and visual effect, the functional purpose of the product, and its structural elements. The developed classification of corset bra-type products is a structural element of the information support of the designed expert system and allows for systematizing the knowledge base.

Keywords: corset products, bra-type products, classification.**Введение**

Корсетные изделия – это специфическая группа швейных изделий, которая включает в себя совокупность различных видов одежды, надеваемых непосредственно на тело человека с целью формирования и поддержания отдельных частей тела, а также для держания чулок. Рассматривая виды корсетных изделий, стоит отметить, что существует многообразие технических документов, в которые включены изделия данного вида, где приводятся структурные элементы этой группы швейных изделий.

Нормативно-техническая база для корсетных изделий представлена в ГОСТ 29097 – 2015 «Изделия корсетные. Общие технические условия». Данный документ содержит требования к размерному ряду, технические требования, методы контроля качества для корсетных изделий, и др. В соответствии с ГОСТ 29097 – 2015 корсетные изделия имеют следующую классификацию [1]: бюстгальтер; грация; полуграция; корсет; полукорсет; пояс для чулок и другие аналогичные изделия, изготовленные из различных видов материалов.

В соответствии с ТН ВЭД ЕАЭС корсетные изделия относятся к XI разделу «Текстильные материалы и текстильные изделия», к группе 62 «Одежда и принадлежности одежды текстильные (кроме трикотажных машинного или ручного вязания)», позиция 6212 «Бюстгальтеры, пояса, корсеты, подтяжки, подвязки и аналогичные изделия и их части трикотажные машинного или ручного вязания или нетрикотажные» и классифицируются следующим образом [2]:

- бюстгальтеры:
 - в наборе, состоящем из бюстгальтера и трусов, предназначенном для розничной продажи;
 - прочие;
- пояса и пояса-трусы;
- грации;
- прочие.

Также классификация корсетных изделий представлена в «Общероссийском классификаторе продукции по видам экономической деятельности» (ОКПД-2). Данный классификатор относит корсетные изделия в группу «Бюстгальтеры, пояса, корсеты, подтяжки, помочи, подвязки и аналогичные изделия и их части из любого

текстильного материала (включая трикотажные или вязаные)», которая в свою очередь подразделяется на несколько подгрупп:

- бюстгалтеры и их части из любого текстильного материала (включая трикотажные или вязаные)
- пояса, корсеты, бандажи и их части из любого текстильного материала (включая трикотажные или вязаные);
- подтяжки, помочи, подвязки, аналогичные изделия и их части из любого текстильного материала (включая трикотажные или вязаные).

При анализе современных интернет-источников были выделены следующие классификационные признаки [4]:

- назначение изделия;
- половозрастной признак;
- сезонность использования изделия;
- по области воздействия на тело человека;
- используемый материал.

В работе [5] корсетные изделия по назначению подразделены на два класса: косметический и лечебно-бандажный. Классификация корсетных изделий по назначению представлена в таблице 1. Данная классификация включает в себя разделение на классы, подклассы, виды, подвиды и группы [6].

Таблица 1 – Классификация корсетных изделий

Классы	Косметические (общего назначения)	Лечебно-бандажные (специального назначения)		
Подклассы	Бельевые нательные, плотно облегающие изделия	Ортопедические аппараты		
Виды	Бюстгальтерная группа	Поясная группа	Лечебные корсеты	Лечебные бандажи
Подвиды	Бюстгальтер, полуграция, грация, бюстгальтер-комбинация, полуграция-юбка, грация-трусы, грация-пantalоны	Пояс для чулок, корсет, полукорсет, пояс-трусы, пояс-пantalоны	Корсеты, полукорсеты	Бандажи
Группы	Женские, детские	Женские, мужские, детские		

Однако на данный момент единой классификации, включающей полную совокупность изделий рассматриваемой группы, представленных на современном рынке нижнего белья, не существует. Таким образом, произведенный анализ различных литературных источников указывает на то, что разработка единой классификации корсетных изделий с учетом функционального назначения, конструктивных особенностей и качественных показателей является актуальной задачей на сегодняшний день.

Материал и методы

Объектами исследований в данной работе являлись корсетные изделия бюстгальтерной группы. Предметом – признаки классификации.

В работе использованы методы теоретического анализа, обобщения, сравнения, принципы классификации информации, а также художественно-конструктивного анализа формы и чертежей изделий бюстгальтерной группы.

Результаты и обсуждения

Бюстгальтерная группа корсетных изделий характеризуется большим разнообразием ассортимента. При этом модельный ряд предусматривает изделия, которые различаются не только по фасону (количество линий членения, эстетическое оформление, оформление верхнего и нижнего срезов, расположение и вид застежки, наличие и форма бретелей), но и по конструктивному решению, присущему индивидуально каждой модели для выполнения конкретной корректирующей функции. Все эти особенности тесным образом связаны с процессом обеспечения нормированных эргономических и гигиенических показателей на этапе проектирования и пошива изделия. Таким образом, в основу классификации изделий бюстгальтерной группы должны входить признаки, которые отвечают за реализуемый корректирующий и визуальный эффект, функциональное назначение изделия и его конструктивных элементов. Структурный анализ изделий данной группы был произведен по следующим направлениям:

- назначение изделия;
- анализ конструктивных элементов и их функций с учетом корректирующего эффекта;
- анализ используемых материалов, способов формообразования и методов обработки.

Целью разработки классификации изделий бюстгальтерной группы является получение систематизированной информации о конкретной модели бюстгальтера, а также идентификация изделия. На основании систематизации полученных данных выявлены следующие классификационные признаки:

- по назначению – характеризует изделие в соответствии с целью его использования;
- по степени открытости чашки – характеризует изделие по конструктивным особенностям чашки, другими словами, на сколько чашка закрывает грудь;
- по способу формообразования чашки – характеризует изделие по форме и материалу чашки, указывая каким способом, достигается определенный эффект;

- по корректирующему эффекту – характеризует изделие в соответствии с создаваемым визуальным и моделирующим эффектом;
- по наличию планки – характеризует изделие по наличию особенностей конструктивного элемента – планки;
- по наличию каркасов – характеризуется изделие по наличию формостабилизирующих и каркасных элементов с целью достижения определенного визуального эффекта;
- по степени жесткости – характеризует изделия в соответствии с выбранным материалом или способом изготовления, который имеет определенную жесткость, позволяющую достигать определенный корректирующий эффект.

В соответствии с выделенными классификационными признаками принято решение использовать иерархический метод классификации корсетных изделий бюстгальтерной группы. Иерархический метод классификации предусматривает последовательное деление заданного множества объектов на подчинённые классификационные подмножества [7].

Спортивные бюстгалтеры предназначены исключительно для использования во время физических нагрузок, данные бюстгалтеры отличаются разрешаемым временем ношения и компрессионным эффектом. Так, инкапсулирующий бюстгальтер – поддерживает каждую грудь, обеспечивает хорошую фиксацию, подходит для интенсивных тренировок. Компрессионный бюстгальтер обеспечивает меньшую фиксацию, выполнен из эластичной ткани, прижимает грудь к грудной клетке (рис. 1).

Бюстгальтер для кормления – бюстгальтер, предназначенный для женщин, которые кормят грудью, даёт возможность делать это, не снимая его. Это достигается специально разработанными чашками бюстгалтера, которые включают закрылки, которые можно открыть одной рукой, чтобы выставить сосок. Бюстгалтеры для кормления обеспечивают выполнение своей функции специальной конструкцией, подразделение данного вида изделий происходит именно из конструктивных особенностей.

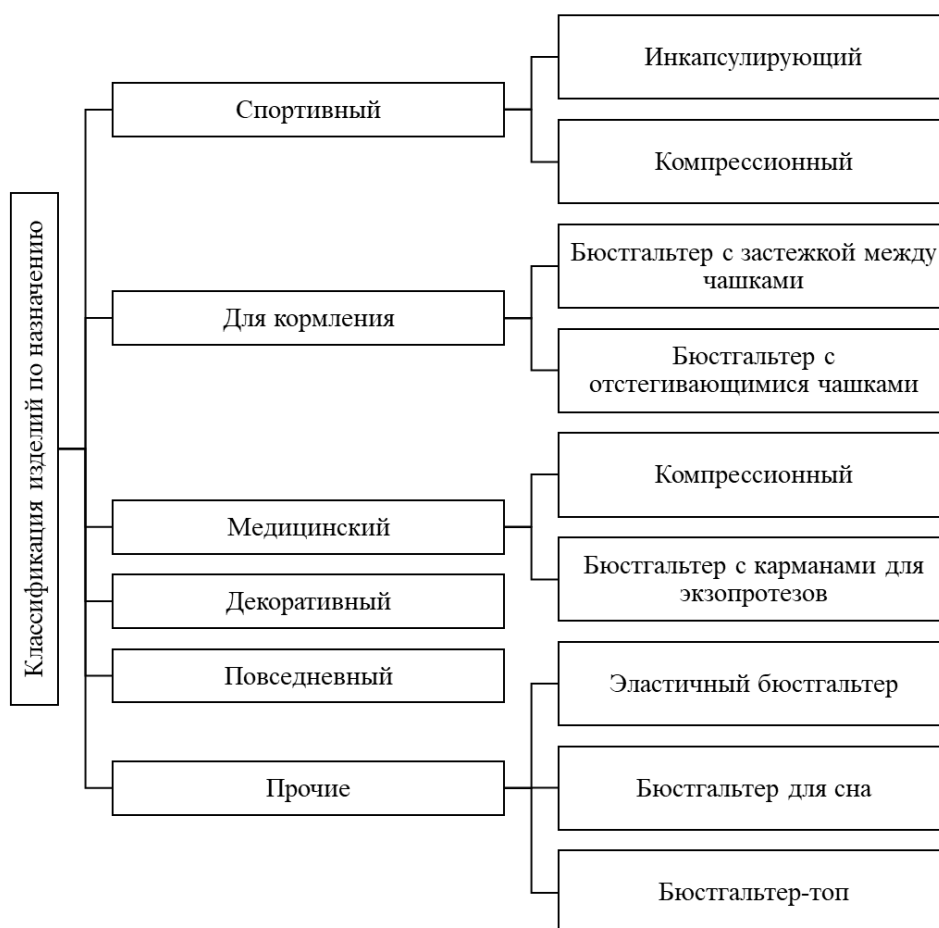


Рис. 1 – Классификация изделий бюстгальтерной группы по назначению

Медицинские бюстгалтеры предназначены для коррекции груди после оперативного вмешательства (рис. 1). Главная задача компрессионного бюстгалтера после операции – надежно зафиксировать ткани молочной железы, предупреждая расхождение швов и сокращая период восстановления [8]. Поэтому для производства компрессионного белья используется прочная и эластичная ткань, которая может растягиваться и в то же время надежно фиксировать грудь в правильном положении.

Бюстгальтер для экзопротезов предназначен для женщин, которые перенесли мастэктомию. Особенности бюстгалтеров для экзопротезов в том, что женщины могут скрыть отсутствие молочной железы от окружающих и при этом носить привычную одежду [9].

Назначение повседневного бюстгалтера исходит из названия, данные виды бюстгалтеров должны обеспечивать максимальный уровень комфорта на протяжении всего дня.

Декоративные бюстгалтеры имеют эстетически нарядный вид, предусматривают ношение бюстгалтера с изделиями с декоративно оформленным вырезом. Повседневный бюстгалтер предназначен для ежедневной носки.

Эластичный бюстгалтер – это бюстгалтер анатомической формы, выполненный практически швов. Бюстгалтер для сна обеспечивает более комфортный сон по сравнению с другими видами. Бюстгалтер-топ – это лаконичный вариант, напоминающий короткую майку. Такой вариант универсален, его можно носить в качестве домашней одежды, а также, использовать как нижнее белье с обычным нарядом.

Формообразование – способ и процесс создания формы. В практике конструирования изделий легкой промышленности используют три основных способа формообразования:

- конструктивный, основанный на членении плоских материалов на части;
- метод воздействия на «грубую» структуру материалов, основанный на воздействии на подвижную сетчатую структуру материалов;
- метод воздействия на «тонкую» структуру (молекулярную) структуру материалов, основанный на расшатывании молекулярной структуры путем влажной или сухой термической обработки.

Формообразование изделий бюстгалтерной группы может осуществляться различными способами (рис. 2) [10].

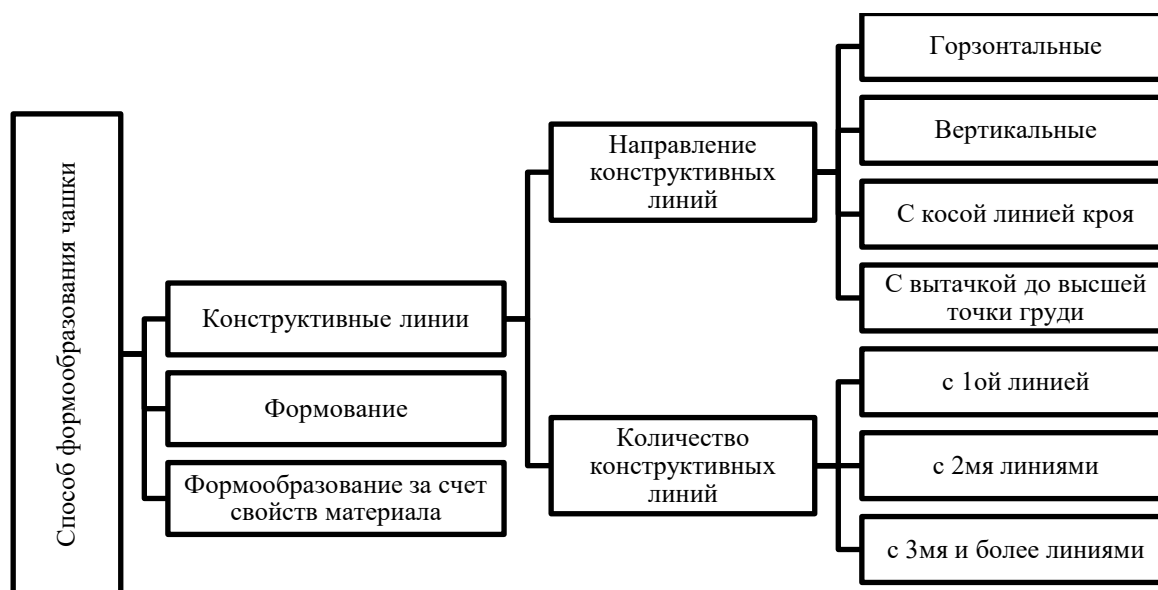


Рис. 2 – Классификация изделий бюстгалтерной группы по способу формообразования чашки

Корректирующий эффект рассматривается в соответствии с используемыми конструктивными элементами и эстетическим оформлением изделия. В соответствии с создаваемым визуальным и моделирующим эффектом изделия бюстгалтерной группы подразделяются на бюстгалтеры, визуально увеличивающие грудь, визуально уменьшающие грудь и без корректирующего эффекта (рис. 3).

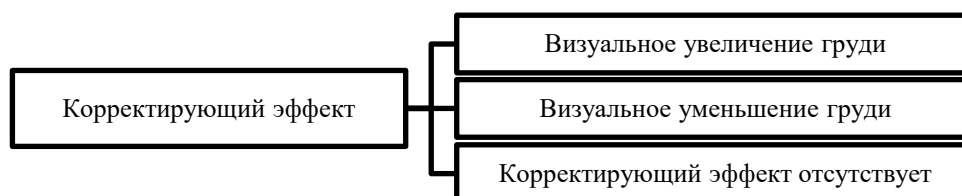


Рис. 3 – Классификация изделий бюстгалтерной группы по корректирующему эффекту

По степени открытости чашки бюстгалтеры подразделяются на закрытый почти всю грудь закрывают чашки, они плавно сужаются и переходят в бретели, и демонстрирующий (открытый) – модель с чашками открытого типа, которые прикрывают нижнюю половину груди (рис. 4).

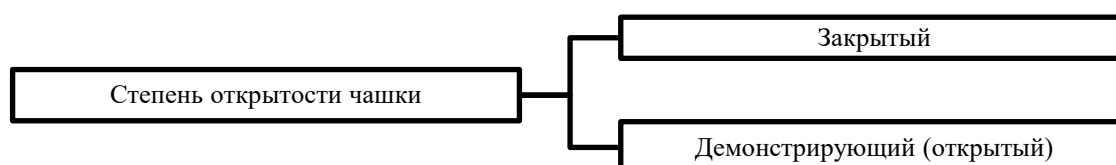


Рис. 4 – Классификация изделий бюстгалтерной группы по степени открытости чашки

Соединение чашек бюстгалтера между собой производят с помощью передней планки или без нее. Соединительная планки может быть узкой или широкой (рис. 5).

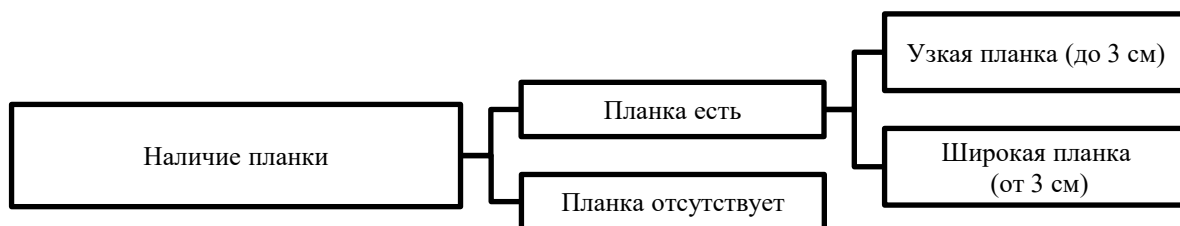


Рис. 5 – Классификация изделий бюстгалтерной группы по наличию планки

Каркасные элементы – это дуги, изготовленные из пластика или металла, которые вставляются в нижнюю часть чашек. Основное их предназначение – поддерживать молочные железы. Изделия бюстгалтерной группы изготавливаются как с каркасными элементами, так и без них (рис. 6).

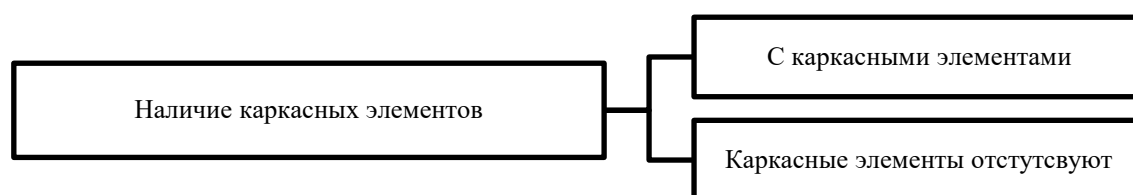


Рис. 6 – Классификация изделий бюстгалтерной группы по наличию каркасных элементов

В зависимости от степени жесткости чаши бюстгалтеры подразделяются на жесткие и мягкие (рис. 7). Жесткие чашки бюстгалтера могут быть получены формованием или дублированием.



Рис. 7 – Классификация изделий бюстгалтерной группы по степени жесткости

Заключение

Таким образом, разработанная классификация корсетных изделий бюстгалтерной группы является структурным элементом информационного обеспечения проектируемой экспертной системы и позволяет систематизировать базу знаний. Выделенные характеристики влияют на технологию изготовления, конструктивные особенности, выбор пакета материалов, что в свою очередь формирует качественные показатели изделия.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. ГОСТ 29097-2015. Изделия корсетные. Общие технические условия.: утв. 19.09.1991. – Взамен ГОСТ 29097-91. – М.: СТАНДАРТИНФОРМ, 2016. – 6 с.
2. Товарная номенклатура внешнеэкономической деятельности Евразийского экономического союза (ТН ВЭД ЕАЭС) [Электронный ресурс]. – URL: <http://ivo.garant.ru/#/document/70205520/paragraph/36889:0> (дата обращения: 11.06.21).
3. Общероссийский классификатор продукции по видам экономической деятельности (ОКПД 2) ОК 034-2014 (КПЕС 2008) [Электронный ресурс]. – URL: <https://base.garant.ru/70650730/> (дата обращения: 18.05.21).
4. Особенности конструирования корсетных изделий [Электронный ресурс]. – URL: <https://poznayka.org/s95341t1.html> (дата обращения: 18.11.20).
5. Баландина, Г.В. Разработка информационного и методического обеспечения для трехмерного проектирования корсетных изделий : автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.19.04 / Баландина Галина Валерьевна. – Иваново, 2009. – 19 с.
6. Виды бюстгалтеров. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.lor.inventech.ru/mammolog/mammolog0012.shtml> (дата обращения: 17.12.2020).
7. Николаева, М. А. Теоретические основы товароведения : учеб. для вузов / М. А. Николаева. – М. : Норма, 2007 – 448 с.

8. Григорьева, З. Р. К вопросу о проектировании компрессионного белья / З. Р. Григорьева, А. А. Бикбулатова, Н. Л. Корнилова. // Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности (Прогресс): сборник материалов международной науч.-но-технической конференции. – 2013. – 2(1). – С. 118–120.

9. Корнилова, Н.Л. Разработка и исследование технологии изготовления корсетных изделий специального назначения : автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.19.04 / Корнилова Надежда Львовна. – Иваново, 1999. – 21 с.

10. Маснавиева, А.А. Анализ ассортимента и конструкции бюстгалтеров / А. А. Маснавиева, О. Р. Адрианова // Российская наука в современном мире: сборник статей международной научно-практической конференции. – 2015. – С. 152–163.

Список литературы на английском языке / References in English

1. GOST 29097-2015. Izdelija korsetnye. Obshhie tehicheskie uslovija [Corsetry products. General technical conditions]: approved. 19.09.1991. - Instead of GOST 29097-91. - М.: STANDARTIN-FORM, 2016. -- 6 p. [in Russian]

2. Tovarnaja nomenklatura vneshejekonomicheskoj dejatel'nosti Evrazijskogo jekonomicheskogo sojuza [Commodity nomenclature of Foreign Economic Activity of the Eurasian Economic Union (HS of the EAEU)] [Electronic resource]. - URL: <http://ivo.garant.ru/#/document/70205520/paragraph/36889:0> (accessed: 11.06.21). [in Russian]

3. Obshherossijskij klassifikator produkcii po vidam jekonomicheskogo dejatel'nosti [All-Russian classifier of products by types of economic activity] (OKPD 2) OK 034-2014 (CPES 2008) [Electronic resource]. - URL: <https://base.garant.ru/70650730/> (accessed: 05/18/21). [in Russian]

4. Osobennosti konstruirovanija korsetnyh izdelij [Features of the design of corsetry products] [Electronic resource]. - URL: <https://poznayka.org/s95341t1.html> (accessed: 11/18/20). [in Russian]

5. Balandina, G.V. Razrabotka informacionnogo i metodicheskogo obespechenija dlja trehmernogo proektirovanija korsetnyh izdelij [Development of information and methodological support for three-dimensional design of corsetry]: abstract dis. ... candidate of technical sciences: 05.19.04 / Balandina Galina Valerievna. - Ivanovo, 2009. -- 19 p. [in Russian]

6. Vidy bjustgal'terov [Types of bras]. [Electronic resource]. - URL: <http://www.lor.inventech.ru/mammolog/mammolog0012.shtml> (accessed: 12/17/2020). [in Russian]

7. Nikolaeva, M. A. Teoreticheskie osnovy tovarovedeniya [Theoretical foundations of commodity science]: textbook. for universities / M. A. Nikolaeva. - М.: Norma, 2007-448 p. [in Russian]

8. Grigorieva, Z.R. K voprosu o proektirovanii kompressionnogo bel'ja [On the issue of designing compression linen] / Z.R. Grigorieva, A.A. Bikbulatova, N.L. Kornilova. // Sovremennye naukoemkie tehnologii i perspektivnye materialy tekstil'noj i legkoj promyshlennosti (Progress): sbornik materialov mezhdunarodnoj nauch-no-tehnicheskoy konferencii [Modern science-intensive technologies and promising materials for textile and light industry (Progress): collection of materials of the international scientific and technical conference]. - 2013. -- 2 (1). - P. 118-120. [in Russian]

9. Kornilova, N.L. Razrabotka i issledovanie tehnologii izgotovleniya korsetnyh izdelij special'nogo naznachenija [Development and research of technology for the production of corsetry products for special purposes]: abstract dis. ... candidate of technical sciences: 05.19.04 / Kornilova Nadezhda Lvovna. - Ivanovo, 1999. -- 21 p. [in Russian]

10. Masnavieva, A.A. Analiz assortimenta i konstrukcii bjustgal'terov [Analysis of the assortment and design of bras] / A. A. Masnavieva, O. R. Adrianova // Rossijskaja nauka v sovremennom mire: sbornik statej mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii [Russian science in the modern world: collection of articles of the international scientific and practical conference]. - 2015. - P. 152–163. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.109.7.013>

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Научная статья

Ларионова М.А.^{1,*}, Бабешко В.Н.²

¹ ORCID: 0000-0001-9183-7110;

² ORCID: 0000-0003-2811-5013;

¹ ИП Ларионова М.А., Белгород, Россия;

² Новосибирский Государственный Университет Экономики и Управления, Новосибирск, Россия

* Корреспондирующий автор (larionova-m-a[at]list.ru)

Аннотация

Рассмотрены перспективы применения технологий искусственного интеллекта на предприятиях легкой промышленности с целью оценить их целесообразность и эффективность.

Проанализированы области использования и практического применения нейронных сетей и машинного обучения в разных сферах легкой промышленности и в различных структурных подразделениях предприятий. Показаны возможности развития отрасли от сырьевых предприятий легкой промышленности до розничных магазинов, благодаря расширению применения нейронных сетей.

Освещены прогнозные показатели исследований влияния внедрения искусственного интеллекта в экономику на макроэкономические показатели стран до 2030г. По результатам данной работы авторами сделан вывод о перспективности использования предприятиями легкой промышленности технологий машинного обучения не только для повышения эффективности результатов деятельности, но и неизбежной необходимости цифровизации производственных, технологических, административных и других процессов предприятий с применением искусственного интеллекта в условиях современного рынка.

Ключевые слова: Искусственный интеллект, нейронные сети, данные, машинное зрение, легкая промышленность.

PROSPECTS FOR THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN LIGHT INDUSTRY

Research article

Larionova M.A.^{1,*}, Babeshko V.N.²

¹ ORCID: 0000-0001-9183-7110;

² ORCID: 0000-0003-2811-5013;

¹ Sole Proprietor Larionova M. A. (IP Larionova M. A.), Belgorod, Russia;

² Novosibirsk State University of Economics and Management, Novosibirsk, Russia

* Corresponding author (larionva-m-a[at]list.ru)

Abstract

The current article examines the prospects of using artificial intelligence technologies in light industry in order to assess their feasibility and effectiveness.

The study analyzes the areas of use and practical application of neural networks and machine learning in various fields of light industry and in various structural divisions of enterprises. It also demonstrates the possibilities of the development of the industry from raw materials enterprises of light industry to retail stores due to the expansion of the use of neural networks.

The authors highlight forecast indicators of research on the impact of the introduction of artificial intelligence in the economy on the macroeconomic indicators of countries up to 2030. Based on the results of this study, the authors conclude that the prospects for the use of machine learning technologies by light industry enterprises are not only to increase the efficiency of business results, but also the inevitable need for digitalization of production, technological, administrative, and other enterprise processes of using artificial intelligence in the modern market.

Keywords: artificial intelligence, neural networks, data, synthetic vision, light industry.

По словам экспертов международной консалтинговой компании McKinsey & Company и международного справочника BoF Ltd., в 2020 году, при общем падении показателей на фоне пандемии мировой экономики и индустрии моды, и легкой промышленности в частности, показатели электронной торговли и IT-индустрии выросли [1].

Пандемия нанесла ущерб легкой промышленности, и в то же время она поставила перед предприятиями вопрос о развитии, что сегодня означает цифровизацию и обращение к технологиям искусственного интеллекта. Мировая практика использования нейронных сетей для бизнеса имеет широкий спектр направлений, в полном объеме доступных как крупным предприятиям, так и микробизнесу.

Можно выделить следующие направления внедрения искусственного интеллекта на предприятия легкой промышленности:

- Работа с бизнес-процессами: анализ данных об обороте предприятия, планирование движения оборотных средств и объем кредитной нагрузки, прогноз потребности в сырье, складских площадях, планирование количества и оборачиваемости товарных запасов, потребности в персонале, инвестициях, необходимости модернизации и реорганизации отдельных структур и бизнес-процессов предприятия. Специализированные нейронные сети способны решать эти задачи, позволяя достичь максимальной экономической эффективности.

- Маркетинг: построение маркетинговой стратегии на основе собранных предприятием данных о продажах, в разрезе необходимого перечня показателей. Нейронные сети делают точный анализ о покупательских предпочтениях той или иной ассортиментной группы или отдельной модели, о сезонности спроса, реакций на определенные рекламные инструменты, об эффективности каналов продаж и необходимом объеме рекламного бюджета, наиболее

результативного способа подачи рекламной информации и т. д. Составление прогноза тенденций моды и количественных показателей спроса, с использованием технологий искусственного интеллекта происходит на основании анализа данных о клиентах, их классификации по уровню доходов, по стоимости изделий, которые они приобретали, по демографическим данным покупательского потока. Подобные инструменты дают возможность экономии ресурсов предприятия, снижения рисков роста товарных остатков, уменьшения отходов. Сырьевым предприятиям легкой промышленности, (например кожевенным заводам), нейронные сети с таким функционалом позволят производить именно те артикулы материалов, которые будут востребованы производствами кожгалантереи, обуви, одежды и других товаров легкой промышленности.

- Дизайн и конструирование: Модные мировые бренды меняют свой подход к дизайну и разработке продуктов, прогнозируя, что именно покупатели захотят носить в следующий раз [2].

Более того, искусственный интеллект не только поможет дизайнерам предсказывать грядущие тенденции, визуализируемые текущей быстро меняющейся средой, но также изучать и минимизировать воздействие на окружающую среду при производстве одежды и аксессуаров [3]. В творческих задачах использование нейронных сетей на данный момент осваивается крупными международными брендами: создание дизайна, интеллектуальный подбор цветовой гаммы, подбор индивидуального стиля, применение в конструировании САПР с функциями 3D моделирования и виртуальной примерки (например CLO3D), генерация принтов и стилистических решений.

- Технология и производство: расчет износостойкости материалов и узлов готового изделия на основе соответствующих данных предыдущих испытаний с использованием машинного обучения, контроль качества с применением машинного зрения, автоматизация процесса упаковки и маркировки с учетом разных требований оптовых клиентов и законодательства, распределение нагрузки на отдельные участки производства, интеллектуальные системы безопасности, работы по колористике, составление технологических карт на основании выходных данных о будущем изделии, прогнозирование потребности в сырье по категориям, анализ поставщиков по ценовым, логистическим любым необходимым критериям, применение искусственного интеллекта при раскрое материалов на автоматизированных раскройных системах с автоматическим учетом дефектов, направлении принтов и других технологических параметров материала, выявлении «слабых» участков производства на основе данных контроля качества и прочее.

- Продажи: технологии искусственного интеллекта уже широко применяются в сфере продаж продукции легкой промышленности, и эта сфера будет развиваться и дальше используя в своем арсенале все более сложные и точные инструменты нейронных сетей. На данный момент уже широко используются «умные ленты» в социальных сетях, технологии таргетированной рекламы, системы сбора персональных данных покупателей, посетителей и прохожих в локациях интересных предприятием розничной торговли, системы искусственного стилиста-консультанта, которые с вероятностью, сопоставимой с советом живого стилиста, определяют, какие товары предложить клиенту, чтобы удовлетворить его потребности и как следствие повысить продажи. Нейронные сети, полностью автоматизирующие процесс покупки от рекомендации чат ботов, которые с каждым днем становятся «умнее» за счет непрерывного потока данных для процесса машинного обучения системы, приема заказа от клиента, комплектации покупки, до доставки уже используются крупными мировыми площадками, лидером из которых является Amazon [4, С. 18].

Отдельным инструментом продаж одежды, обуви и аксессуаров является цифровая одежда, обеспечивающая возможность бесконтактной примерки в офлайн магазинах, виртуальной примерки в онлайн магазинах, предпродажной демонстрации новых коллекций предприятиями легкой промышленности. Это один из наиболее развивающихся инструментов искусственного интеллекта для всех сфер легкой промышленности.

Нейронные сети являются важным звеном в технологическом и бизнес прогрессах, позволяющим не только использовать вышеперечисленные технологии для анализа, прогнозирования и выполнения задач различной сложности, но и, что часто происходит, получать новые знания [5, С. 399-405]. Для предприятий легкой промышленности это выявление новых моделей потребительского поведения и изменений социально-экономических процессов в обществе, отслеживание только намечающихся изменений в моде, предпочтениях, настроениях покупателей, которые могут не только поменять спрос на определенные виды товаров легкой промышленности, но и привести к полному отказу от них за некий промежуток времени, выявить не известные ранее закономерности в покупательском поведении, сегментировать покупателей на основе параметров, которые не брались в внимание для дальнейшего структурирования маркетинговой стратегии, на что позволяет предприятиям индустрии всех масштабов, быть устойчивыми и конкурентоспособными на отечественном и мировом рынках, удовлетворяя покупательские потребности на совершенно новом уровне.

Административным структурам предприятий легкой промышленности так же доступны инструменты на основе нейронных сетей: подготовка отчетности, оплата счетов, работа с дебиторской задолженностью, документооборот, аналитика экономических показателей предприятия и т.д.

Международные исследования в области влияния внедрения технологий искусственного на предприятиях прогнозируют прирост экономической эффективности и как следствие рост макроэкономических показателей:

- ВВП Великобритании к 2030 году вырастет на 10,3% в результате использования технологий искусственного интеллекта. Это делает его одним из самых перспективных направлений для повышения коммерческих возможностей в сегодняшней быстро меняющейся экономике [11];

- Относительно чистого и валового воздействия искусственного интеллекта на рынки труда и валовой внутренний продукт (ВВП) ведущих экономик Азиатско-Тихоокеанского региона делается прогноз, увеличения объема производства к 2030 году на 16% [10];

- Согласно отчету PwC, к 2030 году искусственный интеллект внесет в мировую экономику 15,7 трлн. долларов. Это больше чем совокупный объем производства Китая и Индии в настоящее время [8];

- По оценкам McKinsey, к 2030 году искусственный интеллект может обеспечить дополнительную экономическую отдачу в размере около 13 трлн. долларов США, увеличивая мировой ВВП примерно на 1,2% в год [9].

По данным статистики оборот легкой промышленности России в 2021 уже растет по сравнению со спадом прошлого года (12,2% г/г в марте, 8,8% г/г в 1кв21г) [6, С. 3], а к 2023 году этот прирост в сфере производства текстиля, текстильных изделий и обуви ожидается в размере 15,8% [7, С. 33]. И именно предприятия внедряющие технологии искусственного интеллекта, предприятия и отдельные специалисты легкой промышленности, которые используют новейшие технологии, для расширения возможностей дизайна, производства и бизнеса, выйдут на первое место в этой динамике и быстро меняющемся мире моды и будут создавать этот прирост.

Подобную устойчивость предприятий в конкурентной среде технологии искусственного интеллекта обеспечивают за счет ускорения производственных процессов, повышения качества выпускаемой продукции, обеспечению рационального использования ресурсов, максимально точных маркетинговых решений, новаторского дизайна и т.д. И это все при снижении затрат, что приводит к большей экономической эффективности, высвобождению оборотных средств. К тому же предприятия имеющие базовый уровень цифровизации смогут быстрее реагировать на дальнейшее развития технологий искусственного интеллекта и раньше других внедрять их самые передовые разработки в свою работу и продукт.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Balchandani A. Transformative year in the technology, trends, and tastes in fashion / Anita Balchandani and Achim Berg // Thr McKinsey. – 2021. – [Electronic resource]. URL: <https://www.mckinsey.com/industries/retail/our-insights/the-postpandemic-state-of-fashion> (accessed: 26.05.2021).
2. Marr B. Three AI And Tech Trends That Will Transform The Fashion Industry / B. Marr // Forbes magazine. – 2021. – [Electronic resource]. URL: <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2021/03/26/three-ai-and-tech-trends-that-will-transform-fashion-industry/?sh=13998983746c> (accessed: 27.05.2021).
3. Singh Bisen V. How AI is Changing Fashion: Impact on the Industry with Use Cases / V. Singh Bisen // Vsinghbisen. – 2020. – [Electronic resource]. URL: <https://medium.com/vsinghbisen/how-ai-is-changing-fashion-impact-on-the-industry-with-use-cases-76f20fc5d93f> (accessed: 26.05.2021).
4. Марр В. Искусственный интеллект на практике / Б. Марр — «Манн, Иванов и Фербер (МИФ)». 2019. – С. -18.
5. Галанов, А.Э. Нейронные сети и нейронные технологии / А.Э. Галанов, Г.П. Селюкова // Актуальные вопросы науки и хозяйства: новые вызовы и решения: Сборник материалов LIII Международной студенческой научно-практической конференции. Тюмень, 29.03.2019г. – Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья. – 2019. – С. 399-405.
6. Министерство 15 апреля 2021 г. Министерство экономического развития Российской Федерации 15 апреля 2021 г. О динамике промышленного производства. Апрель 2021 года. – 2021. – С.3.
7. Ведев А. Прогноз основных показателей социально-экономического развития РФ на 2020–2023 годы / А. Ведев, С. Дробышевский, А. Каукин и др. // Счетная палата Российской Федерации, Институт экономической политики им. Е.Т. Гайдара, - М. 2020 – С. - 33.
8. Bloomberg. AI Could Add \$15 Trillion to Global Economy by 2030 // Industryweek. – 2017. – [Electronic resource]. URL: <https://www.industryweek.com/technology-and-iiot/article/22021234/ai-could-add-15-trillion-to-global-economy-by-2030> (accessed: 28.05.2021).
9. Bughin J. Notes From The Ai Frontier Modeling The Impact Of Ai On The World Economy / J. Bughin, J. Seong, J. Manyika et al. // McKinsey Global Institute. – 2018. – [Electronic resource]. URL: <https://clck.ru/Lkwpp> (accessed: 28.05.2021).
10. Haseeb M. Economic Impact of Artificial Intelligence: New Look for the Macroeconomic Assessment in Asia-Pacific Region / M. Haseeb, Sasmoko, W.W. Leonardus et al. // International Journal of Computational Intelligence Systems. – 2019, Pages 1295 – 1310, [Electronic resource]. URL: <https://doi.org/10.2991/ijcis.d.191025.001> (accessed: 28.05.2021).
11. PricewaterhouseCoopers LLP. The economic impact of artificial intelligence on the UK economy // PwC. – 2017. – [Electronic resource]. URL: <https://www.pwc.co.uk/economic-services/assets/ai-uk-report-v2.pdf> (accessed: 28.05.2021).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Balchandani A. Transformative year in the technology, trends, and tastes in fashion / Anita Balchandani and Achim Berg // Thr McKinsey. – 2021. – [Electronic resource]. URL: <https://www.mckinsey.com/industries/retail/our-insights/the-postpandemic-state-of-fashion> (accessed: 26.05.2021).
2. Marr B. Three AI And Tech Trends That Will Transform The Fashion Industry / B. Marr // Forbes magazine. – 2021. – [Electronic resource]. URL: <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2021/03/26/three-ai-and-tech-trends-that-will-transform-fashion-industry/?sh=13998983746c> (accessed: 27.05.2021).
3. Singh Bisen V. How AI is Changing Fashion: Impact on the Industry with Use Cases / V. Singh Bisen // Vsinghbisen. – 2020. – [Electronic resource]. URL: <https://medium.com/vsinghbisen/how-ai-is-changing-fashion-impact-on-the-industry-with-use-cases-76f20fc5d93f> (accessed: 26.05.2021).
4. Marr B. Искусственный интеллект на практике [Artificial Intelligence in Practice] / B. Marr — «Mann, Ivanov i Ferber (MIF)». 2019. -18 p. [in Russian]
5. Galanov, A.Je. Nejronnye seti i nejronnye tehnologii [Neural networks and neural technologies] / A.Je. Galanov, G.P. Seljukova // Aktual'nye voprosy nauki i hozjajstva: novye vyzovy i reshenija: Sbornik materialov LIII Mezhduнародnoj studencheskoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Tjumen', 29.03.2019g. – Tjumen': Gosudarstvennyj agrarnyj universitet Severnogo Zaural'ja. – 2019. – 399-405 p. [in Russian]

6. Ministerstvo 15 aprelja 2021 g. Ministerstvo jekonomicheskogo razvitija Rossijskoj Federacii 15 aprelja 2021 g. O dinamike promyshlennogo proizvodstva. Aprel' 2021 goda. [Ministry of Economic Development of the Russian Federation April 15, 2021 On the dynamics of industrial production. April 2021.] – 2021. – P.3. [in Russian]
7. Vedev A. Forecast of the main indicators of socio-economic development of the Russian Federation for 2020–2023 / A. Vedev, S. Drobyshesky, A. Kaukin et al. // Accounts Chamber of the Russian Federation, Institute for Economic Policy named after E.T. Gaidar, - M. 2020 - P. - 33. [in Russian]
8. Bloomberg. AI Could Add \$15 Trillion to Global Economy by 2030 // Industryweek. – 2017. – [Electronic resource]. URL: <https://www.industryweek.com/technology-and-iiot/article/22021234/ai-could-add-15-trillion-to-global-economy-by-2030> (accessed: 28.05.2021).
9. Bughin J. Notes From The Ai Frontier Modeling The Impact Of Ai On The World Economy / J. Bughin, J. Seong, J. Manyika et al. // McKinsey Global Institute. – 2018. – [Electronic resource]. URL: <https://clck.ru/Lkwpp> (accessed: 28.05.2021).
10. Haseeb M. Economic Impact of Artificial Intelligence: New Look for the Macroeconomic Assessment in Asia-Pacific Region / M. Haseeb, Sasmoko, W.W. Leonardus et al. // International Journal of Computational Intelligence Systems. – 2019, Pages 1295 – 1310, [Electronic resource]. URL: <https://doi.org/10.2991/ijcis.d.191025.001> (accessed: 28.05.2021).
11. PricewaterhouseCoopers LLP. The economic impact of artificial intelligence on the UK economy // PwC. – 2017. – [Electronic resource]. URL: <https://www.pwc.co.uk/economic-services/assets/ai-uk-report-v2.pdf> (accessed: 28.05.2021).

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.109.7.014>**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ИНФЛЯЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ И ЦЕНООБРАЗОВАНИЯ
В ПУСКОНАЛАДОЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

Научная статья

Полякова И.С.^{1,*}, Хисамов Ф.Г.²¹ ORCID: 0000-0003-4106-023X;^{1,2} Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Россия

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

Аннотация

В статье дано определение пусконаладочных работ, описана проблема необходимости ежегодного индексирования заработной платы работникам пусконаладочных предприятий на индекс инфляции, что является в корне неправильным, так как не учитывает последствия научно-технического прогресса, зачастую приводящего к снижению материалоемкости продукции. Цены зачастую увеличивают сами производители вслед за индексом инфляции, тем самым, закручивая «ложную инфляционную спираль». А когда за индексом инфляции производителям приходится поднимать зарплату рабочим, они попадают в собственную ловушку. Тем самым можно говорить об отсутствии необходимости за ростом цен мгновенно поднимать зарплату рабочим пусконаладочных предприятий и необходимости пересмотра коэффициента инфляции как такового.

Ключевые слова: пусконаладочные работы, системный анализ, инфляция, ценообразование, «ложная инфляционная спираль».

SYSTEM ANALYSIS OF INFLATION PROCESSES AND PRICE FORMATION IN COMMISSIONING

Research article

Polyakova I.S.^{1,*}, Khisamov F.G.²¹ ORCID: 0000-0003-4106-023X;^{1,2} Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia

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

Abstract

The article defines commissioning works, describes the problem of the need for annual indexing of wages to employees of commissioning enterprises by the inflation index, which is fundamentally wrong, since it does not take into account the consequences of scientific and technological progress, which often leads to a decrease in the material intensity of products. Prices are often increased by producers themselves following the inflation index, thereby twisting the «false inflationary spiral». And when producers have to raise workers' wages because of the inflation index, they fall into their own trap. Thus, we can say that there is no need to instantly raise the wages of workers of commissioning enterprises after the price increase and the need to revise the inflation coefficient as well.

Keywords: commissioning, system analysis, inflation, pricing, “false inflationary spiral”.

Введение

Пусконаладочные работы являются заключительными при вводе объекта капитального строительства в эксплуатацию [6], [7], [8]. Проблемами математического моделирования пусконаладочной деятельности занимались многие исследователи [4], [5], [9], [10]. Современные пусконаладочные организации, как и многие другие, сталкиваются с необходимостью ежегодной индексации заработной платы для своих сотрудников. Ведь основная причина индексации зарплат – инфляция.

Актуальность данного исследования можно объяснить тем, что современная теория инфляционных процессов не учитывает такие факторы, как психология производителей, стремящихся любыми способами максимизировать свою прибыль, влияние средств массовой информации, удешевление технологий, автоматизацию производства, влияние научно-технического прогресса на себестоимость продукции.

Цели данного исследования:

- определить факторы, влияющие на инфляционные процессы;
- разработать модель «ложной инфляционной спирали»;
- выявить причины «ложной инфляционной спирали».

Основные результаты

Инфляция – это повышение общего уровня цен на товары и услуги на длительный срок [2, С. 161]. При инфляции на одну и ту же сумму денег по прошествии некоторого времени можно будет купить меньше товаров и услуг, чем прежде [1], [3]. Это классическое определение инфляции не учитывает влияние научно-технического прогресса и снижения себестоимости товаров вследствие удешевления используемых материалов и т.д. То есть нельзя говорить о постепенном снижении покупательской способности денег, но можно говорить в целом о постепенном снижении себестоимости продукции на многие виды товаров.

Согласно теории инфляционных процессов уровень цен растет каждый год из-за удорожания сырья, растущих транспортных расходов, увеличения себестоимости продукции. Но, например, при росте транспортных расходов благодаря научно-техническому прогрессу, применению новых материалов, технологий уменьшается себестоимость продукции, что в целом приводит к незначительному изменению совокупной себестоимости продукции, что соответственно не должно привести к росту цен на товары или услуги, в частности на стоимость выполнения пусконаладочных работ.

Инфляционные процессы не являются последствием роста цен на товары, так как не учитывают научно-технический прогресс, маркетинговые акции, связанные с продвижением новых товаров, удешевляющие товары-заменители, снижение транспортных расходов из-за увеличения количества объемов перевозимой продукции. Научно-технический прогресс, стремление производителями любым способом удешевить свой товар идут быстрее инфляции.

Но возможна и обратная ситуация, когда инфляция подгоняется самими производителями, которые, увидев рост ставки рефинансирования, начинают дополнительно «закладывать» «индекс» инфляции в цены на свои товары, тем самым, разгоняя «ложную» инфляцию, что приводит к еще большему росту ставки рефинансирования и, следовательно, к еще большему росту цен и т.д. Этот процесс будет остановлен самими производителями, которые, заметив падение своих объемов продаж, будут стремиться снизить цены на товары, чтобы вернуть прежние объемы продаж. Снижать цены производители будут на искусственно введенный коэффициент инфляции. Они будут снижать цену до тех пор, пока цена не будет обусловлена реальной себестоимостью и прочими расходами, а не искусственным, раздутым коэффициентом инфляции, введенным из-за жадности производителей. Снижение цен приведет к постепенному снижению ставки рефинансирования и к ограничению коридора роста цен на товары. Тем самым будет достигнут баланс, когда уровень цен будет обусловлен объективными причинами. И инфляция будет обусловлена объективными причинами, а не разогнана жадностью производителей, разбирающихся в экономике и ожидающих за ростом ставки рефинансирования мгновенного роста себестоимости своей продукции и, соответственно, роста цен.

Таким образом, производители сами разгоняют инфляцию, вслед за ставкой рефинансирования поднимая цены на свои товары и услуги, а вслед за ростом цен растет и ставка рефинансирования и т.д., следовательно, возникает так называемая «ложная инфляционная спираль». В итоге крупные фирмы становятся заложниками «ложной инфляционной спирали» из-за необходимости ежегодного индексирования заработной платы своим сотрудникам. К такому относятся и пусконаладочные организации.

Хотя на крупных производствах прибыль от заложенного производителями «роста цен на индекс инфляции» намного превышает затраты на повышение оплаты труда пусть даже тысячи рабочим. Тем самым косвенно рост цен определяют сами производители, которые раскручивают «ложную инфляционную спираль». Решение данной проблемы – это отказаться от ежегодного увеличения цен на индекс инфляции при определении цены производителями товаров. И повышения цены товаров только при реальном росте себестоимости продукции. То есть отказ от ежегодного индексирования цен производителями товаров без реального роста его себестоимости.

Рыночная экономика должна была решить эту проблему, чего не произошло, так как производители, стремясь максимизировать свою прибыль, вслед за ростом ставки рефинансирования увеличивают стоимость своей продукции, боясь роста будущих расходов.

Таким образом, нельзя говорить о ежегодном росте цен. Производители, начитавшись СМИ, вслед за ставкой рефинансирования повышают цены на свою продукцию, руководствуясь средствами массовой информации, а не реальными данными о своем производстве. Следовательно, рост цен является искусственным и ударяет по кошелькам обычных потребителей.

В краткосрочной перспективе выигрывают производители, которые раньше других отказываются просто повышать цены на свою продукцию на «индекс инфляции», а руководствуются реальными данными о своем производстве, иногда даже снижая цены на продукцию при снижении ее себестоимости, что приводит к увеличению объема продаж и росту прибыли таких производителей. С определенной задержкой также поступают их конкуренты. В долгосрочной перспективе цены стабилизируются и являются отражением реального положения вещей, реальной себестоимости товаров. Стабилизируются цены, а за ними стабилизируется и инфляция.

То есть если и говорить о постепенном росте цен, то только о незначительном и постепенном. Значит, графиком зависимости индекса цен на товары от времени можно представить прямую $y=kx$, где $k \approx 0.5$, до следующей научно-технической революции, открытия новых материалов, чрезвычайного положения, эпидемии, такой как Covid-2019 и т.д. (см. рисунок 1).

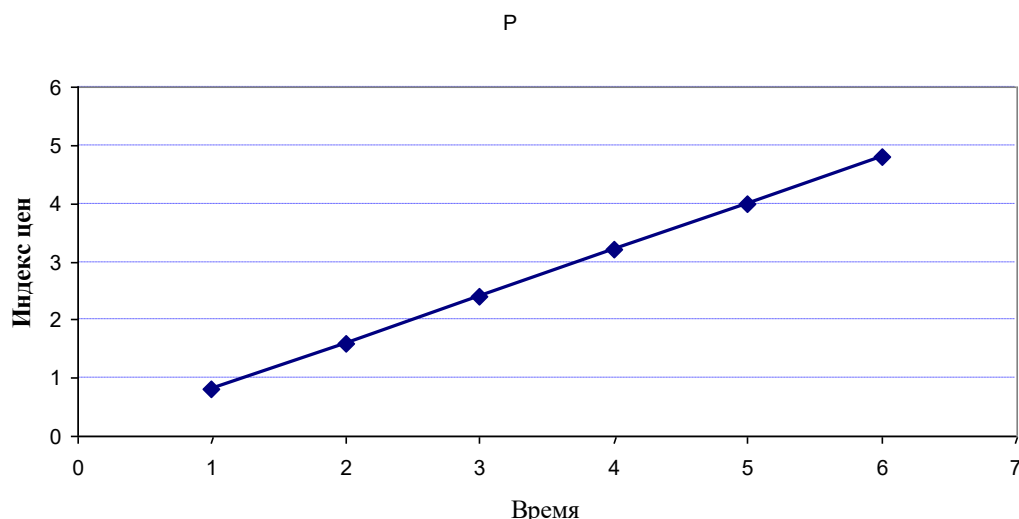


Рис. 1 – График зависимости сводного индекса цен от времени

Таким образом, нельзя говорить о постепенном росте цен на товары, без учета влияния научно-технического прогресса, удешевления материалов, автоматизации производства, маркетинговых стратегии фирм для захвата новых рынков сбыта и выведения на рынок новых товаров и др.

Заключение

Можно говорить о наличии так называемой «ложной инфляционной спирали», подгоняемой производителями товаров и услуг, в том числе пусконаладочными организациями, и отсутствии необходимости за ростом цен мгновенно поднимать ставку рефинансирования ЦБ, а также зарплату рабочим на коэффициент инфляции, а также необходимости пересмотра коэффициента инфляции как такового, потому что его влияние на экономические процессы явно переоценено.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Гребенников П.И. Макроэкономика: учебник / П.И. Гребенников, А.И. Леусский, Л.С. Тарасевич. – 8-е изд., перераб. и доп. – М.: ИД «Юрайт», 2011. – 161 с.
2. Кураков Л.П. Макроэкономика: учебник для вузов / Л.П. Кураков, М.В. Игнатьев, А.В. Тимирясова и др.; под общ. ред. Л.П. Куракова. – М.: Изд-во ИАЭП, 2017. – 336 с.
3. Кураков Л.П. Микроэкономика: учебник для вузов / Л.П. Кураков, М.В. Игнатьев, А.В. Тимирясова и др.; под общ. ред. А.Л. Куракова. – М.: Изд-во ИАЭП, 2017. – 353 с.
4. Манжильевская С.Е. Моделирование инноваций в строительстве/ С.Е. Манжильевская, Д.О. Богомазюк // Инженерный вестник Дона. – 2016. – №1. – [Электронный ресурс]. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2016/3556 (дата обращения: 30.06.2021).
5. Побегайлов О. А. Моделирование технологических процессов при организации строительного производства / О. А. Побегайлов, А. В. Шемчук // Наукоедение. – 2012. – № 4. [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/VtBLm> (дата обращения 30.06.2021).
6. Полякова И.С. Нормативно-правовые документы, регулирующие проведение пусконаладочных работ – проблемы и перспективы / И.С. Полякова, Ф.Г. Хисамов // Научно-технический вестник Поволжья. – 2021. – № 1. – С. 35-37.
7. Полякова И.С. Охрана труда при пусконаладочных работах / И.С. Полякова, Ф.Г. Хисамов // Научно-технический вестник Поволжья. – 2021. – № 4. – С. 67-69.
8. Полякова И.С. Системный анализ и моделирование пусконаладочной деятельности / И.С. Полякова // Сборник докладов II Международной научно-технической конференции «Вызовы современности и стратегии развития общества в условиях новой реальности (МКВСС)». – Санкт-Петербург, 2021, – С.130-133.
9. Соболев В.В. Математическое моделирование и методы оптимизации в проектировании организаций строительства / В.В. Соболев // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2011. – №1. – С.106-109.
10. Солдатенко Л.В. Введение в математическое моделирование строительно-технологических задач / Л.В. Солдатенко. – Оренбург, 2009. – 161 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Grebennikov P.I. Makroekonomika: uchebnik [Macroeconomy] / P.I. Grebennikov, A.I. Leusskij, L.S. Tarasevich. – 8-th edition. – М.: Jurajt, 2011. – 161 p. [in Russian]
2. Kurakov L.P. Makroekonomika: uchebnik dlja vuzov [Macroeconomy] / L.P. Kurakov, M.V. Ignat'ev, A.V. Timirjasova et al.; ed. A.L. Kurakova. – М.: Publishing house IAJeP, 2017. – 336 p. [in Russian]
3. Kurakov L.P. Mikroekonomika [Microeconomy] / L.P. Kurakov, M.V. Ignat'ev, A.V. Timirjasova et al.; ed. A.L. Kurakova. – М.: Publishing house IAJeP, 2017. – 353 p. [in Russian]
4. Manzhilevskaja S.E. Modelirovanie innovacij v stroitel'stve [Modeling of innovations in construction] [Electronic resource] / S.E. Manzhilevskaja, D.O. Bogomazjuk // Inzhenernyj vestnik Dona [Don's Engineering Gazette]. – 2016. – №1. – URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2016/3556 (accessed: 30.06.2021). [in Russian]
5. Pobegajlov O. A. Modelirovanie tehnologicheskix processov pri organizacii stroitel'nogo proizvodstva [Modeling of technological processes in the organization of construction production] [Electronic resource] / O. A. Pobegajlov, A. V. Shemchuk // Naukovedenie. – 2012. – № 4. – URL: <https://clck.ru/VtBLm> (accessed: 30.06.2021). [in Russian]
6. Poljakova I.S. Normativno-pravovye dokumenty, regulirujushhie provedenie puskonladocnyh rabot – problemy i perspektivy [Regulatory Documents Governing Commissioning – Problems and Prospects] / I.S. Poljakova, F.G. Hisamov // Nauchno-tehnicheskij vestnik Povolzh'ja [Scientific and technical bulletin of the Volga region]. – 2021. – № 1. – P. 35-37. [in Russian]
7. Poljakova I.S. Ohrana truda pri puskonladocnyh rabotah [Labor protection during commissioning] / I.S. Poljakova, F.G. Hisamov // Nauchno-tehnicheskij vestnik Povolzh'ja [Scientific and technical bulletin of the Volga region]. – 2021. – № 4. – P. 67-69. [in Russian]
8. Poljakova I.S. Sistemnyj analiz i modelirovanie puskonladocnoj dejatel'nosti [System analysis and simulation of commissioning] / I.S. Poljakova // Sbornik докладов II Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskij konferencii «Vyzovy sovremennosti i strategii razvitiya obshhestva v uslovijah novoj real'nosti (MKVSS)» [Challenges of our time and development strategies in the new realities]. – Sankt-Peterburg, 2021, – P.130-133. [in Russian]
9. Sobolev V.V. Matematicheskoe modelirovanie i metody optimizacii v proektirovanii organizacij stroitel'stva [Mathematical modeling and optimization methods in the design of construction organizations] / V.V. Sobolev // Izvestija vysshix uchebnyh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Tehnicheskie nauki. [News of higher educational institutions. North Caucasus region. Technical sciences] – 2011. – №1. – P.106-109. [in Russian]
10. Soldatenko L.V. Vvedenie v matematicheskoe modelirovanie stroitel'no-tehnologicheskix zadach [Introduction to mathematical modeling of construction and technological problems] / L.V. Soldatenko. – Orenburg, 2009. – 161 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.109.7.015>

ОБ ИЗМЕНЕНИИ СВОЙСТВ МЕХАНОАКТИВИРОВАННЫХ ВОДНЫХ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ

Научная статья

Руднев С.Д.¹, Крикун А.И.², Феоктистова В.В.^{3,*}, Крюк Р.В.⁴, Иванов В.В.⁵¹ ORCID: 0000-0003-2506-6121;² ORCID: 0000-0002-9330-2555;³ ORCID: 0000-0002-7680-2611;⁴ ORCID: 0000-0001-5884-8598;⁵ ORCID: 0000-0002-4711-9821;^{1, 3, 4, 5} Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия;² Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток, Россия

* Корреспондирующий автор (feonika13[at]mail.ru)

Аннотация

В данной статье представлены результаты экспериментального исследования в виде графических зависимостей, показывающие прямое влияние механоактивации воды и водных дисперсных систем (суспензий) разными подходами на производительность процесса фильтрования, как основной стадии технологической водоподготовки на пищевых предприятиях, не вдаваясь на данном этапе в подробности конструкций и принципа работы фильтров. Установлен наиболее эффективный режим механического диспергирования – вибромеханоактивация, при котором зафиксировано повышение пропускной способности до 33,3 %. Также экспериментально показано изменение свойств воды (с течением заданных промежутков времени) при механоактивации путем перемешивания.

Ключевые слова: механоактивация, изменение, свойства, водные дисперсные системы, фильтрование.

ON ALTERING THE PROPERTIES OF MECHANICALLY ACTIVATED AQUEOUS DISPERSED SYSTEMS

Research article

Rudnev S.D.¹, Krikun A.I.², Feoktistova V.V.^{3,*}, Kryuk R.V.⁴, Ivanov V.V.⁵¹ ORCID: 0000-0003-2506-6121;² ORCID: 0000-0002-9330-2555;³ ORCID: 0000-0002-7680-2611;⁴ ORCID: 0000-0001-5884-8598;⁵ ORCID: 0000-0002-4711-9821;^{1, 3, 4, 5} Kemerovo State University, Kemerovo, Russia;² Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia

* Corresponding author (feonika13[at]mail.ru)

Abstract

The article presents the results of an experimental study in the form of graphical dependencies showing the direct effect of mechanical activation of water and water dispersed systems (suspensions) by different approaches on the performance of the filtration process as the main stage of technological water treatment at food enterprises, without going into details of the filter designs and operating principle at this stage. The most effective mode of mechanical dispersion is vibration mechanical activation, in which an increase in throughput up to 33.3 % is observed. The study also experimentally demonstrates that the properties of water change (over a given period of time) during mechanical activation by stirring.

Keywords: mechanical activation, modification, properties, water dispersed systems, filtration.

Введение

В настоящее время вода является самым распространённым и изученным бинарным неорганическим соединением на планете (по структуре, назначению, составу и свойствам, аномальным изменениям при активации различными способами, в том числе при механическом диспергировании (механоактивации, далее МА) и мн. др.), занимающим ключевую роль в разнообразных процессах и явлениях флоры и фауны, неживой природы и в производственной деятельности человека.

В литературных источниках и исследовательских работах, опубликованных ведущими учеными в направлении МА жидких сред [1], [5, С. 5-17, 32-38, 40-680], [10], [19], и мн. др. предложены разнообразные теории, способные объяснить большинство свойств воды и растворов на ее основе, а также возникающих дополнительных эффектов [19], которые позволяют ускорить производственные процессы. Однако основная часть исследований базируется в области строительной, текстильной, металлургической, химической и пр. промышленности. Научных работ в области же пищевой промышленности не достаточно, поэтому считаем данное направление *актуальным*.

На основании вышеперечисленного сформирована следующая *цель исследования*: экспериментально установить влияние МА воды и водных дисперсных систем (суспензий) на производительность процесса фильтрования, как основного этапа технологической водоподготовки на предприятиях пищевой промышленности.

Основные задачи исследования (этапы):

1. показать изменение таких важных свойств воды как вязкость и поверхностное натяжение при МА путем перемешивания (экспериментально);
2. определить тип фильтра и способы МА для основного исследования (не вдаваясь на данном этапе в подробности конструкции и принципа действия);
3. провести эксперимент по исследованию влияния МА воды и суспензии на пропускную способность фильтров и определить наиболее эффективный способ МА.

Первый этап исследования

Данный этап представлял собой продолжение ранее проведенного комплексного исследования изменения некоторых свойств воды при ее МА [1], результаты которого уже зарекомендовали себя в хлебопекарной отрасли [10], [20]. Его основным назначением являлось: экспериментально показать изменение таких важных свойств (для технологической водоподготовки) как вязкость и поверхностное натяжение при перемешивании. Физическая модель представлена на рисунке 1.



Рис. 1 – Физическая модель первого этапа исследования

Механическому диспергированию подвергалась дистиллированная вода (далее, вода). В качестве активирующего устройства использовалась планетарная венчиковая мешалка с объемом $(V)=4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ и числом оборотов активирующего устройства $(n)=100^2 \div 320 \text{ мин}^{-1}$. Измерение вязкости $(\nu, \text{ м}^2/\text{с})$ воды в процессе МА (через заданные промежутки времени) осуществлялось на капиллярном вискозиметре ВПЖ-2, основанном на определении времени истечения через капилляр диаметром $(d)=56 \cdot 10^{-5} \text{ м}$ определённого объема воды из измерительного резервуара. При этом определение вязкости производилось по известной формуле (1):

$$\nu = g / 9,807 \cdot \tau \cdot K \quad (1)$$

где g – ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$; τ – время истечения, с; K – постоянная вискозиметра ($K=0,01$).

Поверхностное натяжение или поверхностная энергия $(\sigma, \text{ Н}/\text{м})$ определялось через уровень подъема жидкости в капиллярных трубах диаметром $(d)=25 \cdot 10^{-5} \text{ м}$ (определялся экспериментально), с учетом изменяющейся во времени температуры, по известной формуле (2):

$$\sigma = \frac{\rho \cdot g \cdot h \cdot r}{2} \quad (2)$$

где ρ – плотность воды, $\text{кг}/\text{м}^3$; h – высота поднятия жидкости в капилляре, м; r – радиус капилляра, м.

На основании полученных экспериментальных и расчётных данных, были построены графические зависимости (рисунки 2, 3).

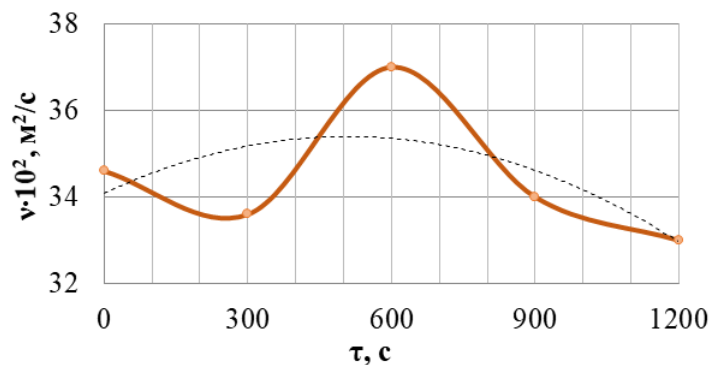


Рис. 2 – Изменение вязкости воды во время МА путем перемешивания (100 мин^{-1})

Анализ кривой (рисунок 2) показал, что вязкость (ν) при МА путем перемешивания (100 мин^{-1}) стабильно снижается в 1,03 раза первые 5 минут, несмотря на характерное для процесса перемешивания понижение температуры, что хоть и противоречит закону вязкого трения Ньютона, но легко объясняется теорией кластеров [4]. Затем в течение последующих 5 минут заметно повышается в 1,1 раза, далее стабильно снижается в течение 10 минут.

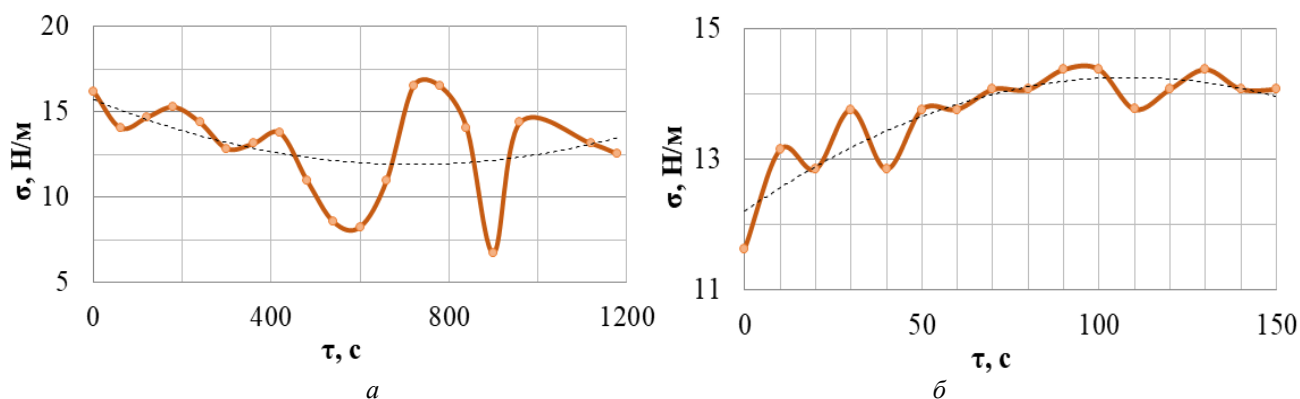


Рис. 3 – Изменение поверхностного натяжения воды во время (а) МА путем перемешивания (100 мин^{-1}) и после в покое (б)

Анализ кривых (рисунок 3) показал, что поверхностное натяжение (σ) воды при МА путем перемешивания (100 мин^{-1}) стабильно снижается на 49,04% первые 10 минут, затем в течение последующих 2 минут повышается в 2 раза, переходит в нестабильное состояние. Минимальное зафиксированное значение поверхностного натяжения составило на 58,47% меньше исходного. После прекращения механоактивации поверхностное натяжение (σ) плавно повышается на 21,11% (вода) в течение 2,5 минут.

Полученные значения подтверждают верность направления нашего исследования.

Второй этап исследования

Основным назначением данного этапа являлось: определить тип фильтра для исследования производительности фильтрования при механоактивации воды и суспензии (не вдаваясь на данном этапе в подробности конструкции и принципа действия) и способы механоактивации.

Ранее проведенный подробный анализ по существующим конструкциям фильтров [21], позволил остановить наш выбор на фильтрах с перегородками (бумажными, тканевыми и зернистыми).

Поскольку одним из современных способов механоактивации в пищевой промышленности на настоящее время является виброактивация (далее, ВА) или вибродиспергирование, а наиболее перспективными являются устройства вибрационного действия [3], [19]. Было решено использовать следующие способы МА при фильтровании с перегородками: ВА и совместного применения МА и ВА – вибромеханоактивации (далее, ВМА).

Третий этап исследования

Основным назначением данного этапа являлось: провести эксперимент по исследованию влияния ВА и ВМА воды и суспензии на пропускную способность фильтров с перегородками и определить наиболее эффективный способ МА. Физическая модель представлена на рисунке 4.



Рис. 4 – Физические модель третьего этапа исследования

Механическому диспергированию подвергались дистиллированная вода (далее, вода), меловая суспензия заданной концентрации: $3 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$ на $1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ (далее, С1) и морская вода, отобранная в б. Новик о. Русский (далее, С2). В качестве активирующего устройства использовался вибромеханоактиватор в режимах ВА и ВМА (число оборотов активирующего устройства (n)= 10000 мин^{-1} , амплитуда колебаний (A)= $2,5 \div 5,3 \text{ мм}$, время (τ)= 180 с). Через фильтрующие перегородки: бумажные, 1 слой (далее, БП) и тканевые, 2 слоя (далее, ТП) на физической модели пропускались вода (далее, В) и С1, а через зернистые, 3-слой (далее, ЗП) на ранее разработанном и сконструированном фильтре [21] С2 – без активации (далее, БА), после ВА и ВМА.

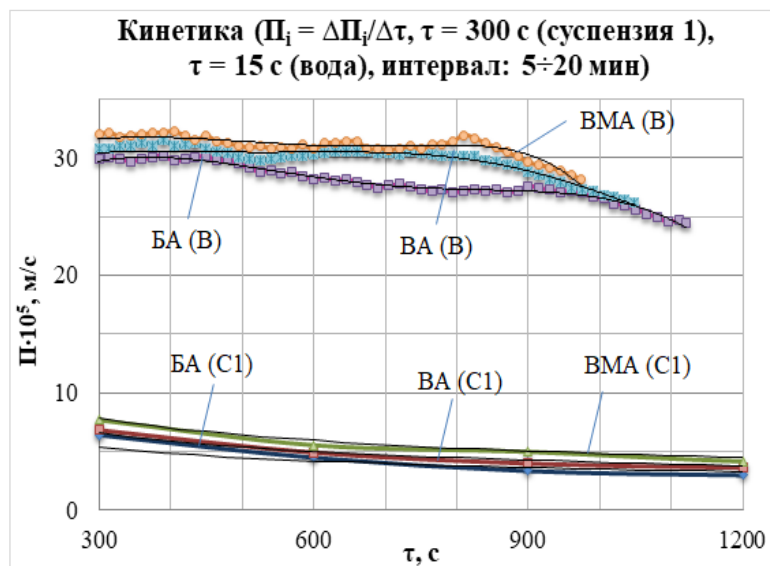


Рис. 5.1 – Зависимость пропускной способности фильтров с бумажными перегородками от времени фильтрации

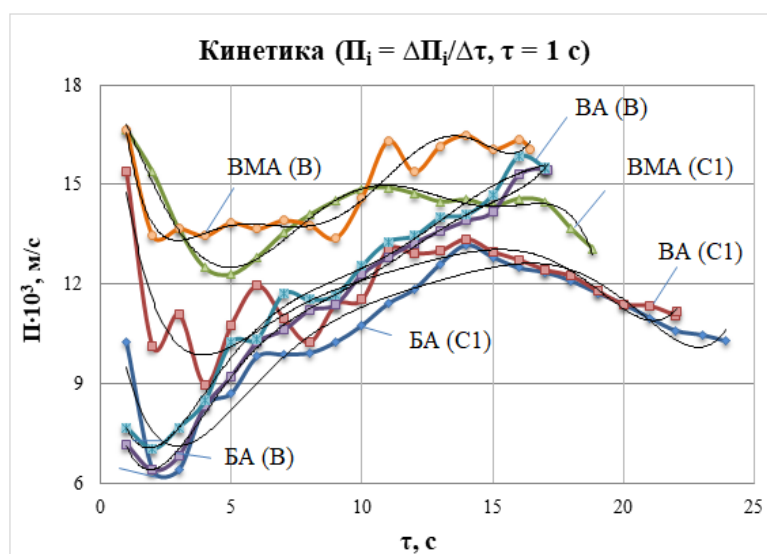


Рис. 5.2 – Зависимость пропускной способности фильтров с тканевыми перегородками от времени фильтрации

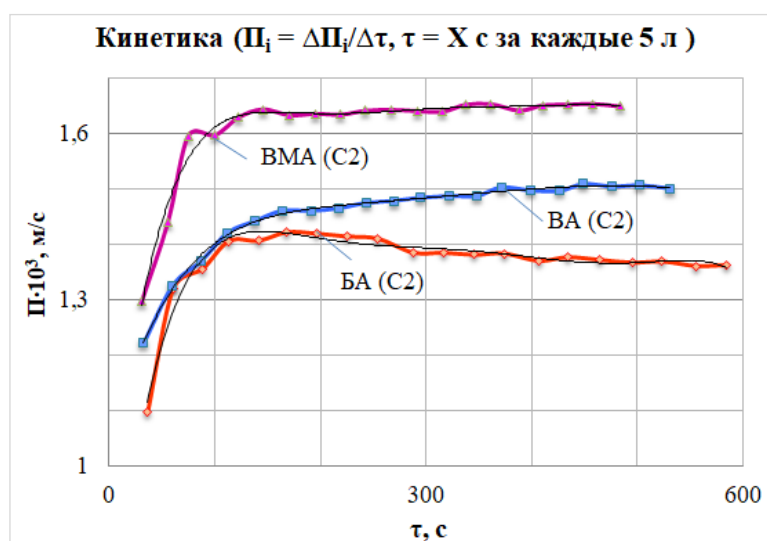


Рис. 5.3 – Зависимость пропускной способности фильтров с зернистыми перегородками от времени фильтрации

На основании данных эксперимента были построены графические зависимости (рисунок 5), их анализ позволил установить прямое влияние МА путем ВА и ВМА на рост пропускной способности фильтров с перегородками (как при активации В, так и С1 и С2). При ВА пропускная способность повышается: в $1,06 \div 1,09$ раза (БП); в $1,04 \div 1,11$ раза (ТП) и в $1,06$ раза (ЗП). При ВМА: в $1,12 \div 1,32$ (БП); в $1,29 \div 1,33$ раза (ТП) и в $1,18$ раза (ЗП). Наиболее эффективные результаты получены после МА путем ВМА, следовательно, этот способ представляет наибольший интерес для дальнейших исследований процесса фильтрации с перегородками.

Заключение

Таким образом, последовательное решение каждой из поставленных задач, позволило экспериментальным путем установить прямое влияние МА воды и суспензий на производительность процесса фильтрации. Повышение пропускной способности связано в первую очередь со снижением вязкости (на 4,85%) и поверхностного натяжения (58,47%).

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Руднев С.Д. Изменение свойств воды при её механоактивации / С.Д. Руднев, Т.В. Шевченко, И.Ю. Сергеева // Актуальные направления научных исследований: технологии, качество и безопасность: материалы Н(В)К, 2020. – С. 121-124.
2. Николаев А.Ф. Современный взгляд на структуру воды / А.Ф. Николаев // Известия СПбГТИ (ТУ). – 2007. – №1(27). – С. 110-115.
3. Блехман И.И. «Аномальные» явления в жидкости при действии вибрации / И.И. Блехман, Л.И. Блехман, Л.А. Вайсберг и др. // Доклады академии наук. Механика. – 2008. – Т. 422. – № 4. – С. 470-474. Известия СПбГТИ (ТУ). – 2007. – №1(27). – С. 110-115.
4. Гончарук В.В. Кластеры и гигантские гетерофазные кластеры воды / В.В. Гончарук, В.Н. Смирнов, А.В. Сыроешкин и др. // Химия и технология воды. – 2007. – Т. 29, №1. – С.3-17.
5. Кульский Л.А. Справочник по свойствам, методам анализа и очистке воды: в двух частях / Л.А. Кульский, И.Т. Гороновский, А.М. Когановский и др. – Киев: Наукова думка, 1980. – 1206 с.
6. Воробьёв Ю.В. Основы теории механоактивации жидких сред / Ю.В. Воробьёв // Вестник ТГТУ. – 2013. – №3. – С. 608-613.
7. Зиновьева Е.В. Влияние процессов механоактивации на структурно-физическую модификацию и стабилизацию водных суспензий и смазочных эмульсий: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.13 / Зиновьева Екатерина Витальевна. – Иваново, 2016. – 166 с.
8. Гуюмджян П.П. Взаимодействие механоактивированной воды с цементным вяжущим / П.П. Гуюмджян, Т.Г. Ветренко, Н.М. Ладаев и др. // Вестник МГСУ. – 2011. – №2. – С. 117-120.
9. Слизнева Т.Е. Мелкозернистые бетоны на основе механомагнитоактивированных водных систем с органическими и неорганическими добавками – модификаторами: дис. ... докт. техн. наук: 05.23.05 / Слизнева Татьяна Евгеньевна. – Иваново, 2016. – 347 с.
10. Руднев С.Д. Интенсификация процесса получения однородных высококонцентрированных смесей с жидкой фазой в технологии производства хлеба / С.Д. Руднев, А.С. Марков, В.В. Иванов и др. // Международный научно-исследовательский журнал. – 2017. – № 07 (61), ч.3. – С. 72-78.
11. Расцветова Е.А. Повышение механических свойств бетонных изделий путём механической активации цементных суспензий: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Расцветова Елена Анатольевна. – Иваново, 2011. – 145 с.
12. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А.И. Гусев. – М.: Физматлит, 2007. – 416 с.
13. Геллер С.В. Вихревые нагреватели жидкости: кавитация, созидаящая / С.В. Геллер // Техника-молодежи. – 2005. – №11. – С. 56-59.
14. Калачева Л.П. Получение водорода механоактивацией конденсированных фаз воды / Л. П. Калачева, В. В. Корякина, А. Ф. Федорова // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. – 2009. – № 2. – С. 12.
15. Колпаков А.В. Исследование процесса диспергирования жидких сред импульсным гидродинамическим способом / А.В. Колпаков // Техника и технологии в животноводстве. – 2012. – №3. – С. 122-128.
16. Косинцев В.И. Очистка воды с применением механоактивации / В.И. Косинцев // Успехи современного естествознания. – 2010. – № 3. – С. 128-129.
17. Воробьёв Ю.В. Химические процессы в органических жидкостях, инициируемые гидродинамическим активатором / Ю.В. Воробьёв, А.П. Кузьмин // Вестник ТГТУ. – 2012. – №4. – С. 905-911.
18. Ефремов И.М. Процесс распространения колебаний в условиях перемешивания смесей / И.М. Ефремов, К.Н. Фигура // Системы. Методы. Технологии. – 2010. – № 2 (6). – С. 42-45.
19. Блехман И.И. Что может вибрация? О «вибрационной механике» и вибрационной технике / И.И. Блехман. – М.: Ленанд, 2017. – 216.
20. Руднев С.Д. Совершенствование процесса структурообразования теста пшеничного / С.Д. Руднев, В.В. Иванов, Р.В. Крюк // Новые технологии. – 2019. – № 1 (47). – С. 149-161.
21. Крикун А.И. Совершенствование процесса фильтрации воды на рыбоперерабатывающих предприятиях: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.12 / Крикун Александра Игоревна. – Кемерово, 2017. – 219 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Rudnev S. D. Izmenenie svoystv vody pri eyo mekhanoaktivatsii [Changing properties of water under mechanical activation] / S. D. Rudnev, T. V. Shevchenko, E. Y. Sergeeva // Aktualnye napravleniya nauchnyh issledovaniy: tekhnologii, kachestvo i bezopasnost': materialy [Modern directions of scientific research: technology, quality and safety: materials] – 2020. – N(V)K. – P. 121-124. [in Russian]
2. Nikolaev A. F. Sovremennyj vzglyad na strukturu vody [A modern look on the structure of the water] / A. F. Nikolaev // Izvestiya SPbGTI (TU) [Bulletin of the St. Petersburg State Institute of Technology (Technical University)]. – 2007. – № 1 (27). – P. 110-115. [in Russian]

3. Blekhman I. I. «Anomalnye» yavleniya v zhidkosti pri dejstvii vibracii ["Abnormal" properties in liquids under vibration] / I. I. Blekhman, L. I. Blekhman, L. A. Vaisberg et al. // Doklady akademii nauk. Mekhanika [Reports of the Academy of Sciences. Mechanics]. – 2008. – V. 422. – № 4. – P. 470-474. [in Russian]
4. Goncharuk V. V. Klastery i gigantskie geterofaznye klastery vody [Clusters and giant heteropatric clusters of water] / V. V. Goncharuk, V. N. Smirnov, A. V. Siroeshkin et al. // Himiya i tekhnologiya vody [The chemistry and technology of water]. – 2007. – V. 29. – № 1. – P. 3-17. [in Russian]
5. Kul'sky L. A. [Directory for properties, analysis methods and water purification: in two parts] / L. A. Kul'sky, I. T. Gornovsky, A. M. Koganovsky et al. – Kiev: Naukova Dumka, 1980. – 1206 p. [in Russian]
6. Vorobiev Y. V. Osnovy teorii mekhanoaktivacii zhidkih sred [Fundamentals of the theory of mechanical activation of liquid mediums] / Y. V. Vorobiev // Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of the Tambov State Technical University]. – 2013. – № 3 – P. 608-613. [in Russian]
7. Zinoveva E.V. Vliyanie processov mekhanoaktivacii na strukturno-fizicheskuyu modifikaciyu i stabilizaciyu vodnyh suspenzij i smazochnyh emulsiy. [Influence of mechanical activation processes on structural and physical modification and stabilization of aqueous suspensions and lubricating emulsions] : dis. ... of PhD in Engineering : 05.02.13 : defense of the thesis 16.03.2017 : approved 12.10.2017 / Zinoveva Ekaterina Vitalevna. – Ivanovo, 2016. – 166 p. [in Russian]
8. Guyumdzhyan P.P. Vzaimodejstvie mekhanoaktivirovannoj vody s cementnym vyazhushchim [Interaction of mechanically activated water with a cement binder] / P.P. Guyumdzhyan, T.G. Vetrenko, N.M. Ladaev et al. // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo stroitel'nogo universiteta [Bulletin of the Moscow State University of Civil Engineering]. – 2011. – №2. – P. 117-120. [in Russian]
9. Slizneva T.E. Melkozernistye betony na osnove mekhanomagnitoaktivirovannykh vodnykh sistem s organicheskimi i neorganicheskimi dobavkami – modifikatorami [Fine-grained concretes based on mechanomagnetically activated water systems with organic and inorganic additives - modifiers] : dis. ... of D.Sc. in Engineering : 05.23.05 defense of the thesis 17.06.2016: approved 12.12.2016 / Slizneva Tatyana Evgenevna. – Ivanovo, 2016. – 347 p. [in Russian]
10. Rudnev S. D. Intensifikaciya processa polucheniya odnorodnykh vysokokoncentrirovannykh smesey s zhidkoj fazoj v tekhnologii proizvodstva hleba [The intensification of the process of obtaining homogenous highly concentrated mixtures with a liquid state in bread production technologies] / S. D. Rudnev, A. S. Markov, V. V. Ivanov et al. // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. [International scientific research journal]. – 2017. – № 07 (61), part 3. – P. 72-78. [in Russian]
11. Rascvetova E.A. Povyshenie mekhanicheskikh svojstv betonnykh izdelij putyom mekhanicheskoy aktivacii cementnykh suspenzij [Improving the mechanical properties of concrete products by mechanical activation of cement suspensions] : dis. ... of PhD in Engineering : 05.23.05 defense of the thesis 01.07.2011 : approved 22.01.2012 / Rascvetova Elena Anatolevna. – Ivanovo, 2011. – 145 p. [in Russian]
12. Gusev A. I. Nanomaterialy, nanostruktury, nanotekhnologii [Nanomaterials, nanostructures, nanotechnologies] / A. I. Gusev. – M.: Fizmatlit, 2007. – 416 p. [in Russian]
13. Geller S. V. Vihrevye nagrevateli zhidkosti: kavitaciya, sozidayushchaya [Vortex heaters of liquid: cavitation, creation] / S. V. Geller // Tekhnika-molodezhi [Youth technology]. – 2005. – № 11. – P. 56-59. [in Russian]
14. Kalacheva L. P. Poluchenie vodoroda mekhanoaktivaciej kondensirovannykh faz vody [Hydrogen production by means of mechanical activation of condensed phases of water] / L. P. Kalacheva, V. V. Koryakina, A. F. Fedorova // Elektronnyj nauchnyj zhurnal Neftegazovoe delo [Electronic scientific journal of Oil and Gas Business]. – 2009. – № 2. – P. 12. [in Russian]
15. Kolpakov A. V. Issledovanie processa dispergirovaniya zhidkih sred impulsnym gidrodinamicheskim sposobom [Research of the process of dispersing of liquid matters through the use of impulse hydrodynamic method] / A. V. Kolpakov // Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve [Technology and machinery in livestock farming]. – 2012. – № 3 – P. 122-128. [in Russian]
16. Kosincev V. I. Ochistka vody s primeneniem mekhanoaktivacii [Water purification using mechanical activation] / V. I. Kosincev // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya [Advances in modern natural science]. – 2010. – № 3. – P. 128-129. [in Russian]
17. Vorobiev Y. V. Himicheskie processy v organicheskikh zhidkostyakh, iniciiruemye gidrodinamicheskim aktivatorom [Chemical processes of organic liquids, initiated by a hydrodynamic activator] / Y. V. Vorobiev, A. P. Kuzmon // Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of the Tambov State Technical University]. – 2012. – № 4. – P. 905-911. [in Russian]
18. Efremov I. M. Process rasprostraneniya kolebanij v usloviyah peremeshivaniya smesey [The process of vibrations distribution under mixing conditions] / I. M. Efremov, K. N. Figura // Sistemy. Metody. Tekhnologii. [Systems. Methods. Technologies]. – 2010. – № 2 (6). – P. 42-45 [in Russian]
19. Blekhman I. I. Chto mozhet vibraciya? O "vibracionnoj mekhanike" i vibracionnoj tekhnike [What can vibration do? About "vibration mechanics" and vibration technology] / I. I. Blekhman. – M.: Lenand, 2017. – 216 p. [in Russian]
20. Rudnev S.D. Sovershenstvovanie processa strukturoobrazovaniya testa pshenichnogo [Improving the process of structure formation of wheat dough] / S.D. Rudnev, V.V. Ivanov, R.V. Kryuk // Novye tekhnologii [New technologies]. – 2019. – № 1 (47). – P. 149-161. [in Russian]
21. Krikun A.I. Sovershenstvovanie processa filtrovaniya vody na ryboprerabatyvayushchih predpriyatiyah [Improving the process of filtering water at fish processing enterprises] : dis. ... of PhD in Engineering: 05.18.12 : defense of the thesis 29.09.2017 : approved 01.03.2018 / Krikun Aleksandra Igorevna. – Kemerovo, 2017. – 219 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.109.7.016>

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ МНОГОСТАДИЙНОГО ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАЗРЫВА ПЛАСТА НА НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

Обзорная статья

Синельников И.А.*

Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

* Корреспондирующий автор (ivan4858[at]mail.ru)

Аннотация

Целью настоящей работы является определение комплекса технических мероприятий, обеспечивающих технологически и экономически наиболее эффективное проведение многостадийного гидроразрыва пласта (МГРП) на нефтяных месторождениях.

Задачей работы является провести анализ современных разработок в области повышения эффективности проведения МГРП, выявить актуальные проблемы и резервы улучшения проектирования МГРП, а также выявить наиболее вероятные риски при реализации проектов многостадийного гидравлического разрыва пласта.

Ключевые слова: гидравлический разрыв пласта, многостадийный гидравлический разрыв пласта, горизонтальная скважина, проппант.

AN ANALYSIS OF POSSIBLE WAYS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF MULTISTAGE HYDRAULIC FRACTURING IN OIL FIELDS

Review article

Sinelnikov I.A.*

St. Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russia

* Corresponding author (ivan4858[at]mail.ru)

Abstract

The purpose of this study is to determine a set of technical measures that ensure the most technologically and economically efficient multi-stage hydraulic fracturing at oil fields.

The objectives are to analyze modern developments in the field of improving the efficiency of multistage hydraulic fracturing, to identify current problems and reserves for improving the design of multistage hydraulic fracturing, as well as to identify the most likely risks in the implementation of the projects of the practice under study.

Keywords: hydraulic fracturing, multi-stage hydraulic fracturing, horizontal well, proppant.

Введение

В настоящее время существует множество вариантов проведения многостадийного гидроразрыва пласта. Для разработки трудноизвлекаемых запасов нефти, которыми представлена большая часть текущей ресурсной базы, ГРП является одним из немногих способов, позволяющих добиться необходимой степени извлечения углеводородов и достичь желаемого экономического эффекта. Повысить экономический эффект можно за счет снижения себестоимости проведения операции, но при таком подходе существует предел, обусловленный спецификой технологии. Гидравлический разрыв пласта является масштабным мероприятием, требующим большого количества технических и финансовых ресурсов, и, таким образом, затраты на его проведение будут оставаться высокими. В работе основное внимание было уделено поиску нестандартных решений, сочетающих в себе современные инженерные изыскания и эффективные методы управления и распределения ресурсов. Максимизировать экономический эффект можно за счет правильного распределения технических средств и ресурсов.

Анализ возможных способов повышения эффективности проведения многостадийного гидравлического разрыва пласта на нефтяных месторождениях

Разработка нефтяных залежей, относящихся к баженовской свите, в настоящее время является одним из приоритетных направлений. Нефтяные компании сосредотачивают большое количество средств на поиск оптимального способа разработки таких трудноизвлекаемых запасов. ПАО «Газпромнефть» планирует в качестве главного инструмента использовать многостадийный гидроразрыв пласта с особым дизайном. Опыт проведения первых МГРП на залежах баженовской свиты показал недостаточную эффективность стандартных технологий. В твердых слабопроницаемых породах образуются очень узкие трещины, при этом стандартные жидкости гидроразрыва в таких трещинах образуют трудно разрушаемый осадок. Одним из возможных решений является использование в качестве жидкости воды или других маловязких жидкостей.

Изначально в рамках экспериментальных проектов в роли жидкости гидроразрыва выступала вода, но от нее пришлось отказаться. Вода обладает низкой вязкостью, недостаточной для удержания проппанта во взвешенном состоянии. Проппант осаждается в скважине, не доходя до нужных участков внутри трещины, в результате чего не достигается проектная длина трещины, и мероприятие несет лишь негативные последствия. В ПАО «Газпромнефть» было решено использовать насосы высокой мощности для создания повышенных скоростей закачки. При движении жидкости с большой скоростью проппант не успевает осаждаться в скважине. Однако при увеличении скорости течения жидкости давление на стенки трубы также увеличивается. Для предотвращения превышений допустимых параметров давления необходимо использовать трубы большего диаметра. На практике это означает, что необходимо отказаться от применения компоновок ГРП с муфтами и насоснокомпрессорными трубами (НКТ). Кроме того, более мощные насосы, повышенные скорости закачки и связанный с этим больший расход жидкости разрыва влекут за собой и более высокие затраты на проведение мероприятия [4].

В работе [5] представлен анализ результатов проведения МГРП на Приобском месторождении.

Экспериментально установлено, что на увеличение эффекта от проведения МГРП положительно влияет увеличение длины горизонтального участка скважины. На скважинах с более длинным горизонтальным стволом эффективность мероприятия выше. Эффект от увеличения длины ГС подтвердился на всех опытных участках лицензионной территории.

В работе [9] приведено исследование зависимости чистой приведенной стоимости проекта по проведению ГРП от длины горизонтального участка скважин и количества стадий гидроразрыва (рис. 1).

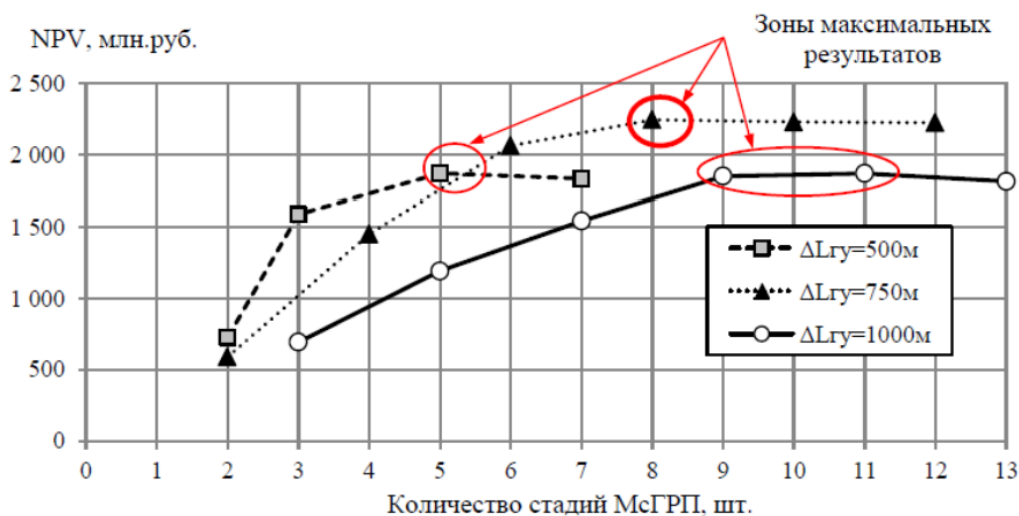


Рис. 1 – Зависимость экономической эффективности от длины горизонтального участка скважин ($\Delta L_{гг}$) и количества стадий гидроразрыва [9]

Наибольшими показателями экономической эффективности обладает скважина с длиной горизонтального участка 750 м, максимальное значение NPV достигнуто при числе стадий, равном 8. Максимальные значения NPV для скважин с длиной горизонтального ствола 500 м и 1000 м достигаются при числе стадий 5 и 9–11 соответственно. Но зачастую МГРП приходится рассматривать как часть системы разработки месторождения, и от эффективности его проведения зависит конечный коэффициент извлечения нефти. Максимальное вовлечение в разработку слабодренлируемых участков низкопроницаемых коллекторов наилучшим образом достигается при большем числе стадий гидроразрыва.

При проектировании МГРП следует принимать во внимание число стадий, ориентацию трещин (перпендикулярно горизонтальному стволу или вдоль горизонтального ствола), количество проппанта на стадию и расстояние между портами МГРП. В работе [2] установлено, что проницаемых коллекторов более оптимальна ориентация трещин перпендикулярно горизонтальному участку скважины. Увеличение количества стадий гидроразрыва приводит к созданию большего числа трещин и, следовательно, к росту продуктивности. Однако при увеличении количества стадий и уменьшении расстояния между портами до определенного значения дальнейшего прироста продуктивности не происходит. В значительной степени на повышение продуктивности скважин оказывает влияние увеличение количества проппанта на стадию [5].

Увеличить площадь охвата пластов низкопроницаемых коллекторов возможно за счет создания более длинных трещин, особенно в местах окончания ствола ГС. Для повышения эффективности мероприятия при отсутствии геологических и технических ограничений следует создавать более длинные трещины, позволяющие увеличить площадь дренирования запасов. Необходимо помнить, что увеличение массы проппанта на стадию и увеличение длины трещины имеет экономические ограничения. Следует проводить сопоставление нескольких проектных вариантов и выбирать наиболее оптимальный.

Анализ опыта показывает, что освоение ранее нерентабельных трудноизвлекаемых запасов возможно с выявлением наиболее эффективных мероприятий и успешным их испытанием на опытных участках месторождений [5].

Проведение МГРП является технологически сложным мероприятием, требующим тщательной подготовки, планирования и использования максимального количества промысловой информации. Зачастую необходимые для этого исследования не проводятся нефтяными компаниями в полном объеме. В результате после проведения МГРП либо во время самой операции появляются различные осложнения, ухудшающие технико-экономические показатели работы скважин. Компания может не получить запланированного эффекта от ГРП, а в ряде случаев мероприятие может иметь отрицательные последствия.

Различные факторы снижают эффект от ГРП, в результате чего проектные показатели добычи не соблюдаются и компания несет экономические потери. К таким факторам относятся снижение пластовой энергии, уменьшение фазовых проницаемостей по нефти, низкая начальная проводимость трещины. Данные явления могут не возникнуть при корректной организации системы разработки и технологии проведения МГРП, однако другие возможные осложнения, например, вынос проппанта из трещины, коагуляция трещины и околоскважинной зоны неразложившимся гелем, прорывы газа и воды по трещине из непроектных горизонтов [3] носят системный характер и в любом случае имеют определенную вероятность возникновения. Требуется дополнительные мероприятия для минимизации их последствий.

Наибольшее негативное влияние на работу скважины после ГРП оказывает вынос проппанта из трещины. В результате выноса проппанта происходит не только быстрый износ скважинного оборудования вследствие абразивного эффекта, но и уменьшение ширины созданной трещины в местах отсутствия расклинивающего агента вплоть до ее полного схлопывания.

Частицы проппанта выносятся из трещины под действием движущихся с большой скоростью пластовых флюидов. Снизить интенсивность данного явления позволяет уменьшение депрессии на пласт за счет повышения забойного давления [3].

Для предотвращения выноса проппанта может быть использована технология PropNET. В пласт одновременно с проппантом закачивается гибкое стекловолокно, заполняющее промежутки между частицами проппанта, благодаря чему достигается большая устойчивость проппанта в трещине. Наиболее распространенной технологией является применение RCP-проппанта. Проппантные частицы покрыты фенолформальдегидной смолой, в результате чего достигается их дополнительная прочность и устойчивость [3].

Другой распространенной проблемой является коагуляция трещины неразложившимся гелем жидкости разрыва. Основной компонент большинства жидкостей ГРП – это гели гуаровой смолы. Добавляются также сшиватели и брейкеры-деструкторы полимеров, за счет которых гель саморазрушается после проведения ГРП и выводится из пласта вместе с нефтью, либо гель растворяется пластовой нефтью. Однако нередко полимер остается неразрушенным после размещения проппанта в трещине, в результате чего образуется сверхвязкая масса, блокирующая пространство трещины и призабойной зоны. Решением данной проблемы является использование более совершенных жидкостей ГРП, таких как высокоструктурированные гелирующие комплексы, кислотные составы, низкополимерные жидкости разрыва, а также не загрязняющие пласт жидкости [3]. Данные композиции обладают более высокой стоимостью, но при этом значительно снижают риск образования нерастворимых осадков в пласте, что оправдывает их применение для проведения МГРП.

Основным ограничением при проведении ГРП остается низкая толщина разрабатываемого коллектора, близость водонасыщенных горизонтов и газовых шапок. В коллекторах с близко расположенными водонасыщенными горизонтами существует опасность прорыва воды по трещине ГРП. В настоящее время делаются различные попытки по ограничению водопритока. Существуют такие методы, как ограничение распространения трещины в вертикальном направлении; создание проппантных барьеров для ограничения увеличения высоты трещины; закачка реагентов, уменьшающих относительную фазовую проницаемость для воды за счет создания химических барьеров в трещине. Первые два способа направлены на сдерживание нежелательного роста трещины, ограничением их применения являются прочностные характеристики слагающих пласт пород. Третий способ является более универсальным и по своей сути аналогичен технологиям ограничения водопритока к добывающим скважинам на поздних этапах разработки месторождения [3].

Гидравлический разрыв пласта является методом, позволяющим значительно повысить эффективность разработки объекта, но может оказаться и убыточным мероприятием. При правильной организации и проведении работ, при использовании нужных технологий удастся избежать возможных проблем и негативных последствий.

Гидравлический разрыв пласта является одним из наиболее эффективных способов повышения коэффициента извлечения нефти, но вместе с тем и достаточно дорогостоящим мероприятием. Используется специализированная техника, современное дорогостоящее оборудование, большие объемы технологических жидкостей и проппанта для достижения давления на забое, достаточного для разрыва пород, и последующего создания трещин. Крайне важным является отслеживание всех статей затрат на проведение мероприятия и постоянный поиск путей их оптимизации.

При проектировании МГРП всегда существуют определенные инвестиционные риски. Следует отказаться от прогнозирования на основе средних по месторождению или по предприятию затрат на проведение МГРП и учитывать индивидуальные технико-экономические показатели каждой скважины. При планировании МГРП следует тщательно отбирать скважины-кандидаты для включения в программу мероприятия. Специалистами [7] предложен подход по использованию минимального рентабельного дебита скважины как критерия включения в программу МГРП.

В работе [1] предлагается снизить транспортные затраты на проведение ГРП. В случае, если техника для проведения ГРП (флот ГРП) используется нерационально, необходимо разработать пути более эффективного использования техники с меньшими временными потерями.

В большинстве случаев гидравлический разрыв пласта проводится на одной скважине за один выезд флота ГРП с базы. Более эффективно осуществлять ГРП на двух или трех скважинах в пределах одного нефтегазодобывающего управления (НГДУ) за один выезд флота ГРП. Благодаря проведению ГРП одновременно на двух скважинах транспортные затраты снизятся в два раза, в результате чего будет достигнут дополнительный экономический эффект.

Существует риск неготовности двух скважин подряд к проведению ГРП из-за возможности непредвиденной дополнительной работы при проведении подготовительно-заключительных работ. Возможны простои в работе скважин, вследствие чего происходит потеря добычи нефти и компания теряет прибыль. Для снижения риска возникновения простоев следует проводить подготовку и других скважин из числа тех, по которым не наблюдается потерь нефти и простоев которых в ожидании флота ГРП не приведут к значительному экономическому ущербу. Из этого следует вывод о том, что особое внимание следует уделить своевременной подготовке скважин для проведения ГРП.

Таким образом, за счет рационального использования техники частично снижается себестоимость мероприятия. Однако при планировании МГРП необходим комплексный подход, сочетающий современные инженерные изыскания и эффективные методы распределения ресурсов.

Для достижения желаемого эффекта от проведения ГРП необходимо оптимально использовать материалы. Наибольшего прироста добычи позволит достичь правильно подобранный дизайн МГРП (расположение портов, ориентация трещин, число стадий, стратегия перфорирования). Важную роль в планировании мероприятия играет разработка инноваций, повышающих как технологическую эффективность, так и снижающих стоимость проведения операций.

Работа [10] посвящена изучению эффективности технологии кластерного ГРП HiWAY, испытанной на Южно-Приобском месторождении.

Концепция кластерного ГРП предполагает создание высокопроводящих каналов внутри итоговой трещины, благодаря которым достигается значительно более высокая ее проводимость в сравнении со стандартным ГРП. Образование таких каналов происходит посредством особой техники закачки смеси ГРП, при которой чередуются кластеры насыщенного пропантом раствора и чистый раствор. При этом производится расчет количества и устойчивости открытых каналов, основанный на геомеханической модели скважины и расписании закачки. Таким образом, расписание закачки должно подбираться так, чтобы трещины не смыкались в промежутках отсутствия пропанта.

Основное преимущество технологии заключается в значительном снижении затрат на ГРП. Именно за счет кластеров чистого раствора достигается снижение необходимого количества пропанта на 45% по сравнению с обычным ГРП, а также заметно сокращается количество жидкости и время на проведение МГРП. Проведенные испытания на скважинах Южно-Приобского месторождения позволили заключить, что технология кластерного ГРП HiWAY не уступает по продуктивности, а в некоторых случаях имеет более высокую продуктивность по сравнению со стандартным гидроразрывом. При использовании волоконно-армированного пропанта в данной технологии достигается меньшее осаждение пропанта в трещине, происходит более равномерное его распределение, что делает трещину более устойчивой.

Заключение

Проведенное исследование показывает, что необходимо искать более эффективные технологии МГРП. Неотъемлемой частью планирования МГРП является поиск путей оптимизации использования ресурсов и сокращения себестоимости проведения мероприятия. Наилучшим решением является поиск нестандартных способов проведения МГРП, обеспечивающих эффективное извлечение нефти и рациональное использование ресурсов. Наиболее эффективным комплексом мероприятий с технологической и экономической точек зрения является проведение МГРП по кластерной технологии HiWAY. Включение в программу МГРП мероприятий по минимизации рисков делает технологию еще более выгодной, имеющей большое практическое значение для нефтяных компаний.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Антипова О. В. Управление затратами при организации работ по гидравлическому разрыву пласта в нефтедобыче / О. В. Антипова, А. Д. Прохорова // *Фундаментальные исследования*. – 2018. – № 5. – С. 30-34.
2. Бархатов Э. А. Эффективность применения многозонного гидроразрыва пласта в горизонтальных скважинах / Э. А. Бархатов, Н. Р. Яркеева // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2017. – Т. 328. № 10. – С. 50–58.
3. Бобков Д. О. Проблемы, возникающие при проведении ГРП, и возможности их решения [Электронный ресурс] / Д. О. Бобков // *Современные научные исследования и инновации*. – 2017. – № 7. – URL: <https://web.snauka.ru/issues/2017/07/84111> (дата обращения: 06.05.2021).
4. Зорина С. Работа на разрыв. ГРП — вчера, сегодня, завтра / С. Зорина, К. Николаев // *Сибирская нефть*. – 2015. – № 10/127. – С. 26–33.
5. Листик А. Р. Выбор лучших технологических решений для повышения эффективности применения горизонтальных скважин с многостадийным гидроразрывом пласта на Приобском месторождении / А. Р. Листик // *Нефтяное хозяйство*. – 2017. – № 1130.
6. Прокопьев-Ротермил А. А. Анализ геолого-технических мероприятий, проводимых на Восточно-Мессояхском месторождении / А. А. Прокопьев-Ротермил // *Научно-практический журнал «Энигма»*. – 2020. – № 27. – С. 124.
7. Буренина И. В. Совершенствование методического подхода к планированию мероприятий по гидроразрыву пласта на нефтяных месторождениях / И. В. Буренина, Л. А. Авдеева, И. А. Соловьева и др. // *Записки Горного института*. – 2019. – Т. 237. – С. 344-353.
8. Технологии добычи нефти и газа [Электронный ресурс]. «Газпром нефть». – URL: <https://www.gazprom-neft.ru/technologies/production/> (дата обращения: 05.04.2021).
9. Шупик Н. В. Повышение эффективности площадных систем заводнения низкопроницаемых пластов Западной Сибири : дис. ... канд. техн. наук : 25.00.17 : защищена 15.07.2017 : утв. 15.10.2017 / Шупик Наталья Владиславовна. – М., 2017. – С. 13.
10. Юдин А. Кластерный ГРП в горизонтальных скважинах. Первое в России массовое применение новой технологии / А. Юдин // *Oil&Gas Journal Russia*. – 2018. – С. 48-53.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Antipova O. V. Upravlenie zatratami pri organizacii rabot po gidravlicheskomu razryvu plasta v nefte dobyche [Cost management in the organization of hydraulic fracturing operations in oil production] / O. V. Antipova, A. D. Prohorova // *Fundamental'nye issledovaniya [Basic research]*. – 2018. – № 5. – P. 30-34. [in Russian]
2. Barhatov Je. A. Jefferktivnost' primenenija mnogozonogo gidrorazryva plasta v gorizont'al'nyh skvazhinah [Efficiency of multi-zone hydraulic fracturing in horizontal wells] / Je. A. Barhatov, N. R. Jarkeeva // *Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov [Proceedings of the Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering]*. – 2017. – V. 328. № 10. – P. 50–58. [in Russian]
3. Bobkov D. O. Problemy, vznikajushhie pri provedenii GRP, i vozmozhnosti ih reshenija [Problems that arise during hydraulic fracturing, and the possibilities of their solution] [Electronic resource] / D. O. Bobkov // *Sovremennye nauchnye*

issledovaniya i innovacii [Modern scientific research and innovation]. – 2017. – № 7. – URL: <https://web.snauka.ru/issues/2017/07/84111> (accessed: 06.05.2021). [in Russian]

4. Zorina S. Rabota na razryv. GRP — vchera, segodnja, zavtra [Work on the gap. Hydraulic fracturing — yesterday, today, tomorrow] / S. Zorina, K. Nikolaev // *Sibirskaja neft'* [Siberian oil]. – 2015. – № 10/127. – P. 26–33. [in Russian]

5. Listik A. R. Vybór luchshih tehnologicheskikh reshenij dlja povyshenija jeffektivnosti primeneniya gorizontaľnyh skvazhin s mnogostadijnym gidrorazryvom plasta na Priobskom mestorozhdenii [Selection of the best technological solutions for improving the efficiency of horizontal wells with multi-stage hydraulic fracturing at the Priobskoye field] / A. R. Listik // *Neftjanoe hozjajstvo* [Oil industry]. – 2017. – № 1130. [in Russian]

6. Prokop'ev-Rotermil' A. A. Analiz geologo-tehnicheskikh meroprijatij, provodimyh na Vostochno-Messojajskom mestorozhdenii [Analysis of geological and technical measures carried out at the Vostochno-Messoyakhskoye field] / A. A. Prokop'ev-Rotermil' // *Nauchno-prakticheskij zhurnal «Enigma»* [Scientific and practical magazine «Enigma»]. – 2020. – № 27. – P. 124. [in Russian]

7. Burenina I. V. Sovershenstvovanie metodicheskogo podhoda k planirovaniyu meroprijatij po gidrorazryvu plasta na neftjanyh mestorozhdenijah [Improving the methodological approach to the planning of hydraulic fracturing activities in oil fields] / I. V. Burenina, L. A. Avdeeva, I. A. Solov'eva et al. // *Zapiski Gornogo instituta* [Notes of the Mining Institute]. – 2019. – V. 237. – P. 344-353. [in Russian]

8. Tehnologii dobychi nefti i gaza [Oil and gas production technologies] [Electronic resource]. «Gazprom neft'». – URL: <https://www.gazprom-neft.ru/technologies/production/> (accessed: 05.04.2021). [in Russian]

9. Shupik N. V. Povyshenie jeffektivnosti ploshhadnyh sistem zavodneniya nizkopronicaemyh plastov Zapadnoj Sibiri [Improving the efficiency of areal flooding systems in low-permeable reservoirs in Western Siberia] : dis. ... of PhD in Engineering : 25.00.17 : defense of the thesis 15.07.2017 : approved 15.10.2017 / Shupik Natal'ja Vladislavovna. – M., 2017. – P. 13. [in Russian]

10. Judin A. Klasternyj GRP v gorizontaľnyh skvazhinah. Pervoe v Rossii massovoe primenenie novoj tehnologii [Cluster hydraulic fracturing in horizontal wells. The first mass application of the new technology in Russia] / A. Judin // *Oil&Gas Journal Russia*. – 2018. – P. 48-53. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.109.7.017>**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ БЕЛКОВЫХ ЖЕЛИРОВАННЫХ ДЕСЕРТОВ
ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПИТАНИЯ**

Научная статья

Скрипко О.В.*

ORCID: 0000-0003-3317-5934,

Амурский государственный университет, Благовещенск, Россия

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

Аннотация

Одним из перспективных объектов для обогащения химического состава и придания свойств функционального продукта питания являются железированные десерты. В статье исследована возможность получения железированных десертов на соевой основе с использованием фруктовых соков, подсластителя и структурообразователя. Включение в рецептуру этих компонентов позволяет получать десерты, обогащенные растительными белками, жирами, углеводами, минеральными веществами и витаминами (β-каротином, витаминами С и Е). Приготовленные по разработанной технологии и рецептурам белковые железированные десерты получили высокую оценку по органолептическим показателям, они имеют приятный внешний вид и цвет, прочную желеобразную консистенцию, легкий фруктовый аромат, в меру выраженный натуральный сладкий вкус и приятное послевкусие.

Ключевые слова: соевая суспензия, фруктовые соки, агар-агар, сукралоза, рецептура, технология.

DEVELOPMENT OF THE TECHNOLOGY OF PROTEIN GELLED DESSERTS FOR FUNCTIONAL NUTRITION

Research article

Skripko O.V.*

ORCID: 0000-0003-3317-5934,

Amur State University, Blagoveshchensk, Russia

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

Abstract

One of the promising objects for enriching the chemical composition with the properties of a functional food product is gelled desserts. The current article examines the possibility of obtaining soy-based gelled desserts using fruit juices, sweetener, and gelling agents. The inclusion of these components in the recipe allows for obtaining desserts enriched with vegetable proteins, fats, carbohydrates, minerals and vitamins (beta-carotene, vitamins C and E). The gelled desserts prepared according to the developed technology and recipes, protein have high organoleptic characteristics, a pleasant appearance and color, a strong jelly-like consistency, a light fruity aroma, a moderately pronounced natural sweet taste and a pleasant aftertaste.

Keywords: soy suspension, fruit juices, agar-agar, sucralose, formulation, technology.

Введение

Сладкие блюда всегда пользовались спросом потребителей, в силу своих вкусовых характеристик. Большую ассортиментную группу сладких блюд представляют железированные блюда, к которым относятся кисели, желе, муссы, самбуки и кремы. Такие блюда в остывшем виде имеют стойкую желеобразную, нежную консистенцию и приятный вкус [1], [2], [3], [4]. Для приготовления железированных десертов применяют железирующие вещества – желатин или агар. Возможность создания полезных и доступных железированных десертов заключается в использовании полноценного сырья и введении в состав безопасных пищевых добавок [5].

Высококачественным сырьем, содержащим в своем составе ценные белковые вещества, с практически полноценным аминокислотным составом, значительное количество жира с высококачественным составом жирных кислот, углеводы, в том числе диетическую клетчатку, большое количество минеральных веществ и витамины – является соевое зерно [6], [7].

Используя соевое зерно, фруктовые соки, как источник витаминов и минеральных веществ, сахарозаменитель и железирующее вещество, можно получить высококачественные белковые железированные десерты для функционального питания.

Методы и принципы исследования

Объектами исследований являлись: соевое зерно сорта амурской селекции Кружевница (ГОСТ 17109, ТР ТС 015/2011), фруктовые соки без сахара – апельсиновый, ананасовый, гранатовый торговой марки «Сады Придонья Exclusive» (Россия), соответствующие требованиям ГОСТ Р 51398, пищевая добавка Е 955 – подсластитель сукралоза (ГОСТ Р 53904), пищевая добавка Е 406 – структурообразователь агар-агар Grasar (производство ООО «БАРГУС продакшн», Россия), а также железированные десерты, приготовленные с их использованием. Физико-химические и органолептические показатели исследовали по стандартным методикам: ГОСТ 55462, ГОСТ 34551, ГОСТ 31902, ГОСТ 55624, ГОСТ 24556, ГОСТ Р 54634, ГОСТ Р 54058.

Основные результаты

В процессе экспериментальных исследований в качестве основного компонента рецептуры железированных десертов взята соевая белковая суспензия – соевое «молоко», которую получали следующим образом. Соевое зерно замачивали в воде для набухания, затем мыли и готовили из него суспензию путем измельчения в воде с нагреванием, фильтрования для отделения нерастворимых веществ [7], [8].

Для приготовления десерта в приготовленную соевую суспензию вносили фруктовые соки по трем вариантам:

- 1 – сок апельсиновый;
- 2 – сок ананасовый;
- 3 – сок гранатовый.

Наличие в соках органических кислот приводит к сворачиванию (коагуляции) белковых веществ в соевой белковой суспензии, образуются хлопьевидные частицы, которые агломерируются и образуют плотный осадок – соево-фруктовый сгусток. Полученный сгусток отделяли от сыворотки самопрессованием, доводя его до влажности 45-50 % [9]. Полученные соево-фруктовые сгустки характеризуются высокими органолептическими показателями, имеют присущий фруктовым сокам вкус, цвет и аромат [8], [10].

Для придания сладкого вкуса, характерного для десертных блюд в рецептуру разрабатываемых продуктов вводили подсластитель – сукралозу (Е 955). Сукралоза является безопасной пищевой добавкой, выделенной из сахара и обладающей высокой степенью растворимости, а также приятной сладостью. Подсластитель сукралоза не оказывает влияния на углеводный обмен и выработку инсулина, рекомендован для включения в состав диетических пищевых продуктов и напитков [11].

Формирование желеобразной консистенции достигали внесением в состав смеси структурообразователя - агара (Е 406) [5]. Пищевая добавка агар-агар Grasar состоит из агара, который выделяют из водорослей *Gracilaria* экстрагированием, и нормализуют путем добавления мальтодекстрозы. Для приготовления железированных десертов порошок агар-агара замачивали в воде в течение 15 минут, затем добавляли к соево-фруктовым сгусткам с сукралозой, нагревали до кипения до полного растворения агара. Полученную смесь разливали в формы и охлаждали сначала при комнатной температуре, затем в холодильнике в течение 2-3 часов до получения желеобразной структуры. Готовые десерты вынимали из форм и подавали на дегустацию.

Основная задача экспериментальных исследований заключалась в разработке рецептуры железированных десертов. При составлении рецептуры руководствовались принципами формирования привычных органолептических характеристик (внешнего вида, консистенции, вкуса, цвета и запаха) в готовом изделии. По результатам исследований разработаны 3 модельные рецептуры (таблица 1).

Таблица 1 – Рецептуры белковых железированных десертов

Наименование ингредиентов	Количество, г на 1000 г		
соевая белковая суспензия			
Соевое зерно (замоченное)	115,0	115,0	115,0
Вода	885,0	885,0	885,0
Итого	1000,0	1000,0	1000,0
соево-фруктовый сгусток			
Соевая белковая суспензия	640,0	630,0	620,0
Сок апельсиновый	360,0	-	-
Сок ананасовый	-	370,0	-
Сок гранатовый	-	-	380,0
Итого	1000,0	1000,0	1000,0
белковый железированный десерт			
Соево-фруктовый сгусток	986,4	986,4	986,4
Сукралоза	1,6	1,6	1,6
Агар-агар	12,0	12,0	12,0
Итого	1000,0	1000,0	1000,0

После приготовления по разработанным рецептурам, десерты оценивали по органолептическим и физико-химическим показателям. Органолептическую оценку проводили по основным показателям - это внешний вид, консистенция, запах, цвет и вкус профильным методом по пятибалльной шкале, результаты показаны на рисунке 1.

По внешнему виду железированные десерты представляют собой однородную железированную непрозрачную массу. Консистенция характеризуется как прочная желеобразная, без отслаивания жидкости. Цвет для соево-гранатового десерта – светло-розовый, соево-ананасового – желтый, а соево-апельсинового – яркий желтый с оранжевым оттенком. Запах натуральный, свойственный входящим в состав сокам, без бобового, травянистого и других посторонних запахов, с легким фруктовым ароматом. Вкус натуральный, выраженный, гармоничный, характерный вкусу фруктовых соков, в меру сладкий с легкой кислинкой, без посторонних привкусов, с приятным послевкусием.



Рис.1 – Профилограмма органолептических показателей белковых желированных десертов

Полученные по разработанной технологии желированные десерты характеризуются наличием в их составе белков, жиров, углеводов, минеральных веществ и других физиологически функциональных ингредиентов (таблица 2).

Оценка физико-химических показателей качества белковых желированных десертов, полученных по разработанной технологии и рецептурам, свидетельствует об их высокой пищевой ценности и наличии в их составе физиологически функциональных ингредиентов, что позволяет использовать десерты в функциональном питании.

Таблица 2 – Физико-химические показатели и пищевая ценность белковых желированных десертов

Наименование показателя	Наименование десерта		
	соево-ананасовый	соево-апельсиновый	соево-гранатовый
Массовая доля сухих веществ, %	50,0±2,0		
Массовая доля белка, %	8,5±0,5		
Массовая доля жира, %	4,5±0,2		
Массовая доля углеводов, %	28,0±1,5		
Массовая доля минеральных веществ, %	5,0±0,3		
Кислотность, рН, не более	4,0		
Физиологически функциональные нутриенты, в том числе β-каротин, мг/100 г	0,9±0,02	9,0±0,3	0,05±0,002
витамин С, мг/100 г	3,0±0,1	15,0±0,9	1,5±0,09
витамин Е, мг/100 г	3,4±0,2	3,5±0,2	3,7±0,2
Энергетическая ценность, ккал/100 г	195,0±5,0		

Заключение

Таким образом, нами разработана технология и рецептуры новых видов желированных десертов, обогащенных растительными белками, жирами, углеводами, витаминами и минеральными веществами, не содержащих сахара и продуктов животного происхождения, пригодных для функционального питания.

Учитывая высокую пищевую ценность новых видов желированных десертов их можно отнести к продуктам здорового питания, а принимая во внимание существенный интерес потребителей к сладким блюдам в виде желе, можно рекомендовать полученные продукты для сохранения здоровья населения.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Габриелян Д.С. Желированные десертные продукты с использованием фракционных компонентов творожной сыворотки / Д.С. Габриелян, В.А. Грунская // Молочнохозяйственный вестник. 2020. № 2(38). С. 156-168.
2. Рыбалова Т. Молочные десерты: вкусно и полезно / Т. Рыбалова // Молочная река. 2019. № 3(75). С. 12-15.
3. Траксова Н. Использование лимонного сока при производстве желе из сыворотки / Н. Траксова, Т.П. Гринькина // Успехи современного естествознания. 2011. № 7. С. 219-220.
4. Курбанова М.Г. Биотехнологические аспекты использования белков пахты для производства взбитых продуктов / М.Г. Курбанова // Вестник КрасГАУ. 2009. № 8(35). С. 138-141.

5. Мацейчик И.В. Разработка технологии и рецептур желированных масс функционального назначения / И.В. Мацейчик, И.О. Ломовский, С.М. Корпачева // Вестник КрасГАУ. 2014. № 7. С. 190-195.
6. Литвиненко О.В. Оценка биохимического состава соевого зерна в сравнительно-сортовом аспекте / О.В. Литвиненко, Е.С. Стаценко, Н.Ю. Корнева и др. // Вестник КрасГАУ. 2020. № 10(163). С. 51-59.
7. Павлов В.П. Технология и рецептуры молочно-растительных продуктов функционального питания и биотехнология их получения / В.П. Павлов, С.М. Доценко, О.В. Скрипко // Вестник КрасГАУ. 2009. № 10(37). С. 141-144.
8. Skripko O.V. Entwicklung der technologie für Süße mayonnaise-saucen / O.V. Skripko, N.L. Bogdanov // Проблемы научной мысли. 2019. № 3. Vol. 12. С. 76-78.
9. Skripko O.V. Development of Functional Food Technology for Food Security in the Regional Aspect / O.V. Skripko, N.S. Bodrug // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 666 (2) 022041. 2021. DOI: 10.1088/1755-1315/666/2/022041.
10. Skripko O.V. Biotechnological aspects of obtaining coagulation structures for functional foods / O.V. Skripko, S.A. Kostyukina // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 421 032006. 2020. DOI:10.1088/1755-1315/421/3/032006.
11. Баранов Б.А. Алгоритм использования сахарозаменителя сукралозы при разработке функциональных напитков / Б.А. Баранов, Е.В. Дырева, Д.И. Шишкина // Проблемы современной науки и образования. 2017. № 15 (97). С. 18-22.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Gabrieljan D.S. Zhelirovannye desertnye produkty s ispol'zovaniem frakcionnykh komponentov tvorozhnoj syvorotki [Gelatinized dessert products using fractional components of curd whey] / D.S. Gabrieljan, V.A. Grunskaja // Molochnohozajstvennyj vestnik [Dairy Bulletin]. 2020. № 2(38). pp. 156-168. [in Russian]
2. Rybalova T. Molochnye deserty: vkusno i polezno [Milk desserts: tasty and healthy] / T. Rybalova // Molochnaja reka [Milk river]. 2019. № 3(75). pp. 12-15. [in Russian]
3. Traksova N. Ispol'zovanie limonnogo soka pri proizvodstve zhele iz syvorotki [Use of lemon juice in the production of jelly from whey] / N. Traksova, T.P. Grin'kina // Uspehi sovremennogo estest-voznaniya [Success of modern natural knowledge]. 2011. № 7. pp. 219-220. [in Russian]
4. Kurbanova M.G. Biotehnologicheskie aspekty ispol'zovaniya belkov pahty dlja proizvodstva vzbitykh produktov [Biotechnological aspects of using buttermilk proteins for the production of whipped products] / M.G. Kurbanova // Vestnik KrasGAU [Bulletin of KrasGAU]. 2009. № 8(35). pp. 138-141. [in Russian]
5. Macejchik I.V. Razrabotka tehnologii i receptur zhelirovannykh mass funkcional'nogo naznachenija [Development of technology and formulations of functional gelled masses] / I.V. Macejchik, I.O. Lomovskij, S.M. Korpacheva // Vestnik KrasGAU [Bulletin of KrasGAU]. 2014. № 7. pp. 190-195. [in Russian]
6. Litvinenko O.V. Ocenka biohimicheskogo sostava soevogo zerna v sravnitel'no-sortovom aspekte [Evaluation of the biochemical composition of soybean grain in a comparative-varietal aspect] / O.V. Litvinenko, E.S. Stacenko, N.Ju. Korneva i dr. // Vestnik KrasGAU [Bulletin of KrasGAU]. 2020. № 10(163). pp. 51-59. [in Russian]
7. Pavlov V.P. Tehnologija i receptury molochno-rastitel'nyh pro-duktov funkcional'nogo pitaniya i biotehnologija ih poluchenija [Technology and formulations of dairy and vegetable products of functional nutrition and biotechnology of their production] / V.P. Pavlov, S.M. Docenko, O.V. Skripko // Vestnik KrasGAU [Bulletin of KrasGAU]. 2009. № 10(37). pp. 141-144. [in Russian]
8. Skripko O.V. Entwicklung der technologie für Süße mayonnaise-saucen [Development of technology for Sweet mayonnaise sauces] / O.V. Skripko, N.L. Bogdanov // Problemy nauchnoj mysli [Problems of scientific thought]. 2019. № 3. Vol. 12. pp. 76-78. [in German]
9. Skripko O.V. Development of Functional Food Technology for Food Security in the Regional Aspect / O.V. Skripko, N.S. Bodrug // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 666 (2) 022041. 2021. DOI: 10.1088/1755-1315/666/2/022041.
10. Skripko O.V. Biotechnological aspects of obtaining coagulation structures for functional foods / O.V. Skripko, S.A. Kostyukina // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 421 032006. 2020. DOI:10.1088/1755-1315/421/3/032006.
11. Baranov B.A. Algoritm ispol'zovaniya saharozamenitelja sukralozy pri razrabotke funkcional'nyh napitkov [Algorithm for using the sugar substitute sucralose in the development of functional drinks] / B.A. Baranov, E.V. Dyriva, D.I. Shishkina // Problemy sovremennoj nauki i obrazovaniya [Problems of modern science and education]. 2017. № 15 (97). pp. 18-22. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.109.7.018>**ВЛИЯНИЕ ФЕРМЕНТНЫХ ПРЕПАРАТОВ НА КАЧЕСТВО ФОРМОВОГО ХЛЕБА, ПРИГОТОВЛЕННОГО ИЗ ПШЕНИЧНО-ТРИТИКАЛЕВОЙ МУКИ В СООТНОШЕНИИ 50:50**

Научная статья

Юдина Т.А.¹, Зиякаева, А.Р.², Кандроков Р.Х.^{3,*}³ ORCID: 0000-0003-2003-2918;^{1, 2, 3} Московский Государственный Университет пищевых производств, Москва, Россия

* Корреспондирующий автор (nart132007[at]mail.ru)

Аннотация

Представлены результаты исследования влияния ферментных препаратов на качество формового хлеба, приготовленного из пшенично-тритикалевой муки в соотношении 50:50.

По результатам проведенных исследований установлено, установлена высокая эффективность корректировки для улучшения хлебопекарных свойств пшеничной муки из смеси пшеничной и тритикалевой муки в соотношении 50:50 ферментными препаратами. Внесение ксиланазы (препарат Глюзим Фортис) позволяет модифицировать некрахмальные полисахариды второго порядка – нерастворимые арабиноксиланы в растворимые арабиноксиланы, что способствует формированию улучшенной структуры клейковины, повышению ее газодерживающей способности, улучшению объема хлеба и его пористости.

Внесение липазы (препарат Липопан Экстра БГ) приводит к повышению эмульгирующей способности собственных липидов пшенично-тритикалевой муки, что упрочняет газовые пузырьки и предотвращает их коалесценцию, увеличивает стабильность теста. Внесение глюкозооксидазы (препарат Пентопан 500 БГ) способствует формированию природным путем пероксида водорода, увеличивающего количество дисульфидных связей в клейковинном каркасе, что укрепляет клейковину и свойства теста, увеличивает стабильность теста, объем хлеба и пористость.

Ключевые слова: пшенично-тритикалевая мука, ферментные препараты, брожение теста, выпечка, хлеб, качество.

THE EFFECT OF ENZYME AGENTS ON THE QUALITY OF PANNED LOAF MADE FROM 50:50 WHEAT-TRITICALE FLOUR

Research article

Yudina T.A.¹, Ziyakaeva, A.R.², Kandrov R.Kh.^{3,*}³ ORCID: 0000-0003-2003-2918;^{1, 2, 3} Moscow State University of Food Production, Moscow, Russia

* Corresponding author (nart132007[at]mail.ru)

Abstract

The article presents the results of a study of the effect of enzyme agents on the quality of panned bread loaf made from wheat-triticale flour in a ratio of 50:50.

According to the results of the conducted study, the article finds the enzyme agent correction of wheat flour via a 50:50 mixture of wheat and triticale flour for improving its baking properties highly efficient. The introduction of xylanase (Glusim Fortis) allows for modifying non-starch polysaccharides of the second-order – insoluble arabinoxylans into soluble arabinoxylans, which contributes to the formation of an improved gluten structure, increasing its gas-retaining ability, improving the volume of bread and its porosity.

The introduction of lipase (Lipopan Extra BG) leads to an increase in the emulsifying ability of the lipids of wheat-triticale flour, which strengthens the gas bubbles and prevents their coalescence, increases the stability of the dough. The introduction of glucose oxidase (Pentopan 500 BG) promotes the formation of hydrogen peroxide by natural means, which increases the number of disulfide bonds in the gluten framework, which strengthens the gluten and the properties of the dough, increases the stability of the dough, the volume of the bread and its porosity.

Keywords: wheat-triticale flour, enzyme agent, dough fermentation, baking, bread, quality.

Введение

Продукты питания являются источником природных компонентов пищи, обладающих не только пищевой ценностью и вкусовыми свойствами, но и способностью регулировать разнообразные функции и реакции организма, а это является важнейшим фактором сохранения, улучшения здоровья и снижения риска возникновения заболеваний.

Хлебобулочные изделия – одни из основных продуктов питания, содержащих белки, углеводы, липиды, витамины, минеральные вещества и пищевые волокна, которые так необходимы для нормальной жизнедеятельности человека [1].

Хлеб и хлебобулочные изделия характеризуются высокой энергетической ценностью, хорошей усвояемостью и перевариваемостью, они приятны на вкус, значительно дешевле большинства других продуктов массового потребления. Поэтому каждый производитель в хлебопекарной промышленности старается привлечь покупателя качеством, вкусовыми свойствами, а главное определенным отличием собственного товара от товаров других производителей [2].

На сегодняшний день данная тема достаточно актуальна, а один из способов, способствующих решению данной задачи является применение ферментных препаратов различного принципа действия. Благодаря этому методу могут решаться сложные технологические, экономические задачи, такие как: корректировка нестабильного качества основного сырья; увеличение ассортимента продукции, разработка новых видов изделий, которые будут отвечать предъявляемым требованиям; усовершенствование технологии производства хлебобулочных изделий с применением

традиционного и нетрадиционного вида сырья; повышение прибыльности производства; создание конкурентоспособной продукции; повышение пищевой и биологической ценности, а также улучшение органолептических и физико-химических показателей [3], [6], [12].

Использование данных препаратов при решении вышеперечисленных задач помогает: усовершенствовать технологический процесс с помощью внедрения ускоренных технологий приготовления хлеба; получать заданные реологические свойства теста; улучшать органолептические и физико-химические показатели и стабилизировать качество хлебобулочных изделий с использованием различных видов сырья; замедлять процесс черствения и увеличить сроки хранения готовой продукции.

Таким образом, производители хлебобулочных изделий заинтересованы в новых разработках, которые будут внедрены на производстве для получения готовой продукции, соответствующей предъявляемым требованиям [13].

На данный момент разрабатываются инновационные улучшители, контролирующие процесс приготовления хлебобулочных изделий отличного качества. Производители ингредиентов постоянно совершенствуются и выпускают высококачественные ферментные препараты, которые успешно используются в хлебопекарной промышленности. Добавление всевозможных улучшителей в полуфабрикаты позволяют улучшать рецептуры, использовать новые технологии и помогают в поиске эффективного решения различных задач.

В связи с этим, целью наших исследований является определение влияния ферментных препаратов на качество формового хлеба, приготовленного из пшенично-тритикалевой муки в соотношении 50:50.

Материалы и методы исследования

В данной работе использовались общепринятые органолептические и физико-химические методы определения свойств сырья. В лаборатории кафедры «Зерна, хлебопекарных и кондитерских технологий» у исходной пшенично-тритикалевой муки в соотношении 50:50, определили следующие показатели качества: показатель белизны (ед. пр.), влажность, кислотность; количество и качество сырой клейковины и автолитическую активность муки по числу падения (ЧП).

Показатель белизны определяли на белизнометре СКИБ-М. «Силу» муки определяли по содержанию и качеству клейковины. Содержание в муке сырой клейковины определяли по ГОСТ 27839-2013, путем отмывания клейковины водой из теста. Количество отмывой и отжатой клейковины выражали в процентах к массе муки. Реологические свойства клейковины можно оценить с помощью ее способности оказывать сопротивление деформирующей нагрузке сжатия на специальном приборе ИДК-1. Кислотность муки определяли согласно ГОСТ 27493-87, выражая в градусах Цельсия. Способ проведения анализа приведена в методическом руководстве. Массовую долю влаги муки определяли по ГОСТ 9404-88, выражая в процентах к массе муки.

Дрожжи прессованные анализировали по времени подъема теста по ГОСТ 171-81. Качество используемых ферментных препаратов в работе оценивали по соответствующим спецификациям (картам продукта), представленных производителем.

Поваренную соль, воду питьевую и масло растительное оценивали по органолептическим показателям в соответствии с ГОСТ на каждый товар.

Приготовление теста из пшенично-тритикалевой муки осуществляли однофазным способом с брожением в течение 90 минут.

Для изучения влияния ферментных препаратов Глюзим Фортис, Липопан Экстра БГ и Пентопан 500 БГ на качество формового хлеба из пшенично-тритикалевой муки в соотношениях 50:50 проводили лабораторные выпечки. В качестве контроля использовалась проба хлеба, приготовленного из пшенично-тритикалевой муки без внесения ферментного препарата.

Опытные пробы готовили с внесением ферментных препаратов Глюзим Фортис, Липопан Экстра БГ и Пентопан 500 БГ в рецептуру в количестве 0,001% и 0,003% к массе муки.

Результаты исследования

Для изучения влияния ферментных препаратов различного принципа действия на качество хлеба, приготовленного из пшенично-тритикалевой муки соотношении 50:50 проводили лабораторные выпечки.

Для этого тесто готовили по методике пробной лабораторной выпечки. Ферментные препараты Глюзим Фортис, Липопан Экстра БГ и Пентопан 500 БГ добавляли в количестве 0,001% и 0,003% к массе муки. Контролем служила проба пшенично-тритикалевого хлеба без добавления ферментного препарата.

Проба хлеба анализировали через 16-18 часов после выпечки. Полученные результаты по влиянию ферментных препаратов на свойства теста после замеса и хлебопекарные показатели выпеченных образцов хлеба представлены в таблицах 1-4 и на рисунках 1-2.

Таблица 1 – Влияние ферментных препаратов на свойства теста из пшенично-тритикалевой муки в соотношении 50:50 после замеса

Наименование показателя качества	Органолептическая оценка показателей качества теста с добавлением ферментных препаратов в определенных дозировках						
	Контроль	Глюзим Фортис		Липопан Экстра БГ		Пентопан 500 БГ	
		0,001%	0,003%	0,001%	0,003%	0,001%	0,003%
Растяжимость	5	5,5	6	6	6,5	6	6
Эластичность	5	4,5	4,5	4	4,5	4	4,5
Липкость	5	5,5	6	6	7	6	6,5
Консистенция	5	4,5	4,5	4	4	4	4,5

Таблица 2 – Влияние ферментных препаратов на свойства теста из пшенично-тритикалевой муки в соотношении 50:50 после брожения

Наименование показателя качества	Органолептическая оценка показателей качества теста с добавлением ферментных препаратов в определенных дозировках						
	Контроль	Глюзим Фортис		Липопан Экстра БГ		Пентопан 500 БГ	
		0,001%	0,003%	0,001%	0,003%	0,001%	0,003%
Растяжимость	5	6	6,5	6	7	6,5	6,5
Эластичность	5	4	4	4	4	4	4
Липкость	5	6	6,5	6,5	7	6,5	7
Консистенция	5	4	4	3,5	3,5	4	4

Таблица 3 – Анализ физико-химических показателей формового хлеба

Наименование показателя качества	Значения физико-химических показателей качества формового хлеба с добавлением ферментных препаратов в определенных дозировках						
	Липопан Экстра БГ		Пентопан 500 БГ		Глюзим Фортис		Контроль
	0,001%	0,003%	0,001%	0,003%	0,001%	0,003%	
Влажность, %	39,8	39,8	39,0	40,5	39,8	39,8	40,0
Кислотность, град	1,7	1,8	1,7	1,8	1,8	1,9	1,6
Пористость, %	78	79	79	80	80	83	73
Удельный объем, см ³ /г	3,44	3,67	3,75	3,82	3,43	3,91	3,16
Формоустойчивость, Н/Д	0,41	0,52	0,33	0,45	0,37	0,44	0,31



Рис. 1 – Влияние ферментных препаратов липазы (1-2), ксиланазы (3-4) и глюкозооксидазы (5-6) на внешний вид формового хлеба, приготовленного из пшенично-тритикалевой муки в соотношении 50:50



Рис. 2 – Влияние ферментных препаратов липазы (1-2), ксиланазы (3-4) и глюкозооксидазы (5-6) на структуру мякиша формового хлеба, приготовленного из пшенично-тритикалевой муки в соотношении 50:50

На рисунках 3 и 4 представлены результаты влияния ферментных препаратов на удельный объем и на пористость формовых хлебов, приготовленных из пшенично-тритикалевой муки в соотношении 50:50.

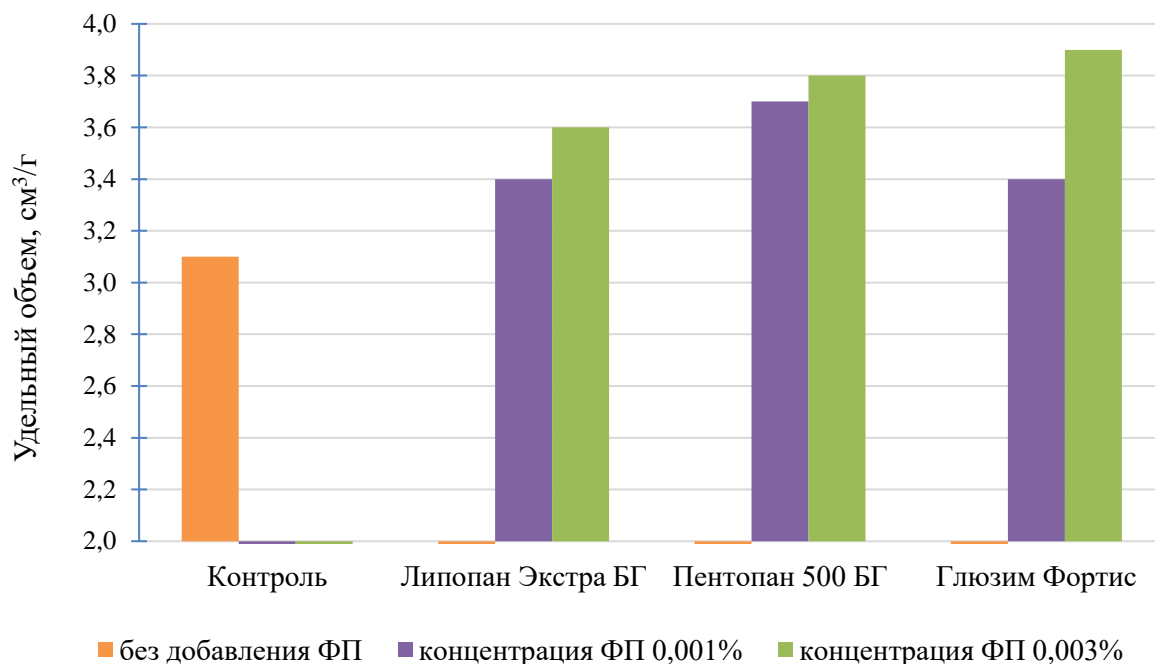


Рис. 3 – Влияние ферментных препаратов на удельный объем готовых изделий, приготовленных из пшенично-тритикалевой муки в соотношении 50:50

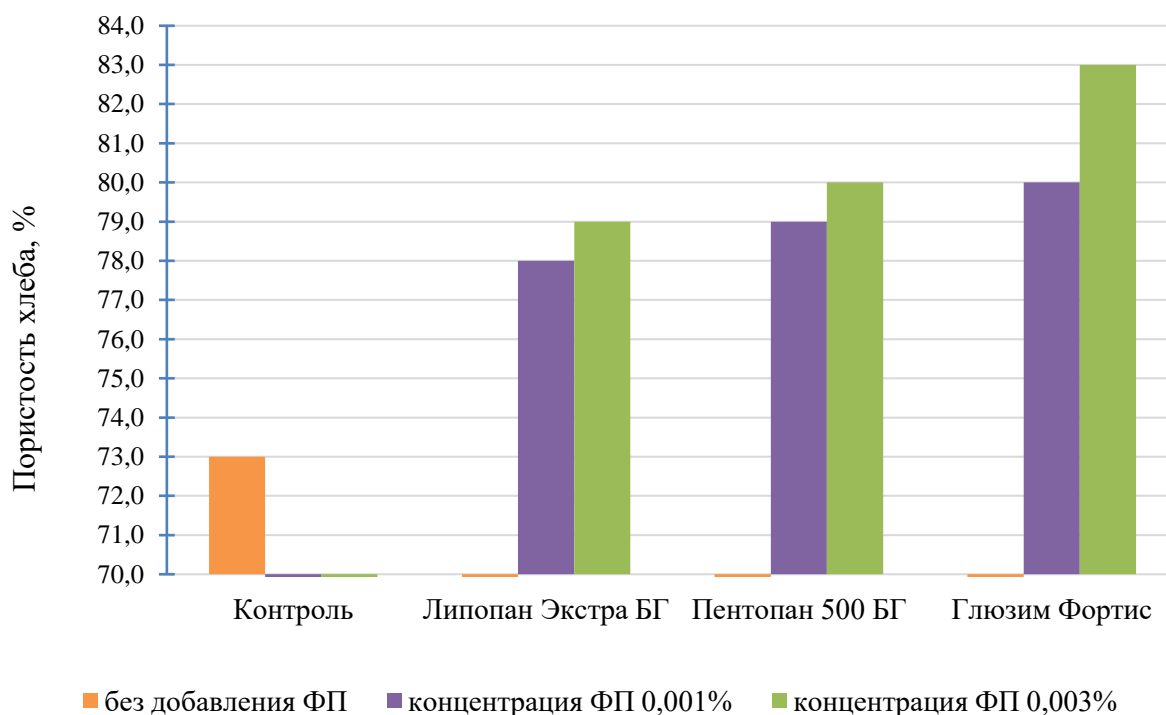


Рис. 4 – Влияние различных ферментных препаратов на пористость формовых хлебов, приготовленных из пшенично-тритикалевой муки в соотношении 50:50

Из данных, представленных в таблице 3 и на рисунках 4-5 видно, что при добавлении ферментных препаратов в количестве 0,001-0,003% качество хлеба улучшалось. Степень этого улучшения зависело от вида ферментного препарата и его дозировки. Так при добавлении ферментных препаратов удельный объем увеличивался на 10-26%, пористость на 7-14% по сравнению с контрольной пробой. Наилучшие показатели качества хлеба получены при добавлении ферментного препарата Глюзим Фортис. В наибольшей степени улучшалось качество изделия при добавления этого ферментного препарата в дозировке 0,003% от массы муки, при этом удельный объем увеличивался на 26%, а пористость на 14%.

На таблице 4 и рисунке 5 представлены органолептическая оценка в баллах показателей качества формовых хлебов, приготовленных из пшенично-тритикалевой муки в соотношении 50:50 с добавлением ферментных препаратов различного действия.

Таблица 4 – Органолептическая оценка в баллах показателей качества хлебобулочных изделий, изготовленных из пшенично-тритикалевой муки в соотношении 50:50 с добавлением ферментных препаратов

Наименование показателя качества	Органолептическая оценка показателей качества хлебобулочных изделий с добавлением ферментных препаратов в определенных дозировках						
	Липопан Экстра БГ		Пентопан 500 БГ		Глюзим Фортис		Контроль
	0,001%	0,003%	0,001%	0,003%	0,001%	0,003%	
Внешний вид	3	3	4	4	4	5	2
Пористость	4	4	3	4	4	5	3
Вкус	4	4	3	4	4	5	3
Аромат	4	4	4	4	4	4	3
Цвет корки	3	4	4	3	4	5	3
Состояние мякиша	3	4	3	4	4	4	2

Из представленных данных таблицы 4 видно, что при сравнении проб хлеба, приготовленных из пшенично-тритикалевой муки в соотношении 50:50 с добавлением ферментных препаратов различного принципа действия, были выявлены изменения органолептических показателей. Контрольный образец имел правильную форму, но ниже по сравнению с другими пробами, без боковых выплывов, поверхность без крупных трещин, надрывов, не совсем гладкая. Цвет изделия - светло-желтый, мякиш пропеченный, немного влажный на ощупь, без следов непромеса. Пористость - неравномерная, вкус и аромат свойственный данному виду изделия, без постороннего запаха и вкуса.

Изделия, приготовленные с добавлением ферментных препаратов, характеризовались улучшенной формой, более ровной поверхностью, с развитой и равномерной пористостью. Цвет изделий - ярко-желтый, что характерно для данного вида изделия, мякиш пропеченный, не влажный на ощупь, без следов непромеса. Вкус был более приятный и запах изделий был более ароматный по сравнению с контрольной пробой.

Полученные результаты подтверждались оценкой органолептических показателей проб хлебобулочных изделий, приготовленных с применением ферментных препаратов различного принципа действия. На основании представленных оценок в таблице 5 были выявлены различия во вкусе и аромате, размере и форме поверхности, размерности и распределении пор, состоянии мякиша и его эластичности.

Экспериментальные данные по влиянию ферментных препаратов представлены на рисунке 5. Наиболее выражены улучшения органолептических характеристик у пробы с добавлением ферментного препарата Глюзим Фортис в дозировке 0,003% от массы муки.

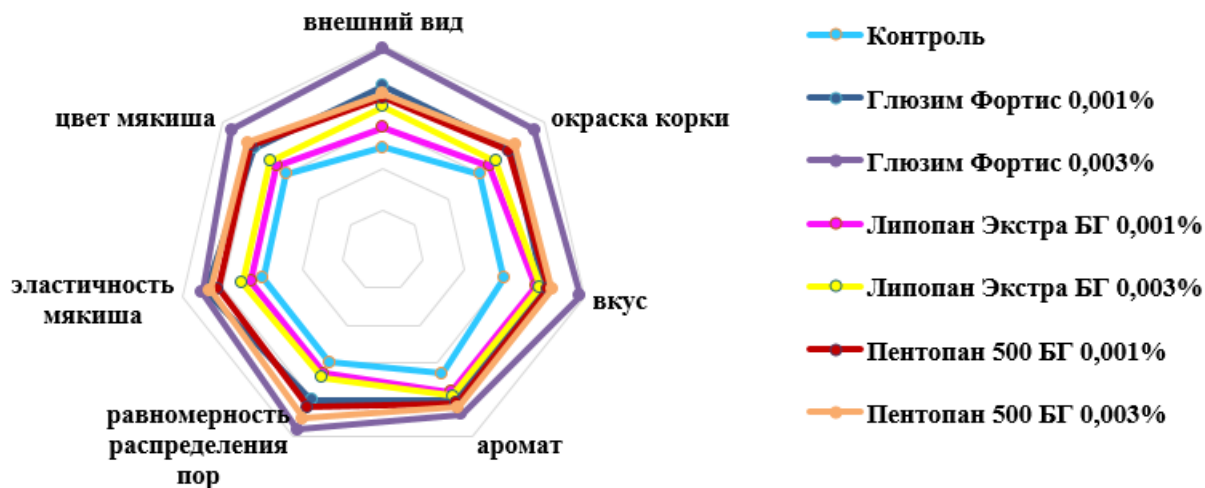


Рис. 5 – Влияние ферментных препаратов на органолептическую оценку изделий, приготовленных из пшенично-тритикалевой муки в соотношении 50:50

Заключение

Таким образом, по результатам проведенных исследований установлена высокая эффективность корректировки для улучшения хлебопекарных свойств пшеничной муки из смеси пшеничной и тритикалевой муки в соотношении 50:50 ферментными препаратами.

Внесение ксиланазы позволяет модифицировать некрахмальные полисахариды второго порядка – нерастворимые арабиноксиланы в растворимые арабиноксиланы, что способствует формированию улучшенной структуры клейковины, повышению ее газоудерживающей способности, улучшению объема хлеба и его пористости.

Внесение липазы приводит к повышению эмульгирующей способности собственных липидов пшенично-тритикалевой муки, что упрочняет газовые пузырьки и предотвращает их коалесценцию, увеличивает стабильность теста.

Внесение глюкозооксидазы способствует формированию природным путем пероксида водорода, увеличивающего количество дисульфидных связей в клейковинном каркасе, что укрепляет клейковину и свойства теста, увеличивает стабильность теста, объем хлеба и пористость.

Благодарности

Авторы выражают благодарность доктору технических наук, профессору, руководителю отдела пищевых продуктов стран ближнего востока компании «Новозаймс» Ирине Викторовне Матвеевой за предоставленные образцы ферментных препаратов.

Acknowledgement

The authors are grateful to Irina Viktorovna Matveeva, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Food Products of the Middle East of Novozymes for the provided samples of enzyme preparations.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Матвеева, И. В. Пищевые добавки и хлебопекарные улучшители в производстве мучных изделий / И. В. Матвеева, И. Г. Белявская // Учебное пособие. – Москва: МГУПП, 2000. – 115 с.
2. Касынкина, О. М. Качество пшеничного хлеба, выпеченного с добавлением муки из тритикале / О. М. Касынкина, Н. С. Орлова, И. Ю. Каневская // Аграрный научный журнал. – 2015. - № 12. – С. 18–20.
3. Кандроков, Р. Х. Разработка эффективной технологической схемы переработки зерна тритикале в сортовую хлебопекарную муку / Кандроков Р. Х., Панкратов Г. Н. // Российская сельскохозяйственная наука. - 2019. - Т. 1, № 1. - С. 62-65. DOI: 10.31857/S2500-26272019162-65.
4. Кандроков, Р. Х. Технологические свойства пшенично-тритикалевой муки / Р. Х. Кандроков // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2019. – Т. 7, № 3. – С. 13–22.
5. Кандроков, Р. Х. Влияние соотношения зерновой смеси пшеницы и тритикале на технологические свойства пшенично-тритикалевой муки / Р. Х. Кандроков, Т. А. Юдина, Н. В. Рубан, С. А. Катин // Российская сельскохозяйственная наука. - 2021. - №1. - С. 63-66. DOI:10.31857/S2500262721010154.
6. Доронин, А. Ф. Функциональное питание / А. Ф. Доронин, Б. А. Шендеров // Москва: Издательство «Гранатъ», 2002. – 296 с.
7. Кандроков, Р. Х. Технология переработки зерна тритикале в крупу типа «манная» / Р. Х. Кандроков, Г. Н. Панкратов // Хлебопродукты. - 2017. - № 1 - С. 52-53.
8. Витол, И. С. Биохимическая характеристика новых сортов тритикалевой муки / И. С. Витол, Е. П. Мелешкина, Р. Х. Кандроков и др. // Хлебопродукты. - 2016. - № 2. - с. 42-44.
9. Грачева, И. М. Технология ферментных препаратов / И. М. Грачёва, А. Ю. Кривова // Учебное пособие. – Москва: Издательство «Элевар», 2012. – 512 с.
10. Мелешкина, Е. П. Технологические и биохимические показатели как составляющие качества муки тритикале / Е. П. Мелешкина, Г. Н. Панкратов, Р. Х. Кандроков и др. // Контроль качества продукции. – 2017. – № 2. – С. 38–44.
11. Туляков, Д. Г. Оценка свойств муки из зерна тритикале с использованием системы Миксолаб / Д. Г. Туляков, Е. П. Мелешкина, И. С. Витол и др. // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2017. – № 1. – С. 20–23.
12. Kandrov R. H. Effective technological scheme for processing triticale grain into high-quality baker's grade flour / R. H. Kandrov, 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.
13. Grabovets A. I. Breeding of triticale for baking purposes / A. I. Grabovets, A. V. Krokhmal, G. F. Dremucheva // Russ. Agric. Sci. – 2013. – № 39. – p. 197–202.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Matveeva, I. V. Pishchevye dobavki i hlebopekarnye uluchshiteli v proizvodstve muchnyh izdelij [Food additives and baking improvers in the production of flour products] / I. V. Matveeva, I. G. Belyavskaya. –Textbook. - Moscow: MGUPP, 2000. - 115 p. [in Russian]
2. Kasynkina, O. M. Kachestvo pshenichnogo hleba, vypechennogo s dobavleniem muki iz tritikale [The quality of wheat bread baked with the addition of flour from triticale] / O. M. Kasynkina, N. S. Orlova, I. Yu. Kanevskaya // Agrarnyj nauchnyj zhurnal [Agrarian scientific journal]. - 2015. - No. 12. - P. 18–20. [in Russian]
3. Kandrov, R. Kh. [Development of an effective technological scheme for processing triticale grain into high-quality bakery flour] / R. Kh. Kandrov, G. N. Pankratov // [Russian agricultural science]. - 2019. - Vol. 1, No. 1. - P. 62-65. DOI: 10.31857 / S2500-26272019162-65. [in Russian]
4. Kandrov, R. Kh. Tekhnologicheskie svojstva pshenichno-tritikalevoj muki [Technological properties of wheat-triticale flour] / R. Kh. Kandrov // Vestnik YUUrGU. Seriya «Pishchevye i biotekhnologii» [Bulletin of SUSU. Food and Biotechnology Series]. - 2019. - Vol. 7, No. 3. - P. 13–22. [in Russian]
5. Kandrov, R. Kh. Vliyanie sootnosheniya zernovoj smesi pshenicy i tritikale na tekhnologicheskie svojstva pshenichno-tritikalevoj muki [Influence of the ratio of the grain mixture of wheat and triticale on the technological properties of wheat-triticale flour] / R. Kh. Kandrov, T. A. Yudina, N. V. Ruban et al. // Rossijskaya sel'skhozoyajstvennaya nauka [Russian agricultural science]. - 2021. - No. 1. - P. 63-66. DOI: 10.31857/S2500262721010154. [in Russian]
6. Doronin, A. F. Funkcional'noe pitanie [Functional nutrition] / A. F. Doronin, B. A. Shenderov. Moscow: Granat Publishing House, 2002. - 296 p. [in Russian]
7. Kandrov, R. Kh. Tekhnologiya pererabotki zerna tritikale v krupu tipa «mannaya» [Technology of processing triticale grain into semolina type cereals] / R. Kh. Kandrov, G. N. Pankratov // Khleboprodukty [Bread products]. - 2017. - No. 1 - P. 52-53. [in Russian]
8. Vitol, I. S. Biohimicheskaya harakteristika novyh sortov tritikalevoj muki [Biochemical characteristics of new varieties of triticale flour] / I. S. Vitol, E. P. Meleshkina, R. Kh. Kandrov et al. // Khleboprodukty [Bread products]. - 2016. - No. 2. - p. 42-44. [in Russian]

9. Gracheva, I. M. Tekhnologiya fermentnykh preparatov [Technology of enzyme preparations] / I. M. Gracheva, A. Yu. Krivova. Textbook. - Moscow: Elevar Publishing House, 2012. - 512 p. [in Russian]
10. Meleshkina, E. P. Tekhnologicheskie i biohimicheskie pokazateli kak sostavlyayushchie kachestva muki tritikale [Technological and biochemical indicators as components of the quality of triticale flour] / E. P. Meleshkina, G. N. Pankratov, R. Kh. Kandrov, I. S. Vitol // Kontrol' kachestva produktsii [Product quality control]. - 2017. - No. 2. - P. 38–44. [in Russian]
11. Tulyakov, D. G. Ocenka svoystv muki iz zerna tritikale s ispol'zovaniem sistemy Miksolab [Evaluation of the properties of flour from triticale grain using the Mixolab system] / D. G. Tulyakov, E. P. Meleshkina, I. S. Vitol et al. // Hranenie i pererabotka sel'hozsyr'ya [Storage and processing of agricultural raw materials]. - 2017. - No. 1. - P. 20–23. [in Russian]
12. Kandrov R. H. Effective technological scheme for processing triticale grain into high-quality baker's grade flour / R. H. Kandrov, 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.
13. Grabovets A. I. Breeding of triticale for baking purposes / A. I. Grabovets, A. V. Krokmal, G. F. Dremucheva // Russ. Agric. Sci. – 2013. – № 39. – p. 197–202.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.109.7.019>**ВОЗМОЖНОСТИ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ АРХИТЕКТУРЫ И ДИЗАЙНА
В ПРОЦЕССЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ**

Научная статья

Анфимова Е.Б.^{1,*}, Новикова Я.В.²¹ ORCID: 0000-0003-4911-5215;² ORCID: 0000-0002-3489-0078;^{1,2} Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, Великий Новгород, Россия

* Корреспондирующий автор (ekaterina.anfimova[at]gmail.com)

Аннотация

Цифровые технологии XXI века активно применяются в формировании архитектурно-пространственной городской среды. Внешний облик городов формируют не только физические объекты, спроектированные с применением цифровых технологий, но и интегрированные в архитектуру и пространство города цифровые информационные ресурсы, интерфейсы, сервисы, виртуальные арт-объекты. Нарастает тенденция рассмотрения этих элементов в качестве важного свойства комфортного современного города.

Цель исследования – выявление и оценка воздействия инновационных цифровых технологий на существующую и проектируемую городскую среду, в том числе в контексте ее духовно-материальной целостности. В качестве методов исследования авторами были использованы: системный анализ и оценка процессов цифровизации в архитектуре и дизайне современных городов. Результаты исследования – определение статуса цифровых технологий в современной архитектуре и дизайне.

Ключевые слова: цифровизация, цифровые технологии в архитектуре и дизайне, DigitalArt, комфортная городская среда.

**ON THE POSSIBILITIES OF DIGITAL TECHNOLOGIES OF ARCHITECTURE AND DESIGN
IN THE PROCESS OF TRANSFORMING AN URBAN ENVIRONMENT**

Research article

Anfimova E.B.^{1,*}, Novikova Ya.V.²¹ ORCID: 0000-0003-4911-5215;² ORCID: 0000-0002-3489-0078;^{1,2} Yaroslav the Wise Novgorod State University, Veliky Novgorod, Russia

* Corresponding author (ekaterina.anfimova[at]gmail.com)

Abstract

Digital technologies of the 21st century are actively used in the formation of the architectural and spatial urban environment. The appearance of cities is formed not only by physical objects designed using digital technologies but also by digital information resources, interfaces, services, and virtual art objects integrated into their architecture and environments. There is a growing tendency to consider these elements important aspects of a comfortable modern cities.

The purpose of the study is to identify and assess the impact of innovative digital technologies on the existing and projected urban environment, including its spiritual and material integrity. The authors use the following research methods: system analysis and evaluation of digitalization processes in the architecture and design of modern cities. The results of the study define the status of digital technologies in modern architecture and design.

Keywords: digitalization, digital technologies in architecture and design, DigitalArt, comfortable urban environment.

Введение

Наиболее заметные изменения в мире происходят сегодня посредством широкого внедрения цифровых технологий в профессиональную практику и частную жизнь. Цифровизация оказывает влияние не только на материальные и технологические, но и духовные, эстетические аспекты, определяет тренды общественного сознания, формирует их потребности и представления. Среди прочего цифровые технологии коренным образом меняют представление о структуре города как комфортной жизненной среды, адаптируя ее к постоянному росту информационного потока и иным вызовам XXI века.

Одной из самых перспективных сфер применения цифрового дизайна в качестве инструмента изменения окружающего пространства и даже мира, является архитектура. В современной архитектурной практике цифровые технологии применяются архитекторами-дизайнерами почти на всех этапах работ: от первых объемных эскизов, напечатанных на обычных 3D принтерах, до возведения готовых фундаментов и стен. Цифровые технологии позволяют проектировать бионические и параметрические архитектурные формы из простых и экологических материалов; разрабатывать и использовать инновационные способы обработки поверхностей и применения различных материалов [1], [2], [3].

Цифровые технологии и цифровой дизайн и архитектура непосредственно включены в процесс адаптации городской среды к инновациям. Цифровизация создает новые качества и свойства городской жизни: ранее не существовавшие виды пространств, повседневных практик, материальных объектов, символическую среду [4], [5]. При этом, на сегодняшний день нет консолидированного понимания явлений цифрового дизайна и архитектуры, равно как и мнения о том, каким образом эти явления влияют на городскую среду и общество.

Одно из распространенных определений гласит, что цифровой дизайн – это дизайн, предполагающий разработку проекта в цифровой среде при непосредственном взаимодействии с пользователем. Кроме того, имеется термин-синоним «интерактивный дизайн».

В цифровом дизайне исторически сложившиеся и инновационные принципы применяются к процессу реорганизации сложных, неструктурированных данных в ценную и осмысленную информацию. Это выражается в том, что современный город стремится воспроизводить топологию и логику цифровой сети, стремится к модульности и присущим ей формам организации. С помощью изображений, знаков, цвета, текста происходит передача идей, отображение данных или визуализация отношений. Именно по этой причине в источниках можно встретить такую трактовку термина «цифровой дизайн» в понимании «информационный дизайн». Информационный дизайн – отрасль дизайна, практика художественно-технического оформления и представления различной информации с учётом эргономики, функциональных возможностей, психологических критериев восприятия информации человеком, эстетики визуальных форм представления информации и некоторых других факторов.

Информационный дизайн трактуется либо с точки зрения эффективности работы с информацией, либо с точки зрения представления и способа подачи информации. Особенностью такого обмена информацией, в отличие от обычного способа профессиональной коммуникации, является междисциплинарность и эксперимент. Междисциплинарность обеспечивает сочетание и взаимопроникновение цифровых технологий из различных областей знания, что позволяет сделать более доступными для понимания и восприятия сложные междотраслевые информационные блоки.

В этом контексте разработка многоаспектной, многофункциональной архитектурно-пространственной городской среды требует комплексного подхода на основе применения цифрового и/или информационного дизайна.

Основная часть

Основное функциональное назначение города – комфортное и эффективное пространство для осуществления жизненных задач человека. Вопросы планирования развития городских территорий с учетом требований создания комфортной городской среды в настоящее время стоят особенно остро, так как централизованные рычаги управления процессами формирования городов не всегда эффективны, реализация многих комплексных проектов затруднена из-за отсутствия соответствующего законодательства, ресурсной базы, юридических нюансов, без учёта объективных интересов, жизненных и эстетических потребностей горожан. Определенную роль в практической деятельности по преобразованию существующей ситуации в пользу дружественной горожанам среды играют арт-объекты, призванные вызвать положительную эмоциональную реакцию. Для их создания используются как традиционные, так и инновационные формы искусства, например, DigitalArt. Под DigitalArt сегодня понимается создание художественных произведений в цифровой форме с помощью информационных технологий. Это определение применимо в том числе и к цифровым копиям оригинальных произведений искусства, к фрактальным и иным математическим объектам, созданным при помощи компьютерных программ [6].

Архитекторы, ученые и художники ставят эксперименты по объединению материального с нематериальным. Это стало возможным благодаря технологическим инновациям и художественной интерпретации цифрового языка [7]. Архитектурная видеопроекция – один из самых распространенных видов DigitalArt, а популярность 3-D проекций (видеоэппинг) растет в геометрической прогрессии. Одним из примеров использования цифрового дизайна подобным образом можно назвать работы медиа-художника Рефика Анадол, который утверждает, что в ближайшем будущем архитектура будет немыслима без цифровых технологий и прочно срастется с ними, как со скульптурой или живописью. Подобный синтез можно наблюдать в таких проектах медиа-художника как инсталляции для Центра современного искусства в Стамбуле, концертного зала Уолта Диснея, галереи Гершвина и другие. Для реализации своих проектов Рефик Анадол при помощи специального программного обеспечения создает проекции на поверхностях зданий, используя при этом весь объем архитектурных сооружений и визуально меняя при этом их привычную внешнюю форму по желанию человека. Автор убежден, что все городские пространства и фасады имеют потенциал для использования их в качестве холстов медиахудожников. Такой прием «оживляет» архитектуру, делает ее колористически разнообразной и метафоричной. В свою очередь это позволяет сформировать новые связи привычных архитектурных объектов с окружающей городской средой, открывает новые возможности восприятия и взаимодействия человека с объектом, предоставляет возможность воспринимать городское пространство как многовариантную, живую среду.

Зачастую такие радикальные преобразования как проекции по всему объему архитектурного объекта не всегда уместны и/или выполнимы на городских территориях, которые нуждаются скорее в визуальном обновлении. В таком случае медиахудожники используют специальные проекционные системы на фасадах зданий, где проектор превращает их в интерактивный экран, рисуя на них узоры, картины и зрительно изменяя текстуру и форму здания. Проекционный мэппинг – принципиально новый подход к взаимодействию зданий с окружающей средой, объединяющий архитектуру, иллюзию и цифровые произведения. Медиафасад придает зданию необычайно эффектный облик, а также несет в себе мощную информативную нагрузку. Различные жанры и формы классического и цифрового искусства синтезируются для максимально впечатляющего результата [8]. Так, в Китае в период празднования нового года медиахудожники на цифровой панели одного из фасадов зданий создали проекцию символа года – металлического быка. Большую популярность приобрело здание торгового центра в деловом районе города Чэнду, на фасаде которого появилась панель, на которой проецируют видео с 3D-эффектом (например, ролик с полётом космического корабля, который «вылетает» из экрана на оживлённую улицу). Для создания эффекта глубины нужно смотреть на экран под определённым углом, но без использования специальных технических вспомогательных приспособлений. Похожую технологию весной 2020 года использовали в Южной Корее: на самом большом рекламном дисплее в Сеуле отразили гигантскую анаморфную «Волну» с оптической иллюзией глубины изображения.

Большую популярность в городской среде сегодня набирают муралы, которые способны «оживать» с использованием специальных приложений (AR Murals, ReBlink, Chornobyl App, Gif-iti и др.) на смартфоне. В Швеции Леон Кир создал мурал на глухом фасаде здания (г. Хельсингборг), на котором изображена стопка чашек, которая вот-вот упадет. Если посмотреть на изображение через цифровое приложение на смартфоне, то оно оживает, и зритель видит, как чашки разбиваются на тысячи осколков [7]. Оживающая трехмерная анимация, по мнению ее создателя, кроме синтеза арт и цифровых технологий несет в себе и философский смысл, служит метафорой ненадежности природы. «Оживающие» муралы набирают популярность и на территории России. Как правило, они создаются в рамках различных арт-проектов и фестивалей уличного искусства (проект «Сказки о золотых яблоках» г. Альметьевск; Фестиваль уличного искусства «Место»; Международный фестиваль уличного искусства «Культурный код» и др.). Так, усилиями автора проекта «Культурный код» Дмитрия Лёвочкина на фасаде девятиэтажного жилого дома в Солнечнодольске появился мурал с изображением слона, который «оживает» при помощи технологий дополненной реальности и смартфона. В тёмное время суток мурал освещается специальной подсветкой, меняющей восприятие не только самого изображения, но и среды жилого квартала.

Технологии дополненной реальности не ограничиваются применением только в DigitalArt, постепенно они все глубже вторгаются в городскую среду, что позволяет говорить о технологиях «дополненный город» (Augmented City). Все эти решения обозначают интересную тенденцию: создается виртуальная инфраструктура, позволяющая смешивать и распознавать реальное и эфемерное, а также наделять архитектуру мощным функционалом и практической пользой. Дополненная реальность в виде AR-города объединяет существующие города с новыми, еще не существующими проектами. Такой проект Augmented City появился в Италии – одноименный стартап впервые в мире создал трехмерную карту города Бари: цифровая инфраструктура охватывает приблизительно 117 кв. км и использует технологию Open Spatial Computing Reference Platform (OSCP) для включения информации и изображений более чем 4500 объектов (памятников, зданий, предприятий). С помощью приложения достаточно навести камеру смартфона на здание, чтобы просмотреть информацию в дополненной реальности. Так же в Италии появились и стартапы (Graffiti 4 SmartCity), экспериментирующие с материалами, способными «разговаривать с людьми». Их создатели полагают, что это расширит потенциал социальных услуг, связанных с имиджем зданий, поскольку фасады смогут предоставлять услуги: от туристических до административных. Цифровая интерактивность является желанным свойством новых проектов или программ восстановления городов. «Цифровое» становится функциональной ценностью и определяет «смысл». Дополненная реальность таким образом отражает не только будущее, но и настоящее [7].

Применяя архитектурные видеопроекции, можно выявить оптимальное градостроительное решение для конкретного места – поскольку все объекты отображаются в трехмерном пространстве и проект предстает в мельчайших подробностях, что особенно актуально для оценки предполагаемых реконструкций [8].

Ярким примером формирования новой городской среды, позволяющей сохранить исторические здания или воссоздать их, формируя тем самым современную среду при помощи цифрового дизайна можно назвать проекты двух Нидерландских архитектурных бюро: «Стеклянные дома» (Crystal Houses Amsterdam, бюро MVRDV) и «Зеркало» (The Looking Glass, бюро UNStudio) на одной из самых элегантных и дорогих улиц в Амстердаме – Хофтстрат (P.C. Hoofstraat). Комплекс с бутиком «Стеклянные дома» архитекторы реконструировали, практически полностью воссоздав исторические фасады старого здания при помощи произведенных по специальной технологии стеклянных кирпичей. Сочетание реальной кладки терракотового кирпича со стеклянными блоками зеленоватого оттенка создают визуальную иллюзорность, растворяют стены в пространстве. Чтобы реализовать проект, в архитектурном бюро был открыт новый отдел технического развития: эксперты работали с лазерами, специальными лампами, цифровыми моделями и обезжиренным молоком. Благодаря молоку, например, им удалось идеально выровнять первый слой кирпичей.

Основной идеей при реконструкции исторического фасада в проекте «Зеркало» стало желание авторов связать идею архитектуры и текстиля, выраженную через стекло. Основным материалом стал терракотовый кирпич, что позволило сохранить фасаду аутентичность, характерную для трёхъярусной структуры домов центра Амстердама. Самой запоминающейся частью реконструированного фасада стали окна, представляющие собой три стеклянные конструкции, которые «свисают» со второго этажа и создают ощущение развивающихся на ветру штор. Стеклянные конструкции тщательно разрабатывались и выверялись при помощи цифровых моделей, которые помогли решить как художественные, так и инженерные задачи.

На выставке Klimahouse 2020 группа исследователей показала, как можно реконструировать архитектурное наследие с помощью тонкой плитки из биополимера BioResin – такие «умные» декоративные панели, изготовленные из перерабатываемых материалов, снабжены технологическими устройствами, которые подключаются к смартфонам. Рабочая группа под руководством Сальваторе Пепе получила награду Architizer за идею создания BioResin, что доказывает востребованность и актуальность подобных технологий и позволяет говорить об архитектуре, способной обновлять окружающую среду за счет материального биодизайна и интерактивных нематериальных технологий.

Как утверждают разработчики данных проектов, использование подобных технологий позволит сохранить местный колорит исторических центров крупных городов не только в Европе, объединить современность и историческое наследие, не уничтожая его.

Обобщение практических примеров использования цифровых технологий в сфере архитектуры и дизайна городской среды позволяет утверждать, что типология жанров цифрового дизайна и форм его взаимодействия с архитектурной средой сегодня далеко не исчерпана, и будет постоянно пополняться в силу растущих технических возможностей, доступности все более широкому кругу людей. При этом можно отметить, что в существующей сегодня практике цифровые технологии применяются архитекторами и художниками в городской среде достаточно локально, без развития в близлежащих пространствах, по сути, в рамках отдельных частных инициатив, что, с одной стороны, создает «мерцание» смыслов, высказываний, но, при этом, нарушает целостность городского пространства.

Архитектурный язык насыщен пространственно-временными цифровыми высказываниями, транслирующими в пространственной среде современных городов идею изменчивости и непостоянства, управления постоянным потоком информации, созданием новых смыслов. В этой связи особенно важным становится содержание, смысл, создаваемых объектов, целостность архитектурного образа города.

Необходимость целостного подхода в проектировании городов, ориентированного на потребности формирующейся креативной экономики коррелирует с появлением государственных программ по развитию комфортной городской среды. Под формированием городской среды понимается комплекс мероприятий, направленных на создание условий для обеспечения комфортных, безопасных и доступных условий проживания населения муниципального образования. Разработаны дорожные карты развития комфортной городской среды практически для всех субъектов РФ, утверждена методика и актуальные верифицируемые индикаторы оценки качества городской среды, на основе комплексного анализа которых можно получить представление о ее наиболее значимых составляющих. Среди прочих индикаторов отмечены уровень внешнего оформления городского пространства, оказывающий большое влияние на общее восприятие среды, доля объектов, оснащенных архитектурной подсветкой, разнообразие культурно-досуговой и спортивной инфраструктуры.

Изучая индикаторы оценки качества городской среды, можно заключить, что их основная часть характеризует функциональное и материально-техническое состояние городской инфраструктуры. При этом современный город оценивается профессионалами и жителями не только с точки зрения физических свойств объектов инфраструктуры, их функциональности и бытового удобства. Противоречие в развитии современных городов возникает в связи с тем, что сложившиеся схемы планировок, организации города, его физические объекты и инфраструктура закономерно устаревают, а образ жизни горожан, восприятие окружающей реальности и опыт ее использования человеком обновляется. Наряду с физической средой горожане непрерывно включены во взаимодействие с виртуальной, технологической средой. Специалисты фиксируют необходимость в адаптации городских метаболических процессов, а также внешних проявлений (форм, образов, пространственных образований, визуальной грамматики) к развитию информационно-технологической системы, как одного из проявлений цифровых технологий, а также инициируют развитие инструментальных функций цифрового дизайна в контексте формирования городской среды.

Использование цифрового дизайна как инструмента показывает его многоаспектность и возможность не только формировать городскую среду, но и вовлекать в цифровое пространство горожан, гостей города, создавать «места притяжения» на деградированных территориях и особый цифровой визуальный язык. Важное значение имеет психологический комфорт, душевное состояние жителей, «проживание среды» – включение физической, культурной, эмоциональной активности и осваивающей деятельности, присущей живущему в городе человеку.

При этом современные цифровые технологии, прочно вошедшие в среду города, нельзя считать нейтральными и тем более исключительно благотворными в отношении их воздействия на социум. Несмотря на широкомасштабное применение цифрового дизайна в качестве инструмента формирования и трансформации городских пространств, следует помнить, что безотчетное их внедрение может спровоцировать кризисные ситуации в эмоциональном, ценностном аспекте восприятия среды [8], [9].

В настоящее время фиксируется целый ряд новых проблем:

- проблема зрительного восприятия молодыми людьми, привыкшими к экранной информации, крупных архитектурных объемов и пространств и о необходимости специально учить их восприятию классической архитектуры;
- проблемы определения этических границ театрализации и оптимальной длительности существования объектов диджитального дизайна в среде города, проблему неизбежно наступающего эмоционального истощения и дискомфорта от ярких и постоянно мерцающих изображений у постоянных жителей;
- проблемы, связанные с моральными аспектами, актуализирующие вопрос допустимости широкомасштабного применения компьютерных технологий с точки зрения их воздействия на экологические свойства городских пространств, (в конечном счете, применение диджитальных технологий для создания проекций и иных эффектов искажает реальную средовую ситуацию;
- проблемы восприятия трехмерных объектов в городской среде. Создание виртуальной плоской или 3D-иллюзии приводит к изменению традиционного статуса ограждающей конструкции фасадной плоскости как архетипической материальной границы архитектурного объекта. Архитектура превращается в экран, под воздействием проецируемых изображений, выбор которых обусловлен в большей степени применяемой компьютерной технологией, она теряет свою собственную художественную выразительность.

Все эти проблемы требуют профессионального изучения и оценки. Но можно прогнозировать, что именно цифровой дизайн, рассматриваемый в качестве инновационного инструмента формирования городской среды, включает возможность разрешать имеющиеся противоречия путем междисциплинарного взаимодействия, всеобъемлющего изучения и анализа различных групп данных, реализации широкого доступа к ним заинтересованных специалистов, комплексного подхода к проекту. Цифровой дизайн, как наследник всех проектных методов и технологий, в настоящее время открывает возможности согласования различных технологических аспектов цифровизации и духовных, гуманистических аспектов человеческого бытия в городском пространстве.

В противоречивой ситуации старения городских пространств и обновления способов восприятия и использования этих пространств людьми, заключенная в цифровом дизайне возможность синтеза информации позволяет найти компромисс между потребностью сохранения исторической архитектурной среды и ее одновременного обновления и актуализации пространств. Эта возможность заключена: в изменчивости цифровых объектов; в относительной простоте технологий создания виртуальной среды; в способности адаптироваться к краткосрочным задачам, без внесения глобальных изменений в физическую основу городов; в способности создавать локальные точки притяжения, не нарушая историческую среду и целостность памятников, что особо актуально для старинных городов; в способности привлекать внимание к особенностям архитектуры и нивелировать ее недостатки, а также формировать

сценарии ее восприятия с помощью цвета и света; в стирании границ экстерьера и интерьера зданий; в расширении функционала зданий за счет привнесения технологий интерактивности, и многом другом.

Заключение

Цифровой дизайн является одновременно способом бытия современной городской среды, эстетической ценностью общества, художественным произведением, существующим в едином времени-пространстве. При этом изучение всех граней вопроса позволяет сформулировать понимание цифрового дизайна как универсального и многофункционального инструмента, способного не только воздействовать на существующую городскую среду, но и комплексно формировать новую реальность городских пространств через призму взаимосвязей с человеком с учетом инновационных технологий.

Неоспоримо, что и в условиях цифровизации архитектура продолжает выполнять свою фундаментальную роль – создание пространства для удовлетворения социальных потребностей человека [10], а профессиональный взгляд архитектора предопределяет образность, художественную ценность создаваемого объекта, его общественно-значимые качества, и те принципы, которые будут определять подходы к применению цифрового инструментария в проектировании объектов городской среды. Цифровые инструменты, находясь в опытных руках художника, дизайнера и архитектора, помогают создавать прекрасное, однако, ценностная составляющая цифрового дизайна, прежде всего, заключена не в мощи технологий и широте их применения как таковых, а в безграничности человеческого разума, способного создавать и использовать современные инструменты для блага общества.

Благодарности:

Авторы выражают благодарность заведующему кафедрой дизайна Политехнического института Новгородского государственного университета имени Ярослава Мудрого Гаврилову Алексею Михайловичу за поддержку и профессиональные консультации при подготовке представленной работы.

Acknowledgement

The authors express their gratitude to the head of the design department of the Polytechnic Institute of the Yaroslav-the-Wise Novgorod State University, Alexei Mikhailovich Gavrillov for support and professional advice during the preparation of the presented work.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Turkova V.N. Digital transformation of the Russian construction industry / V.N. Turkova, A.N. Archipova and Z.G. Fedorovna // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol 880 012083.
2. Chen Wang Digital Computational Design: Towards A Material Culture / Chen Wang and Zhiyu Feng // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol 267, Issue 4 042064.
3. Johanes M. Developing digital design workflow for architecture based on cleanability as a design parameter / M Johanes, P Atmodiwirjo and Y A Yatmo // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol 195 012091.
4. Запорожец О.Н. Антропология цифрового города: к вопросу о выборе метода / О.Н. Запорожец, Е.Г. Лапина-Кратасюк // Этнографическое обозрение (Москва), № 4. С. 41-54.
5. Травуш В.И. Цифровые технологии в строительстве / В.И. Травуш // Academia. Архитектура и строительство (РААСН, Москва). 2018. №3, С. 107 – 117
6. Ерохин С.В. 2010 Эстетика цифрового компьютерного искусства / С.В. Ерохин: автореф. дис. ... д-ра филос. наук. (Москва) 45 с.
7. Божко О. Архитектура в эпоху цифровых технологий Interior+Design / О. Божко. [Электронный ресурс] URL: <https://www.interior.ru/architecture/11583-arhitektura-v-epohu-tsifrovih-tehnologii.html> (дата обращения: 03.05.2021).
8. Полищук Я.С. Город и дополненная реальность. Дизайн пространства / Я.С. Полищук, Н.А. Васильева // Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции (ФАД ТОГУ, Хабаровск). 2013. Т. 2. – С. 126-132.
9. Савельева Л.В. Феномен «виртуальности» оптической иллюзии в архитектуре / Л.В. Савельева // Наука, образование и экспериментальное проектирование: Тезисы докладов международной научно-практической конференции. (МАРХИ, Москва). 2014. С. 424.
10. Васильева Н.А. Дизайн-проектирование пространственной среды культурно-развлекательных центров с использованием цифровых технологий / Н.А. Васильева // Вестник Амурского государственного университета. Серия: Гуманитарные науки (АмГУ, Благовещенск). 2012. № 56, С. 134-137.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Turkova V.N. Digital transformation of the Russian construction industry / V.N. Turkova, A.N. Archipova and Z.G. Fedorovna // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol 880 012083.
2. Chen Wang Digital Computational Design: Towards A Material Culture / Chen Wang and Zhiyu Feng // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol 267, Issue 4 042064.
3. Johanes M. Developing digital design workflow for architecture based on cleanability as a design parameter / M Johanes, P Atmodiwirjo and Y A Yatmo // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol 195 012091.
4. Zaporozhec O.N. Antropologija cifrovogo goroda: k voprosu o vybere metoda. Jetnograficheskoe obozrenie [Anthropology of the Digital City: On the Question of Choosing a Method. Ethnographic Review] / O.N. Zaporozhec, E.G. Lapina-Kratasjuk // 2015 (Moscow), № 4. pp. 41-54. [in Russian]
5. Travush V.I. Cifrovye tehnologii v stroitel'stve Academia. Arhitektura i stroitel'stvo / V.I. Travush // 2018 (RAASN, Moskva) №3, pp. 107 – 117 [in Russian]

6. Erohin S.V. Jestetika cifrovogo komp'juternogo iskusstva: avtoref. dis. ... d-ra filos. nauk [Aesthetics of Digital Computer Art]: extended abstract of Doctor's thesis. Philosophy / S. V. Erohin. 2010 (Moskva) p. 45 [in Russian]
7. Bozhko O. Arhitektura v jepohu cifrovyyh tehnologij Interior+Design [Architecture in the Era of Digital Technologies Interior+Design] [Electronic resource] / O. Bozhko. URL: <https://www.interior.ru/architecture/11583-arhitektura-v-epohu-tsifrovih-tehnologii.html> (accessed: 03.05.2021). [in Russian]
8. Polishhuk Ja.S. Gorod i dopolnennaja real'nost'. Dizajn prostranstva Novye idei novogo veka: materialy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii [The City and Augmented Reality. Space Design New Ideas of the New Century: Proceedings of the International Scientific Conference] / Ja. S. Polishhuk, N. A. Vasil'eva. 2013 (FAD TOGU, Khabarovsk). Vol. 2. – pp. 126-132. [in Russian]
9. Savel'eva L.V. Fenomen «virtual'nosti» opticheskoy illjuzii v arhitekture. Nauka, obrazovanie i jeksperimental'noe proektirovanie: Tezisy dokladov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii [The Phenomenon of "Virtuality" of Optical Illusion in Architecture. Science, Education and Experimental Design: Abstracts of Reports of the International Scientific and Practical Conference] / L. V. Savel'eva. 2014 (MARHI, Moscow) p. 424. [in Russian]
10. Vasil'eva N.A. Dizajn-proektirovanie prostranstvennoj sredy kul'turno-razvlekatel'nyh centrov s ispol'zovaniem cifrovyyh tehnologij [Design-engineering of the Spatial Environment of Cultural and Entertainment Centers Using Digital Technologies] / N. A. Vasil'eva // Vestnik Amurskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Gumanitarnye nauki [Bulletin of the Amur State University. Series: Humanities]. 2012 (AmGU, Blagoveshhensk) № 56, pp. 134-137. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.109.7.020>

ЗНАЧЕНИЕ В. И. СТЕПАНОВА В ФОРМИРОВАНИИ АРХИТЕКТУРЫ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ШКОЛЫ

Научная статья

Наумкин Г.И.*

ORCID: 0000-0001-6725-0416,

Государственный университет по землеустройству, Москва, Россия

* Корреспондирующий автор (g.i.naumkin[at]gmail.com)

Аннотация

Основная заслуга ученого, архитектора В. И. Степанова состоит в том, что он заложил основные принципы проектирования, которые предусматривают постоянное совершенствование и развитие структуры общеобразовательных школ. По профессиональным принципам В. И. Степанова – архитектура общеобразовательной школы должна быть образной, технологично завершённой, соответствовать современным учебным программам, учебно-воспитательным функциям, обеспечивать комфортные условия обучения. Именно таких взглядов придерживался известный архитектор, законодатель архитектуры и школьного строительства – Валентин Иванович Степанов. Ставились перспективные задачи и определялись оптимальные решения для всестороннего гармоничного развития личности школьника, что отражало качественно новый уровень учебного и воспитательного процесса и человеческого капитала. Эти проблемы всегда волновали Валентина Ивановича, потому что общеобразовательная школа относится к самому динамичному виду развития из общественных зданий.

Ключевые слова: общеобразовательная школа, современная архитектура, ученый-практик, школьная реформа, структурное образование, гармоничное развитие.

THE VALUE OF V. I. STEPANOV IN THE FORMATION OF THE ARCHITECTURE OF GENERAL EDUCATION SCHOOLS

Research article

Naumkin G.I.*

ORCID: 0000-0001-6725-0416,

State University of Land Use Planning, Moscow, Russia

* Corresponding author (g.i.naumkin[at]gmail.com)

Abstract

The main merit of the scientist, architect V. I. Stepanov lies in the fact that he laid down the basic principles of design, which provide for the continuous improvement and development of the structure of general education schools. According to the professional principles of V. I. Stepanov, the architecture of a general education school should be imaginative, technologically complete, correspond to modern curricula, educational functions, and provide comfortable learning conditions. It is these views that were held by the famous architect, legislator of architecture and school construction – Valentin Ivanovich Stepanov. Promising tasks were set and optimal solutions were determined for the comprehensive harmonious development of the student's personality, which reflected a qualitatively new level of the educational and educational process and human capital. These problems have always worried Valentin Ivanovich Stepanov since a comprehensive school belongs to the most dynamic type of public building development.

Keywords: general education school, modern architecture, practical scientist, school reform, structural education, harmonious development.

*К 100-летию со дня рождения выдающегося архитектора, ученого
Валентина Ивановича Степанова, доктора архитектуры, профессора*

Валентин Иванович Степанов внес существенный вклад в подготовке научных кадров, которые стали известными учеными, а также воспитал новое поколение архитекторов, успешных проектировщиков, которые работают в различных регионах нашей страны, а также в ближнем и дальнем зарубежье.

Интерес к творческой личности Валентина Ивановича заключается в том, что он стоял у истоков современной архитектуры общеобразовательной школы в стране. Его творческая судьба была связана с обучением у крупных архитекторов Жолтовский, Колли и других, учёных Академии архитектуры СССР. Этот период времени считается самый яркий период развития архитектуры XX в. в стране. Творческий период учёного-практика В. И. Степанова начинается со середины пятидесятых годов и продолжается до первого десятилетия XXI века. В этот исторический послевоенный период связан с активным развитием материальной инфраструктурой общеобразовательных школ. На протяжении всего этого периода, охватывающего все этапы школьного проектирования и строительства связаны с именем Валентина Ивановича Степанова.

Основное содержание творческой деятельности В. И. Степанова было направлено на формирование единой системы обучения, развитие сети общеобразовательных школ, на проблемы комплексного формирования архитектуры, обеспечивающих необходимые условия для развития молодого поколения.

Большая заслуга В. И. Степанова состоит в разработке методики расчета сети материальной базы общеобразовательных школ и внешкольных учреждений, которая используется как базовая на территории всей страны. Она содержит методические рекомендации государственной программы по созданию общеобразовательных школ с равномерным распределением материальной базы, охватывающей все регионы Российского государства. В главную задачу ученого входило создание полноценной инфраструктуры школ для обучения и гармоничного

воспитанию каждого школьника. Общеобразовательная школа не зависимо, где она находится, будь она в столице или в небольшом населенном пункте, должна обеспечивать равные условия для всех учащихся. В его концепции по формированию структуры школы присутствовала очень важная составляющая, которая была направлена на опережение развития материальной базы от существующих учебных программ, с созданием резервных учебных мест для перспективных методик обучения школьников, отражающих человеческий капитал общества. Выработанная концепция архитектурно-пространственной структуры общеобразовательных школ обеспечивала устойчивость учебного процесса и в случаях изменения или расширения учебных программ.

Одной из важнейших задач было создание полноценного школьного микроклимата для обучения и развития молодого поколения, эту точку зрения В. И. Степанов отстаивал и реализовывал на практике. Он верил в творческие возможности и способности подрастающего поколения, выстраивал планы по развитию структурного образования школ для раскрытия и развития таланта молодежи. Он осознавал социальную задачу общеобразовательной школы, как учебной и воспитательной среды, потому что «будущее и благополучие нации решается в школьных стенах» – эти слова часто произносил В. И. Степанов.

У В. И. Степанова был завидный творческий и научный потенциал, позволяющая прогнозировать развитие материальной инфраструктуры школ и шагать синхронно со все усложняющимся образовательным процессом. На актуальные проблемы развития архитектуры общеобразовательной школы было направлено основное внимание, создавались рабочие программы экспериментального и типового проектирования по строительству школьных зданий. На протяжении эксплуатационного периода общеобразовательных школ проводилась экспертная проверка и коррекция объемно-планировочных решений, проводились поиски оптимальных условий для учебного процесса в архитектурном пространстве.

В его научных трудах и проектных работах всегда присутствовала фундаментальная концепция, которая отождествлялась на каждом этапе развития школьного строительства в стране. Основной фонд общеобразовательных школ были построены в довоенный период и в более поздний период необходимо было проводить дополнительные реконструкции, а это связано с изменяющимися учебными программами, этапами образовательного процесса. Из этого следует, что в предусматриваемых реконструкциях необходимо было решать сложные задачи по обеспечению оптимальных условий учебного процесса, а также учитывать сохранение архитектурного образа учебного учреждения в изменяющейся городской застройке. Эти проблемы волновали Валентина Ивановича Степанова, потому что общеобразовательные школы относятся к самому динамичному виду развития общественных зданий. На эту область – школьного образования воздействовал социальный и научно – технический прогресс, который предъявлял все более высокие требования к обучению и воспитанию подрастающего поколения. Это требовало больших усилий и творческую отдачу, что находило свое отражение в научных и проектных работах Валентина Ивановича Степанова и его соратников, которая была связана с постоянным совершенствованием структуры школьного здания.

В условиях, когда изменились социально-политические обстановка в стране и резко возросла роль молодого поколения во всех сферах деятельности, то увеличилась ответственность и нагрузка на общеобразовательную школу. В связи с этим возникли и новые проблемы в организации общеобразовательного процесса, в создании полноценной базы для всех школьников – независимо от материального уровня обеспеченности родителей школьника, которая остается основной в решении национальной программы образования. Идея создания развитой инфраструктуры школы по обеспечению материальных условий для умственного, политехнического, физического и эстетического развития школьников, прослеживается на протяжении всего творческого процесса В. И. Степанова.

Создание в архитектуре полноценного школьного микроклимата для обучения и развития молодого поколения являлось одной из важнейших задач, эту точку зрения он отстаивал и реализовывал на практике. В. И. Степанов верил в творческие возможности и способности подрастающего поколения, стратегически выстраивал планы для «вращения» талантливой молодежи. Он осознавал социально-стратегическую задачу общеобразовательной школы, как учебно-воспитательной среды, где молодому поколению предоставляются необходимые равные условия как для обучения, так и творческого совершенствования, потому что будущее решается в школьных стенах.

Валентин Иванович, часто повторял одну фразу в коридорах власти: «не экономьте деньги на школьном строительстве, так как они вернуться в бюджет с удесятенной отдачей». На актуальные проблемы времени он находил ответы и отвечал своими работами, которые были представлены в нескольких поколениях строительных нормах и правил школьного проектирования. В авторских проектах он демонстрировал новый взгляд на архитектуру школьных зданий, следуя процессам развития общества.

В конце XX века, когда произошли существенные изменения в демографии общества, потребовался пересмотр внутренней политики строительства школ. Изменения, происходящие в обществе, стали предпосылкой к изменению наполняемости учебных классов и кардинальному изменению типология школьных зданий. На этом этапе проектирования в практику вводятся более гибкие архитектурно-пространственные композиционные системы. Так, например, стали проектироваться общеобразовательные школы с гибкой планировкой и разной наполняемостью классов. К этому ряду следует отнести проекты малокомплектных школ, которые показали свою живучесть и не зависимость от наполняемости учебного класса. Приведенные примеры являются неистощимым творческим запасом энергии ученого, успешно реализующего научные принципы проектирования. В последний период своей творческой деятельности Валентин Иванович большое внимание уделял своей мечте: «объединить в едином школьном пространстве все лучшее, что было создано до этого, и сформировать комплекс, в котором есть всё».

С именем Валентина Ивановича Степанова связана полувековая архитектурная политика школьного строительства, она относится к научной деятельности и проектированию общеобразовательных школ и внешкольных учреждений. В. И. Степанов работал в крупных научно-исследовательских центрах: в ЦНИИЭП жилище и в ЦНИИЭП учебных зданий, вел практические занятия по архитектурному проектированию и студентов старших курсов МАРХИ и ГУЗа (Государственного университета по землеустройству) на архитектурном факультете.

В. И. Степанов на протяжении последних десятилетий возглавлял Отдел школ и внешкольных учреждений в ЦНИИЭП учебных зданий. В этом отделе института многие годы работали известные ученые-архитекторы: Г. Д. Леладзе, И. Б. Федорова, Н. С. Придонова, Е. Б. Дворкина, Л. Б. Мирчевская, В. А. Тирский, В. Ф. Антошкин и многие другие. На Отделе общеобразовательных школ и внешкольных учреждений лежала большая ответственность за формирование нормативной документацией, которые отражали все проходящие школьные реформы в стране. В этих условиях творческие и личностные качества и знания В. И. Степанова, как руководителя научных программ по совершенствованию материальной среды школ были незаменимы.

Проводимые в нашей стране школьные реформы кардинально влияли на развитие учебно-методической и материальной базы. На практике осуществлялись научные внедрения, апробировались научные изыскания смежных научно-исследовательских институтов Академии педагогических наук и Научно-исследовательского института гигиены детей и подростков Министерства здравоохранения.

На протяжении десятилетий проводилась направленная деятельность научного поиска В. И. Степанова и сотрудников его отдела по совершенствованию материальной инфраструктуры под всё возрастающие требования к формам и методам школьного обучения. Принципиально новые требования были направлены на формирование основных принципов организации многопрофильного учебно-воспитательного процесса. Ставились перспективные задачи и определялись оптимальные решения для всестороннего гармонического развития личности школьника. Постоянная потребность в совершенствовании учебного процесса в соответствии с научно-техническими достижениями и социальными задачами общества привели к новому понятию общеобразовательной школы — это учебной и воспитательный центр с развитой инфраструктурой для подрастающего поколения, что обеспечивает качественный уровень развития материальной среды в учебно-воспитательном процессе.

Архитектурное наследие Валентина Иванович Степанова содержится не только в его многочисленных научных трудах, но и в творческих проектных работах, которые были реализованы.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Градов Г. А. Город и быт / Г.А. Градов. – М.; Стройиздат, 1968, – 114 с.
2. Степанов В. И. Новые типы средних общеобразовательных школ с гибкой планировочной структурой / В. И. Степанов, Е. Б. Дворкина. – М.; Стройиздат, 1978, – 112 с.
3. Степанов В. И. Перспективы развития сети и типов зданий школ и внешкольных учреждений / В. И. Степанов // Общественные здания. Сб. научных сообщений № 7. – М., 1973, с. 92–93.
4. Степанов В. И. Организация сети школ, межшкольных учебно-производственных комбинатов и внешкольных учреждений / В. И. Степанов, Л.Б. Мирчевская. – М.; Стройиздат, 1983, – 92 с.
5. Степанов В. И. Школьные здания / В. И. Степанов. – М.; Стройиздат, 1975, – 272 с.
6. Наумкин Г.И. Общеобразовательные школы Степанова В. И. / Г.И. Наумкин. – М.; Вести Союза Архитекторов России. – 2008, С. 36–41.
7. Наумкин Г.И. Творчество Валентина Ивановича Степанова / Г.И. Наумкин // Градостроительство. – М., 2011, №4, С. 92–93.
8. Кореневская Е. И. Гигиенические вопросы строительства школьных зданий / Е. И. Кореневская, Л.Г. Рогачевская // Гигиена. 1974, – 283 с.
9. Степанов В. И. Укрупнённые школьные здания / Степанов В. И., Федорова И.Б. – М.; ЦНТИ по гражданскому строительству и архитектуре. 1977, – 115 с.
10. Линч К. Образ города / К. Линч. – М.; Стройиздат, 1982. – 328 с.
11. Беккер А.Ю. Современная городская среда и архитектурное наследие / А.Ю. Беккер, А. С. Щенков. – М.; Стройиздат, 1986. – 204 с.
12. Соколова С. Будущее создается сегодня / С. Соколова. Вести Союза Архитекторов России. – 2008, №1, С. 72–73.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Gradov G. A. Gorod i byt [City and everyday life] / G.A. Gradov. – M.; Strojizdat, 1968, – 114 p. [in Russian]
2. Stepanov V. I. Novye tipy srednih obshheobrazovatel'nyh shkol s gibkoj planirovochnoj strukturoj [New types of secondary schools with flexible planning structure] / V. I. Stepanov, E. B. Dvorkina. – M.; Strojizdat, 1978, – 112 p. [in Russian]
3. Stepanov V. I. Perspektivy razvitija seti i tipov zdaniy shkol i vneshkol'nyh uchrezhdenij [Prospects for the development of the network and types of buildings of schools and out-of-school institutions] / V. I. Stepanov // Obshhestvennye zdaniya. Sb. nauchnykh soobshhenij № 7 [Public buildings. Collection of scientific communications No. 7]. – M., 1973, P. 92–93. [in Russian]
4. Stepanov V. I. Organizacija seti shkol, mezhshkol'nyh uchebno-proizvodstvennyh kombinatov i vneshkol'nyh uchrezhdenij [Organization of a network of schools, interschool educational and industrial complexes and out-of-school institutions] / V. I. Stepanov, L.B. Mirchevskaja. – M.; Strojizdat, 1983, – 92 p. [in Russian]
5. Stepanov V. I. Shkol'nye zdanija [School buildings] / V. I. Stepanov. – M.; Strojizdat, 1975, – 272 p. [in Russian]
6. Naumkin G.I. Obshheobrazovatel'nye shkoly Stepanova V. I. [Secondary schools Stepanov V.I.] / G.I. Naumkin. – M.; News of the Union of Architects of Russia. – 2008, P. 36–41. [in Russian]
7. Naumkin G.I. Tvorchestvo Valentina Ivanovicha Stepanova [Creativity of Valentin Ivanovich Stepanov] / G.I. Naumkin // Gradostroitel'stvo. – M., 2011, №4, P. 92–93. [in Russian]

8. Korenevskaja E. I. Gigienicheskie voprosy stroitel'stva shkol'nyh zdaniy [Hygienic issues of construction of school buildings] / E. I. Korenevskaja, L.G. Rogachevskaja// Gigiena. 1974, – 283 p. [in Russian]
9. Stepanov V. I. Ukpupnjonne shkol'nye zdaniya [Enlarged school buildings] / Stepanov V. I., Fedorova I.B. – M.; CNTI po grazhdanskomu stroitel'stvu i arhitekture [CSTI for Civil Engineering and Architecture]. 1977, – 115 p. [in Russian]
10. Linch K. Obraz goroda [The image of the city] / K. Linch. – M.; Strojizdat, 1982. – 328 p. [in Russian]
11. Bekker A.Ju. Sovremennaja gorodskaja sreda i arhitekturnoe nasledie [Contemporary urban environment and architectural heritage] / A.Ju. Bekker, A. S. Shhenkov. – M.; Strojizdat, 1986. – 204 p. [in Russian]
12. Sokolova S. Budushhee sozdaetsja segodnja [The future is being created today] /S. Sokolova. Vesti Sojuza Arhitektorov Rossii [News of the Union of Architects of Russia]. – 2008, №1, P. 72–73. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.109.7.021>**ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ДРЕВОСТОЕВ НА НАКОПЛЕНИЕ СНЕГА
В УСЛОВИЯХ ПОДЗОНЫ ЮЖНОЙ ТАЙГИ УРАЛА**

Научная статья

Белов Л.А.¹, Воробьева М.В.², Залесов С.В.^{3,*}¹ ORCID: 0000-0002-6397-3681;² ORCID: 0000-0003-1059-9670;³ ORCID: 0000-0003-3779-410X;^{1, 2, 3} Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

* Корреспондирующий автор (Zalesovsv[at]m.usfeu.ru)

Аннотация

На основании 16 пробных площадей проанализировано накопление зимних осадков под пологом древостоев различного состава и под линиями электропередач в условиях подзоны южной тайги Урала. Данные о высоте и плотности снежного покрова получены на основе снегомерной съемки, выполненной в конце марта, т.е. при максимальной высоте снежного покрова. При проведении исследований использовались снегомерная рейка и весовой снегомер ВС-43.

Установлено, что максимальный запас снеговой воды к моменту начала снеготаяния накапливается под пологом лиственничников с примесью сосны в составе древостоя. Значительные запасы снеговой воды накапливаются также под пологом березняков и под линиями электропередач при их расположении с севера на юг.

Средняя высота снежного покрова варьируется от 33,5 до 54,9 см, что свидетельствует о защите нижних ярусов насаждения от вымерзания. В целях накопления зимних осадков в насаждениях подзоны южной тайги целесообразно формировать смешанные насаждения с примесью к сосне лиственницы и березы. Указанные насаждения в лесопарках будут способствовать не только повышению устойчивости и рекреационной привлекательности насаждений, но и обеспечат максимальное накопление зимних осадков. Последнее будет способствовать накоплению грунтовых вод и водности реки Исеть.

Ключевые слова: подзона южной тайги, сосняки, лиственничники, березняки, зимние осадки, плотность снега, запас снеговой воды.

**ON THE INFLUENCE OF FOREST STAND COMPOSITION ON SNOW ACCUMULATION
IN THE SOUTHERN TAIGA SUBZONE OF THE URALS**

Research article

Belov L.A.¹, Vorobyeva M.V.², Zalesov S.V.^{3,*}¹ ORCID: 0000-0002-6397-3681;² ORCID: 0000-0003-1059-9670;³ ORCID: 0000-0003-3779-410X;^{1, 2, 3} Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

* Corresponding author (Zalesovsv[at]m.usfeu.ru)

Abstract

The study conducts an analysis of the accumulation of winter precipitation under the canopy of stands of various compositions and on power lines in 16 sample areas in the southern taiga subzone of the Urals. The data on the height and density of the snow cover were obtained on the basis of a snow measurement survey carried out at the end of March, i.e. at the maximum height of the snow cover. The authors of the study used a snow measuring rail and a weight snow meter VS-43.

The research establishes that the maximum supply of snow water at the time of the beginning of snowmelt accumulates under the canopy of larch trees with an admixture of pine in the composition of the stands. Significant reserves of snow water also accumulate under the canopy of birch forests and on power lines when they are located from north to south.

The average height of the snow cover varies from 33.5 to 54.9 cm, which indicates the protection of the lower layers of vegetation from freezing. In order to accumulate winter precipitation in the stands of the southern taiga subzone, it is advisable to form mixed plantings with an admixture of larch and birch to pine. These plantings in forest parks will not only increase the stability and recreational attractiveness of the stands but also ensure the maximum accumulation of winter precipitation. The latter, in turn, will contribute to the accumulation of groundwater and the water Level of the Iset river.

Keywords: southern taiga subzone, pine forests, larch forests, birch forests, winter precipitation, snow density, snow water supply.

Введение

В последние десятилетия в связи с возрастающим антропогенным воздействием на планету все более остро встает проблема обеспечения населения качественной водой. При этом общеизвестно [1], [2], что лесные экосистемы оказывают положительное влияние на количество осадков, перевод поверхностного стока во внутрипочвенный, способствуют очистке воды от промышленных поллютантов, а также регулируют сток рек и их водность.

Уровень водоохранных и водорегулирующих свойств лесных насаждений определяется целым рядом факторов и во многом зависит от таксационных показателей составляющих их древостоев [3]. Последнее объясняется свойствами крон перехватывать часть жидких и твердых осадков, расходуя их на испарение. При этом минимизируется испарение влаги с поверхности почвы и нижних ярусов растительности.

Впервые на необходимость изучения снежного покрова в 1889 г. обратил внимание А.И. Воейков [4]. Последующими исследованиями было установлено влияние возраста и состава древостоев, а также типа леса на накопление зимних осадков [5], [6]. В частности, было определено, что если принять накопление снега черноольшанниками за 100%, то сосняки лишайникового типа леса накапливают его 66%, мшистого - 83%, черничного - 90%, багульниково-сфагнового - 87%, ельники - 80%, а поле только 68% [7].

Учеными были предложены мероприятия по накоплению зимних осадков и продлению их таяния [8], [9], [10]. Установлено, что, изменяя температуру воздуха под своим пологом, древостой вносит коррективы в динамику таяния твердых зимних осадков, увеличивая период освобождения талой воды, а за счет лесной подстилки и меньшего промерзания почвы исключают поверхностный сток, что, в конечном счете, минимизирует опасность заиливания и загрязнения водоемов, а также способствует накоплению грунтовых вод.

Поскольку на поступление осадков к поверхности почвы большое влияние оказывают таксационные показатели древостоев очень важно иметь базы данных о степени данного влияния, что и определило направление наших исследований.

Цель, объекты и методика исследований

Цель работы - установление глубины и плотности снега в период его максимального накопления под пологом спелых древостоев подзоны южной тайги Урала.

Объектами исследований служили сосновые, березовые, лиственничные и тополевые насаждения, произрастающие на территории лесопарка «Имени Лесоводов России» ш. Екатеринбурга. Указанная территория, в соответствии с лесохозяйственным районированием [11] относится к Средне-Уральскому таежному лесному району, а согласно рекомендаций Г.А. Годовалова с соавторами [12], [13] к горному подросту Средне-Уральского таежного лесного района.

Исследования проводились в период максимального снегонакопления в конце марта. При проведении снегомерной съемки для установления средней высоты снежного покрова использовалась переносная снегомерная рейка, представляющая собой брусок длиной 180 см, шириной 4 см и толщиной 2 см с металлическим наконечником на конце. На каждой из пробных площадей (ПП), заложенных в соответствии с действующими методиками по установлению таксационных показателей древостоев [14], [15], прокладывались трансекты, на которых через каждые 5 м замерялась снегомерной рейкой толщина снежного покрова с последующим определением среднего значения.

Плотность снега устанавливалась с использованием весового снегомера ВС-43. При этом на каждой ПП отбиралось не менее 5 образцов снега. Плотность снега рассчитывалась делением массы пробы снега на его объем. Другими словами, вычисление плотности снега производилось следующим образом. Число делений, отсчитанное по линейке весов, делили на увеличенный в 10 раз отсчет высоты снега по шкале цилиндра. Деление производится до тысячных долей, а результат округляется до сотых долей.

Общий запас воды в снежном покрове вычисляется по формуле:

$$Q = 10gh,$$

где g - средняя плотность снега по данным снегомерной съемки на ПП, г/см³;

h - средняя высота снежного покрова, см;

Q - запас воды в снежном покрове, мм.

Результаты и обсуждение

В соответствии с методикой исследования было заложено 13 пробных площадей в насаждениях различного породного состава и три ПП на трассе линии электропередач (ЛЭП). Основные таксационные показатели древостоев ПП приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Таксационные показатели насаждений пробных площадей

№ ПП	Состав древостоя	Средние			Относительная полнота	Тип леса	Степень густоты подлеска
		возраст, лет	высота, м	диаметр, см			
1	10С	120	26	24	1,0	ЕСЗЯГ	Средний
2	10С	150	28	36	0,9	СОРЛ	Средний
3	10С	160	29	44	0,7	ЕСЗЯГ	Густой
4	10С	170	28	44	0,6	ЕСЗЯГ	Густой
5	10С	170	28	44	0,6	ЕСЗЯГ	Густой
6	10С + С	170	28	44	0,6	СОРЛ	Густой
7	10С	170	29	44	0,6	СРТР	Средний
8	10С	170	28	42	0,6	ЕСЗЯГ	Густой
9	4СЗБ2Ос1Ив	30	13	12	0,6	СРТР	Редкий
10	9Л1С	60	26	28	0,9	СРТР	Средний
11	9Б1ОседЛ, С	60	18	20	0,9	СРТР	Средний
12	8Т2С	30	24	20	0,8	ЕСЗЯГ	Густой
13	10Т	34	26	24	1,0	СРТР	Средний

Примечание: типы леса: ЕСЗЯГ – ельник-сосняк зеленомошно-ягодниковый; СОРЛ – сосняк орляковый; СРТР – сосняк разнотравный

Материалы табл. 1 свидетельствуют, что возраст сосновых насаждений, где проводились исследования, варьируется от 30 до 170 лет, при этом абсолютно доминируют 170-летние насаждения. Относительная полнота

сосновых древостоев варьируется от 0,6 до 1,0, при этом сосняки представлены зеленомошно-ягодниковым, орляковым и разнотравным типами леса.

Насаждения лиственницы, березы и тополя являются производными. Они созданы посадкой на месте сосняка разнотравного и сосняка-ельника зеленомошно-ягодникового.

В целом можно отметить, что заложенные пробные площади достаточно корректно характеризуют насаждения лесопарка «Имени Лесоводов России».

Различие в таксационных показателях исследуемых насаждений не могло не сказаться на глубине снежного покрова, его плотности запаса снеговой воды. Последнее подтверждается данным, приведенными в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристика снежного покрова в период его максимального накопления

№ ПП	Состав древостоя	Глубина снежного покрова, см	Плотность снега, г/см ³	Запас снеговой воды, мм
1	10С	43,0 ± 0,67	0,190	81,700
2	10С	33,5 ± 0,52	0,195	65,325
3	10С	40,9 ± 0,64	0,158	14,622
4	10С	40,9 ± 0,60	0,183	74,847
5	10С	41,0 ± 0,65	0,187	76,67
6	10С + С	40,1 ± 0,62	0,194	77,794
7	10С	41,7 ± 0,70	0,198	82,566
8	10С	41,7 ± 0,49	0,193	80,481
9	4СЗБ2Ос1Ив	47,4 ± 0,35	0,160	75,840
10	9Л1С	52,9 ± 0,34	0,169	89,401
11	9Б1Осд.ЛС	54,9 ± 0,93	0,159	87,291
12	8Т2С	45,3 ± 0,40	0,168	76,557
13	10Т	43,9 ± 0,38	0,172	75,508
14	ЛЭП на границе с древостоем	44,1 ± 0,41	0,165	72,765
15	ЛЭП (с запада на восток)	40,3 ± 1,06	0,182	73,346
16	ЛЭП (с севера на юг)	50,7 ± 0,97	0,172	87,204

Материалы таблицы 2 наглядно свидетельствуют, что максимальная глубина снежного покрова формируется в березовом насаждении (ПП-11), а минимальная - в 150-летнем высокополнотном сосняке (ПП-2). Если принять глубину снежного покрова в березняке за 100%, то в 150-летнем высокополнотном сосняке глубина снега составит лишь 61,0%.

Различия в глубине снежного покрова в 160-170-летних сосняках различных типов леса статистически не достоверны. В то же время различие в глубине снежного покрова между чистыми сосняками и смешанными, а также между сосняками и древостоями других пород статистически достоверны на 0,95% уровне значимости.

Интересно, что плотность снега на трассах ЛЭП оказалась примерно равной таковой в сосняках. При этом под ЛЭП, расположенных с запада на восток, снег сдувается, а с севера на юг, напротив, накапливается. Последнее вполне объяснимо направлением господствующих ветров.

Естественно, что наиболее важным показателем является запас снеговой воды на начало снеготаяния. Полученные нами данные показали, что максимальным запасом снеговой воды характеризуются лиственничники и березняки, а также трассы ЛЭП, расположенные с севера на юг.

Данные о глубине и плотности снега, а также запасах снеговой воды позволяют рекомендовать в условиях подзоны южной тайги создание смешанных насаждений. Участие в составе древостоев лесопарков лиственницы и березы способствует накоплению снеговой воды, т.е. создает основу для увеличения объема грунтовых вод, что особенно важно для питания ключей, ручьев и, в конечном счете, реки Исети и ее притоков.

Выводы

1. В лесопарке «Имени Лесоводов России» доминируют спелые и перестойные сосновые насаждения, обеспечивающее эффективное накопление зимних осадков.

2. Омолождение сосновых насаждений должно осуществляться с введением в состав древостоев лиственницы и березы.

3. Увеличение доли лиственничников и березняков, а также их участия в составе сосновых насаждений не только улучшит рекреационную привлекательность насаждений, но и будет способствовать накоплению зимних осадков.

4. Наиболее эффективными в плане накопления снеговой воды к началу снеготаяния являются лиственничники с примесью сосны. К хорошим накопителям зимних осадков можно также отнести березовые насаждения и трассы ЛЭП, расположенные с севера на юг.

5. Регулируя ландшафтными рубками состав древостоев, можно обеспечить максимальное накопление зимних осадков и тем самым повысить запас подземных вод, а также водность реки Исети.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Хайретдинов А.Ф. Введение в лесоводство / А.Ф. Хайретдинов, С.В. Залесов. - Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2011. 202 с.

2. Луганский Н.А. Лесоведение / Н.А. Луганский, С.В. Залесов, В.Н. Луганский. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2010. 432 с.
3. Залесов С.В. Черноольховые леса Волго-Донского бассейна и ведение хозяйства в них / С.В. Залесов, В.П. Воротников, В.В. Катуннова и др. - Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2008. 231 с.
4. Воейков А.И. Снежный покров, его влияние на почву, климат и погоду, и способы использования / А.И. Воейков // Записки Русского географического общества по общей географии. 1889. Т. 18. П. 2. С. 4-10.
5. Данилов Н.И. Формирование снежного покрова в насаждениях различного состава и структуры / Н.И. Данилов // Лесной журнал, 1992. № 2. С. 27-31.
6. Толкач О.В. Снегонакопление под пологом леса на Среднем Урале / О.В. Толкач, С.В. Залесов // География и природные ресурсы. 2020. № 1 (160). С. 106-112. DOI: 10.21782/GIPR 0206-1619-2020-1(106-112).
7. Блинецов И.К. Влияние сосновых, еловых и черноольховых насаждений на формирование снежного покрова / И.К. Блинецов, М.В. Кудин, В.М. Натаров // Лесной журнал, 1987. № 2. С. 15-18.
8. Данилик В.Н. Повышение водоохранно-защитной роли насаждений путем рационального размещения хвойных и лиственных пород / В.Н. Данилик // Леса Урала и хозяйство в них. Свердловск, 1978. Вып. 2. С. 23-31.
9. Залесов С.В. Лесоводство / С.В. Залесов. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2020. 295 с.
10. Залесов С.В. Проходные рубки в сосняках Урала / С.В. Залесов, Н.А. Луганский. Свердловск: Изд-во Урал. ун-та, 1989. 128 с.
11. Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и Перечня лесных районов РФ: Утв. Приказом Минприроды России от 18.08.2014 г. № 367.
12. Годовалов Г.А. Районирование лесов Свердловской области / Г.А. Годовалов, С.В. Залесов, Е.Н. Лежнина // Аграрный вестник Урала, 2011. № 8 (87). С. 35-36.
13. Годовалов Г.А. К вопросу о необходимости уточнения перечня лесных районов Свердловской области / Г.А. Годовалов, С.В. Залесов, Е.С. Залесова и др. // Леса России и хозяйство в них, 2016. № 9 (58). С. 12-19.
14. Данчева А.В. Экологический мониторинг лесных насаждений рекреационного назначения / А.В. Данчева, С.В. Залесов. - Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2015. 152 с.
15. Бунькова Н.П. Основы фитомониторинга / Н.П. Бунькова, С.В. Залесов, Е.С. Залесова и др. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2020. 90 с.

Список литературы на английском языке / Referencis in English

1. Khayretdinov A.F. Vvedeniye v lesovodstvo [Introduction to forestry] / A.F. Khayretdinov, S.V. Zalesov. - Ekaterinburg: Ural. state forestry engineering. un-t, 2011. 202 p. [in Russian]
2. Luganskiy N.A. Lesovedeniye [Lesovedenie] / N.A. Lugansky, S.V. Zalesov, V.N. Lugansky. Yekaterinburg: Ural. state forestry engineering. un-t, 2010. 432 p. [in Russian]
3. Zalesov S.V. Chernool'khovyye lesa Volgo-Donskogo basseyna i vedeniye kho-zyaystva v nikh [Black alder forests of the Volga-Don basin and management in them] / S.V. Zalesov, V.P. Vorotnikov, V.V. Katunova et al. - Ekaterinburg: Ural. state forestry engineering. un-t, 2008. 231 p. [in Russian]
4. Voyeykov A.I. Snezhnyy pokrov, yego vliyaniye na pochvu, klimat i pogodu, i sposoby ispol'zovaniya [Snow cover, its influence on soil, climate and weather, and methods of use] / A.I. Voeikov // Notes of the Russian Geographic Society for General Geography. 1889. Vol. 18. P. 2. P. 4-10. [in Russian]
5. Danilov N.I. Formirovaniye snezhnogo pokrova v nasazhdeniyakh razlichno-go sostava i struktury [Formation of snow cover in plantations of various composition and structure] / N.I. Danilov // Forest Journal, 1992. No. 2. P. 27-31. [in Russian]
6. Tolkach O.V. Snegonakopleniye pod pologom lesa na Srednem Urale [Snow accumulation under the forest canopy in the Middle Urals] / O.V. Tolkach, S.V. Zalesov // Geography and natural resources. 2020. No. 1 (160). P. 106-112. [in Russian]
7. Blintsov I.K. Vliyaniye sosnovykh, yelovykh i chernool'khovykh nasazhdeniy na formirovaniye snezhnogo pokrova [Influence of pine, spruce and black alder plantations on the formation of snow cover] / I.K. Blintsov, M.V. Kudin, V.M. Natarov // Forest Journal, 1987. No. 2. P. 15-18. [in Russian]
8. Danilik V.N. Povysheniye vodookhranno-zashchitnoy roli nasazhdeniy putem ratsional'nogo razmeshcheniya khvoynykh i listvennykh porod [Increasing the water protection and protective role of plantations by rational placement of coniferous and deciduous species] / V.N. Danilik // Forests of the Urals and the economy in them. Sverdlovsk, 1978. Issue. 2. P. 23-31. [in Russian]
9. Zalesov S.V. Lesovodstvo [Forestry] / S.V. Zalesov. Yekaterinburg: USFEU, 2020. 295 p. [in Russian]
10. Zalesov S.V. Prokhodnyye rubki v sosnyakh Urala [Continuous felling in the pine forests of the Urals] / S.V. Zalesov, N.A. Lugansky. Sverdlovsk: Ural Publishing House. University, 1989. 128 p. [in Russian]
11. Ob utverzhdenii Perechnya lesorastitel'nykh zon Rossiyskoy Federatsii i Perechnya lesnykh rayonov RF [On approval of the List of forest growing zones of the Russian Federation and the List of forest regions of the Russian Federation:] Approved. By order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated 18.08.2014. No. 367. [in Russian]
12. Godovalov G.A. Rayonirovaniye lesov Sverdlovskoy oblasti [Zoning of forests of the Sverdlovsk region] / G.A. Godovalov, S.V. Zalesov, E.N. Lezhnina // Agrarian Bulletin of the Urals, 2011. No. 8 (87). P. 35-36. [in Russian]
13. Godovalov G.A. K voprosu o neobkhodimosti utochneniya perechnya lesnykh rayonov Sverdlovskoy oblasti [To the question of the need to clarify the list of forest areas of the Sverdlovsk region] / G.A. Godovalov, S.V. Zalesov, E.S. Zalesova, et al. // Forests of Russia and the economy in them, 2016. No. 9 (58). P. 12-19. [in Russian]
14. Dancheva A.V. Ekologicheskiy monitoring lesnykh nasazhdeniy rekreatsion-nogo naznacheniya [Ecological monitoring of forest plantations for recreational purposes] / A.V. Dancheva, S.V. Zalesov. - Yekaterinburg: Ural. state forestry engineering. un-t, 2015. 152 p. [in Russian]
15. Bun'kova N.P. Osnovy fitomonitoringa [Fundamentals of phytomonitoring] / N.P. Bunkova, S.V. Zalesov, E.S. Zalesova, et al. Yekaterinburg: Ural. state forestry engineering. un-t, 2020. 90 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.109.7.022>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОСНЫ СИБИРСКОЙ (*PINUS SIBIRICA* DU TOUR.)
В ОЗЕЛЕНЕНИИ Г. ЕКАТЕРИНБУРГА

Научная статья

Воробьева М.В.¹, Жигулин Е.В.², Залесов С.В.^{3,*}, Коростелева М.В.⁴¹ ORCID: 0000-0003-1059-9670;² ORCID: 0000-0002-5823-1114;³ ORCID: 0000-0003-3779-410X;⁴ ORCID: 0000-0001-6967-6330;^{1, 2, 3, 4} Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

* Корреспондирующий автор (zalesovsv[at]m.usfeu.ru)

Аннотация

На основе натурных исследований с использованием широко известных апробированных методик проанализировано использование сосны сибирской (сосны кедровой сибирской) (*Pinus sibirica* Du Tour.) в озеленении г. Екатеринбурга. Отмечается, что несмотря на высокие декоративные качества и хорошую устойчивость сосны кедровой сибирской в условиях городской среды, указанный вид применяется в озеленении в весьма ограниченных объемах. Последнее объясняется недостаточным количеством посадочного материала и медленным ростом деревьев сосны кедровой сибирской в молодом возрасте. Указанное обстоятельство усложняет формирование ландшафтных биогрупп, сочетающих сосны кедровую сибирскую с другими древесными породами.

В то же время прекрасное состояние деревьев сосны кедровой сибирской, особенно в биогруппах, свидетельствует о целесообразности создания площадных объектов озеленения из этой древесной породы в парках, скверах и лесопарках города. Использование сосны кедровой сибирской будет способствовать повышению биологического разнообразия, в том числе за счет привлечения птиц и мелких млекопитающих.

Поскольку сосна кедровая сибирская является аборигенным видом она не нуждается в акклиматизации. Выращивание посадочного материала сосны кедровой сибирской целесообразно производить с закрытой корневой системой, что позволит повысить приживаемость посадок и сократить количество агротехнических уходов. Посадку лучше вести, по тем же причинам, крупномерным посадочным материалом.

Ключевые слова: подзона южной тайги, озеленение, сосна кедровая сибирская (*Pinus sibirica* Du Tour.), декоративность, приживаемость, сохранность, саженцы с закрытой корневой системой.

THE USE OF SIBERIAN PINE (*PINUS SIBIRICA* DU TOUR.) IN THE
LANDSCAPING OF EKATERINBURG

Research article

Vorobyeva M.V.¹, Zhigulin E.V.², Zalesov S.V.^{3,*}, Korosteleva M.V.⁴¹ ORCID: 0000-0003-1059-9670;² ORCID: 0000-0002-5823-1114;³ ORCID: 0000-0003-3779-410X;⁴ ORCID: 0000-0001-6967-6330;^{1, 2, 3, 4} Ural State Forestry University, Yekaterinburg, Russia

* Corresponding author (zalesovsv[at]m.usfeu.ru)

Abstract

On the basis of field studies with widely known proven methods, the use of sSiberian (Siberioan stone pine) (*Pinus sibirica* De Tour) in landscaping the city of Ekaterinburg has been analyzed. It is noted that despite the high decorative qualities and good resistance of Siberian cedar pine in an urban environment, the latter are used in very limited volumes in landscaping. The latter is explained by insufficient amount of planting material and the slow growth of Siberian cedar trees at young age. This circumstance complicates the formation of landscape biogroups combining Siberian cedar pine with other woody species.¶

At the same time, the excellent condition of Siberian cedar pine trees, especially in biogroups, testifies to the advisability of creating site eglandscaping objects from this tree species in parusks, squares and urban forest parus of the city. The use Siberian cedar pine will contribute to biological diversity increasing, including by attracting birds and small animals.¶

Since the Siberian cedar pine is an aboriginal species it doesn't need acclimatization. It is advisable to grow planting material of Siberian cedar pine with a closed root system which will increase the survival rate of planting and reduce the number of agrotechnical cares. Planting is better for the same reasons to carry out by with large sized planting material.

Keywords: subzone of the southern taiga, landscaping, Siberian cedar pine, decorativeness, survivability, preservation, closed root seedlings.

Одной из проблем озеленения северных городов является ограничение количества хвойных видов древесных растений, что затрудняет создание объектов озеленения круглогодичного действия. Хвойные древесные растения, в отличие от лиственных, эстетически привлекательны в течение всего года и при систематическом уходе многие десятилетия прекрасно выполняют поставленные перед ними ландшафтным архитектором задачи. Последнее вызывает необходимость поиска новых устойчивых видов интродуцентов [1], [2], [3], [4], выведения оригинальных форм и сортов хвойных пород [5], [6], [7], [8], а также более рационального использования видов аборигенной флоры.

Одним из наиболее предпочтительных хвойных видов для озеленения г. Екатеринбурга является сосна кедровая сибирская (*Pinus sibirica* Du Tour.).

Данная древесная порода имеет длинную темно-зеленую хвою, сосредоточенную по пять хвоинок в пучке. На фоне деревьев сосны кедровой сибирской прекрасно смотрятся цветущие деревья и кустарники такие как рябина (*Sorbus aucuparia* L.), сирень обыкновенная (*Syringa Vulgaris* L.) и другие. Указанное расширяет возможности использования сосны кедровой сибирской в озеленении.

В то же время широкому применению сосны кедровой сибирской в озеленении г. Екатеринбурга препятствует отсутствие в научной литературе анализа опыта использования данного вида при формировании точечных и площадных объектов озеленения.

Данное обстоятельство обусловило направление наших исследований.

Цель, объекты и методика исследований

Цель исследований – анализ имеющихся в г. Екатеринбурге объектов озеленения, в которых использована сосна кедровая сибирская и разработка на этой основе предложений по расширению использования ее в озеленении.

Объектами исследований служили точечные и площадные посадки сосны кедровой сибирской, созданные в разные годы на территории г. Екатеринбурга.

При проведении исследований применялись апробированные методики по оценке декоративных признаков [8] и перспективности использования древесных пород в озеленении [9]. Особое внимание уделялось санитарному состоянию деревьев сосны кедровой сибирской. Последнее определялось в соответствии с действующими нормативными документами [10].

Кроме того, при визуальном осмотре отмечалось влияние соседних деревьев на рост и габитус кроны сосны кедровой сибирской.

Исследования выполнялись в разных районах города, в том числе в районах низкоэтажной застройки. Другими словами, анализировалось использование сосны сибирской при озеленении коттеджей и формировании внутридворовых объектов озеленения.

Материалы и обсуждение

Общее знакомство с озеленением г. Екатеринбурга свидетельствует, что сосна кедровая сибирская используется при создании ландшафтных композиций довольно редко. Последнее, на наш взгляд, объясняется прежде всего медленным ростом высаженных деревьев в молодом возрасте. В то же время благодаря высоким декоративным качествам сосна сибирская используется при создании знаковых композиций. Так, в частности, общеизвестны деревья сосны сибирской на плотине через р. Исеть, давно ставшие одной из визитных карточек города (рис. 1).



Рис. 1 – Деревья сосны кедровой сибирской на плотине через р. Исеть

Сосна сибирская вызывает значительный интерес у жителей города, и они охотно сажают деревья у своих домов, как в районах многоэтажной, так и низкоэтажной застройки (рис. 2).

Деревья сосны сибирской характеризуются прекрасными декоративными качествами, однако в молодом возрасте нередко поражаются хермесом сибирским (*Pineus cembrae* Cholodkovsky, 1988). В то же время пройдя стадию приживаемости, деревья сосны сибирской дают стабильный прирост, формируют комплексную густую крону и уже к 25 годам начинают плодоносить.

Хорошее санитарное состояние деревьев сосны кедровой сибирской и прекрасные декоративные характеристики позволяют рекомендовать данный вид для широкого использования в озеленении города Екатеринбурга и других северных городов.



Рис. 2 – Сосна сибирская на приусадебном участке в Железнодорожном районе г. Екатеринбурга

Посадочный материал сосны кедровой сибирской лучше использовать крупномерный с закрытой корневой системой. В пользу последнего свидетельствуют посадки, выполненные на территории Уральского государственного лесотехнического университета (УГЛТУ) в 2020 г. (рис. 3).



Рис. 3 – Посадка сосны кедровой сибирской, выполненная посадочным материалом с закрытой корневой системой

Данные учета 2021 г. показали, что приживаемость высаженных растений составила 97%. Последнее, конечно, не исключает необходимость агротехнических уходов за высаженными растениями, но значительно сокращает их количество по сравнению с таковым при создании лесных культур двухлетними сеянцами [11], [12].

Эффективность создания объектов озеленения крупномерным посадочным материалом сосны кедровой сибирской подтверждают групповые посадки, выполненные в 1983 г. в сквере им. Н.А. Луганского у учебно-лабораторного корпуса № 2 УГЛТУ. В настоящее время деревья сосны кедровой сибирской имеют средний диаметр $21,1 \pm 1,2$ см, среднюю высоту 14,3 м и характеризуются средним баллом санитарного состояния 1,1. Особо следует отметить, что деревья вошли в стадию семеношения и характеризуются прекрасными декоративными показателями (рис. 4).



Рис. 4 – Деревья сосны кедровой сибирской в сквере им. Н.А. Луганского

Опыт создания биогрупп из сосны кедровой сибирской свидетельствует о целесообразности создания площадных объектов озеленения данной породы в парках, скверах и лесопарках г. Екатеринбурга. При этом в связи с поверхностной корневой системой у сосны кедровой сибирской посадки целесообразно проводить на некотором удалении от дорожно-тропиночной сети с целью повышения рекреационной устойчивости высаживаемых растений.

В незагущенных посадках сосна кедровая сибирская начинает плодоношение довольно рано, что привлекает в созданные биогруппы белок, бурундуков и других мелких млекопитающих, а также птиц. Указанное способствует повышению биологического разнообразия и рекреационной привлекательности созданных посадок. Расширение биологического разнообразия особенно важно, если учесть, что лесопарки г. Екатеринбурга представлены преимущественно сосновыми и березовыми насаждениями, а доля насаждений других пород крайне мала.

Нельзя не отметить, что продолжительность жизни деревьев сосны кедровой сибирской многократно превышает таковую у абсолютного большинства произрастающих в г. Екатеринбурге и его окрестностях как лиственных, так и хвойных древесных пород. Другими словами, ландшафтные композиции круглогодичного действия, созданные из сосны кедровой сибирской, будут радовать глаз многих поколений жителей и гостей города.

Выводы

1. Сосна кедровая сибирская (*Pinus sibirica* Du Tour.) является одним из видов местной флоры, который может быть широко использован при озеленении г. Екатеринбурга.
2. Фактором, сдерживающим использование сосны кедровой сибирской, является ее медленный рост в молодом возрасте.
3. Посадки сосны кедровой сибирской целесообразно производить биогруппами в парках, скверах и лесопарках.
4. При посадке лучше всего использовать крупномерный посадочный материал с закрытой корневой системой, что сократит количество агротехнических уходов за посадками.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / Reference

1. Суюндинов Ж.О. Арборетум лесного питомника «Ак кайын» РГП «Жасыл Аймак» / Ж.О. Суюндинов, А.В. Данчева, С.В. Залесов и др. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2017. 92 с.

2. Крекова Я.А. Интродукция и акклиматизация хвойных в Северном Казахстане / Я.А. Крекова, С.В. Залесов. – Нур-Султан, 2020. 212 с.
3. Крекова Я.А. Ассортимент древесных растений, используемых в зеленом строительстве в северной части Казахстана / Я.А. Крекова, С.В. Залесов, М.В. Соловьева // Леса России и хозяйство в них. 2020. № 3 (74). С. 27-36.
4. Коростелева М.В. Перспективные формы хвойных древесных растений для озеленения г. Екатеринбурга / М.В. Коростелева, Я.А. Крекова, С.В. Залесов и др. // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 1 (103). Ч. 2. С. 124-130.
5. Оплетев А.С. Новая декоративная форма ели сибирской (*Picea obovate* Ledeb.) / А.С. Оплетев, С.В. Залесов, А.П. Кожевников // Аграрный вестник Урала. 2016. № 6 (148). С. 40-44.
6. Соловьева М.В. Перспективность сортов ели колючей (*Picea Engelmannii*) для озеленения северных городов / М.В. Соловьева, С.В. Залесов, Е.С. Залесова и др. // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова, 2019. № 2 (55). С. 121-129.
7. Бунькова Н.П. Перспективность использования можжевельника скального в озеленении города Екатеринбурга / Н.П. Бунькова, С.В. Залесов, Е.П. Платонов и др. // Успехи современного естествознания. 2020. № 7. С. 7-12.
8. Крекова Я.А. Оценка декоративных признаков у видов рода *Picea* Dieter в Северном Казахстане / Я.А. Крекова, А.В. Данчева, С.В. Залесов // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1; [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.Science-education.Ru/121-17204>. (дата обращения: 12.05.2021)
9. Залесов С.В. Перспективность древесных интродуцентов для озеленения в условиях средней подзоны тайги Западной Сибири / С.В. Залесов, Е.П. Платонов, А.В. Гусев // Аграрный вестник Урала. 2011. № 4 (83). С. 56-58.
10. Правила санитарной безопасности в лесах: Утв. Постановлением Правительства Российской Федерации от 20.05.2017 г. № 607.
11. Данилик В.Н. Рекомендации по лесовосстановлению и лесоразведению на Урале / В.Н. Данилик, Р.П. Исаева, Г.Г. Терехов и др. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. акад., 2001. 117 с.
12. Правила лесовосстановления: Утв. Приказом Минприроды России от 04.12.2020 г. № 1014.

Список литературы на английском языке / Reference in English

1. Suyundikov ZH.O. Arboretum lesnogo pitomnika «Ak kay: yN» RGP «Zhaysyl AymaK» [Arboretum of the forest nursery "Ak kayin" RSE "Zhaysyl Aymak"] / ZH.O. Suyundikov, A.V. Dancheva, S.V. Zalesov et al. – Yekaterinburg: Ural. gos. lesotekhn. un-t. [Yekaterinburg: Ural. state forestry engineering. un-t]. 2017. 92 p. [in Russian]
2. Krekova YA.A. Introduktsiya i akklimatizatsiya khvoynykh v Severnom Kazakh-stane [Introduction and acclimatization of conifers in Northern Kazakhstan] / YA.A. Krekova, S.V. Zalesov // Nur-Sultan, 2020. P. 212. [in Russian]
3. Krekova YA.A. Assortiment drevesnykh rasteniy, ispol'zuyemykh v zelenom stroitel'stve v severnoy chasti Kazakhstana [Assortment of woody plants used in green building in the northern part of Kazakhstan] / YA.A. Krekova, S.V. Zalesov, M.V. Solov'yeva // Lesa Rossii i khozyaystvo v nikh. [Forests of Russia and the economy in them] 2020. № 3 (74). P. 27-36. [in Russian]
4. Korosteleva M.V. Perspektivnyye formy khvoynykh drevesnykh ras-teniy dlya ozeleneniya g. Yekaterinburga [Perspective forms of coniferous woody plants for landscaping in Yekaterinburg] / M.V. Korosteleva, Ya.A. Krekova, S.V. Zalesov et al. // Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal. [International scientific research journal]. 2021. № 1 (103). Part. 2. P. 124-130. [in Russian]
5. Opletayev A.S. Novaya dekorativnaya forma yeli sibirskoy (*Picea obovate* Ledeb.) [New decorative form of Siberian spruce (*Picea obovate* Ledeb.)] / A.S. Opletayev, S.V. Zalesov, A.P. Kozhevnikov // Agrarnyy vestnik Urala. [Agrarian Bulletin of the Urals]. 2016. No. 6 (148). P. 40-44. [in Russian]
6. Solov'yeva M.V. Perspektivnost' sortov yeli kolyuchey (*Picea Engelmannii*) dlya ozeleneniya severnykh gorodov [The prospect of varieties of prickly spruce (*Picea Engelmannii*) For landscaping northern cities] / M.V. Solov'yeva, S.V. Zalesov, YE.S. Zalesova et al. // Vestnik Buryatskoy gosudar-stvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii im. V.R. Filippova [Bulletin of the Buryat State Agricultural Academy. V.R. Filippova], 2019. No. 2 (55). P. 121-129. [in Russian]
7. Bun'kova N.P. Perspektivnost' ispol'zovaniya mozhzhevel'nika skal'nogo v ozelenenii goroda Yekaterinburga [Prospects for the use of rocky juniper in landscaping the city of Yekaterinburg] / N.P. Bun'kova, S.V. Zalesov, YE.P. Platonov et al. // Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya [Successes of modern natural science]. 2020.No. 7. P. 7-12. [in Russian]
8. Krekova YA.A. Otsenka dekorativnykh priznakov u vidov roda *Picea* Dieter v Severnom Kazakhstane [Assessment of decorative traits in species of the genus *Picea* Dieter in Northern Kazakhstan] / YA.A. Krekova, A.V. Dancheva, S.V. Zalesov // Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya [Modern problems of science and education]. 2015. No. 1; [Electronic resource]. URL: <http://www.Science-education.Ru/121-17204>. (accessed: 12.05.2021) [in Russian]
9. Zalesov S.V. Perspektivnost' drevesnykh introdutsentov dlya oze-leneniya v usloviyakh sredney podzony taygi Zapadnoy Sibiri [The prospect of tree introduced species for landscaping in the middle subzone of the taiga of Western Siberia] / S.V. Zalesov, YE.P. Platonov, A.V. Gusev // Agrarnyy vestnik Urala [Agrarian Bulletin of the Urals]. 2011. No. 4 (83). P. 56-58. [in Russian]
10. Pravila sanitarnoy bezopasnosti v lesakh: Utv. Postanovleniyem Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 20.05.2017 g. № 607. [Sanitary safety rules in forests: Approved. Decree of the Government of the Russian Federation of 20.05.2017 No. 607]. [in Russian]
11. Danilik V.N. Rekomendatsii po lesovosstanovleniyu i lesorazve-deniyu na Urale [Recommendations for reforestation and afforestation in the Urals] / V.N. Danilik, R.P. Isayeva, G.G. Terekhov, I.A. Freyberg, S.V. Zalesov, V.N. Luganskiy, N.A. Luganskiy // Yekaterinburg: Ural. Gos. Lesotekhn. Akad. [Yekaterinburg: Ural. State Forestry engineering. Acad.]. 2001.117 p. [in Russian]
12. Pravila lesovosstanovleniya: Utv. Priказом Минприроды Рос-сии от 04.12.2020 г. № 1014. [Rules for reforestation: Approved. By order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation dated 04.12.2020 No. 1014]. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.109.7.023>**БИОУДОБРЕНИЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УРОЖАЙНОСТИ ЗЕЛЕННОЙ МАССЫ
ВИКО-ПШЕНИЧНОЙ ТРАВОСМЕСИ**

Научная статья

Скамарохова А.С.^{1,*}, Юрина Н.А.², Гнеуш А.Н.³¹ ORCID: 0000-0001-6821-429X;² ORCID: 0000-0003-2684-5020;³ ORCID: 0000-0003-4931-795X;^{1,2} Краснодарский научный центр по зоотехнии и ветеринарии, Краснодар, Россия;³ Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, Краснодар, Россия

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

Аннотация

В проведенном полевом исследовании рассматриваются результаты опытов о влиянии на биометрические показатели вико-пшеничной травосмеси биоудобрения Фошами, проведенные на полевой опытной делянке ФГБНУ КНИЦЗВ. В состав этого биоудобрения входит вытяжка куриного помёта, а именно: гуминовые и фульвовые вещества из неё, вытяжка фосмуки, ракушечник, штамм микроорганизмов *Azotobacter chroococcum*, гриба-аскомицета *Trichoderma viride* и сульфат цинка. При применении биоудобрения установлено увеличение густоты стояния растений озимой пшеницы сорта Таня на 10,6 %, ветвистости вики озимой сорта Луговская 2 на 30,4 %. Урожайность зелёной и сухой массы растений значительно увеличилась (на 68,4 и 55,0 % соответственно) в варианте с применением комплексного биоудобрения Фошами, что говорит о том, что его применение целесообразно в использовании в полевых условиях.

Ключевые слова: биоудобрение, озимая вика Луговская 2, озимая пшеница Таня, густота стояния, ветвистость, урожайность.

BIOFERTILIZER FOR INCREASING THE YIELD OF THE HERBAGE OF VETCH AND WHEAT MIXTURE

Research article

Skamarokhova A.S.^{1,*}, Yurina N.A.², Gneush A.N.³¹ ORCID: 0000-0001-6821-429X;² ORCID: 0000-0003-2684-5020;³ ORCID: 0000-0003-4931-795X;^{1,2} Krasnodar Scientific Center for Animal Science and Veterinary Medicine, Krasnodar, Russia;³ Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

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

Abstract

The current field study examines the results of experiments on the effect of the "Foshami" biofertilizer on the biometric indicators of vetch and wheat mixture conducted at the field experimental location of the Krasnodar Scientific Center for Animal Science and Veterinary Medicine. The composition of the biofertilizer includes an extract of chicken manure, namely: humic and fulvic substances, an phosphorite meal, shells, a strain of microorganisms *Azotobacter chroococcum*, Ascomycota *Trichoderma viride* and zinc sulfate. When using the biofertilizer, the study reports a 10.6% increase in the density of the "Tanya" variety winter wheat and a 30.4% increase in the lateral development of the winter vetch of the Lugovskaya 2 variety. With the use of the "Foshami" complex biofertilizer, the yield of fresh and dry plant mass has significantly increased (by 68.4 and 55.0%, respectively). This makes it advisable to use it in the field environment.

Keywords: biofertilizer, winter vetch "Lugovskaya 2", winter wheat "Tanya", standing density, lateral development, yield.

Введение

Внедрение устойчивых агроэкосистем для повышения качества продукции для питания человека имеет особую актуальность в современном мире. Бесконтрольное применение химических удобрений привело к значительному загрязнению почв. Необходимо в кратчайшие сроки разработать и внедрять повсеместно биологическое земледелие. Применение биологических добавок и исключение использования синтетических неорганических удобрений при выращивании растений, очищает и улучшает внутренний круговорот питательных веществ в почве. Прагматическим способом увеличения микробной биомассы почвы, микробной активности или изменения состава сообщества может быть частичная замена химических удобрений органическими или биоорганическими удобрениями [1], [2], [4], [5].

Сочетанием микроорганизмов, гуминовых комплексов и компоста в биоудобрениях можно стимулировать микробные процессы в почве и растениях, что приводит к улучшению урожайности сельскохозяйственных культур и улучшению свойств почвы для устойчивого земледелия [1], [6], [7].

Экологические, социальные и экономические причины применения органических биоудобрений свидетельствуют о том, что традиционное сельское хозяйство представляет собой постоянное давление на экосистему, способствуя постепенному ухудшению состояния окружающей среды, особенно в результате все более активного применения высокого уровня ресурсов. Одним из возможных решений является использование гуминовых кислот, поскольку существует все большая потребность в их использовании в сельском хозяйстве [8].

Гуминовые вещества – высокомолекулярные темно-коричневые органические соединения, которые образуются в процессе химического и биохимического разложения органических остатков, содержащих лигнин. Они изменяют проницаемость клеточных мембран, повышают активность некоторых ферментов, увеличивают содержание хлорофиллов и повышают продуктивность фотосинтеза [9].

Бактерии приобретают все большее значение в сельском хозяйстве благодаря их многогранным агрономическим преимуществам и устойчивости к колебаниям окружающей среды. Их активно применяют в кормлении сельскохозяйственных животных, при кормопроизводстве, а также в растениеводстве. *Azotobacter chroococcum* и *Trichoderma viride* положительно влияют на метаболическую активность почвы и растений, оздоравливают почву, способствуют повышению доступности макро- и микроэлементов в ней. Имеют хорошую синергетическую связь [9], [10].

Известно, что дефицит минеральных веществ в почве – это самая распространенная проблема дефицита питательных микроэлементов в мировых культурах. Важным фактором в усвоении минеральных веществ растениями является их биодоступность. Почвы с высокой доступностью микроэлементов демонстрируют высокую урожайность и значительный рост многих кормовых культур [10].

Таким образом, положительное влияние биоудобрений является инструментом экологического растениеводства и поддержания оптимального плодородия почвы.

Цель работы: изучить влияние на урожайность вико-пшеничной травосмеси Луговская 2+Таня разработанного органического биоудобрения Фошами.

Для достижения поставленной цели, выполнены конкретные задачи:

- 1) проанализировать влияние биоудобрения на густоту стояния пшеницы и вики в травосмеси;
- 2) изучить изменения ветвистости и длины надземной части растения вики сорта Луговская 2 при изучаемом факторе;
- 3) рассчитать и проанализировать урожайность вико-пшеничной травосмеси и ее питательную ценность.

Методы и принципы исследования

Биоудобрение Фошами – совместная разработка ученых кафедры биотехнологии, биофизики и биохимии растений КубГАУ и отдела кормления и физиологии сельскохозяйственных животных ФГБНУ КНЦЗВ. Удобрение представляет собой смесь вытяжки птичьего помета, минеральной составляющей, культуры *Azotobacter chroococcum* и микромицета *Trichoderma viride*.

Полевой опыт проводился на экспериментальной делянке в ФГБНУ КНЦЗВ в центральной зоне Краснодарского края – зоне неустойчивого увлажнения. Почва – мощный выщелоченный чернозем с тяжелосуглинистым гранулометрическим составом. Повторность делянок трёхкратная. Общая площадь делянки – 5 м², учётная – 1 м².

Предшественником вико-злаковых смесей была люцерна синегридная, после уборки которой проводилась 2-кратная обработка тяжелой дисковой бороной с последующей культивацией перед посевом. Посев проводили ручной сеялкой. Наблюдения и учёты проводились по «Методике полевого опыта» Б.А. Доспехова (Москва, 2014) [11].

Пшеница Таня – карликовый сорт пшеницы, устойчив к полеганию, осыпанию и негативным климатическим условиям.

Вика Луговская 2 – сорт озимой вики, морозостойкий, засухоустойчивый. Его рекомендуется высевать совместно со злаковыми культурами.

Предпосевную обработку семян разработанным биоудобрением Фошами проводили путем опрыскивания за 8 часов перед посевом и равномерного перемешивания в дозировке 5 мл на 1 л воды. Потом ранней весной, при средней температуре воздуха свыше +5⁰ С проводили первую листовую подкормку биоудобрением, вторую подкормку – во время выхода пшеницы в трубку и фазы ветвления вики. Подкормка растений проводилась с помощью мелкокапельного распылителя на расстоянии 30-40 см от поверхности листьев в дозировке 5 мл на 1 л воды.

Основные результаты

Поздней весной, во второй декаде мая, провели укос урожая зеленой массы травосмеси в фазу начала колошения пшеницы и начала цветения вики.

В статье представлены усредненные данные за двухлетний период. По густоте стояния растений в травосмеси информация в таблице 1.

Таблица 1 – Густота стояния растений исследуемой травосмеси Луговская 2+Таня, повторность трехкратная

Группа	Густота стояния растений, шт./м ²	
	Растение	
	Пшеница Таня	Вика Луговская 2
1 – контроль без удобрения	75,3±1,5	58,0±1,5
2 – опыт, обработка биоудобрением	83,3±1,7*	58,7±1,8

Примечание: * $P < 0,001$

Установлено, что при применении биоудобрения Фошами, густота стояния растений (в шт./м²) озимой пшеницы оказалась выше контрольного показателя на 10,6 % ($P < 0,001$). По увеличению данного показателя у вики наметилась тенденция к повышению на 1,2 % без достоверной разницы.

В таблице 2 показаны данные о ветвистости растения и длина надземной части.

Таблица 2 – Ветвистость, длина надземной части растений вики Луговская 2, повторность трехкратная

Показатели	Группа	
	1 – контроль без удобрения	2 – опыт, обработка биоудобрением
Ветвистость растения, шт.	2,3±0,3	3,0±0,1*
Длина надземной части растения, см	137,0±7,5	138,0±7,0

Примечание: * $P < 0,05$

Ветвистость – это количество основных стеблей на одном растении вики без учета побочных стеблей. В данном эксперименте стеблей у всех растений вики сорта Луговская 2 было от 2 до 3. Выявлено, что при обработке биоудобрением Фошами семян и растений вики сорта Луговская 2, произошло достоверное увеличение ветвистости, относительно контрольного показателя, на 30,4 % ($P < 0,05$). Длина растения вики в опытной группе изменилась незначительно.

Таблица 3 – Урожайность (вика+пшеница)

Наименование растворов	Сорт (вика+пшеница)	Зелёная масса т/га	Воздушно-сухая масса, ц/га
Контроль, без удобрений	Луговская 2+Таня	3,8	0,8
Опыт, обработка биоудобрением	Луговская 2+Таня	6,4	1,2

Наивысшая урожайность зеленой массы травосмеси при применении биоудобрения Фошами наблюдалось у вики озимая Луговская 2 + озимая пшеница Таня и составила 6,4 т/га – выше контроля на 68,4 %. Сухая масса травосмеси составила в опытной группе 1,2 т/га, что на 55 % выше по сравнению с контролем.

Выводы

При использовании биоудобрения установлено увеличение густоты стояния растений озимой пшеницы сорта Таня на 10,6 %, ветвистости вики озимого сорта Луговская 2 на 30,4 %. Урожайность зелёной и сухой массы растений сильно увеличилась на (на 68,4 и 55,0 % соответственно) в варианте с применением комплексного биоудобрения Фошами, за счет увеличения густоты стояния (травостоя) растений пшеницы и увеличения ветвистости вики, что говорит о том, что его применение целесообразно в использовании в полевых условиях для увеличения зеленой массы растений.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Jun Y. A Combination of Biochar–Mineral Complexes and Compost Improves Soil Bacterial Processes, Soil Quality, and Plant Properties / Jun Y., Rui Z., Shaun N. et al. // *Front Microbiol*, 7, 372 (2016).
2. Espie P. Bioactive carbon improves nitrogen fertiliser efficiency and ecological sustainability / Espie, P., Ridgway, H. // *Sci Rep* 10, 3227 (2020).
3. Борисенко В. В. Изучение влияния обогащенного биогумата "Экокс" на работу фотосинтетического комплекса растений редиса / В. В. Борисенко, И. С. Жолобова // *Политематический сетевой научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*, 107, 77-85 (2015)
4. Анискина М. В. Изучение окислительно-восстановительного потенциала различных минеральных вод / М. В. Анискина, А.А. Григорьева // *Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сборник статей по материалам XII Всероссийской конференции молодых ученых*. Краснодар, 356-357 (2019)
5. Анискина М. В. Подбор продолжительности выращивания гидропонной зелени в зависимости от биохимических показателей / М.В. Анискина, Д.В. Гавриленко, А.И. Петенко // *Труды Горского государственного аграрного университета*, 55(2), 46-50 (2018)
6. Гавриленко Д. В. Перспектива использования минеральной воды различного типа в качестве рабочего раствора для гидропонной установки / Д. В. Гавриленко, М. В. Анискина, Е. С. Волобуева // *Сборник статей по материалам XI Всероссийской конференции молодых ученых, посвященной 120-летию И. С. Косенко*, 159-160 (2017)
7. Хусид С. Б. Изучение морфологических параметров различных сортов тыквы, районированных в Краснодарском крае / С. Б. Хусид, А. И. Петенко, И. С. Жолобова // *Политематический сетевой научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*, 96, 862 – 871 (2014).
8. Alloway B. J. Soil factors associated with zinc deficiency in agricultural crops and people / B. J. Alloway // *Ecological geochemistry and health. Environ Geochem Health*, 31(5), 537-548 (2009)
9. Петенко А. И. Влияние биорастворов на рост и прорастание семян сельскохозяйственных культур, а также на изменение их биохимических показателей / А. И. Петенко, И. С. Жолобова, М. В. Анискина и др. // *Аграрная Россия*, 9, 26-29 (2020)
10. Velmorugan K. Biofilm from trichoderma and azotobacter improves the availability of nutrients and the growth of wheat and cotton plants. / K. Velmorugan, R. Prasanna, G. Chawla // *Journal of Basic Microbiology. J. basic microbiology*, 59(6), 632-644 (2019)
11. Доспехов Б. А. Методология полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): Учебное пособие для высших сельскохозяйственных учебных заведений / Б. А. Доспехов. - М.: Альянс, 2014 – 351 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Jun Y. A Combination of Biochar–Mineral Complexes and Compost Improves Soil Bacterial Processes, Soil Quality, and Plant Properties / Jun Y., Rui Z., Shaun N. et al. // *Front Microbiol*, 7, 372 (2016).
2. Espie P. Bioactive carbon improves nitrogen fertiliser efficiency and ecological sustainability / Espie, P., Ridgway, H. // *Sci Rep* 10, 3227 (2020).

3. Borisenko V. V. Izuchenie vlijaniya obogashhennogo biogumata "Jekoss" na rabotu fotosinteticheskogo kompleksa rastenij redisa [Studying the influence of the enriched biosumate "EcoSS" on the work of the photosynthetic complex of radish plants] / V. V. Borisenko, I. S. Zholobova // Politematicheskij setevoy nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Polythematic Network Scientific Journal of the Kuban State Agrarian University], 107, 77-85 (2015) [in Russian]
4. Aniskina M. V. Izuchenie oksiditel'no-vosstanovitel'nogo potentsiala razlichnykh mineral'nykh vod [The study of the redox potential of various mineral waters] / M. V. Aniskina, A. A. Grigorieva // Nauchnoe obespechenie agropromyshlennogo kompleksa: sbornik statej po materialam XII Vserossijskoj konferencii molodykh uchenykh. Krasnodar [Scientific support of the agro-industrial complex: a collection of articles based on the materials of the XII All-Russian Conference of Young scientists. Krasnodar], 356-357 (2019) [in Russian]
5. Aniskina M. V. Podbor prodolzhitel'nosti vyrashhivaniya gidroponnoj zeleni v zavisimosti ot biohimicheskikh pokazatelej [Selection of the duration of growing hydroponic greens depending on biochemical parameters] / M. V. Aniskina, D. V. Gavrilenko, A. I. Petenko // Trudy Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Proceedings of the Gorsky State Agrarian University], 55(2), 46-50 (2018) [in Russian]
6. Gavrilenko D. V. Perspektiva ispol'zovaniya mineral'noj vody razlichnogo tipa v kachestve rabocheho rastvora dlja gidroponnoj ustanovki [The prospect of using mineral water of various types as a working solution for a hydroponic installation] / D. V. Gavrilenko, M. V. Aniskina, E. S. Volobueva // Sbornik statej po materialam XI Vserossijskoj konferencii molodykh uchenykh, posvjashhennoj 120-letiju I. S. Kosenko [Collection of articles based on the materials of the XI All-Russian Conference of young scientists dedicated to the 120th anniversary of I. S. Kosenko], 159-160 (2017) [in Russian]
7. Khusid S. B. . Izuchenie morfologicheskikh parametrov razlichnykh sortov tykvy, rajonirovannykh v Krasnodarskom krae [The study of morphological parameters of various pumpkin varieties zoned in the Krasnodar Territory] / S. B. Khusid, A. I. Petenko, I. S. Zholobova // Politematicheskij setevoy nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Polythematic network scientific journal of the Kuban State Agrarian University], 96, 862 – 871 (2014). [in Russian]
8. Alloway B. J. Soil factors associated with zinc deficiency in agricultural crops and people / B. J. Alloway // Ecological geochemistry and health. Environ Geochem Health, 31(5), 537-548 (2009)
9. Petenko A. I. Vlijanie biorastvorov na rost i prorastanie semjan sel'skohozjajstvennykh kul'tur, a takzhe na izmenenie ih biohimicheskikh pokazatelej [Influence of bio-solutions on the growth and germination of seeds of agricultural crops, as well as on changes in their biochemical parameters] / A. I. Petenko, I. S. Zholobova, M. V. Aniskina et al. // Agrarnaja Rossiya [Agrarian Russia], 9, 26-29 (2020) [in Russian]
10. Velmorugan K. Biofilm from trichoderma and azotobacter improves the availability of nutrients and the growth of wheat and cotton plants. / K. Velmorugan, R. Prasanna, G. Chawla // Journal of Basic Microbiology. J. basic microbiology, 59(6), 632-644 (2019)
11. Dospekhov B. A. Metodologija polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovanij) [Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)]: A textbook for higher agricultural educational institutions / B. A. Dospekhov. - M.: Alliance, 2014-351 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.109.7.024>**ONCORHYNCHUS MYKISS В АКВАКУЛЬТУРЕ:
БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗВЕДЕНИЯ И СЕЛЕКЦИИ**

Обзорная статья

Тыщенко В.И.¹, Терлецкий В.П.^{2,*}¹ ORCID: 0000-0003-4964-9938;² ORCID: 0000-0003-4043-3823;^{1,2} Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал Федерального исследовательского центра животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, Пушкин, Россия

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

Аннотация

Постепенное истощение природных запасов рыбы в естественных водоемах вследствие активного и часто не контролируемого вылова, диктует потребность в расширении производства в аквакультуре и использования новых биотехнологических подходов в разведении и селекции. Селекционная работа с радужной форелью проводится как с использованием массового отбора, так и с индивидуальным отбором в семьях (семейная селекция). Сейчас промышленному разведению и выведению новых селекционных форм радужной форели уделяется большое внимание, т.к. получение качественной продукции с диетическими свойствами является требованием рынка. В обзоре рассмотрены различные способы разведения рыбы, начиная от экстенсивного «пастбищного» до современных установок замкнутого водоснабжения (УЗВ) с использованием приемов биотехнологии. Обсуждены преимущества системы интенсивного выращивания форели в таких установках.

Ключевые слова: радужная форель, аквакультура, селекция рыб.**ONCORHYNCHUS MYKISS IN AQUACULTURE:
BIOTECHNOLOGICAL AND GENETIC PRINCIPLES OF BREEDING**

Review article

Tyshchenko V.I.¹, Terletsky V.P.^{2,*}¹ ORCID: 0000-0003-4964-9938;² ORCID: 0000-0003-4043-3823;^{1,2} All-Russian Research Institute of Genetics and Breeding of Farm Animals, branch of the L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry (VNIIGRZh), St. Petersburg-Pushkin, Russia

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

Abstract

The gradual depletion of natural fish reserves in natural reservoirs due to active and often uncontrolled fishing points to the need to expand production in aquaculture and the use of new biotechnological approaches to breeding. Breeding of rainbow trout is carried out both via both mass selection and family selection. Currently, particular attention is paid to the industrial breeding and breeding of new selection forms of rainbow trout, since obtaining high-quality products with dietary properties is a market requirement. The article examines various methods of fish breeding that range from extensive sea ranching to modern recirculating aquaculture systems (RAS) using biotechnology techniques. Also, the study discusses the advantages of the system of intensive trout farming in such installations.

Keywords: rainbow trout, aquaculture, fish breeding.**Введение**

Форель, как объект рыбоводства, имеет большие потенциальные перспективы в обеспечении населения планеты качественной пищей. Данные ФАО показывают, что на 2020 год самым крупным производителем рыбной промышленности является Китай, который занял порядка 70% в общемировом производстве в аквакультуре.

В холодноводном форелеводстве России культивируются 7 пород форели:

а) 4 отечественные – адлер, росталь, рофор, адлерская янтарная;

б) 3 импортные – стальноголовый лосось, камлоопс и дональдсон.

Каждая порода имеет свои экстерьерные и репродуктивные показатели, схему формирования и паспортизации маточных стад.

Аквакультура, связанная с внутренними водными ресурсами, является одной из наиболее интенсивно развивающихся отраслей промышленности, и ее потенциал роста ограничен лишь наличием источников пресной воды в месте потенциального разведения форели [1], [2]. Многократное использование одной и той же воды является одним из решений, предлагаемых для снижения потребления водных ресурсов в аквакультуре. Однако в такой воде содержится высокий уровень аммония, что является препятствием для повторного разведения в ней рыбы [3]. Аммиак и нитрит признаны основными экологическими стрессорами для рыб [4], [5], [6]. Воздействие таких веществ приводит к ослаблению иммунной системы, что вызывает повышенную чувствительность рыб к инфекциям, снижая их общее развитие и продуктивность. При хроническом стрессе повышается уровень кортизола и концентрация в крови глюкозы, а врожденный иммунитет подавляется. Рост условно-патогенных микроорганизмов также усиливается в стрессовых условиях. Данную проблему можно частично решить применением пробиотиков, пребиотиков и симбиотиков [7].

Цель обзора – рассмотреть основные производственные этапы выращивания форели с использованием генетических и биотехнологических приемов, повышающих эффективность выращивания рыбы в аквакультуре.

Основная часть

1. Способы разведения радужной форели

Радужная форель (*Oncorhynchus mykiss*) является одной из основных видов рыб, выращиваемых в аквакультуре и используемых человеком в пищу. Хорошая приспособляемость этого вида к изменениям окружающей среды позволили адаптировать природные популяции радужной форели к разведению в условиях аквакультуры. Достаточно хорошо документирована тетраплоидность форелей [8]. Другим интересным селекционным подходом оказалось использование триплоидов. Ученые уже давно заметили, что у лососевых рыб встречаются триплоидные и тетраплоидные особи, мозаики по плоидности и отмечается дупликация отдельных генов в геноме. Экспериментально триплоидов можно получить внутрибрюшинной трансплантацией незрелых половых клеток сперматогоний в зародыши с последующим их выращиванием до взрослого состояния. От полученных триплоидных особей отбирают икру и сперму, проводят оплодотворение и выращивание мальков. Потомство состоит как из нормальных диплоидов, так и триплоидов и тетраплоидов. В ряде случаев, по аналогии с тетраплоидными растениями, рыба показала более быстрый рост в сравнении с обычными диплоидными особями [8].

Одним из ведущих селекционно-генетических центров России по рыбоводству является ФСГЦР, п. Ропша, Ленинградской области. Выведены несколько новых пород, таких как рофор, росталь. Сейчас утверждение проходит новый генетический вариант – золотая форель. Формирование маточных стад этой отводки в первых поколениях осуществляли главным образом методами массового отбора с применением, в отдельных случаях, элементов семейной селекции. Применение метода подбора пар самок и самцов по выбранным признакам приводит к формированию желательных фенотипов в потомстве и закреплению этих признаков [1].

В целом, разведение радужной форели проводят в садках, прудах и установках замкнутого водоснабжения (УЗВ). В установке замкнутого водоснабжения (УЗВ) биологические фильтры обычно используются для уменьшения содержания аммиака в аквакультуре [3]. Поскольку группы гетеротрофных и автотрофных бактерий обладают способностью к нитрификации, в системе УЗВ существует конкуренция за нитрификацию между этими двумя группами. Гетеротрофные бактерии одерживают верх в правах на нитрификацию при увеличении соотношения растворенного органического углерода к азоту. Это соотношение может быть увеличено активностью гетеротрофных бактерий, накоплением мертвых бактерий, а также ассимиляцией аммиака в микробную биомассу. Установлено, что при увеличении этого соотношения гетеротрофные нитрификаторы могут иметь в 2-3 раза более высокую активность по сравнению с автотрофными бактериями [9]. Гетеротрофные *Dyadobacter* sp. и *Janthinobacterium* sp. из экологических изолятов применяют для удаления неионизированного аммиака и нитрита в системе культивирования форели [4], [5], [6], [7]. Помимо этих микроорганизмов применение в биофильтрах нашли также *Pseudomonas migulae* [10].

Наряду с преимуществами, выращивание рыбы в садках имеет и свои отрицательные стороны. Главное из них – это эвтрофикация – загрязнение водоёма органическими веществами. Плотные посадки рыбы и интенсивное кормление приводят к прогрессирующей эвтрофикации водоёма.

На протяжении ряда лет исследователями значительное внимание уделяется ДНК-технологиям в селекции форелевых рыб, в частности использованию аллельных вариантов отдельных генов, ассоциированных с продуктивными признаками [11] и полногеномному анализу полиморфных сайтов [12]. С другой стороны, имеются указания на то, что в определенных условиях бактерии *Janthinobacterium* sp. могут проявлять патогенность в отношении форели [13].

2. Формирование ремонтно-маточного стада

Основным методом формирования ремонтно-маточного стада является отбор рыб, достигших половой зрелости. Весной или осенью проводится бонитировка стада. Рыбы старших возрастов осматриваются и отбираются фенотипически лучшие особи [14]. Отобранные рыбы отсаживаются в водоём для маточного или ремонтного стада. Остальные рыбы выбраковывают (на реализацию или в товарное стадо). Исходным материалом для формирования маточного стада могут быть элитные производители маточных стад из других хозяйств. В этом случае посадочный материал завозится икрой, мальками или сеголетками. Предпочтение в перевозке отдают икре, как наименее трудоёмкому и наиболее дешёвому способу. Ежегодно маточное стадо обновляется на 30 %, удаляются самые старые и менее отвечающие породным показателям особи.

3. Получение зрелых половых продуктов и оплодотворение

В питомнике, где проводят нерест, отбирают лучших производителей и отдельно переносят их в небольшие бассейны с плотностью посадки 25-30 шт./м². За пересаженной рыбой проводят ежедневный контроль и, по мере созревания икры у самок, проводят ее отцеживание. О готовности икры судят следующим образом: при надавливании на брюшко из анального отверстия легко выходят зрелые икринки. Проводят тщательный контроль качества получаемых половых продуктов – икры и спермы. С целью получить как можно больше самок проводят реверсию пола, то есть получают однополый посадочный материал. Самцы-реверсаны созревают позже и поэтому быстрее растут перед созреванием, эффективнее усваивают корм и производят икру – дорогостоящий пищевой продукт.

4. Инкубация икры

Икру раскладывают на рыбоводные рамки и помещают их в инкубационный аппарат. В аппарат постоянно подают воду температурой 6-12°C. Скорость развития икры находится в зависимости от температуры воды [14]. В процессе инкубации мёртвую икру отбирают постоянно, так как мертвые икринки являются источником инфекционных заболеваний, таких как, сапролегниоз, кроме того, при их разложении расходуется кислород, что снижает его концентрацию в воде.

5. Выращивание рыбопосадочного материала

Мальков форели в течение рыбоводного цикла выращивают до 25-30 г. С биологической точки зрения – это неполовозрелые организмы. С технологической точки зрения таких рыб называют рыбопосадочным материалом, их сажают в нагульные водоёмы и выращивают из них товарную рыбу [14]. При двухлетнем сезонном обороте в открытых системах рыбопосадочным материалом являются сеголетки и годовики. При кормлении высококачественными кормами и быстром росте форели (за 2-4 месяца) рыбопосадочным материалом являются фингерлинги (рыбы размером с палец) с индивидуальной массой 25-30 г. Так как форель растёт даже в холодной воде при температуре воды 3-4°C [10], [15], то называют процесс не зимовкой, а выращиванием годовиков (то есть выращивание от сеголетков до годовиков) или выращивание форели в зимний период.

Заключение

Установки замкнутого водоснабжения являются современным методом выращивания форелевых рыб, обеспечивающим надёжный температурный контроль и регулирование качества воды. В современных условиях ведения аквакультуры особое значение приобретают методы генетики и биотехнологии, предлагающие к использованию на биофильтрах штаммы высокоэффективных гетеротрофных бактерий, позволяющие снизить концентрацию аммония, нитратов и нитритов в рециркулируемой воде.

Финансирование

Выполнено при поддержке государственного задания 121052600352-3.

Funding

Completed with the support of state task 121052600352-3.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Кирпичников В. С. Генетика и селекция рыб / В. С. Кирпичников. – М.: Наука, Ленинградское отделение, 1987. – 520 с.
2. Leeds T.D. Response to five generations of selection for growth performance traits in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) / T.D. Leeds, R.L. Vallejo, G.M. Weber et al. // Aquaculture. – 2016. – V. 465. – P. 341–351. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2016.08.036.
3. Van Rijn J. Waste treatment in recirculating aquaculture systems / J. Van Rijn // Aquac. Eng. – 2013. – V. 53. – P. 49–56. DOI: 10.1016/j.aquaeng.2012.11.010.
4. Yang M. Highly efficient nitrogen removal of a coldness-resistant and low nutrient needed bacterium, *Janthinobacterium* sp. M-11 / M.Yang, D.Lu, B.Qin et al. // Bioresour. Technol. – 2018. – V. 256. – P. 366– 373. DOI: 10.1016/j.biortech.2018.02.049.
5. Chen Y. Identification and characterization of *Janthinobacterium svalbardensis* F19, a novel low-C/N-tolerant denitrifying bacterium / Y.Chen, P.Jin, Z.Cui et al. // Applied Sciences. – 2019. – V. 9 – P. 1937. DOI: 10.3390/app9091937.
6. Chen J. Start-up and microbial communities of a simultaneous nitrogen removal system for high salinity and high nitrogen organic wastewater via heterotrophic nitrification / J. Chen, Y. Han, Y. Wang et al. // Bioresour. Technol. – 2016. – V. 216. – P. 196–202. DOI: 10.1016/j.biortech.2016.05.064.
7. Hoseinifar S.H. Probiotics as means of diseases control in aquaculture, a review of current knowledge and future perspectives / S.H. Hoseinifar, Y-Z. Sun, A. Wang, Z. et al. // Front Microbiol. – 2018. – V. 9. – P. 2429. DOI: 10.3389/fmicb.2018.02429.
8. Животовский Л.А. Генетическая история лососевых рыб рода *Oncorhynchus* / Л.А.Животовский // Генетика. – 2015. – Т. 51. – С. 584–599. DOI: 10.7868/S0016675815050100.
9. Neissi A. Cold-Resistant heterotrophic ammonium and nitrite-removing bacteria improve aquaculture conditions of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) / A. Neissi, G. Rafiee, H. Farahmand, S. et al. // Microbial Ecology. – 2020. – V. 80(2). – P. 266–277. DOI: 10.1007/s00248-020-01498-6.
10. Qu D. Heterotrophic nitrification and aerobic denitrification by a novel groundwater origin cold-adapted bacterium at low temperatures / D. Qu, C. Wang, Y. Wang et al. // RSC Adv. – 2015. – V. 5. – P. 5149–5157. DOI: 10.1039/C4RA13141J.
11. Goddard M.E. Mapping genes for complex traits in domestic animals and their use in breeding programmes / M.E. Goddard, B.J. Hayes // Nat. Rev. Genet. – 2009. – V. 10(6). – P. 381–391. DOI: 10.1038/nrg2575
12. Yáñez J.M. Genomics in aquaculture to better understand species biology and accelerate genetic progress / J.M. Yáñez, S. Newman, R.D. Houston // Front. Genet. – 2015. – V. 6. – P. 128. DOI: 10.3389/fgene.2015.00128
13. Oh W.T. *Janthinobacterium lividum* as an emerging pathogenic bacterium affecting Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Fisheries in Korea. / W.T. Oh, S.S. Giri, S. Yun et al. // Pathogens. – 2019. – V. 8(3). – P. 146. DOI: 10.3390/pathogens8030146.
14. Зеленников О.В. Гамето́генез радужной форели *Parasalmo mykiss*, выращенной от вылупления до полового созревания при температуре около 20°C / О.В.Зеленников, В.М. Голод // Вопросы ихтиологии. – 2019. – Т. 59 (1). С. 68–79. DOI:10.1134/S0042875219010193.
15. Timmons M.B. Recirculating aquaculture. 4th Edition / M.B. Timmons, T. Guerdat, B.J. Vinci. – Vero Beach, FL: Ithaca Publishing Company LLC, 2018. – 779 p.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kirpichnikov V. S. Genetika i selekcija ryb [Fish genetics and breeding] / V. S. Kirpichnikov. – M.: Nauka, Leningradskoe otделение, 1987. – 520 p. [in Russian].

2. Leeds T.D. Response to five generations of selection for growth performance traits in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) / T.D. Leeds, R.L. Vallejo, G.M. Weber et al. // *Aquaculture*. – 2016. – V. 465. – P. 341–351. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2016.08.036.
3. Van Rijn J. Waste treatment in recirculating aquaculture systems / J. Van Rijn // *Aquac. Eng.* – 2013. – V. 53. – P. 49–56. DOI: 10.1016/j.aquaeng.2012.11.010.
4. Yang M. Highly efficient nitrogen removal of a coldness-resistant and low nutrient needed bacterium, *Janthinobacterium* sp. M-11 / M.Yang, D.Lu, B.Qin et al. // *Bioresour. Technol.* – 2018. – V. 256. – P. 366–373. DOI: 10.1016/j.biortech.2018.02.049.
5. Chen Y. Identification and characterization of *Janthinobacterium svalbardensis* F19, a novel low-C/N-tolerant denitrifying bacterium / Y.Chen, P.Jin, Z.Cui et al. // *Applied Sciences*. – 2019. – V. 9 – P. 1937. DOI: 10.3390/app9091937.
6. Chen J. Start-up and microbial communities of a simultaneous nitrogen removal system for high salinity and high nitrogen organic wastewater via heterotrophic nitrification / J. Chen, Y. Han, Y. Wang et al. // *Bioresour. Technol.* – 2016. – V. 216. – P. 196–202. DOI: 10.1016/j.biortech.2016.05.064.
7. Hoseinifar S.H. Probiotics as means of diseases control in aquaculture, a review of current knowledge and future perspectives / S.H. Hoseinifar, Y-Z. Sun, A. Wang, Z. et al. // *Front Microbiol.* – 2018. – V. 9. – P. 2429. DOI: 10.3389/fmicb.2018.02429.
8. Zhivotovskij L.A. Geneticheskaja istorija lososevyh ryb roda *Oncorhynchus* [Genetic history of salmonid fishes of the genus *Oncorhynchus*] / L.A.Zhivotovskij // *Genetika* [Russian Journal of Genetics]. – 2015. – V. 51(5). – P. 584–599. DOI: 10.7868/S0016675815050100 [in Russian].
9. Neissi A. Cold-Resistant heterotrophic ammonium and nitrite-removing bacteria improve aquaculture conditions of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) / A. Neissi, G. Rafiee, H. Farahmand, S. et al. // *Microbial Ecology*. – 2020. – V. 80(2). – P. 266–277. DOI: 10.1007/s00248-020-01498-6.
10. Qu D. Heterotrophic nitrification and aerobic denitrification by a novel groundwater origin cold-adapted bacterium at low temperatures / D. Qu, C. Wang, Y. Wang and others // *RSC Adv.* – 2015. – V. 5. – P. 5149–5157. DOI: 10.1039/C4RA13141J.
11. Goddard M.E. Mapping genes for complex traits in domestic animals and their use in breeding programmes / M.E. Goddard, B.J. Hayes // *Nat. Rev. Genet.* – 2009. – V. 10(6). – P. 381–391. DOI: 10.1038/nrg2575
12. Yáñez J.M. Genomics in aquaculture to better understand species biology and accelerate genetic progress / J.M. Yáñez, S. Newman, R.D. Houston // *Front. Genet.* – 2015. – V. 6. – P. 128. DOI: 10.3389/fgene.2015.00128
13. Oh W.T. *Janthinobacterium lividum* as an emerging pathogenic bacterium affecting Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Fisheries in Korea. / W.T. Oh, S.S. Giri, S. Yun et al. // *Pathogens*. – 2019. – V. 8(3). – P. 146. DOI: 10.3390/pathogens8030146.
14. Zelennikov O.V. Gametogenez raduzhnoj foreli *Parasalmo mykiss*, vyrashhennoj ot vyluplenija do polovogo sozrevanija pri temperature okolo 20°S [Gametogenesis of Rainbow trout (*Parasalmo mykiss*) cultivated from hatching to sexual maturing at a temperature of approximately 20°C] / O.V.Zelennikov, V.M. Golod // *Voprosy ihtiologii* [Journal of Ichthyology]. – 2019. – Vol. 59 (1). P. 68–79. DOI: 10.1134/S0042875219010193 [In Russian].
15. Timmons M.B. *Recirculating aquaculture*. 4th Edition / M.B. Timmons, T. Guerdat, B.J. Vinci. – Vero Beach, FL: Ithaca Publishing Company LLC, 2018. – 779 p.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.109.7.025>**ВЛИЯНИЕ ИНСОЛЯЦИИ НА БИОДОСТУПНОСТЬ РАСТВОРЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА И СВЯЗАННЫХ С НИМ МЕТАЛЛОВ В ВОДЕ РЕКИ СЕНЬГА**

Научная статья

Алешина А.Р.*

ORCID: 0000-0003-3460-0197,

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

* Корреспондирующий автор (lis.aleshina[at]yandex.ru)

Аннотация

Растворенное органическое вещество (РОВ) играет важную роль в химическом составе природных вод бореальных экосистем. Основными факторами трансформации РОВ являются солнечный свет и микробный комплекс.

Проведение натурного эксперимента с водой реки Сеньга позволило выявить влияние инсоляции на биodeградацию исходного растворенного органического вещества и связанных с ним металлов. Было показано, что биodeградации подвергаются в основном низкомолекулярные соединения. При инсоляции примерно треть РОВ перешло в более высокомолекулярную форму ($>0,22$ мкм) или было минерализовано до CO_2 и HCO_3^- . В результате фото- и биodeградации образуются крупные ($>0,22$ мкм) органо-минеральные соединения, представленные гидроксидами железа, стабилизированными гуминовыми веществами, с которыми также могут соосаждаться Al, V, Mn, Co, Cu, Zn, Cd, Pb. В то же время, увеличилось содержания низкомолекулярных (<1 кДа) и, следовательно, более биодоступных соединений Co и Ni.

Ключевые слова: растворенное органическое вещество, поверхностные воды, инсоляция, фотodeградация, биodeградация, металлы.

THE EFFECT OF INSOLATION ON THE BIOACCESSIBILITY OF DISSOLVED ORGANIC MATTER AND RELATED METALS IN THE WATER OF THE SENGARIVER

Research article

Aleshina A.R.*

ORCID: 0000-0003-3460-0197,

Moscow State University, Moscow, Russia

* Corresponding author (lis.aleshina[at]yandex.ru)

Abstract

Dissolved organic matter (DOM) plays an important role in the chemical composition of natural waters of boreal ecosystems. The main factors of DOM transformation are sunlight and the microbial complex.

Conducting a full-scale experiment with the water of the Sengariver allowed for identifying the effect of insolation on the biodegradation of the initial dissolved organic matter and related metals. The study demonstrates that mainly low-molecular compounds undergo biodegradation. During insolation, about a third of the DOM passed into a higher molecular weight form (>0.22 microns) or was mineralized to CO_2 and HCO_3^- . As a result of photo-and biodegradation, large (>0.22 microns) organo-mineral compounds are formed as iron hydroxides, stabilized humic substances, with which Al, V, Mn, Co, Cu, Zn, Cd, Pb can also be co-deposited. At the same time, the content of low-molecular (<1 kDa) and therefore more bioaccessible compounds Co and Ni are observed to be on the increase.

Keywords: dissolved organic matter, surface water, insolation, photodegradation, biodegradation, metals.

Введение

Растворенное органическое вещество (РОВ, размер соединений $<0,22$ мкм) играет важную роль в водных экосистемах. Исследования взаимодействий органического вещества с ионами металлов актуальны для прогнозирования процессов перераспределения гуминовых соединений и тяжелых металлов в окружающей среде, формирования качества природных вод, токсичности и биодоступности металлов [1]. Основными факторами трансформации РОВ являются фото- и биodeградация [2].

Фотохимическая трансформация растворенных веществ в поверхностных водах может происходить путем прямого фотолиза (когда поглощение солнечного излучения молекулой вызывает ее изменение) или косвенного (когда образуются химически активные переходные формы) [3]. Фотodeградация может трансформировать молекулярные структуры РОВ в более биодоступные формы [4], что может приводить к увеличению их биodeградации в природных системах.

Фотолиз также оказывает влияние на металлы в поверхностных водах, которые часто связаны в органические и органо-минеральные коллоиды [5]. Однако поведение многих микроэлементов при фото- и биodeградации РОВ остается слабоизученным за исключением нескольких работ [6], [7].

Методы исследования

Эксперимент с пробами природных вод реки проводился в следующих вариантах (рис. 1):

1) биodeградация и фотodeградация: пробы вод, пропущенные через сетку с размером ячеек 100 мкм (для отделения крупного материала), с нативным микробным комплексом облучались солнечным светом;

2) биodeградация: пробы вод, пропущенные через сетку с размером ячеек 100 мкм, с нативным микробным комплексом находились в темноте.

Контрольный вариант эксперимента поставлен со «стерильными» (пропущенными через фильтры с размером пор 0,22 мкм, FiTreM®, INNIT) образцами природных вод без доступа света. Фильтрация через 0,22 мкм позволяет удалить более 99,5% бактерий [8].



Рис. 1 – Схема экспериментов

Для исследования были выбраны богатые гумусовыми веществами воды реки Сеньга ($S_{\text{водосбора}} = 163 \text{ км}^2$, средний расход ок. $0,6 \text{ м}^3/\text{с}$), расположенной во Владимирской области (центральная Россия, бореальная зона). Эксперимент проводился в июле на протяжении 10 суток. Образцы исследуемых вод помещались в кварцевые герметично закрытые стаканы и помещались либо под солнечное излучение, либо хранились в темноте. В ходе экспериментов в определенные промежутки времени отбирались пробы, которые позволили отследить динамику протекающих в растворах процессов. Для дальнейших анализов все образцы пропускались через стерильные фильтры с размером пор 0,22 мкм и 1 кДа.

Значения pH растворов измерены pH-метром Hanna HI 9025. Концентрации РОУ определены на жидкостном элементном анализаторе (LiquiTOC trace, Elementar). Концентрации металлов в пробах измерены методом ИСП-МС (Element-2, Thermo Finnigan). Содержания неорганических анионов определены методом ионной хроматографии (Dionex ICS-2000). Щелочность измерена по методу титрования [9]. Концентрацию гуминовых веществ (ГВ) в образцах определяли по реакции их связывания с толуидиновым синим [10]. Количество выделяющегося CO_2 измеряли абсорбционным методом с 0,05 М КОН в качестве поглотителя.

Основные результаты

В ходе эксперимента наблюдалось снижение концентрации растворенного органического углерода (РОУ) как в результате биодеградации в темноте, так и при инсоляции. Часть РОУ перешло в неорганическую форму (гидрокарбонаты и углекислый газ). Снижение содержания органического углерода в фильтратах 0,22 мкм обусловлено также процессом образования более высокомолекулярных органических соединений, которые удаляются из раствора при перефильтрации проб (рис. 2).

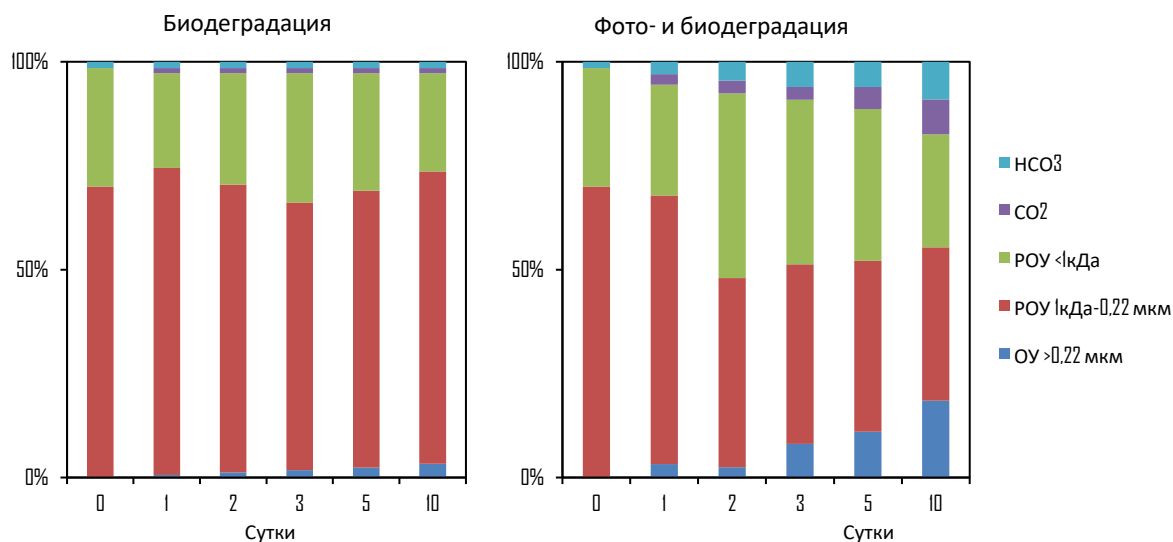


Рис. 2 – Изменение форм углерода в ходе экспериментов

Содержание гуминовых веществ во фракции <0,22 мкм снизилось на 33% в результате биодеградации и на 95% в результате совместного влияния фото- и биодеструкции (рис. 3).

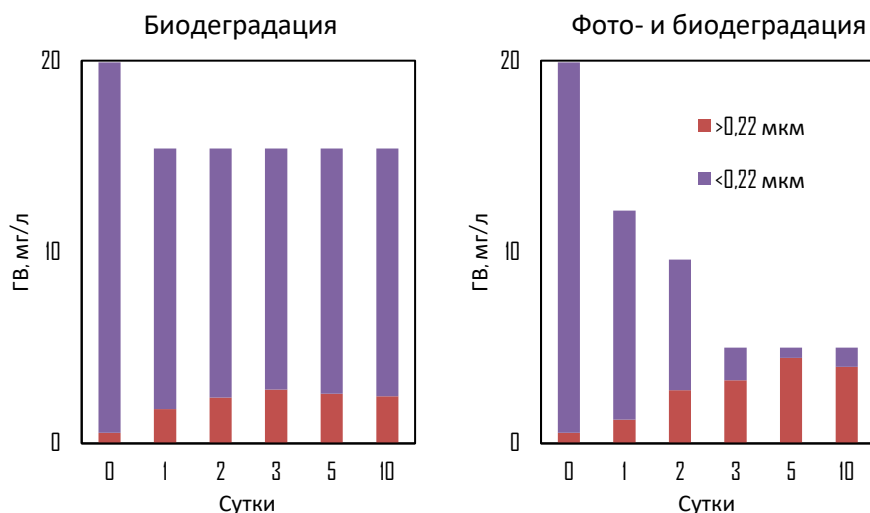


Рис. 3 – Изменение форм нахождения гумусовых веществ (ГВ) в ходе экспериментов

В речных водах исходно большая часть железа находится во фракции 1 кДа – 0,22 мкм, лишь пятая часть всех соединений железа превышает в размере 0,22 мкм (рис. 4). Биодеградация практически не изменила формы нахождения железа. В результате фото- и биодеградации почти все железо перешло в форму >0,22 мкм.

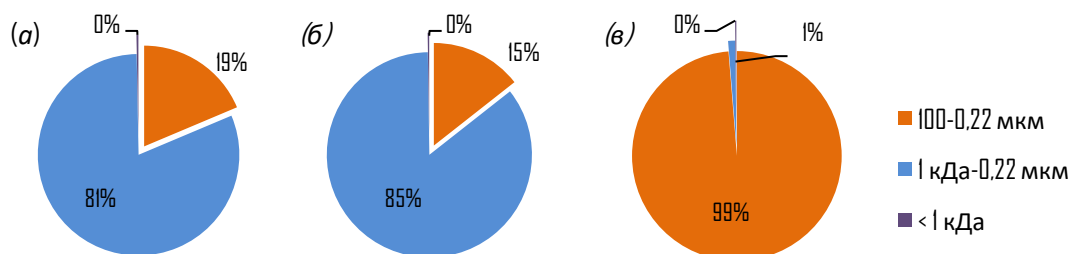


Рис. 4 – Распределение железа по фракциям в исследуемых водах до проведения эксперимента (а), после биодеградации (б), после фото- и биодеградации (в)

Расчет форм нахождения растворенных металлов проводился в программе Visual MINTEQ версии 3.1 для Windows [11] совместно с базой данных и Стокгольмской гуминовой моделью (SHM). Входными параметрами модели были pH, концентрации РОУ, анионов, катионов и микроэлементов.

Полученные результаты показали, что в исследуемых водах реки в наибольшей степени с органическим веществом связаны такие металлы как Cr, Fe, Ni, Cu, Cd, Zn, Pb (рис. 5). В результате биодеградации на 25% уменьшилась доля Zn и на 15% увеличилась доля Cd, связанных с ОВ. В результате фото- и биодеградации доля металлов, связанных с ОВ, либо увеличилась, либо осталась примерно на том же уровне.

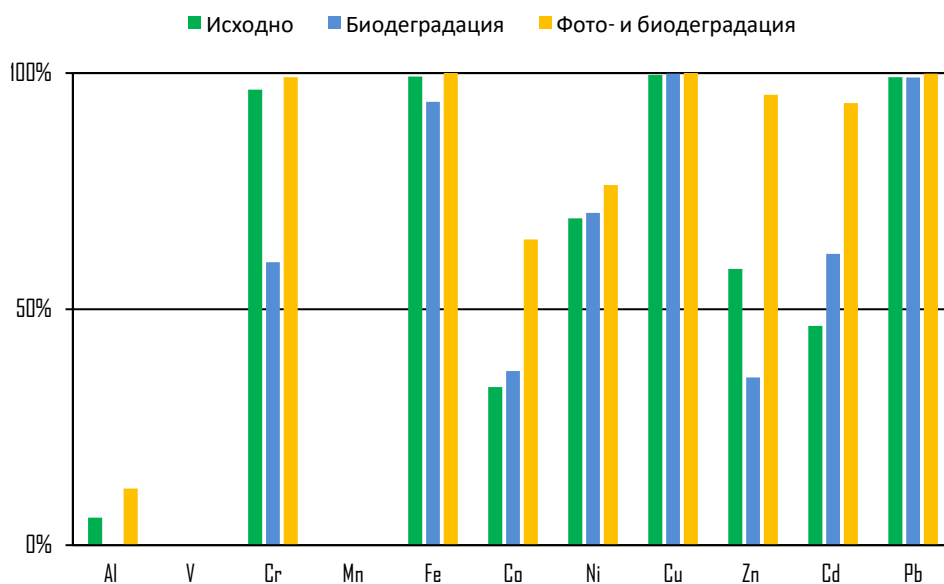


Рис. 5 – Доля металлов, связанных с органическим веществом, в исследуемых водах до (исходно) и после эксперимента во фракции <0,22 мкм по данным моделирования в программе vMinteq

В ходе эксперимента были определены содержания таких металлов, как Al, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb во фракциях <0,22 мкм и <1 кДа (рис. 6). При биодegradации основные изменения произошли в низкомолекулярной фракции <1 кДа: в среднем на 40% уменьшились концентрации Al, Cr, Mn, Fe, Co, Zn, Cd, Pb и на 25%, 6% и 7% увеличились концентрации V, Ni, Cu соответственно, вероятно вследствие высвобождения их из высокомолекулярных органо-минеральных комплексов в результате деструкции. Значительно уменьшились содержания Al, Mn, Pb также во фракции <0,22 мкм.

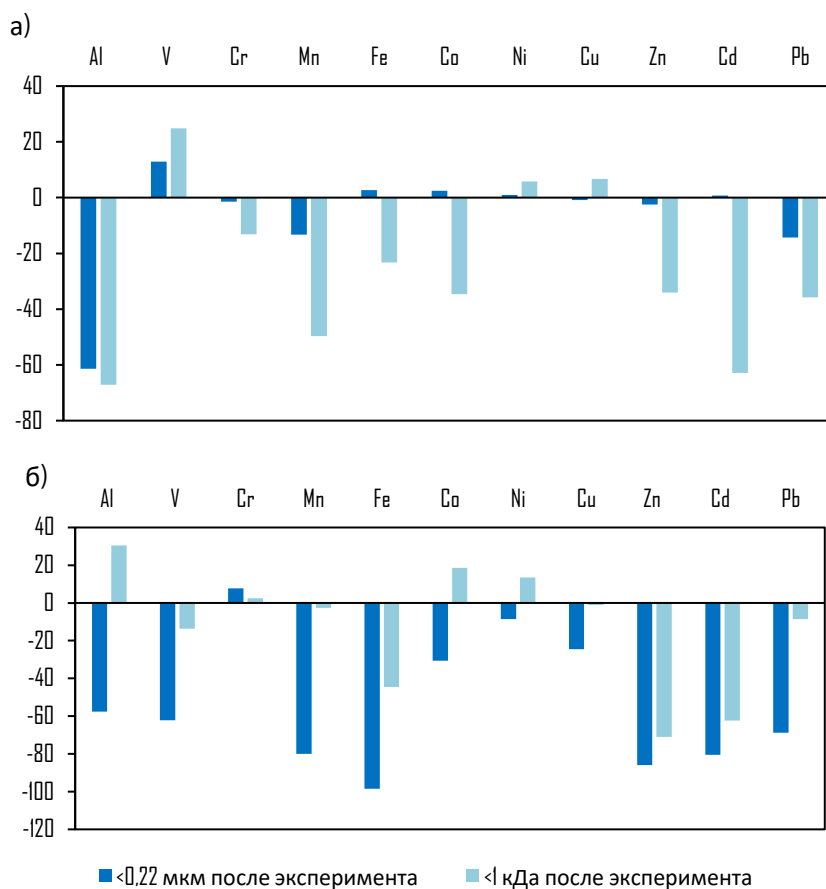


Рис. 6 – Изменение концентраций металлов в пробах после эксперимента (а) по биодegradации и (б) фото- и биодegradации; исходное содержание металлов принято за 0, на графике показано изменение концентраций в % относительно исходных концентраций

В результате фото- и биодegradации содержания Al, Co, Ni увеличились во фракции <1 кДа на 30%, 19% и 14% соответственно. В среднем на 65% уменьшились содержания Al, V, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, Cd, Pb во фракции <0,22 мкм.

До облучения высокая концентрация гуминовых веществ обеспечивала стабильность комплексов Fe(III) с органическими лигандами (до 99% железа связано с ОВ, рис. 5). В результате переноса заряда от лиганда к металлу происходит восстановление Fe(III) и одновременное окисление РОВ в первые дни эксперимента [12]. В насыщенных кислородом водах при нейтральном pH Fe(II) окисляется и подвергается гидролизу с последующей полимеризацией [13]. Полимеризация Fe(III) приводит к образованию малорастворимых частиц гидроксида (>0,22 мкм), которые приводят к снижению общей концентрации Fe во фракции менее 0,22 мкм на протяжении всего эксперимента. Учитывая, что при pH 4,5-6,5 поверхность осажженных гидроксидов железа положительно заряжена [14], наиболее вероятным механизмом удаления металлов в условиях эксперимента было бы связывание их отрицательно заряженных высокомолекулярных органических комплексов с гидроксидами Fe.

Заклучение

Проведенные эксперименты показали, что инсоляция увеличивает степень деструкции и минерализации РОУ на 15% и одновременно способствует образованию более высокомолекулярных соединений. В результате фото- и биодegradации наблюдалось изменение форм нахождения металлов во всей растворенной фракции <0,22 мкм как следствие образования гидроксидов железа, стабилизированных органическими лигандами, совместно с которыми осаждаются и некоторые другие металлы. Процесс биодegradации оказался направлен, в основном, на низкомолекулярные формы соединений РОВ и металлов.

Таким образом, инсоляция может привести к снижению концентрации металлов (Al, V, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, Cd, Pb) в водных системах ниже по течению и их прогрессивному накоплению в донных отложениях. В то же время, увеличение низкомолекулярных соединений Co и Ni может сделать последние потенциально более доступными для биодegradации.

Финансирование

Данное исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ № 20-35-90017.

Funding

This work was supported by the RFBR (grant № 20-35-90017).

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Bowen J.C. Photodegradation disproportionately impacts biodegradation of semi-labile DOM in streams / J.C. Bowen, L.A. Kaplan, R.M. Cory // *Limnol. Oceanogr.* 9999, 2019. 1-14.
2. Riedel T. Molecular signatures of biogeochemical transformations in dissolved organic matter from ten world rivers / T. Riedel, M. Zark, A. V. Vähätalo et al. // *Front. Earth Sci.*, 2016. 4, 85.
3. Vione D. Indirect photochemistry in sunlit surface waters: photoinduced production of reactive transient species / D. Vione, M. Minella, V. Maurino et al. // *Chem. Eur J.*, 2014. 20, 10590-10606.
4. Cory R.M. Interactions between sunlight and microorganisms influence dissolved organic matter degradation along the aquatic continuum / R.M. Cory, G.W. Kling // *Limnol. Oceanogr.*, 2018. 3 (3), 102-116.
5. Chupakova A.A. Photodegradation of river dissolved organic matter and trace metals in the largest European Arctic estuary / A.A. Chupakova, A.V. Chupakov, N.V. Neverova et al // *Sci. Total Environ.*, 2018. 622-623, 1343-1352.
6. Oleinikova O.V. Dissolved organic matter degradation by sunlight coagulates organo-mineral colloids and produces low-molecular weight fraction of metals in boreal humic waters / O.V. Oleinikova, O.Yu. Drozdova, S.A. Lapitskiy et al. // *Geochem. Cosmochim. Acta*, 2017. 211, 97-114.
7. Дроздова О. Ю. Экспериментальное исследование процесса фотодеструкции органических соединений природных вод / О. Ю. Дроздова, Н. А. Анохина, В. В. Демин и др. // *Вестник Московского университета. Серия 4: Геология.*, 2018. 4, 75-79.
8. Kitidis, V. CDOM Dynamics and Photoammonification in the Marine Environment / V. Kitidis. Ph.D. Thesis, University of Newcastle., 2002. 182.
9. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв / Е.В. Аринушкина. М.: МГУ, 1970. 488 с.
10. Sheng, G.-P. A rapid quantitative method for humic substances determination in natural waters / G.-P. Sheng, M.-L. Zhang, H.-Q. Yu, // *Anal. Chim. Acta*, 2007. 592 (2), 162-167.
11. Gustafsson, J.P. Visual MINTEQ / J.P. Gustafsson, Ver, 3.1., 2013. [Electronic resource]. URL: <http://vminteq.lwr.kth.se>. (accessed 8.03.2019).
12. Drozdova O. Y. Coagulation of organo-mineral colloids and formation of low molecular weight organic and metal complexes in boreal humic river water under UV-irradiation / O. Y. Drozdova, A. R. Aleshina, V. V. Tikhonov et al. // *Chemosphere*, 2020. 250, 1-10.
13. Zhu M. Precipitation pathways for ferrihydrite formation in acidic solutions / M. Zhu, C. Frandsen, A.F. Wallace et al. // *Geochem. Cosmochim. Acta*, 2016. 172, 247-264.
14. Stumm, W. Chemistry of the Solid-Water Interface / W. Stumm // JohnWiley & Sons, New York, 1992. P. 448.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Bowen J.C. Photodegradation disproportionately impacts biodegradation of semi-labile DOM in streams / J.C. Bowen, L.A. Kaplan, R.M. Cory // *Limnol. Oceanogr.* 9999, 2019. 1-14.
2. Riedel T. Molecular signatures of biogeochemical transformations in dissolved organic matter from ten world rivers / T. Riedel, M. Zark, A. V. Vähätalo et al. // *Front. Earth Sci.*, 2016. 4, 85.
3. Vione D. Indirect photochemistry in sunlit surface waters: photoinduced production of reactive transient species / D. Vione, M. Minella, V. Maurino et al. // *Chem. Eur J.*, 2014. 20, 10590-10606.
4. Cory R.M. Interactions between sunlight and microorganisms influence dissolved organic matter degradation along the aquatic continuum / R.M. Cory, G.W. Kling // *Limnol. Oceanogr.*, 2018. 3 (3), 102-116.
5. Chupakova A.A. Photodegradation of river dissolved organic matter and trace metals in the largest European Arctic estuary / A.A. Chupakova, A.V. Chupakov, N.V. Neverova et al // *Sci. Total Environ.*, 2018. 622-623, 1343-1352.
6. Oleinikova O.V. Dissolved organic matter degradation by sunlight coagulates organo-mineral colloids and produces low-molecular weight fraction of metals in boreal humic waters / O.V. Oleinikova, O.Yu. Drozdova, S.A. Lapitskiy et al. // *Geochem. Cosmochim. Acta*, 2017. 211, 97-114.
7. Drozdova O. Yu. Jeksperimental'noe issledovanie processa fotodestrukicii organicheskikh soedinenij prirodnih vod [Experimental study of the process of photodestruction of organic compounds of natural waters] / O. Yu. Drozdova, N. A. Anokhina, V. V. Demin, etc. // *Vestnik Moskovskogo universiteta [Bulletin of the Moscow University]. Series 4: Geology.*, 2018. 4, 75-79. [in Russian]
8. Kitidis, V. CDOM Dynamics and Photoammonification in the Marine Environment / V. Kitidis. Ph.D. Thesis, University of Newcastle., 2002. 182.
9. Arinushkina E. V. Rukovodstvo po himicheskomu analizu pochv [Manual on chemical analysis of soils] / E. V. Arinushkina. Moscow: MSU, 1970. 488 p. [in Russian]
10. Sheng, G.-P. A rapid quantitative method for humic substances determination in natural waters / G.-P. Sheng, M.-L. Zhang, H.-Q. Yu, // *Anal. Chim. Acta*, 2007. 592 (2), 162-167.
11. Gustafsson, J.P. Visual MINTEQ / J.P. Gustafsson, Ver, 3.1., 2013. [Electronic resource]. URL: <http://vminteq.lwr.kth.se>. (accessed 8.03.2019).
12. Drozdova O. Y. Coagulation of organo-mineral colloids and formation of low molecular weight organic and metal complexes in boreal humic river water under UV-irradiation / O. Y. Drozdova, A. R. Aleshina, V. V. Tikhonov et al. // *Chemosphere*, 2020. 250, 1-10.
13. Zhu M. Precipitation pathways for ferrihydrite formation in acidic solutions / M. Zhu, C. Frandsen, A.F. Wallace et al. // *Geochem. Cosmochim. Acta*, 2016. 172, 247-264.
14. Stumm, W. Chemistry of the Solid-Water Interface / W. Stumm // JohnWiley & Sons, New York, 1992. P. 448.

НАУКИ О ЗЕМЛЕ / SCIENCE ABOUT THE EARTH

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.109.7.026>

**ВЛИЯНИЕ РАЗРАБОТКИ ВАХИТОВСКОГО НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
НА ПОДЗЕМНУЮ ГИДРОСФЕРУ ОРЕНБУРЖЬЯ**

Научная статья

Куделина И.В.*

ORCID:0000-0003-0661-1550,

Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

* Корреспондирующий автор (kudelina.inna[at]mail.ru)

Аннотация

Усиление в последние годы добычи и переработки полезных ископаемых, приводят к возрастанию техногенной нагрузки на подземную гидросферу и ее основной компонент – подземные воды. Техногенное воздействие вызывает изменение качества подземных вод и истощение их запасов. Целью данного исследования является оценка состояния подземных вод в районе интенсивной разработки Вахитовского нефтяного месторождения, на основе изучения результатов режимных наблюдений по наблюдательным сетям данного месторождения. Выявлено, что имеют место превышения таких показателей химического состава подземных вод, как: железо, марганец, нефтепродукты и хлориды. Рекомендуется проводить расширение сети мониторинга за подземными водами, модернизацию производства с его переводом на малоотходные технологии, проведение территориального планирования при размещении производительных сил и производственных объектов.

Ключевые слова: загрязняющие вещества, подземные воды, минерализация, промстоки.

**IMPACT OF VAKHITOVSKY OIL FIELD DEVELOPMENT ON THE UNDERGROUND HYDROSPHERE
OF ORENBURG OBLAST**

Research article

Kudelina I.V.*

ORCID:0000-0003-0661-1550,

Orenburg State University, Orenburg, Russia

* Corresponding author (kudelina.inna[at]mail.ru)

Abstract

The increase in mining and processing of minerals in recent years leads to an increase in the anthropogenic load on the underground hydrosphere and its main component – underground water. Man-made impacts cause changes in the quality of groundwater and depletion of its reserves. The purpose of this study is to assess the state of underground water in the area of intensive development of the Vakhitovsky oil field based on the results of monitoring on the observation networks of this field. The study determines that there are excess indicators of the chemical composition of underground water, such as iron, manganese, petroleum products, and chlorides. It is recommended to expand the underground water monitoring network, modernize production with its transfer to low-waste technologies, and conduct territorial planning for the placement of productive forces and production facilities.

Keywords: pollutants, underground water, mineralization, industrial effluents.

Введение

Современный уровень добычи газа, нефти и конденсата позволяет отнести нефтедобывающую отрасль к отраслям с безотходным производством, т.е. огромные объемы образующихся сточных вод промыслов практически полностью могут быть использованы повторно, в замкнутом цикле. При этом большая часть сточных вод закачивается в продуктивные пласты для поддержания пластового давления, а часть (не подлежащая очистке) – в поглощающие горизонты. Однако, на практике из-за нарушений технологического режима и аварий на трубопроводах и оборудовании, может происходить загрязнение подземных и поверхностных вод нефтепродуктами и попутными водами, т.е. углеводородным и химическим сырьем на участке их добычи.

К источникам антропогенного воздействия, связанным с добычей углеводородного сырья, относятся: нефтяные добывающие и нагнетательные скважины; системы захоронения попутно добываемых подземных вод из глубоко залегающих горизонтов; разветвленная система продуктопроводов; сооружения по сбору, переработке и транспортировке углеводородного сырья; автономные водозаборы подземных вод, расположенные на площади месторождения и используемые для добычи подземных вод с целью хозяйственно-питьевого или технического воздействия; утилизация и захоронение продуктов бурения глубоких нефтяных скважин (буровой шлам, отработанная промывочная жидкость) [1, С.21].

Усиление в последние годы добычи и переработки полезных ископаемых, приводят к возрастанию техногенной нагрузки на подземную гидросферу и ее основной компонент – подземные воды. Техногенное воздействие вызывает изменение качества подземных вод (в том числе загрязнение) и истощение их запасов [2, С.15].

Учитывая важнейшую роль подземных вод, в первую очередь для хозяйственно-питьевого водоснабжения населения, их тесную взаимосвязь с другими компонентами природной среды, необходимо проводить изучение состояния подземных вод, их качественных и количественных характеристик на основе единой Государственной концепции, предусматривающей обязательное сопряжение с системой мониторинга других компонентов природной среды [3, С.58].

Целью данного исследования является оценка состояния подземных вод в районе интенсивной разработки Вахитовского нефтяного месторождения, на основе изучения результатов режимных наблюдений по наблюдательным сетям данного месторождения.

Результаты и обсуждения.

Площадь исследования расположена в степной зоне Оренбургского Приуралья, в междуречье рек Большой Уран и Гусиха. Находится в 1-1,5 км к юго-западу от реки Большой Уран. Рассматриваемая территория является областью питания и формирования подземных вод практически всех гидрогеологических подразделений зоны свободного водообмена. Однако, гидрогеологическая изученность здесь крайне низкая. Основные гидрогеологические съемочные и тематические работы этих территорий выполнены в 60-х и 70-х годах и устарели как в плане изученности, так и в результате произошедших экологических изменений [4, С.125], [5, С. 941]. Практически повсеместно на водоразделах не определена мощность зоны пресных вод, хотя имеются все предпосылки, а на отдельных участках и фактические подтверждения о скоплении здесь значительных запасов пресных подземных вод, залегающих на значительных глубинах. Именно здесь происходит основное питание водоносных коллекторов, и именно они, являясь водосборами, формируют основные ресурсы и запасы пресных подземных вод в зоне свободного водообмена. Здесь формируются довольно значительные ресурсы пресных вод, за счет которых могут быть решены проблемы питьевого водообеспечения промышленных объектов и комплексов, мелких и средних. Практически все основные водораздельные и склоновые пространства сложены переслаивающимися разнородными, не выдержанными по простиранию и разрезу породами с различной проницаемостью [6, С.4].

Вахитовское месторождение углеводородного сырья расположено на вышеописанных «уникальных» водоразделах, которые по материалам бурения скважин-колодцев, поисковых, разведочных и наблюдательных скважин на глубину до 300 м содержат пресные, надежно защищенные от поверхностного загрязнения, подземные воды. Поэтому наблюдения за гидродинамическим режимом гидрогеологических подразделений, распространенных на водоразделах являются очень важными.

Вахитовское месторождение многокупольное и многопластовое. Залежи нефти установлены: в пластах Д₅₋₂, Д₅₋₁ афонинского горизонта; Д₁ пашийского горизонта; Д_{кт} верхнефранского подъяруса (колганская толща).

Помимо нефтяных скважин, на территории Вахитовского месторождения развита сеть продуктопроводов от скважин на 3 АГЗУ (автоматизированные групповые замерные установки), а после нефтепродукты поступают на ДНС (дожимная насосная станция) и затем за пределы месторождения на территорию Дачно-Репинского месторождения.

Продуктопроводы, УПНГ (установки подготовки нефти и газа), замерные установки являются источниками поверхностного загрязнения, а добывающие и поглощающие скважины могут являться источниками как поверхностного, так и глубинного загрязнения. Добывающие скважины имеют в основном условно-горизонтальный профиль с открытым горизонтальным стволом в пределах продуктивного пласта. Глубина скважин по вертикали составляет в среднем 1945 м, по стволу – 2500 м. Конструкция скважин четырехколонная (направление, кондуктор, техническая и эксплуатационная колонны). Затрубное пространство всех колонн по проекту должно быть зацементировано до устья.

Добывающие, нагнетательные и поглощающие скважины оказывают хотя и точечное, но наиболее массивное, иногда необратимое, воздействие на геологическую среду, приводя к загрязнению почв, грунтов, поверхностных и подземных вод, и, как следствие, к прямому или косвенному изменению многих компонентов окружающей среды [7, С.41].

Наиболее эффективным методом обеспечения рациональной добычи подземных вод, осуществления контроля за их состоянием является организация мониторинга подземных вод, представляющего собой комплексную систему наблюдений, оценки и прогнозирования изменений состояния подземных вод под воздействием антропогенных и природных факторов. Основными объектами наблюдений при организации мониторинга подземных вод на месторождении являются гидрогеологические подразделения верхней гидродинамической зоны [8, С.125].

На месторождении первым от поверхности залегает северодвинский комплекс. Однако практического применения на площади горного отвода не имеет и практически сдренирован. Водоносный уржумский комплекс залегает также первым от поверхности, местами вторым, залега под отложениями северодвинского комплекса [9, С.105].

Анализируя имеющиеся результаты химических анализов проб подземных вод уржумского комплекса, отчетливо выражается гидрохимическая обстановка Вахитовского месторождения подземных вод. Гидрохимическая характеристика водоносного комплекса по правому берегу реки Б. Уран, отличается от гидрохимической характеристики левого берега [10].

Химический состав подземных вод перспективной толщи на правом берегу реки Б. Уран в основном отнотипен. Подземные воды уржумского комплекса здесь пресные и слабосолоноватые, минерализация изменяется от 0,4 до 1,4 г/дм³ при средних доминирующих значениях 0,6-0,8 г/дм³. По анионам воды гидрокарбонатные, сульфатно-гидрокарбонатные, с глубиной состав меняется на гидрокарбонатно-сульфатный, что вполне закономерно. При гидрокарбонатном типе воды, содержание гидрокарбонатов составляет 61-71 мг-экв %, а сульфаты и хлориды приблизительно в одинаковых количествах.

При сульфатно-гидрокарбонатном составе, содержание гидрокарбонатов – 35-40 мг-экв %, роль сульфатов возрастает – 22-29 мг-экв %. И, наконец, при опробовании в скважине № 2П, где скважиной вскрыта максимальная мощность отложений уржумского комплекса, вода гидрокарбонатно-сульфатного состава; содержание сульфатов возрастает до 65 мг-экв % при подчиненном значении гидрокарбонат-ионов – 20 мг-экв %. По катионам воды в основном натриевые, в меньшей степени присутствуют кальций и магний. Анализ содержания анионов показывает, что при минерализации 1,1 г/дм³ гидрокарбонатные воды сменяются сульфатными.

По жесткости подземные воды уржумского комплекса на правобережье реки Бол. Уран встречаются от очень мягких с величиной общей жесткости от 1,8, до умеренно жестких с величиной в 9,7 мг-экв/дм³. При увеличении содержания солей Mg²⁺ и Ca²⁺, увеличивается и жесткость подземных вод.

Подземные воды толщи уржумского комплекса на левом берегу реки Бол. Уран пресные и слабосолоноватые, минерализация изменяется от 0,75 до 1,2 г/дм³ при доминирующем значении 0,8 г/дм³. По анионам воды гидрокарбонатно-хлоридные, гидрокарбонатные, реже хлоридно-гидрокарбонатные и смешанные.

Миграционные кривые содержания анионов показывают, что при величине минерализации 1,0 г/дм³ роль гидрокарбонат-ионов уменьшается, а повышается значение хлорид-ионов [7]. По катионам подземные воды комплекса, как и на правом берегу, в основном натриевые, в меньшей степени присутствуют кальций и магний. По жесткости подземные воды уржумского комплекса на левобережном участке Вахитовского месторождения очень мягкие с величиной общей жесткости от 0,8-1,2 до 5,0 мг-экв/дм³.

Для подземных вод характерно то, что среди микрокомпонентов в повышенном количестве присутствует общее железо. В скважинах его концентрация варьирует от 0,1 до 2,02 мг/дм³, составляя в среднем 0,8 мг/дм³. Повышенное содержание в подземных водах иона железа характерно практически для всех отложений большей части территории Оренбургской области. Остальные определяемые микрокомпоненты содержатся в незначительных количествах.

Выполненный анализ качества подземных вод уржумского комплекса обращает пристальное внимание на результаты опробования в скважине № 6П, глубиной 150 м, и опробования в скважине № 5П, так как величина минерализации 1,6-4,9 г/дм³ не характеризует истинного химизма уржумского комплекса в этом интервале. Подавляющее количество присутствующих здесь хлоридов не характерно для верхней части водоносного уржумского комплекса. Достаточно обратить внимание на результаты химических анализов расположенных в непосредственной близости скважин-колодцев: № 50262Р с величиной минерализации 0,75 г/дм³, учитывая еще и тот факт, что скважина глубже на 50 м; № 7П с величиной минерализации при всех трех опробованиях до глубины 300 м – 0,8-0,9 г/дм³.

Более того, при опробовании в скважине № 6П, величина минерализации уменьшается от 4,9 до 1,2 г/дм³. Скорее всего, повышенная минерализация свидетельствует о наличии техногенного загрязнения подземных вод от действия нефтяных скважин, что подтверждается наличием в этих скважинах повышенных содержаний нефтепродуктов – 0,22-0,4 мг/дм³. Рекомендуется организовать наблюдения за подземными водами уржумского комплекса в районе нефтяных скважин, а также нагнетательной скважины. В случае подтверждения трансформации природной геологической среды, необходимо выявить источник загрязнения и принять мероприятия по его ликвидации.

Выводы

Из анализа обстановки состояния подземных вод по данным проб воды из наблюдательной сети скважин, а также с привлечением результатов из водозаборных скважин и скважин-колодцев на Вахитовском месторождении возникают превышения таких показателей как: железо, марганец, нефтепродукты и хлоридов. Данные показатели не характерны для этого месторождения, территория которого расположена на уникальных водоразделах, которые содержат пресные подземные воды до глубины 200-250 м. Во многих регионах страны за счет водоразделов организованы резервные надежно защищенные источники водоснабжения на случай чрезвычайных ситуаций. Если «запустить» ситуацию с техногенным загрязнением водоразделов от деятельности нефтегазодобывающей отрасли, то можно с «легкостью» лишиться подобных надежно защищенных источников.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Куделина, И. В. Влияние разработки нефтяных месторождений на подземную гидросферу Оренбуржья / И. В. Куделина, Т. В. Леонтьева, М. В. Фатюнина // Региональные проблемы геологии, географии, техносферной и экологической безопасности : сб. ст. Всерос. науч.-практ. конф., 18-20 нояб. 2019 г., Оренбург / Минобрнауки России [и др.]. - Электрон. дан. - Оренбург : Полиарт, 2019. - С. 19-23. - 5 с.
2. Леонтьева, Т. В. Вопросы методики гидрогеологических исследований и обоснование возможности восполнения запасов подземных вод / Т. В. Леонтьева // Известия вузов Кыргызстана, 2018. - № 2. - С. 14-17. - 4 с.
3. Куделина, И. В. К методологии гидрогеологических исследований в Южном Приуралье / И. В. Куделина // Новые направления работ на нефть и газ, инновационные технологии разработки их месторождений, перспективы добычи нетрадиционного углеродного сырья : материалы Всерос. науч.-практ. конф., / отв. ред. А. В. Колomoец. - Электрон. дан. - Оренбург : Агентство Пресса, 2019. - С. 57-59. - 3 с.
4. Куделина, И. В. К истории освоения водных ресурсов Оренбургской городской агломерации / Куделина И. В. // Экологическая и техносферная безопасность горнопромышленных регионов : труды VII Междунар. науч.-практ. конф., 9 апр. 2019 г., Екатеринбург / Уральский гос. горный ун-т; отв. ред. А. И. Семячков. - Электрон. дан. - Екатеринбург : Уральский гос. горный ун-т, 2019. - С. 124-129. - 6 с.
5. Леонтьева, Т. В. Поисково-разведочные работы на нефть и газ / Т. В. Леонтьева, Л. Ф. Хусаинова // 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". - Электрон. дан. - Оренбург : ОГУ, 2020. - С. 940-943. - 4 с.
6. Барьерная роль осадочного чехла платформ в отношении углеводородов на примере Предуралья / А. Я. Гаев, И. В. Куделина, Т. В. Леонтьева, Т. И. Якшина // VII Кудрявцевские чтения : сб. тех. Всерос. конф. по глубинному генезису нефти и газа, 21-23 окт. 2019 г., Москва / М-во науки и высш. образования Рос. Федер. - Электрон. дан. - Москва : ЦГЭ, 2019. - С. 1-6. - 6 с.

7. Клименко, А. В. Попутный нефтяной газ и способы его переработки / А. В. Клименко, Т. В. Леонтьева // Новые направления работ на нефть и газ, инновационные технологии разработки их месторождений, перспективы добычи нетрадиционного углеводородного сырья : материалы Всерос. науч.-практ. конф. / отв. ред. А. В. Коломоец. - Электрон. дан. - Оренбург : Агентство Пресса, 2019. - С. 40-42. - 3 с.

8. Зинченко, Л.Е. Проект на создание наблюдательной сети и работ локального мониторинга подземных и поверхностных вод на Вахитовском месторождении нефти и в условной зоне влияния в 2005-2008 гг.(I этап)/ Л.Е. Зинченко. ЗАО «Восточная ГРЭ». Орск, 2005. - С. 122-148.

9. Зинченко, Л.Е. Проект на проведение поисково-разведочных работ на подземные воды с подсчетом запасов на Вахитовском месторождении нефти ОАО «Сорочинскнефть»./ Л.Е. Зинченко. ЗАО «Восточная ГРЭ». Орск, 2005. С. 100-108.

10. ОАО «Преображенскнефть» – [Электронный ресурс]. URL: <http://www.prneft.ru/o-kompanii/proizvodstvo/> (дата обращения: 12.05.2021)

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kudelina, IV Vliyanie razrabotki neftyanyh mestorozhdenij na podzemnuju gidrosferu Orenburzh'ja [Influence of the development of oil fields on the underground hydrosphere of the Orenburg region] / I.V. Kudelina, T.V. Leont'eva, M.V. Fatyunina // Regional'nye problemy geologii, geografii, tehnosfernoj i jekologicheskoj bezopasnosti : sb. st. Vseros. nauch.-prakt. konf., 18-20 nojab. 2019 g., Orenburg [Regional problems of geology, geography, technosphere and ecological safety: collection of articles. Art. Vseros. scientific-practical conf., 18-20 nov. 2019, Orenburg] / Ministry of Education and Science of Russia [et al.]. - Electron. Dan. - Orenburg: Polyart, 2019. -. - P. 19-23. ... - 5 p. [in Russian]

2. Leont'eva, T.V. Voprosy metodiki gidrogeologicheskikh issledovanij i obosnovanie vozmozhnosti vospolnenija zapasov podzemnyh vod [Questions of the methodology of hydrogeological research and substantiation of the possibility of replenishing groundwater reserves] / Leontyeva T.V. // Izvestiya vuzov Kyrgyzstan, 2018. - No. 2. - P. 14-17. ... - 4 p. [in Russian]

3. Kudelina, IV K metodologii gidrogeologicheskikh issledovanij v Juzhnom Priural'e [On the methodology of hydrogeological research in the Southern Urals] / IV Kudelina // Novye napravlenija rabot na nef't i gaz, innovacionnye tehnologii razrabotki ih mestorozhdenij, perspektivy dobychi netradicionnogo uglerodnogo syr'ja : materialy Vseros. nauch.-prakt. konf. [New directions of work on oil and gas, innovative technologies for the development of their fields, prospects for the production of unconventional carbon raw materials: materials of the All-Russian. scientific-practical conf.] / ed. A.V. Kolomoets. - Electron. Dan. - Orenburg: Press Agency, 2019. -. - P. 57-59. ... - 3 p. [in Russian]

4. Kudelina, IV K istorii osvoenija vodnyh resursov Orenburgskoj gorodskoj aglomeracii [On the history of water resources development in the Orenburg urban agglomeration] / Kudelina IV // Jekologicheskaja i tehnosfernaja bezopasnost' gornopromyshlennyh regionov : trudy VII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 9 apr. 2019 g., Ekaterinburg [Ecological and technosphere safety of mining regions: proceedings of the VII Intern. scientific-practical conf., 9 apr. 2019, Yekaterinburg] / Ural State mountain un-t; ed. A.I.Semyachkov. - Electron. Dan. - Yekaterinburg: Ural State mountain un-t, 2019. - P. 124-129. - 6 p. [in Russian]

5. Leont'eva, T.V. Poiskovo-razvedochnye raboty na nef't i gaz [Prospecting and exploration work for oil and gas] / T.V. Leont'eva, L.F. Khusainova // Universitetskij kompleks kak regional'nyj centr obrazovaniya, 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 method. conf. (with international participation), 23-25 Jan. 2020, Orenburg] / Ministry of Science and higher. education Ros. Federation, Feder. state budget. educated. institution of higher. Education "Orenburg. State University". - Electron. Dan. - Orenburg: OSU, 2020. -. - P. 940-943. - 4 p. [in Russian]

6. Bar'ernaja rol' osadochnogo chehla platform v otnoshenii uglevodorodov na primere Predural'ja [Barrier role of the sedimentary cover of platforms in relation to hydrocarbons on the example of the Urals] / A. Ya. Gaev, I.V. Kudelina, T.V. Leont'eva et al. // VII Kudryavcevskie chtenija : sb. teh. Vseros. konf. po glubinnomu genezisu nef'ti i gaza, 21-23 okt. 2019 g., Moskva [VII Kudryavcevskie readings: collection of articles. those. Vseros. conf. on the deep genesis of oil and gas, October 21-23. 2019, Moscow] / Ministry of Science and Higher education Ros. Feder. - Electron. Dan. - Moscow: TsGE, 2019. - P. 1-6. - 6 p. [in Russian]

7. Klimenko, A. V. Poputnyj nef'tjanoy gaz i sposoby ego pererabotki [Associated petroleum gas and methods of its processing] / A. V. Klimenko, T. V. Leontyeva // Novye napravlenija rabot na nef't i gaz, innovacionnye tehnologii razrabotki ih mestorozhdenij, perspektivy dobychi netradicionnogo uglevodorodnogo syr'ja : materialy Vseros. nauch.-prakt. konf. [New directions of work on oil and gas, innovative technologies for the development of their fields, prospects for the production of unconventional hydrocarbon raw materials: materials Vseros. scientific-practical conf.] / ed. A. V. Kolomoets. - Electron. Dan. - Orenburg: Press Agency, 2019. -. - P. 40-42. 3 p. [in Russian]

8. Zinchenko, L.Ye. Proekt na sozdanie nabljudatel'noj seti i rabot lokal'nogo monitoringa podzemnyh i poverhnostnyh vod na Vahitovskom mestorozhdenii nef'ti i v uslovnoj zone vlijaniya v 2005-2008 gg.(I jetap) [Project for the creation of an observation network and works for local monitoring of ground and surface waters at the Vakhitovskoye oil field and in the conditional zone of influence in 2005-2008 (stage I)] / L.Ye. Zinchenko. Vostochnaya GRE CJSC. Orsk, 2005. -- P. 122-148.

9. Zinchenko, L.E. Proekt na provedenie poiskovo-razvedochnykh rabot na podzemnye vody s podschetom zapasov na Vahitovskom mestorozhdenii nef'ti ОАО «Sorochinskneft'» [The project for conducting prospecting and exploration work for underground waters with the calculation of reserves at the Vakhitovskoye oil field of JSC Sorochinskneft] / L.Ye. Zinchenko. Vostochnaya GRE CJSC. Orsk, 2005.P. 100-108. [in Russian]

10. ОАО «Пребразженскнефть» [JSC "Preobrazhenskneft"] - [Electronic resource]. – URL: <http://www.prneft.ru/o-kompanii/proizvodstvo/> (accessed: 12.05.2021) [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.109.7.027>**ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ВОСТОЧНОГО ОРЕНБУРЖЬЯ**

Научная статья

Леонтьева Т.В.*

ORCID: 0000-0003-0224-5960,

Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

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

Аннотация

В работе приведен анализ основных гидрогеологических подразделений подземных вод, развитых в условиях полуаридного климата центральной части территории Восточного Оренбуржья. Актуальность исследований обусловлена необходимостью оценки подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения сельского населения. Проведен анализ основных водоносных горизонтов и выявлена их связь с водовмещающими породами, геологическим и палеотектоническим строением территории, рассмотрена связь подземных вод с корой выветривания в зоне, проявления которой воды осолоняются.

Ключевые слова: подземные воды, водоносный комплекс, водные ресурсы, поверхностный сток, гидрогеология.

HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS OF THE CENTRAL PART OF THE EASTERN ORENBURG OBLAST

Research article

Leontyeva T.V.*

ORCID: 0000-0003-0224-5960,

Orenburg State University, Orenburg, Russia

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

Abstract

The paper presents an analysis of the main hydrogeological divisions of underground waters developed in the semi-arid climate of the central part of the territory of the Eastern Orenburg Oblast. The relevance of the research lies in the need to assess underground water for the drinking water supply of the rural population. The study carries out an analysis of the main aquifers and their connection with the water-bearing rocks, determines the geological and paleotectonic structure of the territory, and examines the connection of underground waters with the weathering crust in the zone where the water is salted.

Keywords: underground waters, water-bearing complex, water resources, surface discharge, hydrogeology.

Рассматриваемый район расположен в умеренном климатическом поясе и характеризуется резко континентальным климатом. Среднегодовая температура +1,5⁰. Среднемесячная температура воздуха в январе –18⁰; абсолютный минимум – 42. Среднемесячная температура воздуха в июле +20,4⁰; абсолютный максимум +42. Территория располагается в зоне недостаточного увлажнения. Количество осадков в год составляет 250-300мм. Снежный покров – 20-25см. Летние осадки – кратковременные ливневые. Испаряемость в 2-3 раза превышает количество выпадающих осадков и характеризуется цифрами 850-900мм. Климатические условия неблагоприятны для накопления ресурсов поверхностных и подземных вод [4].

Согласно гидрогеологическому районированию, разработанному ВСЕГИНГЕО на основе структурно-гидрогеологического принципа Ю. М. Василевского, развитого в дальнейшем в работах Н.К. Игнатовича, И.Г. Зайцева, Н.И. Толстихина и др., описываемый район работ относится к Таймыро-Тимано-Уральской системе [2].

Гидрогеологические условия исследуемой территории определяются ее тектоническим строением, литологическим составом пород, климатическими факторами и рельефом земной поверхности. Геолого-гидрогеологические особенности территории в совокупности с существующими основными критериями гидрогеологической стратификации геологического разреза определили выделение следующих гидрогеологических подразделений:

1. Водоупорный плиоценово-голоценовый горизонт (N₂-Q);
2. Воды коры выветривания (MZ);
3. Относительно водоносная палеозойская (интрузивная) зона (ψ, υ, γ, δ).

Гидрогеологические условия Восточного Оренбуржья определяются в основном приуроченностью грунтовых вод к зоне экзогенной трещиноватости эффузивных, вулканогенно-осадочных и интрузивных образований, имеющих преобладающее развитие. На основе фациально-литологического состава пород, характера их проницаемости и степени обводненности в пределах изучаемой территории выделено шесть основных гидрогеологических подразделений. Воды данных подразделений широко используются для местного водоснабжения [1, С. 32], [2], [4, С. 94].

Водоносный четвертичный аллювиальный горизонт (aQ) связан с аллювием пойм и имеет широкое развитие в долинах рек Ор и Кумак. Долина р. Ор имеет ширину до 9 км. Аллювий представлен суглинками, супесями, песчано-гравийными отложениями, его мощность - от 5 до 18 м. Скважины, вскрывшие песчаные и песчано-гравийные отложения, имеют удельные дебиты до 0,7 л/с, а гравийные - до 9 л/с; коэффициенты фильтрации достигают 52,1 м/сут. Воды гидрокарбонатно-хлоридные, гидрокарбонатно-сульфатные, с минерализацией 0,3-1 г/дм³. Воды эксплуатируются колодцами для водоснабжения поселков. Аллювий долины р. Кумак характеризуется различным механическим составом. В долинах малых рек Камсак, Киембай, Ащевутак, Домбаровка, Ушкота, Кутутык мощность аллювия достигает 10 м. Питание вод происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков и паводковых вод. Воды дренируются трещиноватыми породами скального фундамента [3, С. 52], [7, С. 74], [9, С. 128].

Водоносный нижнелеоплейстоценовый аллювиальный горизонт (aQ₁) развит на надпойменных террасах представлен песками, глинами и гравийно-галечными отложениями мощностью до 18 м. По химическому составу воды гидрокарбонатные с минерализацией 1,3 г/дм³.

Водоносная нижнекаменноугольная (терригенно-карбонатная) зона (C₁). К водовмещающим толщам нижнего карбона отнесены известняки, известняковые конгломераты, песчаники, алевролиты, углисто-глинистые сланцы. В Орско-Халиловском межгорном артезианском бассейне они погружаются под покров юрских отложений Орской депрессии, в Западно- и Восточно-Мугоджарской и Магнитогорской гидрогеологических складчатых областях залегают в виде линейных складок субмеридионального простирания. Восточный борт Орской депрессии сложен известняками и углисто-глинистыми сланцами, залегающими на глубинах 210-240 м. Удельные дебиты составляют 0,2-2,4 л/с, коэффициент фильтрации 0,23 м/сут. Воды хлоридно-сульфатные натриевые, с минерализацией до 1,8 г/дм³. В северном борту Орской депрессии известняки выходят на поверхность, питание подземных вод происходит за счет подрусловых вод р. Кумак. В Джусинско-Акжарской подзоне в разрезе преобладают углисто-глинистые сланцы, характеризующиеся весьма изменчивой водообильностью. Глубина развития активной трещиноватости установлена по скважинам и равна 40 – 70 м. Естественные водопоявления из-за слабой расчлененности площади водоносной толщи встречаются редко. Дебиты скважин достигают 0,04 - 4,63 л/сек, коэффициенты фильтрации 1,22 м/сут. Химический состав вод гидрокарбонатный натриевый, хлоридный натриевый, с минерализацией до 3 г/дм³. В Джарлинско-Домбаровской подзоне отложения, подвергшиеся сильному тектоническому воздействию, имеют несколько повышенную водообильность. Удельный дебит 0,3 л/с. Воды хлоридного натриевого состава с минерализацией до 0,5 г/дм³. В целом подземные воды характеризуются повышенной минерализацией, весьма ограниченными ресурсами и не имеют большого практического значения, за исключением подземных вод тектонических зон [5, С. 73], [10, С. 1002].

Водоносная вендско-нижнекаменноугольная (осадочно-вулканогенная) зона (V-C₁). Подземные воды приурочены к сильно трещиноватым эффузивам и вулканогенно-осадочным породам D – C₁. Породы представлены базальтами и их лавами, андезитами, трахитами, долеритами, туфами, также колчеданными рудами, туфопесчаниками, лавобрекчиями, кремнистыми сланцами, известняками. Подземные воды залегают в верхней трещиноватой зоне и вскрываются скважинами на различных глубинах. Глубина залегания подземных вод зависит от мощности рыхлых отложений глинистой коры выветривания. Проявления подземных вод очень редки и приурочиваются к приподнятым участкам эффузивного массива. Воды гидрокарбонатные натриевые, хлоридные натриевые, минерализация 1,5 г/дм³.

Водоносная рифейско-палеозойская (интрузивная) зона (γR-PZ) представлена гранитами, гранитогнейсами, граносиенитами, сиенитами, гранодиоритами. Вмещающими породами для всех служат эффузивы девона. Наиболее крупным гранитным массивом в Западно-Мугоджарско-Магнитогорской гидрогеологической складчатой области является Домбаровский. Подземные воды приурочены к верхней трещиноватой зоне мощностью от 40 до 90 м. Водообильность изменчива, дебиты колеблются от 0,05 до 5 л/с. Воды повышенной минерализации до 1,8 г/дм³. Развитие коры выветривания способствует формированию хлоридных натриевых и сульфатных натриевых вод. Большое поле гранодиоритов обрамляет Домбаровскую гранитную интрузию. Гранодиориты отличаются повышенной водообильностью. Дебиты водообильных скважин от 1,5 до 4 л/с. По химическому составу воды смешанного типа, с минерализацией до 2 г/дм³. На Еленовском массиве развиты неоген-четвертичные отложения, они способствуют повышению минерализации до 1,1 г/дм³. Дебиты составляют до 0,37 л/с. Ушкотинское месторождение пресных подземных вод с запасами в количестве 3,9 тыс. м³/сут приурочено к данным интрузиям [6, С. 245], [8, С. 93].

Водоносная нижнерифейско-девонская (интрузивная) зона (ψR₁-D). Интрузивные образования представлены серпентинитами, дунитами, пироксенитами, габбро имеют незначительное распространение. В данной зоне находится Киембаевское месторождение пресных питьевых вод с утвержденными запасами по промышленным категориям. Водовмещающими породами Киембаевского массива являются в основном серпентиниты, сильно рассланцованные и разбитые большим количеством тектонических нарушений на отдельные блоки. Мощность водоносной зоны составляет 40 - 50 м. Состав вод хлоридно-гидрокарбонатные натриевого типа с минерализацией до 1 г/дм³.

Выводы

В целом гидрогеологические условия центральной части Восточного Оренбуржья характеризуются вододефицитом, связанным с неравномерностью водного стока в течении года и кратковременным периодом весеннего паводка. Подземные воды приурочены к речным долинам, которые, как и все поверхностные водоемы, не защищены от загрязнения. В палеотектоническом развитии регион пережил ряд морских трансгрессий, как следствие осадки с реликтами морского солевого комплекса стали причиной осолонения речных и подземных вод. В регионе для обеспечения населения питьевой водой и защиты имеющихся водных ресурсов от загрязнения рекомендуется внедрять новые водохозяйственные технологии.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Анисимова О.И. Отчет о гидрогеологических работах, проведенных в Орском промышленном районе в 1961-1963 гг. / О.И. Анисимова // Круторожино, 1964, 256 с.
2. Всеволожский В. А. Принципы гидрогеологического районирования платформенных территорий / В. А. Всеволожский // Вестник МГУ. Сер. 4 Геология. 2002 № 6; Кирюхин В. А. Региональная гидрогеология. СПб., 2005.
3. Куделина, И. В. К методике и методологии гидрогеологических исследований территории Южного Предуралья / И. В. Куделина // Вестник Пермского университета. Геология, 2020. - Т. 19, № 1. - С. 50-58. - 9 с.

4. Куделина, И. В. О водохозяйственных проблемах и необходимости разработки программы природопользования для Оренбургской городской агломерации / И. В. Куделина // Известия вузов Кыргызстана, 2018. - № 1. - С. 92-95.
5. Куделина, И. В. О зональности флюидных систем Южного Урала и Предуралья / И. В. Куделина // Международный научно-исследовательский журнал, 2020. - № 11 (101), ч. 2, ноябрь. - С. 71-75.
6. Леонтьева, Т.В. Климатические особенности формирования водных ресурсов Восточного Оренбуржья / Т. В. Леонтьева // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана, 2019. - № 4. - С. 244-247.
7. Леонтьева, Т.В. О гидрологических особенностях водохозяйственного освоения Восточного Оренбуржья / Т.В. Леонтьева // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана, 2018. - № 2. - С. 73-76.
8. Условия формирования подземных вод Оренбургской области / Conditions of underground forming in Orenburg region / А.Я. Гаев, И.В. Куделина, Т.В. Леонтьева и др. // Межвуз. сб. науч. тр. Гидрология и карстоведение. Вып. 19. Пермь-Оренбург, 2013. - С. 88-94.
9. Цветкова, Н.В. Аналитический обзор состояния недр территории Оренбургской области / Н.В. Цветкова, А.А. Зацепина. - Оренбург: Компания Вотемиро. - 2015. - 138 с.
10. Черняхов В.Б. Геохимическая характеристика кор выветривания и четвертичных отложений Весеннего медно-колчеданного месторождения / В.Б. Черняхов, И.В. Куделина, М.В. Фатюнина и др. // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: Мат. ВНМК с междунар. участием. - Оренбург: ОГУ, 2016. - С. 1000-1003.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Anisimova O. I. Otchet o gidrogeologicheskikh rabotah, provedennykh v Orskom promyshlennom rajone v 1961-1963 gg. [Report on hydrogeological works carried out in the Orsk industrial district in 1961-1963] / O. I. Anisimova // Krutorozhino, 1964, 256 p. [in Russian]
2. Vsevolozhsky V. A. Principy gidrogeologicheskogo rajonirovaniya platformnykh territorij [Principles of hydrogeological zoning of platform territories] / V. A. Vsevolozhsky // Vestnik MSU. Ser. 4 Geologiya. 2002 No. 6; Kiryukhin V. A. Regional Hydrogeology. St. Petersburg, 2005 [in Russian]
3. Kudelina, I. V. K metodike i metodologii gidrogeologicheskikh issledovaniy territorii Juzhnogo Predural'ja [On the methodology and methodology of hydrogeological studies of the territory of the Southern Urals] / I. V. Kudelina // Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya [Bulletin of the Perm University. Geology], 2020. - Vol. 19, No. 1. - p. 50-58. - 9 p. [in Russian]
4. Kudelina, I. V. O vodohozjajstvennykh problemah i neobhodimosti razrabotki programmy prirodnopol'zovaniya dlja Orenburgskoj gorodskoj aglomeracii [On water management problems and the need to develop a program of nature management for the Orenburg urban agglomeration] / I. V. Kudelina // Izvestia of Universities of Kyrgyzstan, 2018. - No. 1. - pp. 92-95. [in Russian]
5. Kudelina, I. V. O zonal'nosti fluidnykh sistem Juzhnogo Urala i Predural'ja [On the zonality of fluid systems of the Southern Urals and the Urals] / I. V. Kudelina // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International research journal], 2020. - № 11 (101), part 2, Nov. - P. 71-75. [in Russian]
6. Leont'eva, T. V. Klimaticheskie osobennosti formirovaniya vodnykh resursov Vostochnogo Orenburzh'ja [Climatic characteristics of water resources in Eastern Orenburg] / T. V. Leontiev // Nauka, novye tehnologii i innovacii Kyrgyzstana [Science, new technologies and innovations Kyrgyzstan], 2019. - No. 4. - P. 244-247. [in Russian]
7. Leont'eva, T. V. O gidrologicheskikh osobennostjakh vodohozjajstvennogo osvoenija Vostochnogo Orenburzh'ja [On the hydrological characteristics of water development in Eastern Orenburg] / T. V. Leontiev // Nauka, novye tehnologii i innovacii Kyrgyzstana [Science, new technologies and innovations Kyrgyzstan], 2018. - No. 2. - P. 73-76. [in Russian]
8. Uslovija formirovaniya podzemnykh vod Orenburgskoj oblasti / Conditions of uderground forming in Orenburg region [Conditions for the formation of groundwater Orenburg region / Conditions of uderground forming in Orenburg region] / A. J. day, I. Kudelina, T. V. Leontiev, etc. // Mezhvuz. sb. nauch. tr. Gidrologija i karstovedenie [Inter. SB. nauch. Tr. Hydrology and kartofelnye]. Issue 19. Perm-Orenburg, 2013. - pp. 88-94. [in Russian]
9. Tsvetkova, N. V. Analiticheskij obzor sostojanija neдр territorii Orenburgskoj oblasti [Analytical review of the state of the subsoil of the territory of the Orenburg region] / N. V. Tsvetkova, A. A. Zatssepina. - Orenburg: Votemiro Company. - 2015 - 138 p. [in Russian]
10. Chernyakhov V. B. Geohimicheskaja harakteristika kor vyvetrivaniya i chetvertichnykh otlozhenij Vesennego medno-kolchedannogo mestorozhdenija [Geochemical characteristics of the weathering crust and quaternary deposits of the Spring copper-pyrite deposit] / V. B. Chernyakhov, I. V. Kudelina, M. V. Fatyunina, etc. // Universitetskij kompleks kak regional'nyj centr obrazovanija, nauki i kul'tury: Mat. VNМК s mezhdunar. uchastiem [University complex as a regional center of education, science and culture: Mat. VNМК with international. Participation]. - Orenburg: OSU, 2016. - p. 1000-1003. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.109.7.028>**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ АДСОРБЦИИ ДЛИННОЦЕПОЧЕЧНЫХ ПАВ
НА ИЗМЕНЕНИЕ КРАЕВОГО УГЛА СМАЧИВАНИЯ ТВЕРДЫХ ПОДЛОЖЕК**

Научная статья

Вилкова Н.Г.¹, Мишина С. И.^{2,*}, Агафонова Е.С.³, Гришина С.С.⁴¹ ORCID: 0000-0002-0695-373X;² ORCID: 0000-0003-1610-208X;¹ Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза, Россия;^{2, 3, 4} Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

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

Аннотация

В ходе исследования определены краевые углы смачивания кремнезема марки Ludox-HS40 (2%, масс.), модифицированного катионным ПАВ цетилтриметиламмоний бромид (10^{-7} - 10^{-1} моль/л) на стеклянной и алюминиевой подложке. Проведено сравнение полученных данных и сделаны выводы о влиянии адсорбции катионного ПАВ на поверхности твердых частиц кремнезема на краевые углы смачивания алюминиевой и стеклянной подложек. Показано, что увеличение концентрации ПАВ, добавляемого к исходному золю кремнезема, приводило к росту значений краевых углов смачивания твердых частиц и твердых подложек, но лишь до определенных значений. Дальнейшее увеличение ПАВ выше значений, соответствующих коагуляции золя, вызывало снижение значений краевых углов. Материал подложки, используемой в эксперименте, не оказал заметного влияния на значения измеренных краевых углов смачивания.

Ключевые слова: краевой угол, смачивание, адсорбция.**AN ANALYSIS OF THE EFFECT OF ADSORPTION OF LONG-CHAIN SURFACTANTS ON THE CHANGE
IN THE WATER CONTACT ANGLE OF SOLID SUPPORTS**

Research article

Vilkova N.G.¹, Mishina S.I.^{2,*}, Agafonova E.S.³, Grishina S.S.⁴¹ ORCID: 0000-0002-0695-373X;² ORCID: 0000-0003-1610-208X;¹ Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russia;^{2, 3, 4} Penza State University, Penza, Russia

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

Abstract

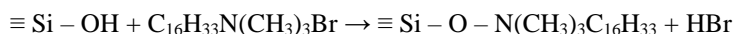
The study determines the water contact angles of Ludox-HS40 grade silica (2%, wt.) modified with a cationic surfactant cetyltrimethylammonium bromide (10^{-7} - 10^{-1} mol/l) on a glass and aluminum support. The study compares the obtained data and draws conclusions about the effect of the adsorption of cationic surfactant on the surface of solid silica particles on the interfacial angle wetting of aluminum and glass support. It is shown that an increase in the concentration of surfactants added to the initial silica sol leads to an increase in the values of wetting the interfacial angles of solid particles and solid support, but only to certain values. A further increase in surfactants above the values corresponding to sol coagulation caused a decrease in the values of the interfacial angles. The material of the substrate used in the experiment is not observed to have a noticeable effect on the values of the measured angles of wetting.

Keywords: angle, wetting, adsorption.

Хорошо известно, что устойчивость пен и эмульсий зависит от распределения и положения стабилизаторов на межфазной поверхности которое, в свою очередь, связано с их гидрофобностью [1], [2]. Стабилизацию дисперсных систем нельзя объяснить только снижением межфазного натяжения. Например, короткоцепочечные спирты с числом углеродов меньше 8 не являются типичными эмульгаторами. Наибольшей поверхностной активностью обладают ПАВ с числом углеродов 10-18, а дальше опять наблюдается снижение поверхностной активности [3], [4]. В случае твердых стабилизаторов влияние гидрофильности частиц на устойчивость дисперсных систем проявляется особенно наглядно. Таким образом, для успешной стабилизации важно некоторое оптимальное соотношение гидрофильных и гидрофобных свойств молекулы ПАВ или твердых частиц, или так называемый гидрофильно-липофильный баланс. Гидрофобные свойства поверхности можно оценить через соотношение работ адсорбции гидрофильной и липофильной частей молекулы [5]. Другим критерием ГЛБ является коэффициент фальности, то есть отношение теплот смачивания частиц водой и масел [6]. Однако при стабилизации пен и эмульсий твердыми частицами в качестве характеристики гидрофильности и гидрофобности используется краевой угол [7]. Он возникает при контакте частиц с поверхностью раздела и отражающий баланс трех поверхностей энергии. Обычно для маленьких твердых частиц краевые углы измеряют на макроскопической поверхности такого же или подобного химического состава. Наиболее простым и удобным методом является метод прижатого пузырька [8]. Для кремнезема традиционно используется стеклянная подложка. А вот значение краевых углов смачивания частиц, например, диоксида титана, оксида цинка и т.д., измеренные на стекле, вызывают сомнения. Поэтому дополнительно была использована алюминиевая подложка, соответствующая методике измерения краевого угла, применяемой на кафедре коллоидной химии МГУ [9]. Таким образом, целью работы является анализ влияния адсорбции ПАВ на краевой угол смачивания

твердых подложек с последующим сравнением значений краевых углов смачивания, полученных на стеклянной и алюминиевой подложке.

В ходе исследования изучали смачивание кремнезема марки Ludox-HS40 (Merck), модифицированного катионным ПАВ цетилтриметиламмоний бромид (СТрАВ) при концентрации $10^{-6} - 10^{-2}$ моль/л методом прижатого пузырька с использованием алюминиевой и стеклянной подложек. Катионы СТрАВ могут адсорбироваться на поверхности диоксида кремния, начиная с концентрации ПАВ в растворе $10^{-8} - 10^{-7}$ моль/л [10]. Визуально Ludox с процентной концентрацией твердых частиц 2% (масс.) представляет собой опалесцирующий золь, кинетически устойчивый. При контакте частиц кремнезема с раствором СТрАВ органический поверхностно-активный катион химически адсорбируется на твердой поверхности.



Адсорбция идет до тех пор, пока не образуется монослой ПАВ на твердой поверхности частицы, при этом поверхность становится все более гидрофобной. Значения краевых углов смачивания для кремнезема, модифицированного СТрАВ, представлены на рисунке 1 (на рисунке [СТрАВ] – начальная молярная концентрация СТрАВ в растворе). Увеличение концентрации СТрАВ от 10^{-7} до 10^{-4} моль/л приводило к росту краевого угла смачивания. При этом вид подложки не оказывал заметного влияния на полученные значения величин краевых углов. При дальнейшем росте концентрации СТрАВ измеренные краевые углы имели постоянное значение $\theta = 43-45^\circ$.

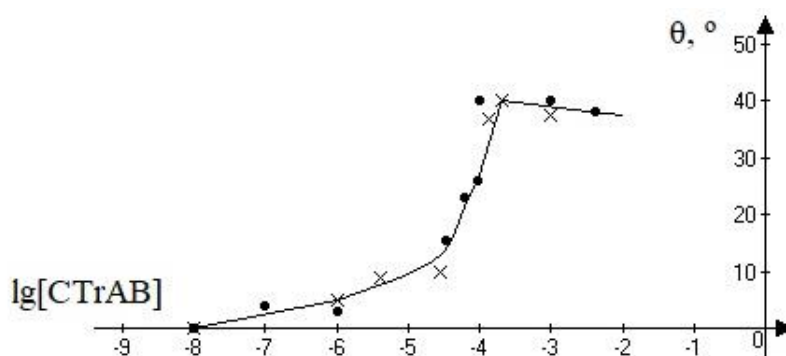


Рис. 1 – Изотермы краевых углов смачивания твердых подложек для кремнезема (2% Ludox), модифицированного СТрАВ:

× – алюминиевая подложка; • – стеклянная подложка

При концентрации СТрАВ выше 10^{-3} моль/л на первичном адсорбционном слое происходит дополнительная адсорбция вследствие ван-дер-ваальсового притяжения между углеводородными хвостами. При этом полярные группы ориентируются уже наружу, сообщая поверхности кремнезема гидрофильные свойства.

Кроме того, увеличение концентрации анионного ПАВ в указанных интервалах значений вызывало агрегирование твердых частиц, и, следовательно, приводило к росту размеров частиц диоксида кремнезема (рисунок 2). Для определения размеров агрегатов частиц использовался турбидиметрический метод [11].

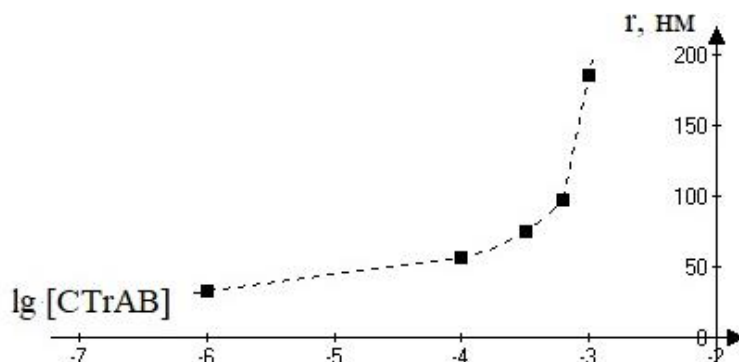


Рис. 2 – Зависимость радиусов агрегатов Ludox от концентрации СТрАВ

Гидрофобные радикалы, адсорбируясь на поверхности частиц людокса, снижают поверхностную плотность заряда. При невысоких концентрациях СТрАВ, и соответственно незначительной степени гидрофобизации твердой поверхности, частицы еще несут на поверхности отрицательный заряд. Поэтому между ними действуют электростатические силы отталкивания. Так частицы были не агрегированы (а точнее агрегированы незначительно) при краевых углах до 30° . С ростом исходной концентрации СТрАВ и с увеличением степени гидрофобизации твердой поверхности частицы теряют отрицательный заряд, поверхность становится слабо заряженной (или не заряженной вообще). Контакт таких не заряженных поверхностей приводит к флокуляции частиц и, соответственно, росту размеров агрегатов. Критическая концентрация СТрАВ, вызывающая коагуляцию частиц золя Ludox (2%, масс.), равна $5 \cdot 10^{-4}$ моль/л и соответствует краевому углу $\theta = 41^\circ$. Поэтому кроме исходной концентрации ПАВ-гидрофобизатора (СТрАВ) в интервале от 10^{-6} до 10^{-1} моль/л значения краевых углов смачивания зависели также от размера твердых частиц, или от суммарной площади поверхности адсорбента (твердых частиц кремнезема) (рисунок 3).

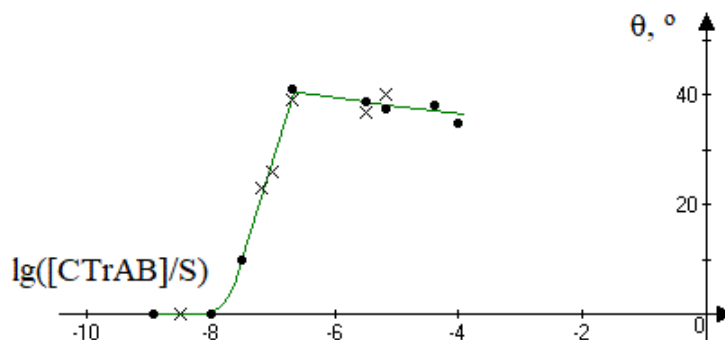


Рис. 3 – Зависимость краевых углов смачивания от относительной концентрации СТрАВ:

× – алюминиевая подложка; • – стеклянная подложка

Относительная концентрация СТрАВ рассчитывалась как $[CTrAB]/S$, моль·л⁻¹·м⁻².

Таким образом, увеличение концентрации как катионного, так и анионного ПАВ, добавляемых к исходному золю диоксида кремния, приводило к росту значений краевых углов смачивания твердых частиц и твердых подложек, но лишь до определенных значений. Дальнейшее увеличение ПАВ выше значений, соответствующих коагуляции золя, вызывало снижение значений краевых углов. Материал подложки, используемой в эксперименте, не оказал заметного влияния на значения краевых углов смачивания.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Адамсон, А. А. Физическая химия поверхностей / А. А. Адамсон. – М.: Мир, 1979. – 568 с.
2. Кругляков, П.М. Физическая и коллоидная химия. / П.М. Кругляков, А. В. Нуштаева, Н.Г. Вилкова. – Пенза.: ПГУ, 2011. – 80 с.
3. Абрамзон А. А. Поверхностно-активные вещества: справочник / А. А. Абрамзон, Г.М. Гаевого. Л.: Химия, 1979. 376 с.
4. Холмберг, К. Поверхностно-активные вещества и полимеры в водных растворах / К. Холмберг, Б. Йёнссон, Б. Кронберг и др.; Пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 33 с.
5. Кругляков П.М. Работа адсорбции и гидрофильно-липофильный баланс в молекулах ПАВ / П.М. Кругляков, А.Ф. Корецкий // ДАН СССР. – 1971. – Т.197. – №5. – С. 1106-1109.
6. Сумм Б.Д. Физико-химические основы смачивания и растекания / Б.Д. Сумм, Ю.В. Горюнов. М.: Химия, 1976. 232 с.
7. Вилкова Н.Г. Пены и методы их исследования / Н.Г. Вилкова, С.И. Мишина. – Пенза: ПГУАС, 2018. – 160 с.
8. Вилкова Н.Г. Влияние гидрофобности частиц кремнезема на устойчивость пен и пенных пленок / Н.Г. Вилкова, С. И. Еланева // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2013. – Т.56. – № 9. С. 62-66.
9. Куличихин В.Г. Практикум по коллоидной химии / В.Г. Куличихин. – М.: ИНФРА-М, 2014. – 288 с.
10. Шабанова Н.А. Золь-гель технологии, Нанодисперсный кремнезем / Н.А. Шабанова, П.Д. Саркисов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2015. – 208 с.
11. Григоров О.Н. Руководство к практическим работам по коллоидной химии / О.Н. Григоров, И.Ф. Карпова, З.П. Козьмина. – М. -Л.: Химия, 1964. – 326 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Adamson A. A. Fizicheskaya himiya poverhnostei [Physical chemistry of surfaces] / A. A. Adamson. – М.: Mir, 1979. – 568 p. [in Russian]
2. Kruglyakov, P.M. Fizicheskaya i kolloidnaya himiya [Physical and colloidal chemistry] / P.M. Kruglyakov, A.V. Nushtaeva, N.G. Vilkova. – Penza.: PSU, 2011. – 80 p. [in Russian]
3. Abramzon A. A. Poverhnostno-aktivnie veshstva: spravochnik [Surfactants: a reference book] / A. A. Abramzon, G. M. Gayev. – L.: Himiya, 1979. – 376 p. [in Russian]
4. Holmberg K. Poverhnostno-aktivnie veshstva i polimeri v vodnih rastvorah [Surface-active substances and polymers in aqueous solutions] / K. Holmberg, B. Jönsson, B. Kronberg, B. Lindman; Per. from English. – М.: BINOM. Laboratoriya znaniy, 2007. – 33 p. [in Russian]
5. Kruglyakov P.M. Rabota adsorbicii i gidrofilno-lipofilnii balans v molekulah PAV [Adsorption work and hydrophilic-lipophilic balance in surfactant molecules] / P.M.Kruglyakov, A.F.Koretsky //DAN SSSR.– 1971. – V.197. – N5.–P.1106-1109.
6. Summ B.D. Fiziko-himicheskie osnovi smachivaniya i rastekaniya [Physicochemical bases of wetting and spreading] / B.D. Summ, Yu.V. Goryunov– М.: Himiya, 1976. – 232 p. [in Russian]
7. Vilkova N.G. Peni i metodi ih issledovaniya [Foams and methods of their research] / N.G. Vilkova, S.I. Mishina – Penza: PGUAS, 2018. – 160 p. [in Russian]
8. Vilkova N.G. Vliyanie gidrofobnosti chastic kremnezemana ustoichivost pen i pennih plenok [Influence of hydrophobicity of silica particles on the stability of foams and foam films] / N.G. Vilkova, S.I. Elaneva // Izvestiya vishih uchebnykh zavedenii. Seriya: Himiya i himicheskaya tehnologiya [Izvestiya of higher educational institutions. Series: Chemistry and Chemical Technology]. – 2013. – V.56. – N 9. – P. 62-66. [in Russian]
9. Kulichikhin V.G. Praktikum po kolloidnoi himii [Workshop on Colloidal Chemistry] / V.G. Kulichikhin. – М.: INFRA-M, 2014. – 288 p. [in Russian]
10. Shabanova N.A. Zol-gel tehnologiya. Nanodispersnii kremnezem [Sol-gel technology. Nanodispersed silica] / N.A. Shabanova, P.D. Sarkisov. – М.: ICC "Akademkniga", 2015. – 208 p. [in Russian]
11. Grigorov O.N. Rukovodstvo k prakticheskim rabotam po kolloidnoi himii [A guide to practical work in colloidal chemistry] / O.N. Grigorov, I.F. Karpova, Z.P. Kozmina– М.-Л.: Chemistry, 1964. – 326 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.109.7.029>**S-КРИВЫЕ И ЭНТРОПИЙНЫЕ УСЛОВИЯ СТАБИЛИЗАЦИИ СИСТЕМ**

Научная статья

Кораблев Г.А.*

Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, Ижевск, Россия

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

Аннотация

Графики S-кривых характеризуют общую динамику изменения энтропийных составляющих в зависимости от основных параметров процесса. При этом, их сумма равна максимальной величине каждой из них в данном взаимодействии. Условием стационарного состояния системы является равенство или постоянная величина соотношения ее энтропии и негэнтропии (равновесная динамика). Такие закономерности имеют место во многих явлениях и в конформационных взаимодействиях в физико-химии, в природе, в технике и даже в экономике. Приведены примеры их функционального вклада. На основе российских данных показана возможность объективного анализа хода регионального сценария коронавируса.

Ключевые слова: S-кривые, их многоплановость, энтропия, негэнтропия, стабилизация систем, физико-химические закономерности, сценарий коронавируса.

S-CURVES AND ENTROPY CONDITIONS FOR STABILISATION OF SYSTEMS

Research article

Korablev G.A.*

Izhevsk State Agricultural Academy, Izhevsk, Russia

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

Abstract

S-curve graphs characterize the general dynamics of changes in entropy components depending on the main parameters of the process. At the same time, their sum is equal to the maximum value of each of them in this interaction. The condition of the stationary state of the system is the equality or constant value of its entropy and negentropy (equilibrium dynamics) ratio. Such patterns occur in many phenomena and in conformational interactions in physical chemistry, in nature, in technology, and even in economics. The study provides examples of their functional contribution. Based on Russian data, the study also demonstrates the possibility of an objective analysis of the course of the regional coronavirus scenario.

Keywords: S-curves, their multiplicity, entropy, negentropy, system stabilization, physicochemical regularities, coronavirus scenario.

Введение

Графические характеристики функционального развития биологических систем в зависимости от времени процесса были известны [1] уже в начале двадцатого века: численность бактерий, созревание плода, рост растений и т.п. В них выделялись три последовательных этапа: постепенное нарастание, быстрый и активный рост, стабилизация процесса. Аналогичные кривые позднее были получены и для технических систем. Пример приведен на рисунке 1 – график изменения удельной прочности сталей по годам.

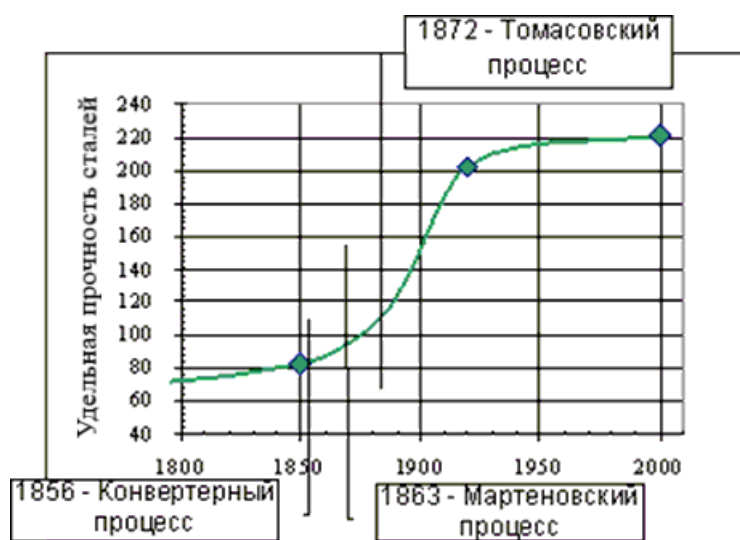


Рис. 1 – Зависимость удельной прочности сталей от времени

В таких графиках по вертикальной оси откладывается одна из основных характеристик, например: скорость, объем продукции или мощность двигателя; а по горизонтальной оси – время процесса, или расходы на финансирование системы.

В соответствии с формой кривой они получили название S-кривые, иногда их называют «линии жизни», а применительно к техническим системам – кривые развития технических систем.

«Считается, что S - кривых закон, совершенно не отражает существа происходящих в системах изменений - он лишь демонстрирует их результат, выраженный в изменении главных показателей. Но в реальности он, не вдаваясь в технические тонкости, позволяет своевременно увидеть закономерности процесса и приближающиеся тенденции и сделать соответствующие выводы.

S - кривая, это индикатор который описывает состояние системы и способствует своевременному принятию решения по поиску новых направлений ее развития. Это позволяет сократить технологический разрыв, а в случае отсутствия решений, стимулировать их поиски» [2].

Таким образом S – кривые это номограммы изменения основных параметров процесса. И поэтому они нашли широкое применение, например кривая Лоренца. В кривой Лоренца [3] дана пространственно-временная графическая зависимость параметра скорости (β) от самой скорости (θ) - рис. 2.

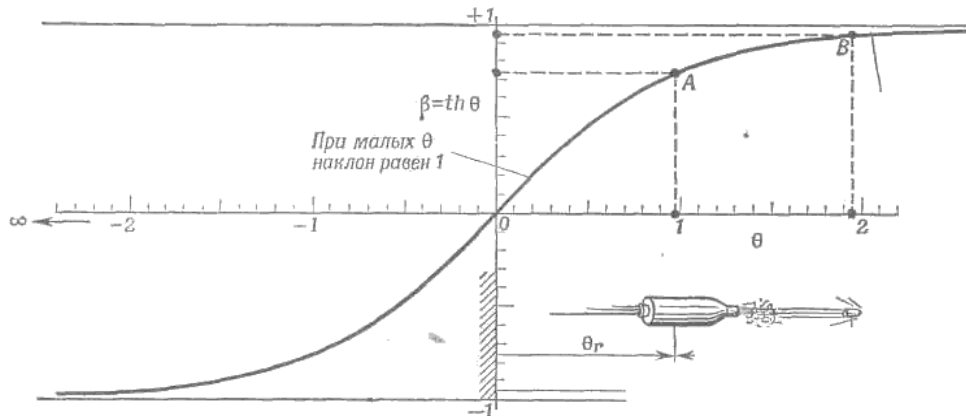


Рис. 2 – Связь между параметром скорости и самой скоростью

Аналогичные примеры таких номограмм в биофизике:

- Поверхностно-диффузионные процессы при карбонизации наноструктур;
- В кинетике ферментативных процессов;
- Зависимость биофизических критериев от их частотных характеристик;
- Флуктуации проводимости биомембран в зависимости от их частоты;
- Зависимость скорости электронного транспорта от времени диффузии ионов.

Как известно, понятие энтропии может являться критерием направленности термодинамических процессов. Поэтому в данном исследовании для объяснения уникальных свойств S – кривых используется это свойство с позиции изменения энтропии и неэнтропии. Кроме таких терминов, нередко особенно в математической статистике применяются: «производство энтропии», как производная энтропии по времени и «информация», как производная неэнтропии по времени.

Исходные данные

На основе анализа первого начала термодинамики было получено [4]:

«1. В системах, в которых взаимодействие идет по градиенту потенциала (положительная работа) результирующая потенциальная энергия, как и приведенная масса, находятся по принципу сложения обратных значений соответствующих величин подсистем. Это – корпускулярный процесс, теоретической концепцией которого может являться энтропия.

2. В системах, в которых взаимодействие идет против градиента потенциала (отрицательная работа) выполняется алгебраическое сложение их масс и также соответствующих энергий подсистем. Это – волновой процесс, теоретической концепцией которого может являться неэнтропия.

3. Резонансное стационарное состояние систем выполняется при условии равенства степеней их корпускулярных и волновых взаимодействий». [4] Так в термодинамике открытых систем продукция энтропии в стационарном состоянии полностью компенсируется потоком неэнтропии.

Для оценки структурных взаимодействий в простых и сложных системах классическая физика и квантовая механика широко используют кулоновские взаимодействия и их разновидности.

Согласно работе [5], электронно-конформационные процессы в биосистемах оцениваются через ориентационные, заряд-дипольные и Ван-дер-Ваальсовы взаимодействия. А обменно-резонансный перенос энергии рассматривается только как частный случай конформации. Но по своей структурной основе многие биосистемы и кластерные образования – электронейтральные. Для них основное значение имеют не взаимодействия кулоновского типа, а процессы равновесного перетекания электронных плотностей за счёт перекрывания их волновых функций. Чем ближе значение этих параметров, тем легче идёт процесс стабилизации системы.

Так, Гейзенберг и Дирак [6], исходя из предположения о прямом перекрывании волновых функций, предложили обменный гамильтониан:

$$\bar{H} = -I_0 S_1 S_2$$

где: \bar{H} – спиновый оператор изотропного обменного взаимодействия для пары атомов, I_0 – постоянная обмена, S_1 и S_2 – интегралы перекрывания волновых функций.

Такие обменно-равновесные конформационные взаимодействия регулируют стабилизацию многих органических систем (кластеры, полипептидные цепи и т.п.). Поэтому, в данном подходе интегралы перекрытия волновых функций моделируются через величину относительной разности энергетических параметров взаимодействующих центров – коэффициент α [7], [8].

По многочисленным экспериментальным данным была получена номограмма зависимости степени структурных взаимодействий (ρ) от коэффициента α , единая для широкого класса структур (рис.3). Этот вид номограммы и ее зеркально-симметричный вариант (рис. 4) позволяют оценить степень и направление структурных взаимодействий процессов фазообразования, изоморфизма и растворимости в многочисленных системах, в том числе в молекулярных [7], [8].

Чем меньше величина α , тем выше степень волновой составляющей взаимодействия в соответствии с рис. № 4 (негэнтропийная кривая - шкала №1). По шкале №2 оценивается степень уменьшения корпускулярной составляющей. А в рис. № 3 увеличение значений α характеризует нарастание корпускулярных и электростатических свойств в микро системах (энтропийная кривая - шкала №2). Уменьшение волновых свойств определяется по шкале №1. Таким образом, понятие энтропии количественно моделируется через коэффициент α , а негэнтропия через величину $1/\alpha$.

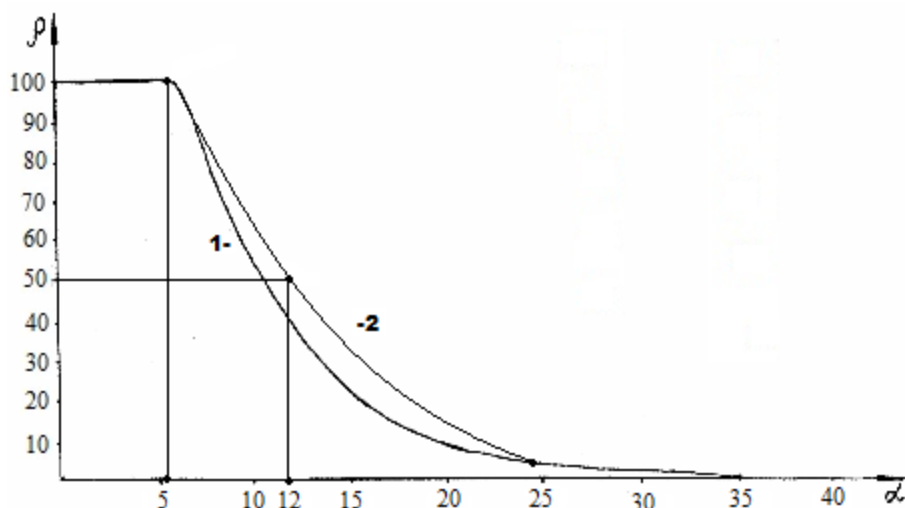


Рис. 3 – Номограмма зависимости степени структурных взаимодействий (ρ) от коэффициента α (энтропийная кривая)

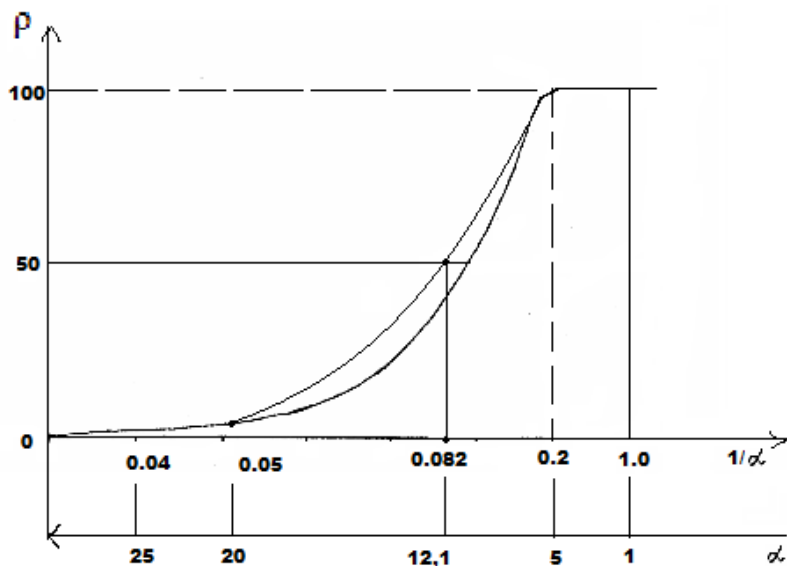


Рис. 4 – Номограмма зависимости степени структурных взаимодействий (ρ) от коэффициента $1/\alpha$ (негэнтропийная кривая)

Условия равенства и соотношений энтропийных параметров

Выполнение пункта 3 исходных положений классифицируется в зависимости от особенности динамики процесса. Так в электромагнитной волне разность хода составляющих векторов равна 90° . В общем случае при вращательном движении системы из двух одинаковых по величине векторов (\vec{R}) с разностью фаз 90° их равнодействующая:

$$\vec{C} = 2^{1/2} \vec{R}, \quad (1)$$

где для данного угла $\text{tg}45^\circ = 1$.

Если такой процесс дополняется движением по спиральной динамике, то вектор (\vec{C}) станет касательным вектором и образует угол спирального вращения, для которого:

$$\operatorname{tg} \varphi = C/R = 2^{1/2}, \quad (2)$$

где φ геодезический угол, равен $54,733^\circ$.

Под этим углом тутовый шелкопряд наматывает шелковую нить на основу.

Таким образом при чисто вращательном движении выполняется условие равенства составляющих векторов энтропийных характеристик, а при спиральном движении их соотношение равно 1. При поступательном движении действуют условия или равенства или постоянного соотношения величин их составляющих. При этом в статистических процессах проявляются экспоненциальные зависимости. Такой подход определяет общие принципы многих физических закономерностей.

1) Характеристика спин-орбитального взаимодействия – постоянная тонкой структуры, где r – классический радиус электрона, λ – его комптоновская длина волны.

2) Число π равно отношению длины окружности (1) к ее диаметру (2r).

3) В работах [9], [10] используются понятия разрушающего напряжения при растяжении пластика нити на шаг ее намотки, где: σ_α – осевое, σ_β – окружное напряжения заменяются пропорциональной им величиной N_α – осевое «усилие» и N_β – окружное «усилие» по уравнению:

$$\frac{\sigma_\beta}{\sigma_\alpha} = \frac{N_\beta}{N_\alpha} = \operatorname{tg}^2 \varphi = 2 \quad (3)$$

«Это условие позволяет получать равнонапряженную систему нитей с минимальной массой изделия» [10].

В гармонических колебаниях тела отношение потенциальной энергии обусловленной квазиупругой силой к кинетической энергии равно $\operatorname{tg}^2 \delta$, то есть $= \operatorname{tg}^2 \delta$ (3а), где δ – угловая характеристика колебаний. Сумма обоих видов энергий равна максимальному значению каждой из них.

При условии равенства $\delta = \varphi$ система получает энтропийное равновесное состояние.

4) Магнитомеханическое (гиромангнитное) отношение (g) – это отношение магнитного момента частицы к ее механическому моменту,

$$E_n/E_k = \operatorname{tg}^2 \delta$$

где $g_s = 2$, если магнитный момент электрона обусловлен только спиновой составляющей и $g = 1$, если он создаётся орбитальным движением электронов. Такие значения g их соотношения характеризуют соответствующие энтропийные зависимости.

5) Уравнение Планка (квантовый переход):

$h = E/\nu$, где E орбитальная энергия, в стационарном состоянии – величина постоянная, процесс идет по градиенту поля (энтропия), h – постоянная Планка.

6) Уравнение скорости движения

$V = S/t$, где S – путь при механическом движении с затратой энергии (негэнтропия), t – время, всегда возрастает и направлено по градиенту (энтропия). Кривая Лоренца (рис.2) так же свидетельствует о проявлении пространственно-временной зависимости. Условием стационарного состояния в этих случаях является постоянство скорости движения, что выполняется как в микромире атомов и молекул, так и в макромире при движении планет.

7) Микроструктурные взаимодействия [11]:

По значениям ρ и α в равновесном состоянии согласно исходной номограммы – рис. 3, получается уравнение:

$$\ln \left(\frac{\rho}{\alpha} \right) = \operatorname{tg} \varphi \quad (4)$$

Где, φ – геодезический угол, относительная разность энергетических параметров взаимодействующих систем, – степень структурного взаимодействия.

8) При вращательном движении заряженной частицы в гравитационном поле [11]:

$$\ln \left(\frac{G}{\varepsilon_0} \right) = \operatorname{tg}^2 (a_0 \varphi) \quad (5)$$

Где, ε_0 – электрическая постоянная, G – гравитационная постоянная, $a_0 = 1,00233$ – квантовая поправка к гиромангнитному отношению электрона в атоме, которая возможно в данном случае характеризует влияние прецессии движения частиц.

9) Из термодинамического определения энтропии следует:

$T = dw/ds$, где dw – тепловая энергия, поэтому средняя температура (T) является постоянно величиной, как в биологических системах, так и для планет.

10) В химической кинетике выполняется принцип Ле-Шателье: При внешнем воздействии на систему, находящуюся в равновесии, равновесие будет сдвигаться в направлении того процесса, который противодействует данному воздействию.

11) Исходные условия находятся в соответствии с Принципом дополнительности Н. Бора: для полного описания квантово-механических явлений необходимо применять два взаимоисключающих (дополнительных) набора

классических понятий, совокупность которых дает исчерпывающую информацию об этих явлениях как о целостных. Например, описание объекта как частицы и как волны.

В таких примерах:

- если процессы идут по градиенту (энтропия), то это параметры – $t, \alpha, E, \sigma_\alpha, r, \varepsilon_0, E_n$;
- Если процессы идут против градиента (негэнтропия), то это параметры – $S, \rho, v, \sigma_\beta, \lambda, \mu, G, E_k, l$.

S – кривые в экономике

S – кривые часто используются в экономических исследованиях, например: динамика ВВП, количество и объем продукции, прогнозирование инновационного потенциала и т.д. Так для оценки рациональной рыночной цены используются графики линии спроса (аналогия энтропии) и линии предложения (аналогия негэнтропии) – рис. 5 [12]

Из графика следует, что рациональная рыночная цена устанавливается при условии равенства линий спроса и предложения.

Показательна диаграмма мировой динамики ВВП, которая практически соответствует графику негэнтропии [13] – рис. 6. Основное уменьшение роста ВВП начинается с 2018 года и во время пандемии коронавируса становится очень значительным.

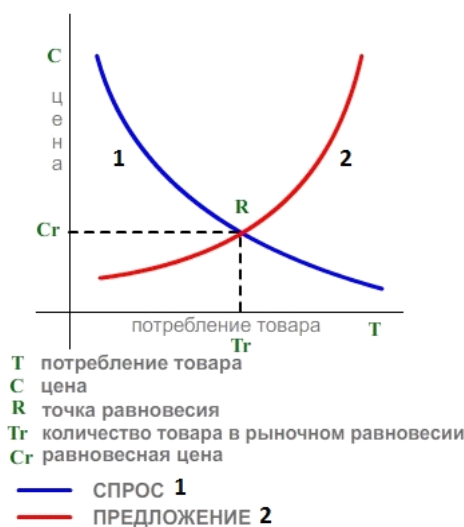


Рис. 5 – График спроса и предложения

При этом ВВП Китая постоянно увеличивается, хотя и с замедлением даже в 2020 году. Чтобы не было стагнации ВВП возможно некоторым негэнтропийным экономикам необходимо дать небольшое дополнение энтропийной составляющей. В Мире уже есть опыт Китая и опыт борьбы с коронавирусом. Так те государства, у которых процент госпредприятий был сравнительно небольшим быстрее сориентировались и лучше справляются с этой проблемой.

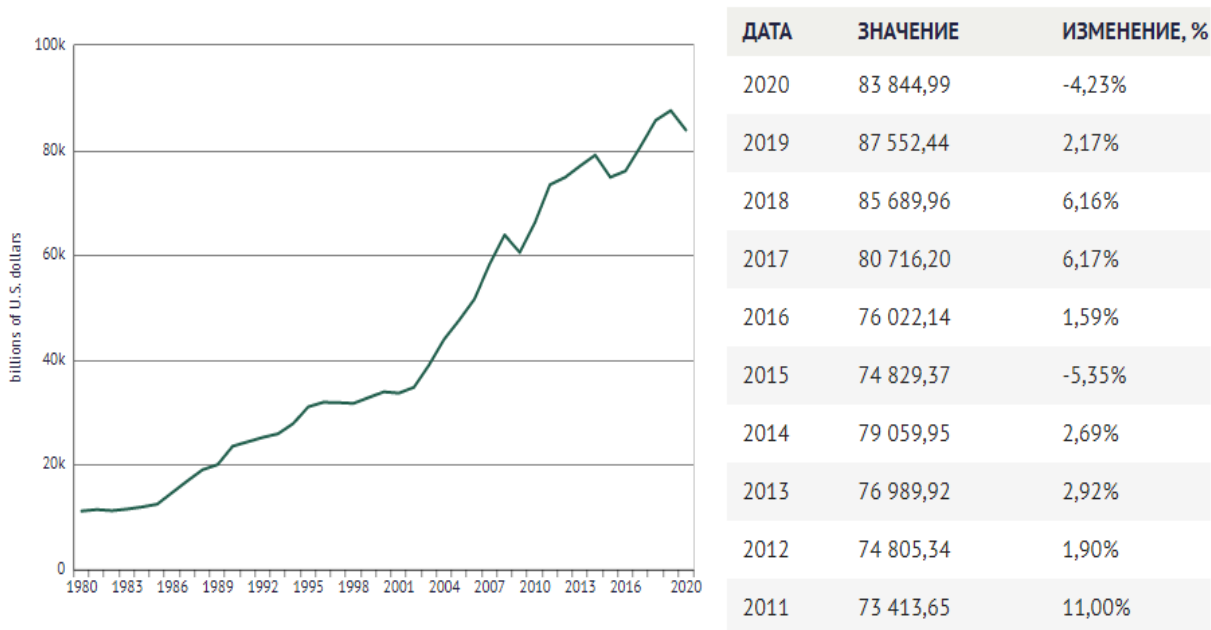


Рис. 6 – График мирового ВВП

S – кривые и COVID-19

Аналогичная динамика может проявляться и в вирусной этиологии, которая может интерпретироваться как плавный переход от атомно-молекулярных взаимодействий на микроуровне к формально аналогичному процессу в

макросистемах. Эта аналогия подтверждается количественными расчетами для коронавирусного сценария. Рассмотрим это на примере российского сценария коронавируса для числа заболеваний на данный момент (7) [14].

Графики такого типа отражают взаимодействие энтропийных составляющих процесса: кривая негэнтропии постепенно переходит в энтропийную кривую.

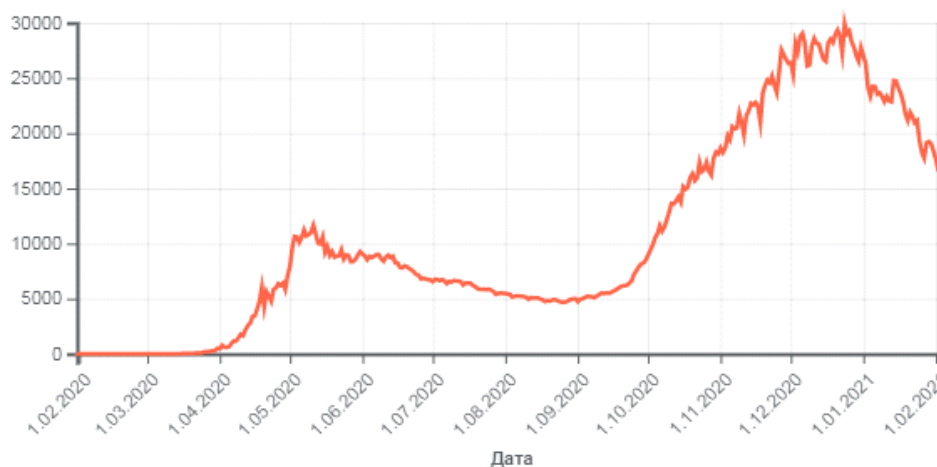


Рис. 7 – Количество заболеваний на данный момент времени

«В исходных номограммах имеется точка, которая делит каждый график на две симметричные части при $\approx 50\%$. Детализация данных около этого значения (рис. 7) дает еще другие близкие к нему величины. Так, для первой волны эта ситуация соответствует по дням с 21.04.2020 по 25.04.2020 и дает среднее значение. Это значит, что при $\approx 100\%$ должно быть плато с численным значением в два раза больше, то есть 10987. Фактически за 13 дней от 03.05.2020 до 15.05.2020 среднее оказалась равным – 10661» [15].

Для второй волны пандемии точка симметричного изменения такого графика примерно равна половине от его максимального значения.

Если провести корреляцию между временем пандемии на рис. 7 и коэффициентом, то можно оценить длительность верхнего плато графика. Такой расчет находится в соответствии с реальными результатами [15]. «Применение данной методики в других регионах и государствах позволило бы сделать анализ и прогнозы по некоторым важным этапам сценария коронавируса. Только в этих случаях необходимо предварительно оценить региональный коэффициент корреляции» [15].

Заключение

Данный подход не является принципиально новым, а приведенные к нему примеры не единичны. Так еще тысячи лет назад было установлено: «Все явления окружающего нас мира, включая человека и природу интерпретируются китайской медициной, как взаимодействие между двумя началами инь и ян, представляющие собой противоположные аспекты единой действительности» [16]. С позиции этих представлений физиотерапию и рефлексотерапию можно рассматривать как методику выравнивания потенциалов двух проявлений энергетических начал, которыми по современным понятиям являются энтропия и негэнтропия (п.3 исходных положений).

В данной ситуации с пандемией против вируса работает коллективный иммунитет и даже холодная зима способствует вынужденной самоизоляции. Двадцатый век – век войн эпидемий и революций имел большие человеческие потери. Но коэффициент прироста населения оказался самым высоким за всю историю человечества. В России в послевоенное время прирост родившихся мальчиков был значительно выше, чем до Второй мировой войны. В настоящее время экологических проблем есть актуальный принцип: сколько углекислого газа создается, столько его и должно поглощаться.

Все это - явления паритетного соотношения энтропии и негэнтропии.

Выводы

1. Графики S-кривых характеризуют общую динамику изменения энтропийных составляющих в зависимости от основных параметров процесса. При этом, их сумма равна максимальной величине каждой из них в данном взаимодействии.
2. Условием стационарного состояния системы является равенство или постоянная величина соотношения ее энтропии и негэнтропии (равновесная динамика).
3. Такие закономерности имеют место во многих явлениях и в конформационных взаимодействиях в физико-химии, в природе, в технике и даже в экономике. Приведены примеры их функционального вклада.
4. На основе российских данных показана возможность объективного анализа хода регионального сценария коронавируса.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Кынин А.Т. Оценка параметров технических систем с использованием кривых роста / А.Т. Кынин, В.А. Ляшин // [Электронный ресурс] URL: <http://www.metodolog.ru/01428/01428.html> (дата обращения 02.10.2020)
2. Сорокин А. S – кривая роста [Электронный ресурс] URL: <http://www.electrosad.ru/Jornal/SCur.htm> (дата обращения 02.10.2020)
3. Тэйлор Э.Ф. Физика пространства-времени / Э.Ф. Тэйлор, Дж.А. Уилер // М.: Мир, 1987. — 320 с.
4. Кораблев Г.А. О проблемных вопросах физико-химии / Г.А. Кораблев // Современные проблемы науки и образования. Российская Академия Естествознания, т. 19 2020г., стр. 26-31
5. Рубин А.Б. Биофизика / А.Б. Рубин // Кн.1. Теоретическая биофизика. М.:В.ш., 1987, 319 с.
6. Дирак П.А. Квантовая механика / П.А. Дирак // Лондон, Издательство Оксфордского университета, 1935
7. Korablev G.A. Diversified Demonstration of Entropy / G.A. Korablev, N.G. Petrova, A.K. Osipov and other // Nev Book Announcement. Nanotechnologies to Nanoindustry. - USA, Winter 2013/14. - Chapter 8. P 120-130
8. Кораблев Г.А. Биоструктурные энергетические критерии функциональных состояний / Г.А. Кораблев, Г.Е. Заиков // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2012, №1(2), с. 118-124
9. Пидгайный Ю.М. Механика полимеров / Ю.М. Пидгайный, В.М. Морозова, В.А. Дудко // 1967.– № 6 – С. 1096-1104.
10. Кодолов В.И. Полимерные композиции и технология изготовления из них двигателей летательных аппаратов / В.И. Кодолов // Ижевский механический институт, 1992, – 200 с.
11. Кораблев Г.А. О механизме процессов тяготения / Г.А. Кораблев // Естественные и технические науки №1 (139) 2020 г., Москва, Изд. «Спутник+», стр. 21-25.
12. Бизнес-идеи для производства в домашних условиях. [Электронный ресурс]. URL: <https://businessideas.com.ua> (дата обращения 02.10.2020)
13. Википедия, Валовой внутренний продукт. [Электронный ресурс]. URL: https://wiki2.org/ru/Валовой_внутренний_продукт (дата обращения 02.10.2020)
14. Википедия, COVID-19 пандемия в России. [Электронный ресурс]. URL: https://wikipedia.org/wiki/COVID-19_pandemic_in_Russia (дата обращения 02.10.2020)
15. Korablev G.A. Virus entropic characteristics / G.A. Korablev // EIJASR Journal 2020 vol-3, issue - 3, may-june, p. 146-152.
16. Википедия, Традиционная китайская медицина. [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Традиционная_китайская_медицина (дата обращения 02.10.2020)

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kynin A.T. Ocenka parametrov tekhnicheskikh sistem s ispol'zovaniem krivykh rosta [Evaluation of the parameters of technical systems using growth curves] / Kynin A.T., Lenyashin V.A. // [Electronic resources] URL: <http://www.metodolog.ru/01428/01428.html> (accessed 02.10.2020) [in Russian]
2. Sorokin A. S-krivye [S-curves] / A. Sorokin // [Electronic resources] URL: <http://www.electrosad.ru/Jornal/SCur.htm> (accessed 02.10.2020) [in Russian]
3. Taylor, E. F. Fizika prostranstva-vremeni [Physics of space-time] / E. F. Taylor, J. A. Wheeler // Moscow: Mir, 1987. - 320 p. [in Russian]
4. Korablev G.A., O problemnykh voprosakh fiziko-himii [About problematic issues of physical chemistry] / G.A. Korablev // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. Rossijskaya Akademiya Estestvoznaniya, Vol. 19, 2020 g., p. 26-31 [in Russian]
5. Rubin A.B. Biophysika [Biophysics] / Rubin A.B. // Book 1. Theoretical biophysics. M.: V.sh., 1987, 319 p. [in Russian]
6. Dirac P.A., Quantum Mechanics / Dirac P.A. // London, Oxford Univ., Press, 1935
7. Korablev G.A. Diversified Demonstration of Entropy / G.A. Korablev, N.G. Petrova, A.K. Osipov and other // Nev Book Announcement. Nanotechnologies to Nanoindustry. - USA, Winter 2013/14. - Chapter 8. P 120-130
8. Korablev G.A. Biostrukturnye energeticheskie kriterii funktsional'nykh sostoyanij [Biostructural energy criteria for functional states. Proceedings of universities] / Korablev G.A., Zaikov G.E. // Proceedings of universities. Applied Chemistry and Biotechnology. 2012, No. 1 (2), p. 118-124
9. Pidgainy Yu.M. Mekhanika Polimerov [Mechanics of Polymers] / Pidgainy Yu.M., Morozova V.M., Dudko V.A. // 1967.– No. 6 - P. 1096-1104 [in Russian]
10. Kodolov V.I. Polimernye kompozicii i tekhnologiya izgotovleniya iz nih dvigatelej letatel'nykh apparatov [Polymer compositions and technology for manufacturing aircraft engines from them] / Kodolov V.I. // Izhevsk Mechanical Institute, 1992, - 200 p. [in Russian]
11. Korablev G.A. O mekhanizme processov tyagoteniya [On the mechanism of gravitational processes] / Korablev G.A. // Natural and technical sciences No. 1 (139) 2020, Moscow, ed. "Sputnik +", pp. 21-25 [in Russian]
12. Idei Buisnesa [Business ideas] [Electronic resources] URL: <https://businessideas.com.ua> (accessed 02.10.2020) [in Russian]
13. Wikipedia Valovoj vnutrennij produkt [Wikipedia, Gross internal product] [Electronic resources] URL: https://wiki2.org/ru/Gross_internal_product (accessed 02.10.2020) [in Russian]
14. Wikipedia, COVID-19 pandemic in Russia. [Electronic resources] URL: https://en.wikipedia.org/wiki/COVID-19_pandemic_in_Russia (accessed 02.10.2020)
15. Korablev G.A. Virus entropic characteristics / Korablev G.A. // EIJASR Journal 2020 vol-3, issue - 3, may-june, p / 146-152.
16. Wikipedia, Tradizionaya kitaiskaya medicina [Wikipedia, Traditional Chinese Medicine], [Electronic resources] URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Traditional_Chinese_medicine (accessed 02.10.2020) [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.109.7.030>**СИНТЕЗ И ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИЙ
НА ОСНОВЕ ГИДРОЗОЛЕЙ ОКСИДА ЦИНКА**

Научная статья

Кузнецова Н.С.^{1,*}, Макарова К.А.²¹ ORCID: 0000-0003-0615-8928;^{1, 2} Забайкальский государственный университет, Чита, Россия

* Корреспондирующий автор (kns2702[at]yandex.ru)

Аннотация

Были синтезированы гидрозоли оксида цинка из разных прекурсоров, изучены их коллоидно-химические свойства полученных дисперсных систем. Размер частиц ZnO, полученного из нитрата цинка, составил 91 нм, из ацетата цинка – 61 нм. Определено, что более устойчивые гидрозоли получаются из нитрата цинка. Наличие оксида цинка подтверждено инфракрасной спектроскопией – характерные полосы поглощения 455,22 и 439,78 см⁻¹. Разработана методика получения композиций на основе гидрозоля оксида цинка и гиалуроновой кислоты, исследованы реологические свойства образовавшихся соединений. В качестве дисперсионной среды выступает гиалуроновая кислота, дисперсной фазы наночастицы оксида цинка. Введение неорганической матрицы не влияет на вязкостные свойства органического компонента.

Ключевые слова: гидрозоль, оксид цинка, гиалуроновая кислота, наночастицы, композиционные материалы, реологические свойства, инфракрасная спектроскопия.

**SYNTHESIS AND STUDY OF PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF COMPOSITIONS
BASED ON ZINC OXIDE HYDROSOLS**

Research article

Kuznetsova N.S.^{1,*}, Makarova K.A.²¹ ORCID: 0000-0003-0615-8928;^{1, 2} Transbaikal State University, Chita, Russia

* Corresponding author (kns2702[at]yandex.ru)

Abstract

In this article, zinc oxide hydrosols from various precursors are synthesized and their colloidal-chemical properties of the obtained dispersed systems are studied. The particle size of ZnO obtained from zinc nitrate amounts to 91 nm, while the size from zinc acetate equals 61 nm. The study determines that more stable hydrosols are obtained from zinc nitrate. The presence of zinc oxide is confirmed by infrared spectroscopy: the characteristic absorption bands are 455.22 and 439.78 cm⁻¹. The authors introduce a method for obtaining compositions based on a hydrosol of zinc oxide and hyaluronic acid and study the rheological properties of the formed compounds. The dispersion medium is hyaluronic acid, while the dispersed phase is zinc oxide nanoparticles. The introduction of an inorganic matrix does not affect the viscosity properties of the organic component.

Keywords: hydrosol, zinc oxide, hyaluronic acid, nanoparticles, composite materials, rheological properties, infrared spectroscopy.

Введение

В настоящее время все больший интерес приобретают композиционные материалы с добавлением наночастиц оксида цинка (ZnO), что не является удивительным – они обладают рядом уникальных свойств [1], [2]. Выраженные антибактериальные, регенерирующие, противовоспалительные свойства гиалуроновой кислоты (ГК) и ZnO делают эти два вещества идеальными компонентами композиционного материала, который может применяться в косметологии и медицине [3], [4]. В отличие от нативной, химически модифицированная ГК обладает меньшей скоростью деградации ферментами в организме, в то же время сохраняется ее биосовместимость [5], [6]. В патентных базах зарегистрированы материалы, в составе которых присутствует гиалуроновая кислота с различными лигандами, в том числе и с цинком [5], однако нет данных о композитах, полученных на основе гидрозолей, мало изучен химический аспект синтеза и физико-химические свойства продуктов.

Цель работы – получение агрегативно устойчивых гидрозолей оксида цинка и создание на их основе композиций с гиалуроновой кислотой.

Материалы и методы

В качестве исходных реактивов (класса «хч») использовали: Zn(CH₃COO)₂·2H₂O, Zn(NO₃)₂·6H₂O, гиалуроновую кислоту (ООО ДНЦ-КОСМЕТИКА, Россия, ГОСТ 31695-2012). Гидрозоль оксида цинка получали путем гидролиза ацетата или нитрата цинка с последующей промывкой и дальнейшей пептизацией осадка в растворе аммиака, диспергированием и нагреванием раствора [1].

Для получения композиций в 1 % гель гиалуроновой кислоты медленно, при непрерывном перемешивании, вносили гидрозоль оксида цинка в соотношениях 1:1, 1:2. Перемешивание продолжали до постоянного значения pH среды и получения однородного геля.

Количественное содержание оксида цинка определяли гравиметрическим методом. Агрегативную устойчивость дисперсных систем по отношению к растворам электролитов (Na₂SO₄, NaNO₃) исследовали турбидиметрически с использованием фотоколориметра КФК-2 при длине волны 540 нм через одинаковые промежутки времени после смешивания (концентрация гидрозоля оставалась постоянной). Определение размеров частиц проводили турбидиметрически по методу Геллера на КФК-2 в диапазоне длин волн от 400 до 750 нм. Определение внешнего

вида и цвета полученных веществ осуществляли по ГОСТу 29188.0-91 [7]. Значения pH среды регистрировали на иономере Анион 4100 с использованием стеклянного комбинированного электрода ЭСК-10601/7. Реологические свойства золь изучались методом вискозиметрии на приборе ВПЖ-3. Для получения инфракрасных спектров образцы высушивали при нормальных условиях, растирали в фарфоровой ступке, смешивали с прокаленным бромидом калия, прессовали в форме таблеток. Регистрация спектров проведена на спектрофотометре с Фурье преобразованием «Shimadzu» FTIR-8400S.

Результаты и их обсуждение

Полученные гидрозоли оксида цинка имели различную устойчивость – осаждение дисперсной фазы в случае с золей на основе ацетата цинка происходило в течение первых 24 часов; из нитрата цинка коллоидная система оказалась более устойчивой – полное осаждение ZnO произошло на 3 сутки. В работе Кузовковой А.А. [1] показано, что электрокинетический потенциал гидрозоля оксида цинка, полученного из нитрата, выше, чем из соответствующего ацетата. Как известно, дзета-потенциал определяет степень и характер взаимодействия между частицами дисперсной системы [1], его высокие значения свидетельствуют о большей стабильности и устойчивости дисперсий к агрегации. Согласно полученным данным порог быстрой коагуляции при добавлении нитрата натрия составил 0,3 М, а при добавлении сульфата натрия – 0,2 М, что полностью подтверждается теорией кинетики коагуляции и необходимо для создания устойчивой композиции на их основе.

Количественное содержание оксида цинка в гидрозоле, полученном из нитрата цинка, составило 4,61 г/дм³, из ацетата цинка – 0,49 г/дм³. Радиус частиц гидрозоля оксида цинка, полученного на основе ацетата цинка, был равен 61 нм, что соответствует данным из литературных источников – согласно [1] размер частиц, полученных таким же методом, составляет около 60 нм. Отличаются данные касательно размеров частиц, полученных из нитрата цинка: согласно нашим расчетам – 91 нм, согласно [1] – 70 нм, что может быть связано с применением разных методов (просвечивающей электронной микроскопии, в частности).

Частоты поглощения инфракрасного спектра (ИКС) и соответствующие им группы представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Частоты поглощения и соответствующие им группы ИКС гидрозоля оксида цинка из нитрата цинка

Группы	Частоты, см ⁻¹	
	Прекурсор – нитрат Zn	Прекурсор – ацетат Zn
ν(O-H)	3537,57 3363,97	3564,57
		3363,97
		2953,12
		2918,40
		2850,88
δ(O-H)	1384,94	1384,94
ν(Zn-O)	455,22	439,78
ρ _w (Zn-NO ₂)	507,30	-

Полученные ИКС гидрозолей соответствуют спектрам оксида цинка, синтезированного методом эмульсионного осаждения в работе [2]. Авторы ассоциируют полосы поглощения в областях около 3000, 1500 и 1000 см⁻¹ с органическими группами. В синтезе гидрозолей ZnO не использовались органические вещества, поэтому данные полосы поглощения более вероятно соответствуют различным колебаниям связей O-H и валентным колебаниям связи N-O.

Для создания композиций с гиалуроновой кислотой использовали гидрозоли, полученный из нитрата цинка, показавшего большую устойчивость в эксперименте. Частицы дисперсной фазы гидрозоля Zn заряжены положительно, гиалуронат – отрицательно, поэтому полученный композит предположительно является устойчивым благодаря ионным взаимодействиям между компонентами.

Для выбора оптимальных составов, определения качества композиций и исходных веществ по ГОСТу 29188.0-91 [7] провели феноменологические наблюдения, представленные в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты определения качества композиций и прекурсоров

Определяемый параметр	Результат				
	Гиалуроновая кислота	Гидрозоль оксида цинка	Композиция №1	Композиция №2	Композиция №3
Внешний вид, цвет	Прозрачный бесцветный гель	Опалесцирующая жидкость белого цвета	Опалесцирующий гель белого цвета	Опалесцирующий гель белого цвета	Опалесцирующий гель белого цвета
Однородность	Однородный, без посторонних включений	Однородный	Однородный	Однородный	Однородный
Запах	Легкий, устойчивый	Без запаха	Легкий, устойчивый	Легкий, устойчивый	Легкий, устойчивый
pH	6,8	7,5	7,1	7,3	7,4

В ИК-спектре исходного образца зафиксированы валентные и деформационные колебания amino-группы (полосы поглощения в области от 700 до 800 и 3344 см⁻¹); полосу 2891 см⁻¹ можно отнести к валентным колебаниям связей CH,

а в области 750 и от 1379 до 1433 см^{-1} деформационным колебаниям групп CH_2 и CH_3 соответственно. Полосы поглощения при 3527, 3344, 3257, 2891, 2696 см^{-1} соответствуют валентным колебаниям ОН групп. Принадлежность вещества к органическим кислотам подтверждается наличием полос 1678, 1045, 1165 и 2142 см^{-1} . Данные спектра согласуются с представленными в работе [8].

На рисунке 1 – ИКС композиции на основе гидрозоля ZnO с гиалуроновой кислотой. На графике присутствуют полосы поглощения, характерные для гиалуроновой кислоты, оксида цинка с характерным смещением полос спектра и увеличением их интенсивности, что, на наш взгляд, является подтверждением возникновения новых взаимодействий между компонентами как ионного, так и межмолекулярного характера.

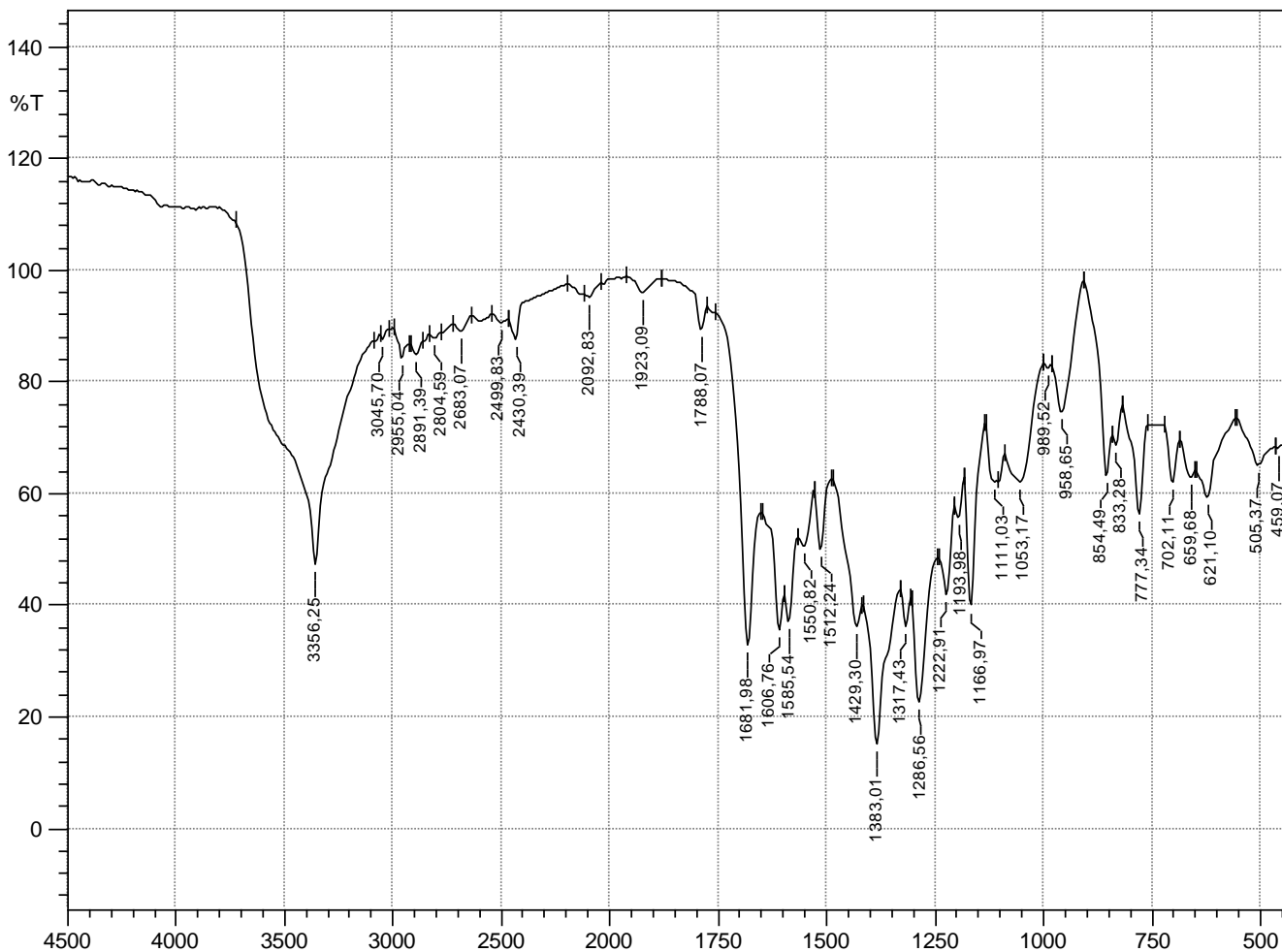


Рис. 1 – ИКС композиции из гидрозоля оксида цинка и гиалуроновой кислоты

В таблице 3 представлены результаты определения вязкости полученных композиций.

Таблица 3 – Результаты определения вязкости композиционных материалов и исходной гиалуроновой кислоты

Композиционный материал	C (ГК), г/100 дм^3	τ , с	$\eta_{\text{отн}}$	$\eta_{\text{уд}}$	$\eta_{\text{пр}}$, (100 $\text{дм}^3 \cdot \text{с}$)/г	$\eta_{\text{дин}}$, Па·с
ГК	0,25	379	35,95	34,95	139,80	0,032
ГК	0,33	885	83,95	82,95	251,36	0,075
№1	0,25	369	35,17	34,17	136,86	0,031
№2	0,33	879	83,79	82,79	250,88	0,074

Из представленных данных видно, что введение в систему гидрозолей оксида цинка достоверно не влияет на вязкостные свойства полимера.

Заключение

В результате экспериментальной работы путем гидролиза солей (нитрата и ацетата) получены гидрозоли оксида цинка. Большую кинетическую и агрегативную устойчивость показал золь, синтезированный из $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Структура соединений подтверждена инфракрасной спектроскопией. Методом Геллера установлен наноразмер частиц ZnO , составивший 91 и 61 нм из нитрата и ацетата соответственно, что позволяет их использовать в производстве косметической и антибактериальной продукции. Разработана методика получения композиций на основе гидрозоля оксида цинка и гиалуроновой кислоты. В качестве дисперсионной среды выступает ГК, дисперсной фазы наночастицы ZnO . Получены ИКС гиалуроновой кислоты и композиций с золем цинка. Присутствие в структуре

частиц оксида цинка подтверждается наличием полосы поглощения при 459,07 см⁻¹. Вязкостные свойства полимера не изменяются при введении неорганического золя.

Финансирование

Работа выполнена в рамках гранта ЗабГУ №327.

Funding

The work was carried out within the framework of a grant from the Trans-Baikal University №327.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Кузовкова А.А. Синтез и коллоидно - химические свойства гидрозолей оксида цинка : автореф. дисс... канд. хим. наук : 02.00.11 / Кузовкова Анна Александровна. – М. РХТУ, 2013. – 18 с.
2. Kotodziejczak-Radzimska A. Structural characterization of ZnO particles obtained by the emulsion precipitation method / A. Kotodziejczak-Radzimska, E. Markiewicz, T. Jesionowski // Journal of Nanomaterials. - 2012. – № 2. - P. 1-10.
3. Zinc hyaluronate (цинка гиалуронат) [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.vidal.ru/drugs/molecule/2348> (дата обращения 26.07.2021).
4. Пат. 2099350 Российская Федерация, МПК С 08 В 37/08, А 61 К 31/73. Ассоциаты депротонированной гиалуроновой кислоты, способ их получения. Фармацевтическая композиция, содержащая ассоциаты депротонированной гиалуроновой кислоты и способ ее получения / Кальман Бургер и др.; заявитель и патентообладатель Кемикс Вокс оф Гедеон Рихтер, Лтд. - № 4831382/04; заявл. 23.10.1990; опубл. 20.12.1997, Бюл. № 7. – 13 с.
5. Пат. 2710074 Российская Федерация, МПК С 08 В 37/08, А 61 К 31/728. Гидрогелевая водорастворимая композиция на основе гиалуроновой кислоты и ионов поливалентных металлов и способ ее получения / Иванов П.Л., Хабаров В.Н.; заявитель и патентообладатель ООО «МедикалСайнс». - № 2019131025; заявл. 02.10.2019; опубл. 24.12.2019, Бюл. № 36. – 19 с.
6. Сигаева Н.Н. Химическая модификация гиалуроновой кислоты и ее применение в медицине / Н.Н. Сигаева и др. // Вестник Башкирского университета. – 2012. – № 3. - С. 1220-1241.
7. ГОСТ 29188.0-91. Изделия парфюмерно-косметические. Правила приемки, отбор проб, методы органолептических испытаний. - Введ. 1991-24-12. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 5 с.
8. Alves de Oliveira S. Production and characterization of bacterial cellulose membranes with hyaluronic acid from chicken comb / S. Alves de Oliveira [et al.] // International Journal of Biological Macromolecules. – 2017. – P. 642-653.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kuzovkova A.A. Sintez i kolloidno-himicheskie svojstva gidrozolej oksida cinka [Synthesis and colloidal - chemical properties of zinc oxide hydrosols]: avtoref. dis... of PhD in Chemistry : 02.00.11 / Kuzovkova Anna Aleksandrovna. – M., 2013. – 18 p. [in Russian]
2. Kotodziejczak-Radzimska A. Structural characterization of ZnO particles obtained by the emulsion precipitation method / A. Kotodziejczak-Radzimska, E. Markiewicz, T. Jesionowski // Journal of Nanomaterials. - 2012. – № 2. - P. 1-10.
3. Zinc hyaluronate [Electronic resource]. – URL: <https://www.vidal.ru/drugs/molecule/2348> (accessed 26.07.2021) [in Russian]
4. Pat. 2099350 Russian Federation, МПК С 08 В 37/08, А 61 К 31/73. Associaty deprotonirovannoj gialuronovoj kisloty, sposob ih polucheniya. Farmaceuticheskaya kompoziciya, soderzhashchaya associaty deprotonirovannoj gialuronovoj kisloty i sposob ee polucheniya [Associates of deprotonated hyaluronic acid, a method for their preparation. A pharmaceutical composition containing associates of deprotonated hyaluronic acid and a method for its preparation] / Kalman Burger and other; the applicant and the patentee Chemises Vaux of Gideon Richter, Ltd. - № 4831382/04; appl. 23.10.1990; publ. 20.12.1997, Bul. Number 7. – 13 p. [in Russian]
5. Pat. 2710074 Russian Federation, МПК С 08 В 37/08, А 61 К 31/728. Hidrogelevaya vodorastvorimaya kompoziciya na osnove gialuronovoj kisloty i ionov polivalentnyh metallov i sposob ee polucheniya [Hydrogel water-soluble composition based on hyaluronic acid and polyvalent metal ions and a method for its preparation] / Ivanov P.L., Habarov V.N.; the applicant and the patentee ООО «MedicalScience». - № 2019131025; appl. 02.10.2019; publ. 24.12.2019, Bul. Number 6. – 19 p. [in Russian]
6. Sigaeva N.N. Himicheskaya modifikaciya gialuronovoj kisloty i ee primeneniye v medicine [Chemical modification of hyaluronic acid and its use in medicine] / N.B. Sigaeva and other // Vestnik Bashkirskogo universiteta [Bulletin of the Bashkir University]. – 2012. – № 3. - P. 1220-1241. [in Russian]
7. GOST 29188.0-91. Izdeliya parfyumerno-kosmeticheskie. Pravila priemki, otbor prob, metody organolepticheskikh ispytaniy [Perfumery and cosmetic products. Acceptance rules, sampling, organoleptic test methods]. - Vved. 1991-24-12. – M.: Publishing house of standarts, 1992. – 5 p. [in Russian]
8. Alves de Oliveira S. Production and characterization of bacterial cellulose membranes with hyaluronic acid from chicken comb / S. Alves de Oliveira [et al.] // International Journal of Biological Macromolecules. – 2017. – P. 642-653.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.109.7.031>**ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЕ КОНСУЛЬТИРОВАНИЕ КАК ЭЛЕМЕНТ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ
ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

Научная статья

Бережная Е.С.^{1,*}, Брижак З.И.²^{1,2} Ростовский государственный медицинский университет, Ростов-на-Дону, Россия

* Корреспондирующий автор (bereznoy7[at]yandex.ru)

Аннотация

Одной из самых серьезных проблем современного общества стало доступность лекарственных препаратов, их неконтролируемое и нерациональное использование. Объектом наших исследований стали посетители и сотрудники аптечных организаций г. Ростова-на-Дону. В ходе проведенных исследований было установлено, что 76 % посетителей приходят в аптеку за первичной консультацией по вопросам назначения и приема лекарственных препаратов. Так же была проанализирована профессиональная компетенция фармацевтических специалистов и установлен низкий уровень компетенции в сфере фармацевтического консультирования. На основании проведенных исследований и анализа данных нами разработан и предложен алгоритм формирования образовательного портфеля в системе НМиФО, позволяющий совершенствовать компетенции сотрудников аптечных организаций в рамках фармацевтического консультирования.

Ключевые слова: фармацевтическое консультирование, конкурентоспособность, самолечение, фармацевтическая услуга, рекомендации, информированность, лояльность.

**PHARMACEUTICAL CONSULTING AS AN ELEMENT OF COMPETITIVENESS
OF A PHARMACEUTICAL ENTERPRISE**

Research article

Berezhnaya E.S.^{1,*}, Brizhak Z.I.²^{1,2} Rostov State Medical University, Rostov-on-Don, Russia

* Corresponding author (bereznoy7[at]yandex. ru)

Abstract

The availability of medicinal drugs and their uncontrolled and irrational use have become one of the most serious problems of modern society. The subject of the current study is the visitors and employees of pharmacy organizations in Rostov-on-Don. As a result of the conducted research, the study finds that 76 % of visitors come to the pharmacy for initial prescriptions for taking medicines. The study also analyzes the professional competence of pharmaceutical specialists and establishes a low level of competence in the field of pharmaceutical consulting. Based on the conducted research and data analysis, the authors introduce an algorithm for the formation of an educational portfolio in the system of continuing medical and pharmaceutical education (NMiFO), which allows for improving the competencies of employees of pharmacy organizations in pharmaceutical consulting.

Keywords: Pharmaceutical consulting, competitiveness, self-treatment, pharmaceutical service, recommendations, awareness, loyalty.

Введение

В современных реалиях человечество столкнулось с огромным потоком информации о способах и методах лечения и профилактики различных заболеваний. Этот вопрос особенно остро встал в период пандемии коронавирусной инфекции. С одной стороны мы наблюдаем колоссальную загруженность медицинского персонала стационарных и поликлинических отделений медицинских учреждений, а следовательно невозможность в полном объеме охватить весь поток пациентов, а с другой стороны активное общение в социальных сетях и мессенджерах, обилие информации в сети Интернет, что влечет за собой неконтролируемое и нерациональное применение лекарственных препаратов и БАДов. В сложившейся ситуации за первичной консультацией или что хуже же с четким пониманием необходимого препарата пациент приходит в аптечную организацию [7].

Современный фармацевтический специалист должен обладать компетенциями в различных плоскостях профессиональной сферы, непрерывно совершенствовать их и актуализировать свои знания и навыки в соответствии с постоянно совершенствующимися фармацевтическими препаратами и технологиями оказания фармацевтических услуг [4].

Эти постулаты закреплены нормативно-правовым актом - приказом Минтруда №91н от 06.03.16 утвержден профессиональный стандарт «Провизор», согласно которому предусмотрена трудовая функция провизора — «Информирование населения и медицинских работников о лекарственных препаратах и других товарах аптечного ассортимента». Согласно профессиональному стандарту выполнение этой трудовой функции включает в себя определенные трудовые действия: консультативная помощь населению по режиму дозирования лекарственных препаратов и правилам их приема и хранения, помощь и консультации при выборе безрецептурных лекарственных препаратов, консультативная помощь о способах применения и совместимости ЛП.

Целью исследования являлось изучение распространённости самолечения, ятрогеня, глубина и полнота оказываемой фармацевтической консультации, удовлетворенность посетителей аптек оказанной услугой, формирование алгоритма оказания фармацевтической услуги, формирование алгоритма подготовки фармацевтического специалиста в рамках вторичной аккредитации [3].

Методы и принципы исследования

Для достижения поставленной цели нами было проведено фармакоэпидемиологическое исследование, которые базировались на методологических основах фармацевтического консультирования путем анкетирования посетителей и сотрудников аптечных организаций г. Ростова-на-Дону, с использованием авторских анкет, разработанных специально для данного исследования. В анкету для опроса посетителей аптек были включены вопросы различной тематики условно разделенные на две категории: 1-я категория – позволила нам проанализировать факторы, направленные на выявление социально-демографических данных респондента, 2-я категория включала в себя вопросы направленные на выявления факторов, определяющих выбор препарата, необходимость и актуальность консультации со стороны фармацевтического работника [2].

В анкету для опроса фармацевтических специалистов также были включены две категории вопросов: 1-я категория включала общие данные о специалисте – возраст, пол, стаж работы, периодичность прохождения обучения. 2-я категория – вопросы, направленные на оценку профессиональных компетенций специалиста, используемом ими алгоритме или его отсутствии при оказании фармацевтического консультирования, осведомленность об актуальной нормативной базе в рамках правил отпуска лекарственных препаратов для медицинского применения. Анкетирование проходило в марте 2021 года. В анкетировании приняло участие 20 аптечных организаций, 1350 респондентов из числа посетителей аптек, 95 сотрудников аптечных организаций. Выбор аптечных организаций осуществлялся методом случайного отбора, но с обязательным учетом территориальной принадлежности - для равномерного анализа по всем районам города [5].

Согласно исследованию, проведенному путем анкетирования посетителей и сотрудников аптечных организаций г. Ростова-на-Дону установлено что более 76 % посетителей приходят за первичной консультацией в аптеку. Большинство респондентов - 58 % приходят в аптеку для приобретения рецептурных лекарственных препаратов, имея четкое представление о необходимых им лекарственных препаратах. Это представление, как правило основывается на ранее проводимом лечении, информации из сети Интернет или совете знакомых. 2- категория – это посетители, которые, имея потребность в постановке диагноза и медикаментозном лечении приходят за первичной консультацией к фармацевтическому специалисту. 3-я категория – это родители, нуждающиеся в постановке диагноза и назначении лекарственных препаратов своим детям. 4-я категория это посетители, не имеющие каких либо заболеваний в острой стадии на данный момент, но нуждающихся в средствах профилактики таковых [1] (Рисунок 1).

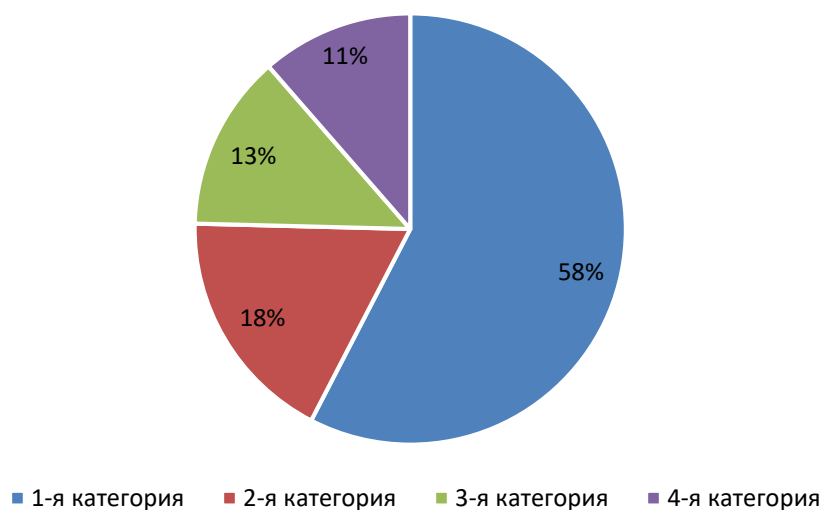


Рис. 1 – Распределение посетителей АО по потребности в услуге:

1-я категория – имеют четкое представление о необходимых им препаратах; *2-я категория* – требуется консультация фармацевтического специалиста (ЛП); *3-я категория* - требуется консультация фармацевтического специалиста для приобретения детских лекарственных форм; *4-категория* -требуется консультация для приобретения БАДов или косметики

Остальных респонденты обращаются к фармацевтическому работнику за консультацией и назначением лекарственных препаратов.

В ходе проведенного исследования выявлены множественные случаи нерационального и необоснованного применения различных лекарственных препаратов, что особенно актуально в разрезе пандемии коронавирусной инфекции, бесконтрольного приема антибиотиков, основанного на ложных представлениях об их эффективности при лечении вирусных заболеваний. Согласно проведенному опросу, 46% респондентов уверены, что антибиотики убивают вирусы так же хорошо, как и бактерии. Их используют для лечения заложенности носа, кашля, бронхита, простуды и гриппа [6], [9].

В группе фармацевтических работников было установлено, что 75% посетителей аптек обращаются с целью приобретения рецептурных препаратов, 85 % приходят за первичной консультацией в рамках комплексного лечения заболевания, 30 % приходят с назначением врача, но данное назначение требует корректировки в зоне безрецептурных препаратов или лекарственной совместимости, 10% посетителей обращаются с просьбой рекомендации исключительно БАДов и предпочитают не применять лекарственные препараты, считая БАДы более

безопасными. Также было установлено, что из 75% посетителей с потребностью в рецептурных препаратах, только у 12% имелся рецепт на данные препараты (Рисунок 2).

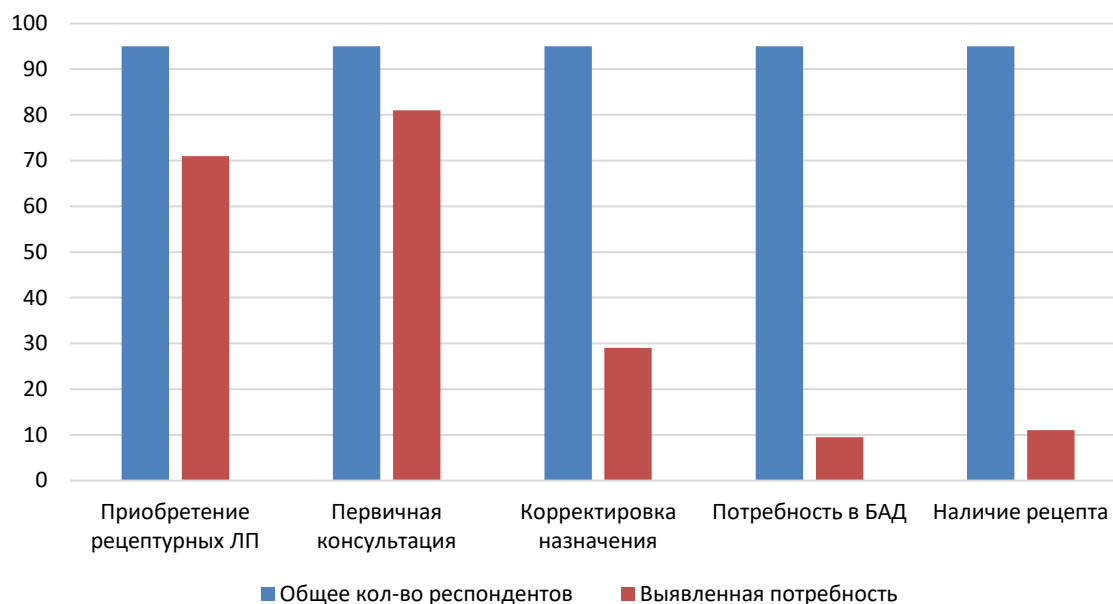


Рис. 2 – Распределение посетителей АО по потребности в услуге по результатам опроса фармацевтических работников

Так же была проанализирована профессиональная компетенция фармацевтических специалистов. Установлено, что только 65% опрошенных фармацевтов и провизоров проходят постоянное обучение и непрерывно повышают свои компетенции, 20% не имеют возможности это делать (низкий уровень знания ПК, полная занятость и отсутствие источников информации). 15 % уже зарегистрированы в системе НМО, 10% уже прошли одну или более программу повышения квалификации на обучающем портале, но определенного алгоритма построения своего образовательного портфолио они не преследовали [10].

Основные результаты

В результате исследования нами было установлена высокая степень самостоятельного и нерационального применения лекарственных препаратов, низкий уровень компетенции фармацевтических специалистов, не соответствующий стандартам оказания услуги. Полученная информация позволяет нам сделать вывод, что только квалифицированное фармацевтическое консультирование на сегодняшний день способно помочь в формировании культуры приема лекарственных препаратов, БАДов и витаминов [11].

Согласно Приказа Министерства здравоохранения РФ от 31 августа 2016 г. N 647н «Об утверждении Правил надлежащей аптечной практики лекарственных препаратов для медицинского применения» вводится понятие

«Фармацевтическое консультирование» – доступ к информации о порядке применения или использования товаров аптечного ассортимента, в том числе о правилах отпуска, способах приема, режимах дозирования, терапевтическом действии, противопоказаниях, взаимодействии лекарственных препаратов при одновременном приеме между собой и (или) с пищей, правилах их хранения в домашних условиях.

В современных реалиях на фармацевтических специалистах лежит большая ответственность в рамках ответственного самолечения.

Система непрерывного образования в медицине и фармации нуждается в непрерывном совершенствовании – специалист с фармацевтическим образованием в наш век передовых фармацевтических открытий и разработок, постоянно меняющихся и совершенствующихся стандартах лечения обязан непрерывно повышать квалификацию, знакомится с новыми лекарственными препаратами, подходами к профилактике лечения различных заболеваний, вести просветительную работу с населением, что невозможно без постоянного самосовершенствования [8].

Мы считаем, что только грамотный подход к совершенствованию НМиФО и формированию портфеля из 36 часовых программ повышения квалификаций специалиста даст возможность сформировать правильный алгоритм этапов фармацевтического консультирования решить поставленные задачи [10]:

1. Изучаемые программы должны комплементарно охватывать все зоны профессиональных интересов фармацевтического специалиста.
2. Учитывать возможность самолечения пациентом и затрагивать и совершенствовать все аспекты фармацевтического консультирования.
3. Отрабатывать навыки, позволяющие разделять фармацевтическому специалисту зоны фармацевтической и медицинской ответственности.
4. Обеспечить совершенствования исполнения правовых и этических норм при оказании фармацевтической услуги.
5. Повышать профессиональный уровень специалиста в рамках профилактики здорового образа жизни пациента.
6. Затрагивать вопросы психологии и деонтологии.

Заключение

В результате проведенных исследований и опроса посетителей и сотрудников аптечных организаций нами был установлен низкий уровень знания населения в части рационального приема лекарственных препаратов, что сопряжено с совокупностью потенциальных рисков, таких как антибиотикорезистентность, ятрогения, отравление лекарственными препаратами и угрозой жизни и здоровья [11]. Так же было установлено что большинство сотрудников фармацевтических организаций имеют низкий уровень компетенции в рамках фармацевтического консультирования и требуется его непрерывное совершенствование. Для предотвращения негативных последствий, увеличение лояльности посетителей и повышения уровня конкурентоспособности организации нами предложен алгоритм проведения непрерывных курсов повышения квалификации, который позволит сформировать дорожную карту фармацевтического консультирования.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Жаркова Л.П. Практика самолечения в городах России: результаты многоцентрового описательного исследования «ФарСаР» / Л.П. Жаркова, И.В. Андреева, Е.С. Пасечник и др. // Клиническая фармакология и терапия. М. - 2016. - Т. 25. - № 2. - С. 13-19.
2. Решетько О.В. Фармакоэпидемиологическое исследование взаимодействия пациента и фармацевтического работника при отпуске антибиотиков в аптеке. / О. В. Решетько, Ю.Н. Якимова. // Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия. М. - 2017.- Т. 19. - № 3. - С. - 255-259.
3. Айро И.Н. Использование логико-статистических методов анализа данных с целью выявления закономерностей реализации лекарственных препаратов в России. / И.Н. Айро, А.А. Москвитин, С.А. Парфеев, Л.М. Кузякова, Е.С. Бережная, М.Ф. Микаэлян, М. А. Гарумова. // Инновации и инвестиции. - 2019. - № 4. - С. - 392-395.
4. Олейникова Т.А. Формирование профессионально важных качеств провизора / Т.А. Олейникова, Н.Б. Дремова. // Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 81-летию Курского государственного медицинского университета и 50-летию фармацевтического факультета. В 3-х 592 томах. / Под ред. В.А. Лазаренко, П.В. Ткаченко, П.В. Калущкого, О.О. Куриловой. – Курск. – 2016. – С. 93-96.
5. Айро И.Н. Использование методов интеллектуального анализа в прогнозировании развития региональных фармацевтических рынков / И.Н. Айро. // Интеллектуальный анализ данных и цифровая экономика. Материалы международной научно-практической конференции. 2018. - С. 181-185.
6. Якимова Ю.Н. Поведение фармацевтических работников при отпуске антибиотиков для системного применения / Ю.Н. Якимова, О.В. Решетько. // Фармакоэкономика: теория и практика. 2016. - Т. 4. - № 1. - С. 225.
7. Василенко Е.А. Медицинская безграмотность населения как барьер в коммуникации фармацевта и пациента / Е.А. Василенко, Е.В. Динейкина, Е.О. Сергеева. // The Scientific Heritage. 2020.- № 43-1 (43). - С. 53-56.
8. Брижак З.И. Модернизация российского образования в контексте международной деятельности вузов: использование принципов эффективного маркетинга / Брижак З.И., Бадалянц Д.А., Шепелева Ю.Л. // В сборнике: Иностранные студенты в вузах Юга России: проблемы, перспективы и лучшие практики привлечения, обучения, трудоустройства. Сборник докладов и статей региональной научно-практической конференции. Под общей редакцией Е.Ю. Золочевской, А.В. Скидан. 2020. С. 12-16.
9. Брижак З.И. Современные тенденции обеспечения права на доступ к лекарственным средствам / З.И. Брижак, Ю.Б. Самойлова, А.Ю. Пайков. // Национальное здоровье. 2017. - № 1-2. - С. 25-33.
10. Рогов О.А. Организационные и учебно-методические подходы к подготовке специалистов, задействованных в системе обеспечения качества фармацевтических предприятий / О.А. Рогов, Т.Г. Дергоусова, Е.С. Бережная. // Вопросы обеспечения качества лекарственных средств. - 2019. - № 2 (24). - С. 72-79.
11. Бережная Е.С. Концепция стратегического инновационного управления на региональном фармацевтическом рынке: автореферат дис. ... доктора фармацевтических наук / Волгогр. гос. мед. ун-т. Пятигорск, 2014.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Zharkova L. P. Praktika samolecheniya v gorodakh Rossii: rezul'taty mnogocentrovogo opisatel'nogo issledovaniya «FarSaR» [The practice of self-treatment in Russian cities: the results of a multicenter descriptive study "FarSaR"] / L. P. Zharkova, I. V. Andreeva, E. S. Pasechnik et al. // Klinicheskaja farmakologija i terapija [Clinical pharmacology and therapy]. M.-2016. - Vol. 25. - No. 2, pp. 13-19 [in Russian]
2. Reshetko O. V. Farmakoehpidemiologicheskoe issledovanie vzaimodejstvija pacienta i farmacevticheskogo rabotnika pri otpuske antibiotikov v apteke [Pharmacoepidemiological study of the interaction of a patient and a pharmaceutical worker during the release of antibiotics in a pharmacy] / O. V. Reshetko, Yu. N. Yakimova. // Klinicheskaja mikrobiologija i antimikrobnaja khimioterapija [Clinical microbiology and antimicrobial chemotherapy]. M.-2017. - Vol. 19. - No. 3, pp. - 255-259 [in Russian]
3. Ayro I. N. Ispol'zovanie logiko-statisticheskikh metodov analiza dannykh s cel'ju vyjavleniya zakonornostejj realizacii lekarstvennykh preparatov v Rossii [The use of logical and statistical methods of data analysis to identify patterns of drug sales in Russia] / I. N. Airo, A. A. Moskvitin, S. A. Parfeynikov et al. // Innovacii i investicii [Innovations and investments]. - 2019. - No. 4, pp. 392-395 [in Russian]
4. Oleinikova T. A. Formirovanie professional'no vazhnykh kachestv provizora [Formation of professionally important qualities of a pharmacist] / T. A. Oleynikova, N. B. Dremova. // Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvjashhennoj 81-letiju Kurskogo gosudarstvennogo medicinskogo universiteta i 50-letiju farmacevticheskogo fakul'teta. V 3-kh 592 tomakh [Proceedings of the international scientific and practical conference dedicated to the 81st anniversary of the Kursk State Medical University and the 50th anniversary of the Faculty of Pharmacy]. M.-2016. - Vol. 3. - No. 1, pp. 93-96 [in Russian]

anniversary of the Kursk State Medical University and the 50th anniversary of the Faculty of Pharmacy. In 3 volumes]. Edited by V. A. Lazarenko, P. V. Tkachenko, P. V. Kaluksy, O. O. Kurilova. - Kursk. - 2016, pp. 93-96 [in Russian]

5. Ayro I. N. Ispol'zovanie metodov intellektual'nogo analiza v prognozirovanii razvitiya regional'nykh farmacevticheskikh rynkov [The use of intellectual analysis methods in forecasting the development of regional pharmaceutical markets] / I. N. Ayro. // Intellektual'nyjj analiz dannykh i cifrovaja ehkonomika. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii [Data mining and the Digital Economy. Proceedings of the international scientific and practical conference]. 2018, pp. 181-185 [in Russian]

6. Yakimova Yu. N. Povedenie farmacevticheskikh rabotnikov pri otpuske antibiotikov dlja sistemnogo primeneniya [Behavior of pharmaceutical workers in the release of antibiotics for systemic use] / Yu. N. Yakimova, O. V. Reshetko. // Farmakoehtonomika: teorija i praktika [Pharmacoeconomics: theory and practice]. 2016. - Vol. 4. - No. 1. - p. 225 [in Russian]

7. Vasilenko E. A. Medicinskaja bezgramotnost' naselenija kak bar'er v kommunikacii farmacevta i pacienta [Medical illiteracy of the population as a barrier in communication between a pharmacist and a patient] / E. A. Vasilenko, E. V. Dineikina, E. O. Sergeeva. // The Scientific Heritage. 2020. - № 43-1 (43), pp. 53-56 [in Russian]

8. Brizhak Z. I. Modernizacija rossijskogo obrazovanija v kontekste mezhdunarodnoj dejatel'nosti vuzov: ispol'zovanie principov ehffektivnogo marketinga [Modernization of Russian education in the context of international activities of universities: using the principles of effective marketing] / Z. I. Brizhak, D. A. Badalyants, Yu. L. Shepeleva // V sbornike: Inostrannye studenty v vuzakh Juga Rossii: problemy, perspektivy i luchshie praktiki privlechenija, obuchenija, trudoustrojstva. Sbornik dokladov i statej regional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii [In the collection: Foreign students in the universities of the South of Russia: problems, prospects and best practices of attracting, training, and employment. Collection of reports and articles of the regional scientific and practical conference]. Edited by E. Yu. Zolochevskaya, A.V. Skidan. 2020, pp. 12-16 [in Russian]

9. Brizhak Z. I. Sovremennye tendencii obespechenija prava na dostup k lekarstvennym sredstvam [Modern trends in ensuring the right to access to medicines] / Z. I. Brizhak, Yu. B. Samoylova, A. Yu. Paykov. // Nacional'noe zdorov'e [National Health]. 2017. - No. 1-2, pp. 25-33 [in Russian]

10. Rogov O. A. Organizacionnye i uchebno-metodicheskie podkhody k podgotovke specialistov, zadejjstvovannykh v sisteme obespechenija kachestva farmacevticheskikh predpriyatij [Organizational and educational-methodical approaches to the training of specialists involved in the quality assurance system of pharmaceutical enterprises] / O. A. Rogov, T. G. Dergousova, E. S. Berezhnaya // Voprosy obespechenija kachestva lekarstvennykh sredstv [Issues of quality assurance of medicines]. - 2019. - № 2 (24), pp. 72-79 [in Russian]

11. Berezhnaya E. S. Konceptija strategicheskogo innovacionnogo upravlenija na regional'nom farmacevticheskom rynke [The concept of strategic innovative management in the regional pharmaceutical market]: extended abstract of Doctor's thesis. Pharmaceutical Sciences / E. S. Berezhnaya / VSMU, Pyatigorsk, 2014 [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.109.7.032>

ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ ПРОИЗВОДНЫХ БЕНЗИМИДАЗОЛА НА ПОКАЗАТЕЛИ СИСТЕМНОЙ ГЕМОДИНАМИКИ И СОКРАТИМОСТЬ МИОКАРДА У БОДРСТВУЮЩИХ КРЫС В УСЛОВИЯХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИШЕМИЧЕСКОГО ИНСУЛЬТА

Научная статья

Лысенко Т.А.¹, Арльт А.В.^{2,*}, Зацепина Е.Е.³¹ ORCID: 0000-0002-7909-1106;² ORCID: 0000-0001-5721-0613;³ ORCID: 0000-0002-0511-0220;^{1, 2, 3} Пятигорский медико-фармацевтический институт – филиал Волгоградского государственного медицинского университета Министерства здравоохранения Российской Федерации, Пятигорск, Россия

* Корреспондирующий автор (prk[at]pmedpharm.ru)

Аннотация

Сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) одна из актуальных значимых медико-социальных проблем, поскольку занимают первое место в структуре заболеваемости и смертности. На современном этапе развития клинической фармакологии усилилось внимание к поиску новых кардиопротекторных препаратов, а глобальной задачей лечения ССЗ является улучшение прогноза заболевания, предупреждение развития осложнений, увеличение продолжительности жизни и улучшение ее качества. Известно, что производные бензимидазола обладают кардиотропной активностью [1], [2]. Следовательно поиск потенциальных кардиопротекторных средств среди производных бензимидазола является целесообразной и актуальной задачей клинической фармакологии на современном этапе. Известно о значительном влиянии ремоделирования сердца на становление, развитие и прогрессирование ССЗ и их осложнений, в том числе смертности. Известные свойства производных бензимидазола влиять на такие клеточные мишени, как трансмембранные ионные токи и Na^+/H^+ -обменник, активность фосфодиэстеразы (ФДЭ), подтверждают целесообразность проведения направленного поиска кардиопротекторов среди соединений данного класса с последующим экспериментальным изучением их фармакологического потенциала [3].

Ключевые слова: эксперимент, производные бензимидазола, лабораторные животные, артериальное давление, ишемический инсульт, системная гемодинамика.

THE EFFECT OF CERTAIN BENZIMIDAZOLE DERIVATIVES ON SYSTEMIC HEMODYNAMICS AND MYOCARDIAL CONTRACTILITY IN CONSCIOUS RATS UNDER CONDITIONS OF EXPERIMENTAL ISCHEMIC STROKE

Research article

Lysenko T.A.¹, Arlt A.V.^{2,*}, Zatsepina E.E.³^{1, 2, 3} Pyatigorsk Medical and Pharmaceutical Institute, branch of the Volgograd State Medical University, Pyatigorsk

* Corresponding author (prk[at]pmedpharm.ru)

Abstract

Cardiovascular diseases (CVD) are one of the most relevant significant medical and social problems since they occupy the leading place in the structure of morbidity and mortality. At the present stage of the development of clinical pharmacology, there has been an increased attention towards the search for new cardioprotective drugs, while the global task of treating CVD is to improve the prognosis of the disease, prevent the development of complications, increase life expectancy and improve its quality. It is known that benzimidazole derivatives have cardiotropic activity [1], [2]. Therefore, the search for potential cardioprotective agents among benzimidazole derivatives is an appropriate and urgent task of clinical pharmacology at the current time. The significant impact of heart remodeling on the formation, development and progression of CVD and their complications, including mortality is a known fact. The known properties of benzimidazole derivatives to influence such cellular targets as transmembrane ion currents and the Na^+/H^+ exchanger, the activity of phosphodiesterase (PDE), confirm the expediency of conducting a directed search for cardioprotectors among compounds of this class with subsequent experimental study of their pharmacological potential [3].

Keywords: experiment, benzimidazole derivatives, laboratory animals, blood pressure, ischemic stroke, systemic hemodynamics.

Введение

Заболевания сердечно-сосудистой системы в настоящее время остаются основной проблемой здравоохранения всего мира, в том числе и в России [4]. Эти заболевания являются основной проблемой здравоохранения, несмотря на огромный арсенал лекарственных средств, несмотря на современную диагностику и методы лечения. Эксперты Всемирной Организации здравоохранения предполагают, что в ближайшем будущем не предполагается снижения заболеваний и снижение смертности от сердечно-сосудистых заболеваний как в развивающихся, так и в развитых странах мира. Это в первую очередь связано со старением населения и образом его жизни. Основная причина смертности населения в России – это, заболевания сердечно-сосудистой системы. Около 24 % смертности приходится на инсульты и около 40% на заболевания связанные с нарушением системы кровообращения. Существуют два основных вида инсультов – ишемический и геморрагический. У этих состояний совершенно разные механизмы развития патологии, но и в одном и другом случае причиной является атеросклероз, гипертоническая болезнь и ишемическая болезнь сердца. Инсульт приводит к нарушению ауторегуляции сердечно-сосудистой системы, нарушению ритма сердца, что в свою очередь отрицательно сказывается на электрическое состояние миокарда.

Развиваются аритмии, которые отрицательно влияют на системную гемодинамику и на процессы ишемии головного мозга. Нарушения деятельности сердца играют огромную роль в патогенезе и течении острых нарушений мозгового кровообращения, в первую очередь ишемического инсульта [5]. В последнее время значительно расширена и уточнена взаимосвязь между кардиальной и церебральной патологией. Нарушение ритма сердца вызывает ишемию головного мозга как за счет кардиоцеребральной эмболии (в 15-20% случаев), так и в результате уменьшения ударного и минутного объема крови [6]. Но все-таки работ, посвященных изучению деятельности сердца у больных в остром периоде нарушения мозгового кровотока и связи между развившимся инсультом и нарушениями ритма сердца в настоящее время выполнено очень мало. Поэтому представляло интерес изучить влияние новых производных бензимидазола на сократительную способность миокарда и на показатели артериального давления, после создания модели экспериментального инсульта (введение аутотромбов во внутреннюю сонную артерию) у бодрствующих крыс. Наличие инсульта подтверждали с помощью метода водородного клиренса [7].

Цель исследования: изучение влияния новых синтетических веществ с лабораторным шифром В-10 и С-2 на лабораторных животных. Провести экспериментальное исследование новых синтетических веществ на параметры системной гемодинамики и сократимости миокарда у бодрствующих белых крыс в условиях экспериментального инсульта в сравнении с контрольной группой, и группой животных, получавших препарат сравнения.

Материал и методы исследования

Эксперимент проводили на 24 белых крысах-самцах линии Wistar весом 300-350 г., находящихся в стандартных условиях вивария пятигорского фармацевтического института. За 12 часов до эксперимента прекращали доступ к пище, вода была доступна. Изучали влияние новых производных бензимидазола под лабораторными шифрами С-2 и В-10, синтезированных на кафедре органической химии пятигорского фармацевтического института на показатели системной гемодинамики у бодрствующих крыс в условиях экспериментального инсульта. Методику создания ишемического инсульта выполняли с помощью внутрикаротидного введения аутотромбов. Эксперименты проводили на крысах – самцах, весом 300-350 граммов. Животных в наркоз водили с помощью внутрибрюшинного введения 5% раствора калипсола 0,25 мл на 100 г. массы тела. Забирали у животных 0,1 мл крови, ждали образования тромба, после чего образовавшийся тромб измельчали и получившуюся суспензию пропускали через иглу для внутримышечного введения. Затем эту суспензию центрифугировали трижды на центрифуге МРW-310 (Польша) со скоростью 5000 об/мин в течение 5 минут. После последнего центрифугирования осадок взвешивался, и к нему добавляли физиологический раствор из расчета 50 мг тромбов на 200 мкл раствора. Крысе, находящейся в наркозе, отпрепарировали правую сонную артерию, обнажали бифуркацию артерии. Наружную сонную артерию перевязывали, а во внутреннюю сонную артерию вводили аутотромбы, после чего ее тоже перевязывали лигатурой. На следующем этапе эксперимента крысе через правую сонную артерию вставляли полиэтиленовый катетер в левый желудочек сердца для регистрации показателей артериального давления и показателей сократимости миокарда. Второй катетер вводили в яремную вену для введения изучаемых веществ. Свободные концы катетеров выводили на холку, где их и фиксировали. Исследование влияния изучаемых веществ проводили через 24 часа после операции на бодрствующих крысах. Артериальное давление и показатели сократимости миокарда регистрировали с помощью компьютерной программы «Bioshel». Наличие инсульта подтверждали с использованием методики регистрации объемной скорости мозгового кровотока, методом водородного клиренса с помощью платинового электрода, расположенного на поверхности сагиттального синуса в области стока синусов. Влияние ишемического инсульта на показатели сократимости миокарда изучали с помощью новых производных бензимидазола с лабораторными шифрами С-2 и В-10 в дозах, которые оказались наиболее активными при изучении циркуляторной ишемии головного мозга, т.е. в 1/1000 от LD₅₀, что составляло 0,5 мг/кг. веса животного. Изучаемые вещества растворяли с помощью твина-80. Препаратом сравнения был официальный препарат 1% раствор дибазола, его вводили в дозе 0,2 мг/кг, т.е. тоже 1/1000 от LD₅₀. Дибазол выбран не случайно, он представляет собою 2-бензилбензимидазола гидрохлорид и является наиболее изученным представителем бензимидазола. Дибазол обладает миотропной активностью, влияет на вазомоторные центры, а также обладает адrenoблолирующим действием [8], [9]. Также дибазол влияет на регионарное кровообращение, и мозговое кровообращение, повышает устойчивость головного мозга к кислородному голоданию [10], [11]. Изучаемые вещества вводили в яремную вену через катетер, который предварительно в нее вживляли. Изучение влияния выбранных нами веществ на параметры системной гемодинамики и сократимости миокарда у бодрствующих крыс в условиях экспериментального инсульта проводили в процентном отношении относительно исходных данных.

Результаты исследования и их обсуждение

Показатели сократимости миокарда и артериального давления регистрировали в течение 60 минут. В контрольной группе животных с экспериментальным ишемическим инсультом наблюдалось незначительное - на 1,4% снижение артериального давления на протяжении всего эксперимента. Частота сердечных сокращений увеличивается на 5 %. Очень сильно, на 90,5% увеличено конечное диастолическое давление на 10 минуте эксперимента. К концу эксперимента оно увеличено на 70%. Модифицированный индекс Верагута на 10 минуте достоверно увеличен на 18,3 %, к концу эксперимента наблюдалось достоверное увеличение этого индекса на 8,8%. То есть увеличиваются энергетические затраты миокарда. Под влиянием препарата сравнения 1% раствора дибазола, наблюдается незначительное снижение артериального давления на протяжении всего эксперимента (60 минут). Достоверное снижение артериального давления наблюдалось на десятой минуте на 4 %, и на шестидесятой минуте на 6 %. Это говорит, что дибазол обладает мягким гипотензивным действием. На частоту сердечных сокращений, контрактильный индекс Верагута, модифицированный индекс и конечное диастолическое давление введение дибазола не оказывает значительного эффекта. Однако, в сравнении с контролем эти показатели были значительно ниже. Изучаемое вещество В-10 вводили в дозе 0,5 мг/кг так же в яремную вену, в результате чего имело место снижение

артериального давления в течение всего опыта, на шестидесятой минуте снижение на 8 %. Частота сердечных сокращений достоверно повышалась. Модифицированный индекс Верагута достоверно уменьшается, а конечное диастолическое давление снижается на 10 минуте на 23%, на 60-й минуте наблюдалось снижение на 12%. Производное бензимидазола с лабораторным шифром С-2 также вводили бодрствующим крысам с экспериментальным ишемическим инсультом в яремную вену. После внутривенного введения животным изучаемого вещества С-2 в дозе 0,5 мг/кг у животных с моделью экспериментального инсульта наблюдалось достоверное снижение артериального давления с 10-й минуты на 8,2% и оставалось достоверно пониженным до конца эксперимента (60 минут) на 13,7%. Частота сердечных сокращений имела тенденцию к снижению. Систолическое левожелудочковое давление также достоверно снижалось на протяжении всего опыта. На 10 минуте на 7,7%, а на 60 минуте систолическое левожелудочковое давление снижалось достоверно на 3,5%. Важно отметить, что модифицированный индекс Верагута под воздействием вещества С-2 снижался на 10-й минуте на 18% и был достоверно сниженным до конца наблюдения. То есть производное бензимидазола с лабораторным шифром С-2 достоверно уменьшает энергетические затраты миокарда, что выгодно отличает данное изучаемое вещество от препарата сравнения 1% раствора дибазола и второго изучаемого производного бензимидазола с лабораторным шифром В-10.

Заключение

В сравнительном аспекте показатели системной гемодинамики и сократимости миокарда при внутривенном введении изучаемых веществ более эффективны у нового производного бензимидазола с лабораторным шифром С-2.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Цикалов В. В. Синтез и прогнозируемая биологическая активность производных 2-аминобензимидазола / В. В. Цикалов, В. Н. Цикалова М. Ю. Баевский и др. // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского Биология. Химия. - Том 4 (70). - 2018. - № 4. - С. 320–327.
2. Уломский Е. Н. Галогенсодержащие 2-метилпиримидо[1,2-а]бензимидазол-4(10Н)-оны / Е. Н. Уломский, О. С. Ельцов, С. С. Борисов [и др.] // Химия гетероциклических соединений. - 2014. - № 7. - С. 1090–1099.
3. Зарубина И.В. Экспериментальное обоснование применения производных бензимидазола в качестве противоастенических средств после черепно-мозговой травмы / И.В. Зарубина, Ф.Н. Нурманбетова, П.Д. Шабанов // Экспериментальная и клиническая фармакология. - 2005. - Т.68. - № 3. - С. 46-49.
4. Ключихина О.А. Эпидемиология и прогноз уровня заболеваемости и смертности от инсульта в разных возрастных группах по данным территориально-популяционного регистра / О.А. Ключихина Л.В. Стаховская, Е.А. Полунина и др. // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. - 2019;119 (8 вып. 2). - С. 5-12.
5. Бонь Е.И. Методы оценки неврологических нарушений при экспериментальной церебральной ишемии / Е.И. Бонь, Н.Е. Максимович // Биомедицина. - 2019; (2). - С.69-74.
6. Петрова Е.А. Нарушение ритма сердца и инсульт / Е.А. Петрова, Е.А. Кольцова // Consilium Medicum. - 2017;19(2). - С.30-34.
7. Руководство по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ / под ред. Р.У. Хабриева. - 2-изд., перераб. и доп. М.: Медицина. - 2005. - С. 418-420.
8. Мещерякова Н.В. Синтез производных дибазола / Н.В. Мещерякова, С.И. Бобровский, З.П. Белоусова и др. // Бутлеровские сообщения. - 2013. - Т.34. №5. - С.11-15.
9. Ивашев М.Н. Биологическая активность соединений, полученных синтетическим путем / М.Н. Ивашев, А.А. Круглая, И.А., Савенко и др. // Фундаментальные исследования. - 2012. - №7. - С.441-444.
10. Hadole C.D. Concise on Some Biologically Important 2-Substituted Benzimidazole Derivatives / C.D. Hadole, J.D. Rajput, R.S. Bendre // Org. Chem. Curr. Res. - 2018. - Vol. 7. - № 3. - P. 1-9.
11. Yeong K. Y. Antituberculosis agents bearing the 1,2-disubstituted benzimidazole scaffold / K. Y. Yeong, C. W. Ang, M. A. Ali et al. // Med. Chem. Res. - 2017. - Vol. 26. - P. 770.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Tsikalov V. V. Sintez i prognoziruemaja biologicheskaja aktivnost' proizvodnykh 2-aminobenzimidazola [Synthesis and predicted biological activity of 2-aminobenzimidazole derivatives] / V. V. Tsikalov, V. N. Tsikalova M. Yu. Baevsky et al. // Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo Biologija. Khimija [Scientific notes of the Crimean Federal University named after V. I. Vernadsky. Biology. Chemistry]. - Vol. 4 (70). - 2018. - № 4. - pp. 320-327 [in Russian]
2. Ulomsky E. N. Galogensoderzhashhie 2-metilpirimido[1,2-a]benzimidazol-4(10N)-ony [Halogen-containing 2-methylpyrimido[1,2-a]benzimidazole-4(10H) - ones] / E. N. Ulomsky, O. S. Yeltsov, S. S. Borisov [et al.] // Khimija geterociklicheskich soedinenij [Chemistry of heterocyclic compounds]. - 2014. - No. 7. - pp. 1090-1099 [in Russian]
3. Zarubina I. V. Ehksperimental'noe obosnovanie primeneniya proizvodnykh benzimidazola v kachestve protivostastenicheskikh sredstv posle cherepno-mozgovoj travmy [Experimental substantiation of the use of benzimidazole derivatives as antiasthenic agents after traumatic brain injury] / I. V. Zarubina, F. N. Nurmanbetova, P. D. Shabanov // Ehksperimental'naja i klinicheskaja farmakologija [Experimental and clinical pharmacology]. - 2005. - Vol. 68. - No. 3. - pp. 46-49 [in Russian]
4. Klochikhina O. A. Ehpidemiologija i prognoz urovnja zaboлеваemosti i smertnosti ot insul'ta v raznykh vozrastnykh gruppakh po dannym territorial'no-populjacionnogo registra [Epidemiology and prognosis of the level of morbidity and mortality from stroke in different age groups according to the territorial-population register] / O. A. Klochikhina L. V.

Stakhovskaya, E. A. Polunina // Zhurnal nevrologii i psikiatrii im. S.S. Korsakova [Journal of Neurology and Psychiatry named after S. S. Korsakov]. - 2019; 119 (8 issue 2). - pp. 5-12 [in Russian]

5. Bon E. I. Metody ocenki nevrologicheskikh narushenij pri ehksperimental'noj cerebral'noj ishemii [Methods for assessing neurological disorders in experimental cerebral ischemia] / E. I. Bon, N. E. Maksimovich // Biomeditsyna [Biomedicine]. - 2019; (2). - pp. 69-74 [in Russian]

6. Petrova E. A. Narushenie ritma serdca i insul't [Cardiac arrhythmia and stroke] / E. A. Petrova, E. A. Koltsova // Consilium Medicum. - 2017;19(2). - pp. 30-34 [in Russian]

7. Rukovodstvo po ehksperimental'nomu (doklinicheskomu) izucheniju novykh farmakologicheskikh veshhestv [Guidelines for the experimental (preclinical) study of new pharmacological substances] / Edited by R. U. Khabrieva. - 2-edition Revised and Expanded. M.: Medicine. - 2005. - pp. 418-420 [in Russian]

8. Meshcheryakova N. V. Sintez proizvodnykh dibazola [Synthesis of dibazole derivatives] / N. V. Meshcheryakova, S. I. Bobrovsky, Z. P. Belousova // Butlerovskie soobshhenija [BUTLEROV COMMUNICATIONS]. - 2013. - Vol. 34. No. 5. - pp. 11-15 [in Russian]

9. Ivashev M. N. Biologicheskaja aktivnost' soedinenij, poluchennykh sinteticheskimi putem [Biological activity of compounds obtained by synthetic means] / M. N. Ivashev, A. A. Kruglaya, I. A., Savenko et al. // Fundamental'nye issledovaniya [Fundamental Research]. - 2012. - No. 7. - pp. 441-444 [in Russian]

10. Hadole C.D. Concise on Some Biologically Important 2-Substituted Benzimidazole Derivatives / C.D. Hadole, J.D. Rajput, R.S. Bendre //Org. Chem. Curr. Res. – 2018. - Vol. 7. - № 3. – P. 1-9.

11. Yeong K. Y. Antituberculosis agents bearing the 1,2-disubstituted benzimidazole scaffold / K. Y. Yeong, C. W. Ang, M. A. Ali et al. // Med. Chem. Res. - 2017. – Vol. 26. – P. 770.