

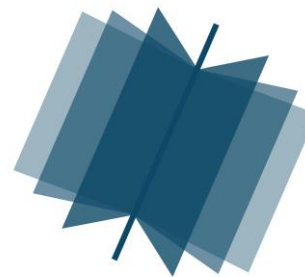
№ 2 (104) ▪ 2021
Часть 1 ▪ Февраль

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ЖУРНАЛ**

INTERNATIONAL RESEARCH JOURNAL

**ISSN 2303-9868 PRINT
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+

**№ 2 (104) 2021
Часть 1
Февраль**

Дата выхода 17.02.2021
Подписано в печать 11.02.2021
Тираж 200 экз.
Цена: бесплатно.
Заказ 295118.
Отпечатано с готового оригинал-макета.
Отпечатано в типографии "А-принт".
620049, г. Екатеринбург, пер. Лобачевского, д. 1.

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

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

Члены редколлегии:

Филологические науки:

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

Технические науки:

Пачурин Г.В. д-р техн. наук, проф., Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (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).

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

Кальницкий В.С. АНАЛОГИ ТЕОРЕМ ЕГОРОВА И КОБАЯСИ О ПОЛНЫХ АФФИННЫХ СВЯЗНОСТЯХ	6
Филиппов Д.А., Лалетин В. М., Поддубная Н.Н., Семенова С.А., Хиндриксон В.Д. ОПТИМАЛЬНЫЕ СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ТОЛЩИНАМИ СЛОЕВ ДЛЯ ТРЕХСЛОЙНОЙ АСИММЕТРИЧНОЙ МАГНИТОСТРИКЦИОННО-ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ.....	13

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING

Бабешко В.Н. ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЭКОСИСТЕМЕ КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА	18
Егорова Ю.Б., Давыденко Л.В., Каратаева Е.С., Сидоркова М.М. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ СОПОСТАВЛЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ 20-600°С	22
Журавлев А.А., Аксенов К.А., Шеклеин А.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ РАБОТЫ ПАССАЖИРСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ VISUAL STUDIO	26
Казаринов А.Е., Куликова Е.С., Куликова Т.А. ВЛИЯНИЕ РУСЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ Р. АМУР НА ПРИБРЕЖНУЮ ИНФРАСТРУКТУРУ Г. ХАБАРОВСКА С УЧЕТОМ ПАВОДКА 2013 ГОДА	34
Ласкин И.А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРИТОЧНОГО КЛАПАНА	41
Мурузина Е.В. ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ	46
Русакова З.Н. ПОИСК РЕШЕНИЙ В ПРОДУКЦИОННЫХ СИСТЕМАХ МЕТОДАМИ ОБОБЩЕННОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ	53
Крысанов К.С., Соломатин А.В. КОМПРЕССОРЫ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН ДЛЯ РАБОТЫ НА ХЛАДАГЕНТАХ, ХИМИЧЕСКИ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ С МЕДНЫМИ ЧАСТЯМИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ	58
Тимкин Д.М. АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МЕТОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ВАКУУМНЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПАНЕЛЕЙ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ	64
Медведев П.В., Федотов В.А., Бочкарева И.А., Лукьянова Е.С. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕТРАДИЦИОННОГО СЫРЬЯ В КАЧЕСТВЕ ДОБАВКИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ	73
Швеёв И.А., Швеёв А.И., Швеёва Е.И. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ РЕНОВАЦИИ ЦЕМЕНТОВАННЫХ И НИТРОЦЕМЕНТОВАННЫХ ДЕТАЛЕЙ	77

АРХИТЕКТУРА / ARCHITECTURE

Маркина К.Г., Моргун Н.А. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПРИМОРСКИХ САНАТОРНО-КУРОРТНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ В ИСТОРИЧЕСКОМ КОНТЕКСТЕ	80
Таранов Д.К., Исаева Е.С. ДРЕВЕСНО-ЦЕМЕНТНЫЕ КОМПОЗИТЫ КАК ЗВУКОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ	89

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ / CHEMISTRY

Соловьева Ю.В., Беляева О.В., Васильева И.В., Голубева Н.С. АДСОРБЦИОННОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ ФОРМАМИДА АКТИВНЫМ УГЛЕМ	93
Швед М.В. КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ЭЛЕКТРОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АКТИВНЫХ ЦЕНТРОВ ДЕПРЕССОРНО-ДИСПЕРГИРУЮЩЕЙ ПРИСАДКИ В СРЕДЕ AVOGADRO	97

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ / BIOLOGY

Борискин П.В., Гуленко О.Н., Павлова О.Н., Масляков В.В., Леонов В.В., Палевская С.А. РЕАКТИВНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ АКТИВНОСТИ КАТАЛАЗЫ В ТКАНЯХ ПЕЧЕНИ КРЫС ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА СЕКРЕТОРНЫЕ КАРДИОМИОЦИТЫ	102
--	-----

ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ НАУКИ / GEOGRAPHY

Данилов Ф.А., Преловский В.А. ФАУНОГЕНЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЛЕКОПИТАЮЩИХ ВОСТОЧНОГО САЯНА.....	106
---	-----

ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ / GEOLOGY AND MINERALOGY

Фидлер М.А., Семенова Д.В. НОВЫЕ ДАННЫЕ U-Pb ДАТИРОВАНИЯ ЦИРКОНОВ МАГМАТИЧЕСКИХ И МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПОРОД КУРАЙСКОГО ХРЕБТА (ГОРНЫЙ АЛТАЙ)	109
--	-----

НАУКИ О ЗЕМЛЕ / EARTH SCIENCES

Жинжакова Л.З., Чередник Е.А. ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ОСНОВНЫХ РЕК БАССЕЙНА ТЕРЕК СОЕДИНЕНИЯМИ АЗОТА ЗА ПЕРИОД С 2017 ПО 2019 ГОД	113
---	-----

Карякина Е.Д., Ахмеров Э.В., Воронов В.А., Шаммазов И.А. АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СЕЗОННО-ДЕЙСТВУЮЩИХ ОХЛАЖДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ НА КОЛИЧЕСТВО ИСПАРЕНИЙ ПОДЗЕМНОГО РЕЗЕРВУАРА СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА.....	118
---	-----

Осадчая Г.Г., Шполянская Н.А. ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БОЛЬШЕЗЕМЕЛЬСКОЙ ТУНДРЫ.....	124
--	-----

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ / AGRICULTURAL SCIENCES

Ilchev V.Yu. DEVELOPMENT OF PROCEDURE FOR DETERMINATION OF CHARACTERISTICS OF HEATED POLYCARBONATE GREENHOUSES.....	132
---	-----

Буклагин Д.С. ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ СЕЛЬСКИМ ХОЗЯЙСТВОМ.....	136
--	-----

Гармашов В.М., Гармашова Л.В. БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО ПРИ МИНИМАЛИЗАЦИИ ОБРАБОТКИ И ПРЯМОМ ПОСЕВЕ	145
--	-----

Жижин С.М., Магасумова А.Г. ЗАРАСТАНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ В ЗОНЕ ХВОЙНО-ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСОВ РЕСПУБЛИКИ УДМУРТИЯ.....	149
--	-----

Иванова Е.П., Яюк Л.Г. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ИЗВЕСТКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЛЮЦЕРНЫ ИЗМЕНЧИВОЙ	154
---	-----

Куликова М.А., Оковитая К.О., Суржко О.А. ФОРМИРОВАНИЕ АГРОПРОМЫШЛЕННЫХ КЛАСТЕРОВ С КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКОЙ ОТХОДОВ	159
--	-----

Цындыжапова С.Д., Розломий Н.Г. ОСОБЕННОСТИ ПИТАНИЯ И ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ИЗЮБРА (<i>CERVUS ELAPHUS</i> <i>XANTHOPYGOS MILNE</i> - EDWARDS, 1860) В УГОДЬЯХ ЧУГУЕВСКОЙ РООиР (ПРИМОРСКИЙ КРАЙ) ...	166
---	-----

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.103.2.001>

АНАЛОГИ ТЕОРЕМ ЕГОРОВА И КОБАЯСИ О ПОЛНЫХ АФФИННЫХ СВЯЗНОСТЯХ

Научная статья

Кальницкий В.С.*

ORCID: 0000-0002-3937-6078,

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

* Корреспондирующий автор (st006987[at]spbu.ru)

Аннотация

В статье подводится итог исследований автора по вопросу полноты геодезических потоков аффинных связностей и их симметрий. Целью исследования является поиск и описание линейных пространств полных полей на касательном расслоении. В статье доказаны три новых результата. Полученные теоремы являются аналогами теоремы Кобаяси о полной аффинной связности. Рассмотрены метрическая (теорема 7) и аффинная (теорема 8) ситуации. Доказан аналог теорем Егорова о лакуарности в размерностях полных многообразий. Доказана оценка границы размерности пространств полных полей единичного ранга, влекущей полноту самой связности (теорема 10). Предложена схема получения аналогичных оценок границы размерности пространства полных полей старших рангов. Намечены пути дальнейшего исследования. Полученные результаты могут быть использованы при классификации аффинных связностей, допускающих обширные алгебры симметрий геодезического потока.

Ключевые слова: аффинная связность, геодезический поток, симметрия связности, полное векторное поле.

ALTERNATIVES TO THE EGOROV'S AND KOBAYASHI'S THEOREMS ON COMPLETE AFFINE CONNECTIONS

Research article

Kalnitsky V.S.*

ORCID: 0000-0002-3937-6078,

Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

* Corresponding author (st006987[at]spbu.ru)

Abstract

The article concludes the research of completeness of the symmetry and geodesic flow of affine connections. The study aims to find and describe linear spaces over complete fields on the tangent bundle. The article verifies 3 new results. The developed theorems are alternatives to the Kobayashi's theorem on complete affine connections. The study examines a metric situation (theorem 7) and an affine situation (theorem 8). The article verifies an alternative to the Egorov's lacunarity in complete manifold dimensions. The paper verifies the evaluation of dimension borders of the first-order complete field which allows completeness of the connection itself (theorem 10). The article suggests a scheme of obtaining an alternative evaluation of higher order complete field dimension borders. The study sets up the ways of further research. The results could be used to classify the affine connections that accept extensive symmetry algebras of the geodesic flow.

Keywords: affine connection, geodesic flow, symmetric connection, complete vector field.

Основные определения и обозначения

В этой работе многообразия и тензорные поля на них мы будем считать бесконечно дифференцируемыми. Мы будем придерживаться терминологии принятой в [1], упомянутые в этом разделе факты можно найти там же. Пространство тензорных полей типа (k,s) (k раз контравариантных, s раз ковариантных) на многообразии M мы будем обозначать $T_s^k(M)$, символом $C^\infty(M)$ – алгебру C^∞ -гладких функций на M .

Рассмотрим многообразие M и векторное поле $X \in T^1(M)$. Для каждой точки $a \in M$ существует окрестность $U_a \subset M$ и число $e > 0$, такие, что для каждой точки $p \in U_a$ интегральная кривая $g_p(t)$ поля X , $g_p(0) = p$, определена на интервале $(-e, e)$. Таким образом, для любого $t \in (-e, e)$ определено отображение $j_t^X : U_a \rightarrow M$, $j_t^X(p) = g_p(t)$. Совокупность всех таких локальных диффеоморфизмов, определяемых полем X , называется локальным потоком j^X векторного поля X .

Векторное поле X называется полным, если каждая интегральная кривая этого поля определена на всей вещественной оси. Полное векторное поле X определяет однопараметрическую группу диффеоморфизмов многообразия $j_t^X : M \rightarrow M$, называемую потоком поля.

Каждое векторное поле X задает отображение $X : C^\infty(M) \rightarrow C^\infty(M)$ по формуле $X(f) = \frac{d}{dt} f(\varphi_t^X)|_{t=0}$. Отображение X является дифференцированием алгебры $C^\infty(M)$, т.е. оно линейно и для любых функций $f, g \in C^\infty(M)$ выполнено правило Лейбница $X(fg) = X(f)g + fX(g)$. Верно и обратное, каждое дифференцирование алгебры $C^\infty(M)$ имеет вид X , причем поле X единственно.

Скобкой Ли двух векторных полей X, Y называется поле $[X, Y] = XY - YX$, $[X, Y]^i = X^j \frac{\partial Y^i}{\partial x^j} - Y^j \frac{\partial X^i}{\partial x^j}$. Относительно введенной операции пространство $T^1(M)$ всех векторных полей на M является алгеброй Ли.

Каждый диффеоморфизм $j : M \rightarrow M$ многообразия задает отображение $j^* : T_s^k(M) \rightarrow T_s^k(M)$ по формуле, записанной в карте $(U, h) : (\varphi^* A)_{i_1 \dots i_s}^{j_1 \dots j_k} = A_{i_1 \dots i_s}^{j_1 \dots j_k} \circ (\varphi|_U)$. Операция j^* называется переносом.

Для векторного поля $X \in T^1(M)$ и тензорного поля $A \in T_s^k(M)$ определяется производная Ли поля A по полю X

$$L_X A = \lim_{t \rightarrow 0} \frac{(\varphi_t^X)^* A - A}{t}.$$

Для векторных полей верно соотношение $L_X Y = [X, Y]$.

Перенос векторного поля имеет вид $\varphi^* X = (d\varphi)^{-1}(X)$, где $d\varphi$ – дифференциал отображения φ . Поля X и $j^* X$ называются φ -связанными ([3], т. I). Если поля X и Y являются φ -связанными, то они полны либо неполны одновременно.

Отображение $\nabla: T^1(M) \times T_s^k(M) \rightarrow T_s^k(M)$, $(X, A) \mapsto \nabla_X A$, называется аффинной связностью если для любой $f \in C^\infty(M)$ и любых тензорных полей $X, Y \in T^1(M)$, $c \in T_1(M)$, $A \in T_s^k(M)$, $B \in T_t^r(M)$:

1. $\nabla_{fX} A = f \nabla_X A$,
2. $\nabla_X (fA) = Xf \cdot A + f \nabla_X A$.
3. $X(c(Y)) = c(\nabla_X Y) + (\nabla_X c)(Y)$,
4. $\nabla_X (A \otimes B) = \nabla_X A \otimes B + A \otimes \nabla_X B$.

Кручением аффинной связности называется тензор $T^\nabla \in T_2^1(M)$, задаваемый соотношением: $T^\nabla(X, Y) = \nabla_X Y - \nabla_Y X - [X, Y]$, $X, Y \in T^1(M)$. Аффинная связность с нулевым кручением называется симметричной. Тензор R , определяемый соотношением $R(X, Y)Z = \nabla_X \nabla_Y Z - \nabla_Y \nabla_X Z - \nabla_{[X, Y]} Z$, называется тензором кривизны связности.

Для векторного поля $X \in T^1(M)$ отображение ∇_X называется ковариантной производной по полю X . Для координатного векторного поля $X_i = \frac{\partial}{\partial x_i}$ карты $U_\alpha \subset M$ отображение ∇_{X_i} называется частной ковариантной производной. Объект $\omega \in T_2^1(U_\alpha)$, имеющий в карте U_α координаты $\Gamma_{jk}^i = (\nabla_{X_j} X_k)^i$, называется формой связности, его координаты – символами Кристоффеля.

Симметричная аффинная связность на римановом многообразии (M, g) называется связностью Леви-Чивиты если для всех наборов индексов выполнено $\nabla_i g_{ks} = 0$.

На касательном расслоении TM риманова многообразия (M, g) определена метрика Сасаки \hat{g} , удовлетворяющая следующим свойствам:

1. Отображение $\pi: TM \rightarrow M$ является римановой субмерсией.
2. Сужение \hat{g} на каждый касательный слой $T_a M \subset TM$ равно g .

Геометрическая однородность

Рассмотрим многообразие M и его касательное расслоение TM . Стандартной картой на TM будем называть карту вида $U_\alpha \times R^n$, где U_α – карта многообразия M , n – размерность многообразия. Координаты точки $a \in TM$ в стандартной карте имеют вид $(x_1, \dots, x_n, v^1, \dots, v^n)$. Векторное поле на TM , имеющее в стандартных картах вид $L = v^i \frac{\partial}{\partial v^i}$ (здесь и далее мы будем придерживаться соглашения Эйнштейна о суммировании по повторяющимся индексам), называется каноническим векторным полем.

Определение 1 ([7]). Векторное поле X на TM называется m -однородным, $m = 0, 1, \dots$, если: $[X, L] = mX$. Пространство m -однородных полей будем обозначать $P_m(TM)$.

Рассмотрим на TM произвольное поле $X = A^i(x, v) \frac{\partial}{\partial x_i} + B^j(x, v) \frac{\partial}{\partial v_j}$. Вычислим коммутатор поля X с каноническим полем

$$[X, L]^i = \begin{cases} \frac{\partial A^i}{\partial v^j} v^j, 1 \leq i \leq n \\ -B^i + \frac{\partial B^i}{\partial v^j} v^j, n+1 \leq i \leq 2n \end{cases}$$

Условие однородности при $m \geq 0$ приводит к тождествам

$$\frac{\partial A^i}{\partial v^j} v^j = mA^i, \frac{\partial B^i}{\partial v^j} v^j = (m+1)B^i,$$

которые означают однородность координатных функций по второй переменной. Итак, все m -однородные поля в стандартных (x, v) координатах на TM имеют вид

$$Y = A_{i_1 \dots i_m}^i(x) v^{i_1} \dots v^{i_m} \frac{\partial}{\partial x_i} + Q_{j_1 \dots j_{m+1}}^i(x) v^{j_1} \dots v^{j_{m+1}} \frac{\partial}{\partial v_i}, \quad (1)$$

где $A \in T_m^1(M)$, $Q \in T_{m+1}^1(M)$. Так как тензоры A, Q суммируются с вектором v по всем нижним индексам (в инвариантной записи $A(v, \dots, v), Q(v, \dots, v)$), то поле Y определяется однозначно симметризацией этих полей по ковариантным индексам

$$(S.A)_{i_1 \dots i_n}^i = \frac{1}{n!} \sum_{\sigma} A_{\sigma(i_1) \dots \sigma(i_n)}^i,$$

где суммирование производится по всем перестановкам σ ковариантных индексов. Мы будем рассматривать лишь симметричные по нижним (ковариантным) индексам тензорные поля $A \in ST_m^1(M)$, $Q \in ST_{m+1}^1(M)$.

Введем обозначение для симметризованного по ковариантным индексам тензорного произведения двух полей $A \in T_s^k(M)$, $B \in T_t^r(M)$: $A \circ B = S.(A \otimes B)$ и для симметризованной свертки по индексам m, n : $A \circ_n^m B = S.(tr_n^m(A \otimes B))$, $m \leq k + r$, $n \leq s + t$.

Определение 2. Рассмотрим тензор $A \in T_n^1(M)$. Тензорное поле $\delta A = S.(\nabla A) \in ST_{n+1}^1(M)$, называется симметризованной ковариантной производной.

Вторая группа слагаемых в формуле (1), соответствующая тензорному полю Q , определяет векторное поле на ТМ и называется вертикальным лифтом Q^V тензора Q . Далее однородные поля мы будем записывать как пару $Y = (A, Q)$.

При наличии аффинной связности существуют различные способы задать векторное поле на ТМ по тензору A .

Определение 3 ([8]). Полным лифтом A^C тензорного поля A называется векторное поле на ТМ вида $A^C = (A, \delta A - \omega \circ_1^2 A)$. Поле $A^H = (A, -\omega \circ_1^2 A)$ называется горизонтальным лифтом. Ковариантную валентность тензорного поля A будем называть рангом лифта.

Исходя из формулы (1), если на многообразии определена симметричная аффинная связность ∇ , то пространство $P_m(TM)$ раскладывается в прямую сумму пространств $P_m(TM) = P_m^C(TM) \oplus P_m^V(TM)$ полных и вертикальных лифтов тензорных полей. При этом $P_m^C(TM) \cong ST_m^1(M)$, $P_m^V(TM) \cong ST_{m+1}^1(M)$.

В этих обозначениях каноническое поле L может быть записано как E^V , где $E \in T_1^1(M)$ – тождественный оператор.

Определение 4. Полный лифт $E^C = (E, -\omega)$ поля E называется геодезическим полем S_{∇} аффинной связности ∇ . Связность ∇ называется полной, если полным является поле S_{∇} .

Определение 5. Поле $Y \in T^1(TM)$ называется (инфинитезимальная) симметрией геодезического поля, если $[S_{\nabla}, Y] = 0$.

Определение 6. Поле $X \in T^1(M)$ называется (инфинитезимальной) симметрией аффинной связности, если $[S_{\nabla}, X^C] = 0$.

Обзор результатов

Совокупность всех полных векторных полей на многообразии, вообще говоря, не образует линейного пространства. В работе Пале ([2], стр. 99) построен пример двух полных полей, сумма которых не является полным полем. В силу этого обстоятельства стал актуальным вопрос об описании линейных пространств, состоящих из полных векторных полей.

Замечание. Все векторные поля на компактном (замкнутом) многообразии являются полными.

Теорема 1 (Пале [2], стр. 104). Если линейная оболочка некоторого набора полных полей на многообразии и их всевозможных скобок Ли конечномерна, то все поля в ней полны.

Автором в [9] было показано, что полный лифт A^C тензорного поля $A \in T_k^1(M)$, удовлетворяющего уравнению

$$\delta(\nabla A) + R \circ_1^2 A = 0, \quad (2)$$

где R – тензор кривизны связности, является симметрией геодезического поля S_{∇} , такие поля будем называть поля Якоби ранга k . Более того, любая однородная симметрия поля S_{∇} является полем Якоби.

Скобка Ли двух симметрий S_{∇} является симметрией. Следовательно, на пространстве $\mathfrak{Y}^V(M) \subset \bigoplus_{k=0}^{\infty} T_k^1(M)$ тензорных полей, удовлетворяющих уравнению (2), возникает структура бесконечномерной алгебры Ли, названной автором алгеброй Якоби связности [10].

В случае нулевого ранга полный лифт поля X имеет вид $X^C = \left(X, \frac{\partial X}{\partial x}\right)$, и уравнение (2) является уравнением Якоби. Поле X , удовлетворяющее уравнению Якоби, является (инфинитезимальной) симметрией связности ∇ ([6]).

Теорема 2 (Кобаяси Ш., [6], стр. 46). Если аффинная (риманова) связность полна, то любая ее инфинитезимальная симметрия (изометрия) является полной.

В введенных нотациях теорема Кобаяси относится к рангу 0. Целью нашего исследования является доказательство теорем о полноте для симметрий более высокого ранга. Для ранга 1 автором была доказана следующая теорема.

Теорема 3 ([10], стр. 243). Если связность ∇ полна, то полные лифты всех ковариантно постоянных полей $A \in T_1^1(M)$, $\nabla A = 0$, образуют алгебру Ли полных полей.

Из теоремы 3 непосредственно следует, что все симметрии геодезического поля, содержащиеся в описанной алгебре Ли, образуют её подалгебру Ли и полны.

В работе автора [11] удалось продвинуться в вопросе полноты для старших рангов.

Теорема 4 ([11], стр. 52). Рассмотрим тензорные поля $A \in T_1^1(M)$, $\theta \in ST_p^0(M)$, такие, что $\nabla A = 0$, $R \circ_1^2 A = 0$, $A^m = 0$, $m > 1$, и $\nabla \theta = 0$. Если связность полна, то полным является поле $(\theta(A^{m-1}, \dots, A^{m-1}) \otimes A)^C$, являющееся симметрией геодезического поля.

Основной результат. Метрический случай

Определение 7 ([12]). Симметричное тензорное поле $\theta \in ST_p^0(M)$ ранга p , удовлетворяющее соотношению $\delta \theta = 0$, называется p -киллинговой формой.

Теорема 7. Рассмотрим замкнутое риманово многообразие (M, g) и тензорное поле $A \in T_n^1(M)$, $n \geq 0$. Если $g \circ_1^2 \delta A = 0$, то поле A^C является полным.

Отметим, что на замкнутом многообразии геодезическое поле связности Леви-Чивита является полным, так как его поток сохраняет длины векторов, т.е. сохраняет расслоение метрических шаров, являющееся компактом. Доказательство теоремы 7 основано на следующей лемме.

Лемма 1. На римановом многообразии (M, g) поток полного лифта A^C тензорного поля $A \in T_{p-1}^1(M)$, $A_{i_1 \dots i_{p-1}}^i = g^{ij} \theta_{i_1 \dots i_{p-1}}$, где θ – p -киллингова форма, сохраняет расслоение метрических шаров риманового многообразия M .

Доказательство. Достаточно показать, что в каждой точке $(x, v) \in TM$ вектор поля A^C ортогонален вектору $(0, v) \in T_{(x,v)}TM$ в смысле метрики Сасаки на TM ([13]), сужение которой на каждый слой $T_p M$ совпадает с g . Выберем в точке $x \in M$ нормальную (экспоненциальную) карту многообразия M . В этой карте в точке x форма связности тривиальна $\omega = 0$ и, следовательно, скалярное произведение на касательном слое относительно метрики Сасаки имеет единичную матрицу Грама, т.к. метрика Сасаки на слоях TM совпадает с метрикой. Вектор поля A^C в точке (x, v) имеет вид

$$A^C = (A, \delta A - \omega \circ_1^2 A) = (A, \delta A).$$

Скалярное произведение с вектором $(0, v) \in T_{(x,v)}TM$, вычисляемое как обычное скалярное произведение в ортонормированном базисе $g^{is} = \delta^{is}$ (символ Кронекера), равно

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n v^i \nabla_{i_1} A_{i_2 \dots i_p}^i v^{i_1} \dots v^{i_p} &= \sum_{i=1}^n v^i \nabla_{i_1} (g^{is} \theta_{si_2 \dots i_p}) v^{i_1} \dots v^{i_p} = \\ &= \sum_{i=1}^n (\nabla_{i_1} \theta_{ii_2 \dots i_p}) v^i v^{i_1} \dots v^{i_p} = (\delta \theta)(v, \dots, v) = 0. \end{aligned}$$

Таким образом, поле A^C ортогонально в каждой точке каноническому векторному полю L на TM . С другой стороны, каноническое поле L ортогонально $(2n-1)$ -мерному расслоению метрических шаров фиксированного радиуса в метрике Сасаки, рассматриваемому как подмногообразие TM . Действительно, поле L ортогонально $(n-1)$ -мерной касательной плоскости метрического шара в касательном слое и n -мерному горизонтальному слою многообразия в данной точке. Последнее следует из того, что по определению метрики Сасаки проекция $\pi: TM \rightarrow M$ является римановой субмерсией. Следовательно, поле A^C касается расслоения метрических шаров над M .

Доказательство теоремы. С помощью метрики опустим верхний индекс поля A и убедимся, что получившееся тензорное поле θ является $(n+1)$ -киллинговой формой. Действительно, симметризация тождества

$$\nabla_i (g_{i_1 s} A_{i_2 \dots i_{n+1}}^s) = (\nabla_i g_{i_1 s}) A_{i_2 \dots i_{n+1}}^s + g_{i_1 s} (\nabla_i A_{i_2 \dots i_{n+1}}^s) = g_{i_1 s} (\nabla_i A_{i_2 \dots i_{n+1}}^s)$$

запишется как $\delta \theta = g \circ_1^2 \delta A$, т.е. $\delta \theta = 0$, так как $g \circ_1^2 \delta A = 0$ по условию. Первое слагаемое в полученной сумме равно нулю по определению связности Леви-Чивита.

Далее, согласно лемме поток поля A^C сохраняет расслоение шаров. Так как по условию теоремы риманово многообразие компактно, то расслоение шаров является замкнутым многообразием, и любое поле касательное к нему, в частности A^C , является полным.

Следствие. На замкнутом римановом многообразии полный лифт A^C любого ковариантно постоянного тензорного поля $A \in T_n^1(M)$, $n \geq 0$, $\nabla A = 0$, является полным векторным полем на TM .

Основной результат. Аффинный случай

В работе автора [13] было доказано, что поднятие индекса p -киллингова поля определяет поле Якоби для любого $p \geq 1$ (для $p = 1$ см. [3], $p = 2$ см. [15]), т.е. пространство p -киллинговых форм вкладывается в пространство полей Якоби ранга $p-1$. В следующей теореме будет показано, как возможно при отсутствии метрики вложить ковариантно постоянные формы ранга p в поля Якоби ранга $p+1$.

Теорема 8. На многообразии с полной аффинной связностью каждая симметрия геодезического потока ранга $p \geq 2$, имеющая вид $(\theta \circ A)^C$, где $\theta \in T_p^0(M)$, $A \in T_s^1(M)$, $\nabla \theta = 0$, $\nabla A = 0$, является полной.

Разобьём доказательство на несколько шагов.

Лемма 2. Рассмотрим аффинное многообразие (M, ∇) . Пусть $\theta \in T_p^0(M)$, $p \geq 0$, является p -киллинговой формой $\delta \theta = 0$, $A \in T_s^1(M)$ – поле Якоби ранга s , тогда тензор $\theta \circ A$ является полем Якоби ранга $p+s$.

Доказательство. Полным лифтом p -формы на касательное расслоение называется функция $\tilde{\theta}(x, v) = \theta_{i_1 \dots i_p}(x) v^{i_1} \dots v^{i_p}$. Как было доказано в [14], форма θ является киллинговой, если ее полный лифт эквивариантен относительно геодезического потока на касательном расслоении $L_{S_V} \tilde{\theta} = 0$. По определению, поле A является полем Якоби если его полный лифт эквивариантен относительно геодезического потока $L_{S_V} A^C = [S_V, A^C] = 0$. Рассмотрим произведение полных лифтов $\tilde{\theta} A^C$ и убедимся, что оно эквивариантно

$$L_{S_V} (\tilde{\theta} A^C) = (S_V \tilde{\theta}) A^C + \tilde{\theta} [S_V, A^C] = 0.$$

Вычислим полный лифт поля $\theta \circ A$:

$$(\theta \circ A)^C = (\theta \circ A, \delta(\theta \circ A) - \omega \circ_1^2 (\theta \circ A)) = \tilde{\theta}(A, \delta A - \omega \circ_1^2 A) = \tilde{\theta}A^C.$$

Что и требовалось доказать.

Лемма 3. Рассмотрим аффинное многообразие (M, ∇) . Пусть $\theta \in T_p^0(M)$, $p \geq 0$, $\delta\theta = 0$, и $A \in T_1^1(M)$, $\nabla A = 0$, – невырожденный как линейный оператор на касательном слое в некоторой точке M , тогда поля $(\theta(A, \dots, A) \circ A)^C$ и S_∇ являются полными или неполными одновременно.

Доказательство. Если ковариантно постоянный тензор как линейный оператор на касательном слое невырожден в какой-либо точке многообразия, то он невырожден всюду. Полный лифт киллинговой формы $\tilde{\theta}$ является интегралом геодезического потока, так как $L_{S_\nabla} \tilde{\theta} = 0$. Следовательно, поле $\tilde{\theta}S_\nabla$ полное, т.к. вдоль каждой траектории векторное поле умножается на константу. Перенос полного поля с помощью произвольного диффеоморфизма многообразия даст полное поле. Перенесем поле $\tilde{\theta}S_\nabla$ с помощью диффеоморфизма, задаваемого послойным изоморфизмом A^{-1}

$$\varphi_{A^{-1}}^* (\tilde{\theta}S_\nabla) = \theta(\widetilde{A, \dots, A}) \varphi_{A^{-1}}^* (S_\nabla) = \theta(\widetilde{A, \dots, A}) A^C.$$

Равенство $\varphi_{A^{-1}}^* (S_\nabla) = A^C$ доказано в [10] (теорема 5.1), в частности, для ковариантно постоянного поля A . Осталось показать, что правая часть равенства является полным лифтом поля $\theta(A, \dots, A) \circ A$. Действительно,

$$\begin{aligned} \theta(\widetilde{A, \dots, A})(A, -\omega \circ A) &= (\theta(A, \dots, A) \circ A, -\theta(A, \dots, A) \circ (\omega \circ A)) = \\ &= (\theta(A, \dots, A) \circ A, -\omega \circ (\theta(A, \dots, A) \circ A)) = (\theta(A, \dots, A) \circ A)^C. \end{aligned}$$

Последнее верно, в силу ковариантной постоянности поля A и равенства

$$\delta(\theta(A, \dots, A) \circ A) = (\delta\theta)(A, \dots, A) \circ A = 0.$$

Лемма 4. Рассмотрим аффинное многообразие (M, ∇) . Пусть $\theta \in T_p^0(M)$, $p \geq 0$, $\delta\theta = 0$, $A \in T_1^1(M)$, $\nabla A = 0$ – невырожденный оператор на касательных слоях, тогда поля $(\theta \circ A)^C$ и S_∇ являются полными или неполными одновременно.

Доказательство. Рассмотрим форму $\mu = \theta(A^{-1}, \dots, A^{-1})$. Это киллингова форма в силу того, что $\delta\mu = (\delta\theta)(A^{-1}, \dots, A^{-1}) = 0$. По лемме 3 поле $\theta \circ A = \mu(A, \dots, A) \circ A$ является полным одновременно с геодезическим полем.

Лемма 5. Рассмотрим аффинное многообразие (M, ∇) . Пусть $\theta \in T_p^0(M)$, $p \geq 0$, $\delta\theta = 0$, $A \in T_1^1(M)$, $\nabla A = 0$. Если геодезический поток полон, то поле $(\theta \circ A)^C$ является полным.

Доказательство. Согласно теореме 5.2. [10], в пространстве ковариантно постоянных полей ранга 1 можно выбрать базис из невырожденных полей $\{A_\alpha\}$. По лемме 4 поля $\theta \circ A_\alpha$ являются полными. Мы докажем, что лифты этих полей коммутируют, тогда, в силу теоремы 1, линейное пространство, ими порожденное, состоит из полных полей. Напомним ([10]), что если $A \in P_k^C(M)$, $B \in P_s^C(M)$, то скобка Ли лифтов лежит в $P_{s+k}^C(M)$ и имеет вид

$$\delta_A B - \delta_B A + sB(\delta A) - kA(\delta B),$$

где $(\delta_A B)_{i_1 \dots i_{k+s}}^i = A_{i_1 \dots i_k}^\alpha \nabla_\alpha B_{i_{k+1} \dots i_{k+s}}^i$. Рассматриваемые нами поля ковариантно постоянны как тензорные произведения ковариантно постоянных полей, и, значит, коммутируют.

Доказательство теоремы является прямым следствием предыдущих лемм.

Основной результат. Аналог теорем Егорова

В работах И.П. Егорова ([16], [17]) были классифицированы аффинные пространства с обширными группами симметрий и инфинитезимальных симметрий связности (ранга 0 в нашей терминологии). В частности, n -мерное аффинное пространство, для которого размерность r пространства симметрий связности равно $r = n^2 + n$ – это евклидово пространство с полной канонической связностью. Пространств с $n^2 < r < n^2 + n$ не бывает. Пространства с $r = n^2$ и $r = n^2 - 1$ описаны Егоровым явно – это пространства с полной связностью. И, наконец, не бывает пространств с $n^2 - n + 1 < r < n^2 - 1$.

Как следствие прямого описания, результаты Егорова могут быть сформулированы в виде общей теоремы о полноте.

Теорема 9 (Егоров И.П.). Если n -мерное пространство аффинной связности допускает пространство полных симметрий ранга 0 размерности $r > n^2 - n + 1$, $n > 1$, то связность полна.

Мы докажем аналогичный результат для ранга 1.

Теорема 10. Если аффинная связность на n -мерном многообразии (M, ∇) , $n > 1$, допускает пространство V полных ковариантно постоянных полей ранга 1 размерности $\dim V > n^2 - n$, то связность полна.

Доказательство. Рассмотрим произвольную точку многообразия. Так как ковариантные поля ранга 1 полностью определяются своими значениями в произвольной точке многообразия, то в каждой точке среди полей, составляющих пространство V можно выбрать линейно независимый набор. Если $\dim V > n^2 - n$, то в этом наборе существует поле, для которого матрица порождаемого им линейного оператора на слое невырождена в данной точке, а следовательно, не вырождена всюду. В силу леммы 3 ($p = 0, \theta = 1$) связность полна.

Заключение

В случае старших рангов грубую оценку границы размерности пространства полных полей, достаточной для полноты связности, можно получить из следующим образом. Обозначим через s, t размерности пространств ковариантно постоянных аффиноров и полей Киллинга ранга $p-1$. Выбрав базис из невырожденных аффиноров и тензорно перемножив их с киллинговыми полями, мы получим набор из $s \cdot t$ -мерных линейных подпространств в пространстве ковариантно постоянных тензорных полей, что дает верхнюю оценку на размерность подпространства, не пересекающегося с этой конфигурацией. Если пересечение имеет место, то в силу леммы 4, связность полна. Ясно, что чем шире пространство киллинговых полей, тем эффективнее оценка.

Аналоги теоремы Егорова для больших рангов также могут быть получены с помощью явного описания пространств с обширными пространствами симметрий. Автором в [18] был предложен метод классификации алгебр симметрий на плоских и однородных аффинных пространствах. Полученные результаты выходят за рамки данной статьи.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Постников М.М. Лекции по геометрии. Гладкие многообразия / М.М. Постников. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. – 1987. – 480 с.
2. Palais R. A global formulation of the Lie theory of transformation groups / R. Palais // Mem. Amer. Math. Soc. – 1957. – V. 22. – 123 p.
3. Кобаяси Ш. Основы дифференциальной геометрии / Ш. Кобаяси, К. Номидзу, Т. И. – М.: Наука. – 1981. – 347 с.
4. Шевалле К. Теория групп Ли / К. Шевалле, Т. И. – М.: ИЛ, 1948.
5. Постников М.М. Лекции по геометрии. Группы и алгебры Ли / М.М. Постников. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. – 1982. – 447 с.
6. Kobayashi S., Transformation Groups in Differential Geometry / S. Kobayashi. – Springer-Verlag, New York. – 1972. – 190 P.
7. Kowski M. Geometric homogeneity and applications to stabilization / M. Kowski // Proc. IFAC Symp. NCSD. – 1995. – P. 147-152.
8. Crampin M. Applicable differential geometry / M. Crampin, F. A. E. Pirani // London Mathematical Society Lecture Notes Series 59. – Cambridge University Press. – 1986. – 394 P.
9. Кальницкий В.С. Автоморфизмы геодезического векторного поля / В.С. Кальницкий // Вестник СПбГУ, сер.1. – 1995. – Вып. 2, №8. – С. 23-24.
10. Кальницкий В.С. Алгебра обобщенных полей Якоби / В.С. Кальницкий // Зап. науч. сем. ПОМИ, "Исследования по топологии", 8. – 1995. – т. 231. – С. 222-243.
11. Кальницкий В.С. Полнота нильпотентных полей / В.С. Кальницкий // Дифференциальная геометрия многообразий фигур. – 2005. – т. 36. – С. 50-53.
12. Степанов С.Е. Об одном применении теоремы Стокса в глобальной римановой геометрии / С.Е. Степанов // Фунд. и прикл. мат. Т.8. – 2002. – №1. – С. 245-262.
13. Sasaki S. On the differential geometry of tangent bundle of Riemannian manifolds / S. Sasaki // Tôhoku Math. J. — 1958. — Vol. 10. — P. 338–354.
14. Kalnitsky V.S. Spray algebra / V.S. Kalnitsky // Proc. Math. Inst. NAS Ukr. – 2004. – V. 50, Part III. – P. 1356-1360.
15. Ashtekar A. A technique for analyzing the structure of isometries / A. Ashtekar, F. Magnon-Ashtekar // J. Math. Phys. – 1977. – V. 19. – P. 1567-1572.
16. Егоров И.П. О порядке групп движений пространств аффинной связности / И.П. Егоров // ДАН СССР. – 1947. – том 57. – № 9. – С. 867-870.
17. Егоров И.П. Эквивариантные пространства третьей лакуарности / И.П. Егоров // ДАН СССР. – 1956. – Т. 103. – №1. – С. 151-152.
18. Кальницкий В.С. Полиномиальные симметрии плоских и однородных связностей / В.С. Кальницкий // Дифференциальная геометрия многообразий фигур. – 2004. – Т. 35. – С. 55-62.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Postnikov M.M. Lekcii po geometrii. Gladkie mnogoobrazija. [Lectures on Geometry. Smooth Manifolds.] / M.M. Postnikov. – М.: Nauka. Gl. red. fiz.-mat. lit. – 1987. – p. 480 [in Russian]
2. Palais R. A global formulation of the Lie theory of transformation groups / R. Palais // Mem. Amer. Math. Soc. – 1957. – V. 22. – 123 p.
3. Kobayashi Sh. Osnovy differencial'nojj geometrii [Fundamentals of Differential Geometry, Vol. I] / Sh. Kobayashi, K. Nomizu. – М.: Nauka. – 1981. – p. 347 [in Russian]
4. Shevalle K. Teorija grupp Li [Theory of Lie Groups, T. I] / K. Shevalle. – М.: IL, 1948. [in Russian]
5. Postnikov M.M. Lekcii po geometrii. Gruppy i algebrы Li. [Lectures on Geometry. Lie Groups and Algebras.] / M.M. Postnikov – М.: Nauka. Gl. red. fiz.-mat. lit. – 1982. – p. 447 [in Russian]
6. Kobayashi S., Transformation Groups in Differential Geometry / S. Kobayashi. – Springer-Verlag, New York. – 1972. – 190 P.
7. Kowski M. Geometric homogeneity and applications to stabilization / M. Kowski // Proc. IFAC Symp. NCSD. – 1995. – P. 147-152.
8. Crampin M. Applicable differential geometry / M. Crampin, F. A. E. Pirani // London Mathematical Society Lecture Notes Series 59. – Cambridge University Press. – 1986. – 394 P.

9. Kal'nickij V.S. Avtomorfizmy geodezicheskogo vektornogo polja [Automorphisms of a Geodesic Vector Field] / V.S. Kal'nickij // Vestnik SPbGU [Bulletin of St. Petersburg State University], ser.1. – 1995. – Vol. 2, No.8. – p. 23-24. [in Russian]
10. Kal'nickij V.S. Algebra obobshhennykh polej Jakobi [Algebra of Generalized Jacobi Fields] / V.S. Kal'nickij // Zap. nauch. sem. POMI, "Issledovaniya po topologii" [Notes of Scientific Seminars of PDMI, "Research on Topology"], 8. – 1995. – Vol. 231. – pp. 222-243. [in Russian]
11. Kal'nickij V.S. Polnota nil'potentnykh polej [Completeness of Nilpotent Fields] / V.S. Kal'nickij // Differencial'naja geometrija mnogoobrazij figur [Differential Geometry of Manifolds of Figures]. – 2005. – Vol. 36.– pp. 50-53. [in Russian]
12. Stepanov S.E. Ob odnom primenении teoremy Stoksa v global'noj rimanovoj geometrii [On One Application of the Stokes Theorem in Global Riemannian Geometry] / S.E. Stepanov // Fund. i prikl. mat. [Fundamental and Applied Mathematics] Vol.8. – 2002. – No.1. – pp. 245-262. [in Russian]
13. Sasaki S. On the differential geometry of tangent bundle of Riemannian manifolds / S. Sasaki // Tôhoku Math. J. — 1958. — Vol. 10. — P. 338–354.
14. Kalnitsky V.S. Spray algebra / V.S. Kalnitsky // Proc. Math. Inst. NAS Ukr. – 2004. – V. 50, Part III. – P. 1356-1360.
15. Ashtekar A. A technique for analyzing the structure of isometries / A. Ashtekar, F. Magnon-Ashtekar // J. Math. Phys. – 1977. – V. 19. – P. 1567-1572.
16. Egorov I.P. O porjadke grupp dvizhenij prostranstv affinnoj svjaznosti [On the Order of Groups of Movements of Spaces of Affine Connectivity] / I.P. Egorov // DAN SSSR [Proc. USSR Acad. Sci.]. – 1947. – Vol. 57. – No. 9. – pp. 867-870. [in Russian]
17. Egorov I.P. Ehkviaffinnye prostranstva tret'ej lakunarnosti [Equiaffine Spaces of the Third Lacunarity] / I.P. Egorov // DAN SSSR [Proc. USSR Acad. Sci.]. – 1956. – Vol. 103. – No.1. – pp. 151-152. [in Russian]
18. Kal'nickij V.S. Polinomial'nye simmetrii ploskikh i odnorodnykh svjaznostej [Polynomial Symmetries of Plane and Homogeneous Connections] / V.S. Kal'nickij // Differencial'naja geometrija mnogoobrazij figur [Differential Geometry of Manifolds of Figures]. – 2004. – Vol. 35.– pp. 55-62. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.103.2.002>**ОПТИМАЛЬНЫЕ СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ТОЛЩИНАМИ СЛОЕВ ДЛЯ ТРЕХСЛОЙНОЙ АСИММЕТРИЧНОЙ МАГНИТОСТРИКЦИОННО-ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ**

Научная статья

Филиппов Д.А.^{1,*}, Лалетин В. М.², Поддубная Н.Н.³, Семенова С.А.⁴, Хиндриксон В.Д.⁵¹ ORCID: 0000-0002-4359-7770;² ORCID: 0000-0002-3531-0629;³ ORCID 0000-0002-9809-487X;^{1, 4, 5} Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, Великий Новгород, Россия;^{2, 3} Институт технической акустики, Витебск, Белоруссия

* Корреспондирующий автор (Dmitry.Filippov[at]novsu.ru)

Аннотация

Рассмотрен магнитоэлектрический эффект в трехслойной магнитоэлектрической структуре магнетик – пьезоэлектрик – магнетик с противоположными знаками магнитоэлектрических коэффициентов, обусловленный деформациями изгиба. Показано, что эффективность магнитоэлектрического преобразования структуры зависит от соотношения толщины слоев магнетиков и пьезоэлектриков. Максимальная эффективность преобразования достигается в случае, когда нейтральная линия совпадает с границей раздела пьезоэлектрика и магнетика. Получено соотношение между толщинами слоев для получения максимальной величины эффекта. Показано, что в зависимости от соотношения толщин слоев магнитоэлектрический коэффициент может изменять знак.

Ключевые слова: композиционные мультиферроики, магнитоэлектричество, пьезоэлектричество, магнитоэлектрический эффект, магнитоэлектрический коэффициент.

OPTIMUM RELATIONSHIP BETWEEN THE THICKNESSES OF THE LAYERS FOR ASYMMETRIC THREE-LAYERED MAGNETOSTRICTIVE-PIEZOELECTRIC STRUCTURE

Research article

Filippov D.A.^{1,*}, Laletin V.M.², Poddubnaya N.N.³, Semenova S.A.⁴, Khindrikson V.D.⁵¹ ORCID: 0000-0002-4359-7770;² ORCID: 0000-0002-3531-0629;³ ORCID 0000-0002-9809-487X;^{1, 4, 5} Yaroslav-the-Wise Novgorod State University, Veliky Novgorod, Russia;^{2, 3} Institute of Technical Acoustics, Vitebsk, Belarus

* Corresponding author (Dmitry.Filippov[at]novsu.ru)

Abstract

The current study examines the magnetoelectric effect in the three-layer magnetostrictive- piezoelectric magnetic- piezoelectric-magnetic material structure with opposite signs of magnetostriction of magnetic materials caused by flexural strain. The study demonstrates that the efficiency of the magnetoelectric transformation of the structure depends on the ratio of the thickness of the layers of magnetic and piezoelectric materials. The maximum conversion efficiency is achieved when the neutral line coincides with the interface between the piezoelectric and the magnetic materials. The research obtains the ratio between the layer thicknesses to achieve the maximum effect value. It is shown that the magnetoelectric coefficient can change the sign depending on the ratio of the thickness of the layers.

Keywords: composite multiferroics, magnetostriction, piezoelectricity, magnetoelectric effect, magnetoelectric coefficient.

Введение

Композиционные мультиферроики привлекают к себе все большее внимание ввиду наличия в них взаимосвязи электрических и магнитных характеристик, что открывает возможность создания на их основе принципиально новых устройств электроники, как в низкочастотной области, так и в СВЧ [1], [3], [4]. Особый интерес они представляют для нового направления электроники стрейнтроники – науки, основанной на эффектах, связанных с деформациями материала, которая активно развивается в последнее время [5]. Магнитоэлектрический (МЭ) эффект является перекрестным эффектом и заключается в возникновении электрического напряжения на обкладках образца при помещении его в магнитное поле. В композитах на основе магнетиков и пьезоэлектриков он возникает благодаря механическому взаимодействию между магнитоэлектрической и пьезоэлектрической фазами материала. При помещении образца в магнитное поле в магнетике вследствие магнитоэлектричества возникают механические деформации. Через интерфейс эти деформации передаются в пьезоэлектрик и, вследствие пьезоэффекта, индуцируется электрическое напряжение между обкладками образца. На основе МЭ эффекта возможно создание принципиально новых устройств с управлением одновременно и электрическим полем и магнитным полем [6]. В настоящее время наибольшее распространение получили объемные (bulk) композиционные мультиферроики, изготавливаемые по керамической технологии и слоистые мультиферроики, получаемые методами склеивания, напыления или гальванического осаждения. Для достижения максимальной величины МЭ эффекта исследовались двухслойные и трехслойные структуры с последовательным соединением слоев [7] и параллельным [8], [12], [14] расположением слоев, прямоугольной и дискообразной формы с различными составами композитов. Вследствие нелинейности магнитоэлектричества в магнитоэлектрических композитах возможен также нелинейный МЭ эффект, при котором индуцированное электрическое напряжение квадратично зависит от величины приложенного магнитного поля. При этом частота выходного сигнала равна удвоенной частоте входного сигнала [15], [16].

Возникновение МЭ эффекта в композитах связано с распространением в них продольных планарных колебаний, изгибных колебаний и распространением деформаций по толщине. При распространении колебаний возникает явление электромеханического резонанса, при котором имеет место пиковое увеличение амплитуды колебаний [17], [18], [19]. Резонансная частота зависит от модулей упругости и плотности слоев фаз, способов закрепления и геометрических параметров образца. При колебаниях по толщине частота резонанса наиболее высокая, а при изгибных колебаниях резонансная частота наиболее низкая. В трехслойных симметричных структурах реализуются только планарные колебания и колебания по толщине, а изгибные колебания отсутствуют. Величина МЭ эффекта при изгибных колебаниях зависит от физических параметров фаз и соотношения между толщиной магнитострикционного и пьезоэлектрического слоя [20], [21]. Для усиления МЭ эффекта авторы в работе [22] использовали биморфную структуру, состоящую из двух слоев магнетика с разными знаками магнитострикции и двух слоев пьезоэлектрика, имеющими противоположное направление поляризации. Им удалось получить величину МЭ коэффициента, превышающую величину МЭ коэффициента в двухслойных структурах с аналогичными параметрами. При изготовлении таких структур возникает необходимость поляризовать слои пьезоэлектрика в противоположных направлениях, что значительно усложняет процесс изготовления таких структур. В данной работе исследована асимметричная трехслойная структура, состоящая из двух слоев магнетика с положительной и отрицательной магнитострикцией и расположенного между ними пьезоэлектрика. Проанализирована зависимость величины МЭ взаимодействия от физических параметров и соотношений толщин пьезоэлектрического и магнитострикционных слоев.

Модель

Трехслойные асимметричные структуры интересны тем, что они позволяют достичь большей эффективности преобразования магнитного поля в электрическое поле, по сравнению с двухслойными структурами. Использование материалов с противоположными знаками магнитострикции позволяет увеличить изгибающий момент, как следствие, увеличить деформации в пьезоэлектрическом слое что приводит к увеличению величины индуцированного электрического поля. В качестве материала с отрицательной магнитострикцией можно использовать никель или феррит-никелевую шпинель, а в качестве материалов с положительной магнитострикцией можно использовать пермендюр или метглас.

Согласно теории изгиба [23] имеют место следующие положения:

1) деформации по разные стороны от нейтральной линии имеют разные знаки, следовательно, структуры, у которых нейтральная линия совпадает с границей раздела между магнитострикционным слоем и пьезоэлектриком будут иметь максимальную эффективность;

2) положение нейтральной линии определяется толщиной модулями упругости слоев структуры. Изменение толщины одного из слоев приводит к смещению нейтральной линии и, как следствие, может привести к изменению знака деформаций в пьезоэлектрическом слое.

В качестве модели рассмотрим трехслойную структуру магнетик 1/ пьезоэлектрик/магнетик 2 с противоположными знаками магнитострикции. Схематичное изображение такой структуры представлено на рис. 1. Начало системы координат совместим с центром образца, а ось $X(1)$ совместим с границей раздела между слоем пьезоэлектрика и слоем нижнего магнетика с отрицательной магнитострикцией.

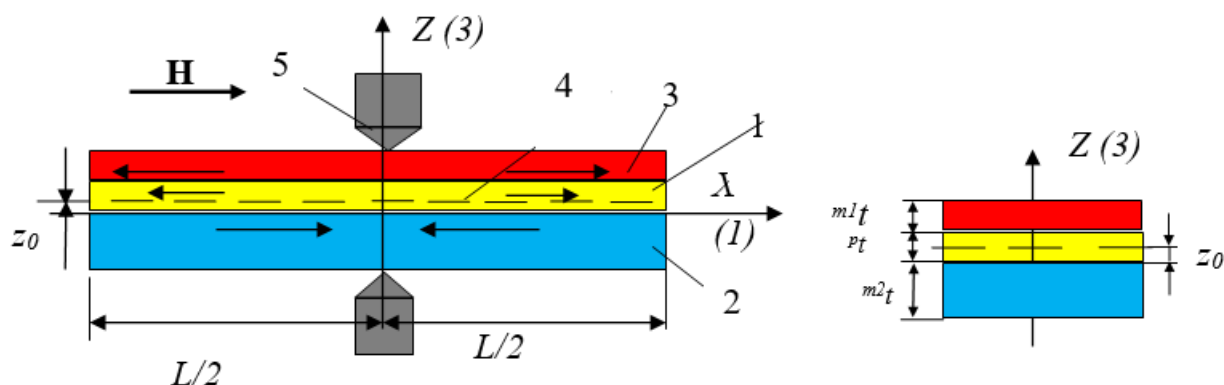


Рис. 1 – Схематичное изображение структуры:

1 - $m1$ – слой (положительный), 2 - $m2$ – слой (отрицательный),
3 - p – слой (пьезоэлектрик PZT), 4 – нейтральная линия, 5 – электроды

В дальнейшем мы будем предполагать, что длина образца много больше его ширины и толщины. В этом приближении материальные уравнения для пьезоэлектрической и магнитострикционных фаз будут иметь следующий вид:

$$^P S_1 = \frac{1}{^P Y} ^P T_1 + ^P d_{31} E_3 \quad (1)$$

$$^{m1} S_1 = \frac{1}{^{m1} Y} ^{m1} T_1 + ^{m1} q_{11} H_1 \quad (2)$$

$${}^m S_1 = \frac{1}{m_2 Y} {}^m T_1 + {}^m q_{11} H_1 \quad (3)$$

$$P_{D_3} = P_{\varepsilon_{33}} P_{E_3} + P_{d_{31}} P_{T_1} \quad (4)$$

где P_{S_1} , ${}^m S_1$, ${}^m S_1$ – компоненты тензора деформаций пьезоэлектрического, первого и второго магнитострикционных слоев, P_Y , ${}^m Y$, ${}^m Y$ – их модули Юнга, P_{E_3} , P_{D_3} – компоненты вектора напряженности электрического поля и электрической индукции, P_{T_1} , ${}^m T_1$, ${}^m T_1$ – компоненты тензора напряжений пьезоэлектрической и магнитострикционной фаз, $P_{d_{31}}$, ${}^m q_{11}$, ${}^m q_{11}$ – пьезоэлектрический и пьезомагнитные коэффициенты, $P_{\varepsilon_{33}}$ – компонента тензора диэлектрической проницаемости пьезоэлектрика.

Результаты и обсуждение

Используя гипотезу Бернулли, и условие равенства нулю X – проекции результирующей силы, для координаты нейтральной линии z_0 получим следующее выражение:

$$z_0 = \frac{1}{2} \frac{{}^p Y {}^p t^2 + 2 {}^m Y {}^p t {}^m t + {}^m Y {}^m t^2 - {}^m Y {}^m t^2}{\bar{Y} t} \quad (5)$$

где ${}^p t$, ${}^m t$, ${}^m t$ – толщины слоев, $t = {}^m t + {}^m t + {}^p t$ – полная толщина образца, $\bar{Y} = ({}^p Y {}^p t + {}^m Y {}^m t + {}^m Y {}^m t) / t$ – среднее значение модуля Юнга.

Параметр z_0 может быть как положительным, так и отрицательным. Структура будет оптимальной, если его значение будет равным либо $z_0=0$ либо $z_0 = {}^p t$. В этом случае будет испытывать только один тип деформаций – либо растяжение ($z_0=0$), либо сжатие ($z_0 = {}^p t$). В этом случае электрическое поле будет иметь одно направление по всей толщине пьезоэлектрика. В противном случае, когда нейтральная линия лежит внутри пьезоэлектрика часть слоев пьезоэлектрика испытывает растяжение, другая часть сжатие. Электрическое поле в различных частях имеют разные направления, в результате чего суммарное электрическое поле уменьшается.

Используя уравнение (5), получим соотношение между толщинами слоев для оптимальной асимметричной структуры в виде:

для случая $z_0=0$

$${}^m Y {}^m t^2 = {}^p Y {}^p t^2 + {}^m Y {}^m t^2 + 2 {}^m Y {}^m t {}^p t \quad (6)$$

для случая $z_0 = {}^p t$

$${}^m Y {}^m t^2 = {}^p Y {}^p t^2 + {}^m Y {}^m t^2 + 2 {}^m Y {}^m t {}^p t - 2 \bar{Y} t {}^p t \quad (7)$$

Уравнения (6) и (7) позволяют, зная толщину двух слоев, легко определить оптимальную толщину третьего слоя.

Заключение

Трехслойные асимметричные магнитострикционно-пьезоэлектрические структуры, состоящие из пьезоэлектрика и двух магнетиков с противоположными знаками магнитострикции, обладают большей эффективностью магнитоэлектрического преобразования по сравнению с двухслойными структурами. Для достижения максимальной эффективности преобразования между толщинами слоев должно выполняться определенное соотношение, при котором нейтральная линия лежит на границе раздела пьезоэлектрика либо с первым магнетиком, либо со вторым.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Tu C. Mechanical-Resonance-Enhanced Thin-Film Magnetoelectric Heterostructures for Magnetometers, Mechanical Antennas, Tunable RF Inductors, and Filters / C. Tu, Z. Chu, B. Spetzler et al, //Materials – 2019 – V. 12 – P. 2259. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma12142259>.
2. Dwight Viehland Tutorial: Product properties in multiferroic nanocomposites / Dwight Viehland, Jie Fang Li, Yaodong Yang, Tommaso Costanzo, Amin Yourdkhani et al. // J. Appl. Phys. – 2018 – V.124 P. 061101.
3. Vopson M. M. Fundamentals of Multiferroic Materials and Their Possible Applications / M. M. Vopson // Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences – 2015 – V.40 –P. 223 .

4. Composite Magnetoelectrics: Materials, Structures, and Applications, Eds: G. Srinivasan, S. Priya, and N. X. Sun, Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials, No.62, 2015.
5. Бухараев А.А. Стрейнтроника — новое направление микро- и нанoeлектроники и науки о материалах / А.А. Бухараев, А.К. Звездин, А.П. Пятаков, Ю.К. Фетисов // Стрейнтроника // УФН — 2018 — Т. 188 — Р. 1288
6. Zhang J. Bidirectional tunable ferrite-piezoelectric trilayer magnetoelectric inductors / J. Zhang, D. Chen, D. A. Filippov, K. Li, Q. Zhang et al. // Appl. Phys. Lett. — 2018 - v. 113 - p. 113502; <https://doi.org/10.1063/1.5044738>
7. Филиппов Д.А. Теория магнитоэлектрического эффекта в гибридных феррит-пъезоэлектрических композиционных материалах / Д.А. Филиппов // Письма в ЖТФ — 2004 — т. 30- №9 — с. 6 - 11.
8. Srinivasan G. Magnetoelectric bilayer and multilayer structures of magnetostrictive and piezoelectric oxides / G. Srinivasan, E.T. Rasmussen, J. Gallegos, R. Srinivasan, Yu. I. Bokhan, V.M. Laletin // Phys. Rev. B. — 2001 — V. 64 — P. 214408
9. Филиппов Д.А. Инверсный магнитоэлектрический эффект в дискообразных образцах из феррит-пъезоэлектрических композитов / Д.А. Филиппов, Т.А. Галкина, В.М. Лалетин // Физика твердого тела — 2011 - Т. 53 - № 9 - С. 1737-1742.
10. Amirov A. Direct Magnetoelectric Effect in a Sandwich Structure of PZT and Magnetostrictive Amorphous Microwires / Abdulkarim Amirov, Irina Baraban, Larissa Panina, Valeria Rodionova // Materials — 2020 — V. 13 — Iss. 4, P. 916; <https://doi.org/10.3390/ma13040916>
11. Филиппов Д.А. Магнитоэлектрический эффект в тонкопленочных магнитострикционно-пъезоэлектрических структурах, выращенных на подложке / Д.А. Филиппов // ФТТ - 2012 - т. 54 - №6 - с. 1112-1115
12. Sreenivasulu G. Magnetoelectric interactions in layered composites of piezoelectric quartz and magnetostrictive alloys / G. Sreenivasulu, V.M. Petrov, L.Y., Fetisov, Y.K., G. Srinivasan // Phys. Rev. B - 2012 — V. 86 — P. 214405 .
13. Филиппов Д.А. Магнитоэлектрический эффект в двухслойной магнитострикционно-пъезоэлектрической структуре / Д.А. Филиппов, В.М. Лалетин, Т.А. Галичьян // ФТТ — 2013 — т. 55 - №9 — С.1728 -1733.
14. Peng Zhou Magnetoelectric Interactions in Composites of Ferrite Films on Lattice-Matched Substrates and Ferroelectrics / Peng Zhou, Amit V. Singh, Z. Li, M.A. Popov, Ying Liu, D.A. Filippov et al. // Phys. Rev. Appl. - 2019 — V. 11 — P. 054045
15. Филиппов Д.А. Нелинейный магнитоэлектрический эффект в композиционных мультиферроиках / Д.А. Филиппов, В.М. Лалетин, Т.О. Фирсова // Физика твердого тела — 2014 - том 56 - вып. 5 - с. 944-948
16. Лалетин В.М. Нелинейный резонансный магнитоэлектрический эффект в магнитострикционно-пъезоэлектрических структурах / В.М. Лалетин, Д.А. Филиппов, Т.О. Фирсова // Письма в ЖТФ — 2014 - том 40 - вып. 6 - с. 11-18
17. Bichurin M.I. Resonance magnetoelectric effects in layered magnetostrictive-piezoelectric composites / M.I. Bichurin, D.A. Filippov, V.M. Petrov, V.M. Laletsin, N.N. Paddubnaya, G. Srinivasan // Phys. Rev. B, 2003. — 68. — P. 132408 DOI: 10.1103/PhysRevB.68.132408
18. Филиппов Д.А. Гигантский магнитоэлектрический эффект в композиционных материалах в области электромеханического резонанса / Д.А. Филиппов, М.И. Бичурин; В.М. Петров; В.М. Лалетин; Н.Н. Поддубная; G. Srinivasan // Письма в ЖТФ. - 2004. - Т. 30. - № 1. - С. 15-20
19. Филиппов Д.А. Резонансное усиление магнитоэлектрического эффекта в композиционных феррит-пъезоэлектрических материалах / Д.А. Филиппов, М.И. Бичурин; В.М. Петров; В.М. Лалетин; G. Srinivasan // ФТТ. — 2004. - Т. 46. - №9. — С. 1621-1627
20. Petrov V. M. Theory of magnetoelectric effect for bending modes in magnetostrictive-piezoelectric bilayers / V. M. Petrov, G. Srinivasan, M. I. Bichurin, T. A. Galkina. // J. Appl. Phys. — 2009 — V.105 — P. 063911
21. Sreenivasulu G. Magneto-electric interactions at bending resonance in an asymmetric multiferroic composite: Theory and experiment on the influence of electrode position / G. Sreenivasulu, P. Qu, V. M. Petrov, Hongwei Qu, and G. Srinivasan. // J. Appl. Phys. — 2015 — V.117 — P. 174105
22. Fetisov L.Y. Resonance magnetoelectric interactions in an asymmetric ferromagnetic-ferroelectric layered structure / L.Y. Fetisov, N.S. Perov, Y.K. Fetisov, G. Srinivasan, V.M. Petrov. // J. Appl. Phys. — 2011 — V. 109 — P. 053908
23. Дарков А.В. Сопроотивление материалов Изд. 4-е / А.В. Дарков, Г.С. Шпиро. М., Высшая школа. (1975). 654 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Tu C. Mechanical-Resonance-Enhanced Thin-Film Magnetoelectric Heterostructures for Magnetometers, Mechanical Antennas, Tunable RF Inductors, and Filters / C. Tu, Z. Chu, B. Spetzler et al, //Materials — 2019 — V. 12 — P. 2259. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma12142259>.
2. Dwight Viehland Tutorial: Product properties in multiferroic nanocomposites / Dwight Viehland, Jie Fang Li, Yaodong Yang, Tommaso Costanzo, Amin Yourdkhani et al. // J. Appl. Phys. — 2018 — V.124 P. 061101.
3. Vopson M. M. Fundamentals of Multiferroic Materials and Their Possible Applications / M. M. Vopson // Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences — 2015 — V.40 —P. 223 .
4. Composite Magnetoelectrics: Materials, Structures, and Applications, Eds: G. Srinivasan, S. Priya, and N. X. Sun, Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials, No.62, 2015.
5. Buharaev A.A. Strejntronika — novoe napravlenie mikro- i nanojelektroniki i nauki o materialah [Straintronics: a new trend in micro- and nanoelectronics and materials science] / A.A. Buharaev, A.K. Zvezdin, A.P. Pjatakov, Ju.K. Fetisov // Strejntronika // UFN — 2018 — Vol. 188 — P. 1288 [in Russian]
6. Zhang J. Bidirectional tunable ferrite-piezoelectric trilayer magnetoelectric inductors / J. Zhang, D. Chen, D. A. Filippov, K. Li, Q. Zhang et al. // Appl. Phys. Lett. — 2018 - v. 113 - p. 113502; <https://doi.org/10.1063/1.5044738>
7. Filippov D.A. Teorija magnitojelektricheskogo jeffekta v gibridnyh ferrit-p'ezoelektricheskikh kompozicionnyh materialah [Theory of magnetoelectric effect in ferrite-piezoelectric hybrid composites] / D.A. Filippov // Pis'ma v ZhTF [Technical Physics Letters] — 2004 — Vol. 30- №9 — p. 6 - 11. [in Russian]
8. Srinivasan G. Magnetoelectric bilayer and multilayer structures of magnetostrictive and piezoelectric oxides / G. Srinivasan, E.T. Rasmussen, J. Gallegos, R. Srinivasan, Yu. I. Bokhan, V.M. Laletin // Phys. Rev. B. — 2001 — V. 64 —P. 214408

9. Filippov D.A. Inversnyj magnitoelektricheskij jeffekt v diskoobraznyh obrazcah iz ferrit-p'ezoelektricheskikh kompozitov [Inverse Magnetoelectric Effect in Disk-Shaped Samples of Ferrite Piezoelectric Composites] / D.A. Filippov, T.A. Galkina, V.M. Laletin // Fizika tverdogo tela [Physics of the Solid State] – 2011 - Vol. 53 - № 9 - P. 1737-1742. [in Russian]
10. Amirov A. Direct Magnetoelectric Effect in a Sandwich Structure of PZT and Magnetostrictive Amorphous Microwires / Abdulkarim Amirov, Irina Baraban, Larissa Panina, Valeria Rodionova // Materials – 2020 – V. 13 – Iss. 4, P. 916; <https://doi.org/10.3390/ma13040916>
11. Filippov D.A. Magnitoelektricheskij jeffekt v tonkoplennocnyh magnitostrikcionno-p'ezoelektricheskikh strukturah, vyrashhennyh na podlozhke [Magnetoelectric Effect in Thin Film Magnetostriction– Piezoelectric Structures Grown on a Substrate] / D.A. Filippov // FTT - 2012 - Vol. 54 - №6 - P. 1112-1115[in Russian]
12. Sreenivasulu G. Magnetoelectric interactions in layered composites of piezoelectric quartz and magnetostrictive alloys / G. Sreenivasulu, V.M. Petrov, L.Y., Fetisov, Y.K., G. Srinivasan // Phys. Rev. B - 2012 – V. 86 – P. 214405 .
13. Filippov D.A. Magnitoelektricheskij jeffekt v dvuhslojnoj magnitostrikcionno-p'ezoelektricheskoy strukture [Magnetoelectric Effect in a Magnetostrictive–Piezoelectric Bilayer Structure] / D.A. Filippov, V.M. Laletin, T.A. Galichyan // FTT [Physics of the Solid State] – 2013 – Vol. 55 - №9 – P.1728 -1733. [in Russian]
14. Peng Zhou Magnetoelectric Interactions in Composites of Ferrite Films on Lattice-Matched Substrates and Ferroelectrics / Peng Zhou, Amit V. Singh, Z. Li, M.A. Popov, Ying Liu, D.A. Filippov et al.// Phys. Rev. Appl.- 2019 – V. 11 – P. 054045
15. Filippov D.A. Nelinejnyj magnitoelektricheskij jeffekt v kompozicionnyh mul'tiferroikah [Nonlinear Magnetoelectric Effect in Composite Multiferroics] / D.A. Filippov, V.M. Laletin, T.O. Firsova // Fizika tverdogo tela [Physics of the Solid State]– 2014 – Vol 56 - issue. 5 - P. 944-948 [in Russian]
16. Laletin V.M. Nelinejnyj rezonansnyj magnitoelektricheskij jeffekt v magnitostrikcionno-p'ezoelektricheskikh strukturah [The Nonlinear Resonance Magnetoelectric Effect in Magnetostrictive-Piezoelectric Structures] / V.M. Laletin, D.A. Filippov, T.O. Firsova // Pis'ma v ZhTF [Technical Physics Letters] – 2014 -Vol 40 - iss. 6 - p. 11-18[in Russian]
17. Bichurin M.I. Resonance magnetoelectric effects in layered magnetostrictive-piezoelectric composites / M.I. Bichurin, D.A. Filippov, V.M. Petrov, V.M. Laletsin, N.N. Paddubnaya, G. Srinivasan // Phys. Rev. B, 2003. – 68. – P. 132408 DOI: 10.1103/PhysRevB.68.132408
18. Filippov D.A. Gigantskij magnitoelektricheskij jeffekt v kompozicionnyh materialah v oblasti jelektromehanicheskogo rezonansa [Giant Magnetoelectric Effect in Composite Materials in the Region of Electromechanical Resonance] / D.A. Filippov, M.I. Bichurin; V.M. Petrov; V.M. Laletin; N.N. Poddubnaja; G. Srinivasan // Pis'ma v ZhTF [Technical Physics Letters]. - 2004. - Vol. 30. - № 1. - P. 15-20[in Russian]
19. Filippov D.A. Rezonansnoe usilenie magnitoelektricheskogo jeffekta v kompozicionnyh ferrit-p'ezoelektricheskikh materialah [Resonant amplification of the magnetoelectric effect in ferrite-piezoelectric composites] / D.A. Filippov, M.I. Bichurin; V.M. Petrov; V.M. Laletin; G. Srinivasan // FTT. – 2004. - Vol. 46. - №9. – P. 1621-1627[in Russian]
20. Petrov V. M. Theory of magnetoelectric effect for bending modes in magnetostrictive-piezoelectric bilayers / V. M. Petrov, G. Srinivasan, M. I. Bichurin, T. A. Galkina. // J. Appl. Phys. – 2009 – V.105 – P. 063911
21. Sreenivasulu G. Magneto-electric interactions at bending resonance in an asymmetric multiferroic composite: Theory and experiment on the influence of electrode position / G. Sreenivasulu, P. Qu, V. M. Petrov, Hongwei Qu, and G. Srinivasan. // J. Appl. Phys. – 2015 – V.117 – P. 174105
22. Fetisov L.Y. Resonance magnetoelectric interactions in an asymmetric ferromagnetic-ferroelectric layered structure / L.Y. Fetisov, N.S. Perov, Y.K. Fetisov, G. Srinivasan, V.M. Petrov. // J. Appl. Phys. – 2011 – V. 109 – P. 053908
23. Darkov A.V. Soprotivlenie materialov [Strength of materials] Ed. 4th / A.V. Darkov, G.S. Shpiro. M., Vysshaja shkola. (1975). 654 p. [in Russian]

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.103.2.003>

**ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
В ЭКОСИСТЕМЕ КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА**

Научная статья

Бабешко В.Н.*

ORCID: 0000-0003-2811-5013,

Новосибирский государственный университет экономики и управления «НИНХ», Новосибирск, Россия

* Корреспондирующий автор (vnb67[at]mail.ru)

Аннотация

Инфраструктура информационных объектов в последнее время все шире внедряется в повседневную жизнь в виде комплекса «умных» устройств, являясь технологией и средством решения конкретных проблем. Человеческая жизнь самый дорогой ресурс, и сегодня появилась возможность автоматизировать большинство процессов, сделать так, чтобы технологии следили за нашей безопасностью и благополучием. Не смотря на декларируемую важность и наличие положительной динамики, существует ряд объективных и субъективных проблем в развитии данного направления. В статье представлена аргументация по некоторым популярным вопросам, связанным с указанной тематикой. Приведено краткое описание готового проекта и его влияния на типовой объект коммунального хозяйства.

Ключевые слова: инфраструктура, система, технология, устройство.

**POTENTIAL WAYS OF APPLYING INFORMATION TECHNOLOGIES IN THE ECOSYSTEM
OF MUNICIPAL ENGINEERING**

Research article

Babeshko V.N.*

ORCID: 0000-0003-2811-5013,

Novosibirsk State University of Economics and Management, Novosibirsk, Russia

* Corresponding author (vnb67[at]mail.ru)

Abstract

The infrastructure of information objects has recently been increasingly introduced into everyday life in the form of a complex of "smart" devices as means of solving specific problems. Human life is the most expensive resource, and today it is possible to automate most processes, to ensure that technology monitors our safety and well-being. Despite the declared importance and the presence of positive trends, there are a number of objective and subjective problems in following this development trajectory. The article presents arguments on some popular issues related to this topic and provides a brief description of the finished project and its impact on a typical urban facility.

Keywords: infrastructure, system, technology, device.

Введение

В России информационные технологии выделены как одно из направлений программы «Цифровая экономика». В ней используются такие определения, как: большие данные; искусственный интеллект; системы распределенного реестра; технологии беспроводной связи; технологии виртуальной и дополненной реальности. Планируется внедрение цифровых платформ работы с данными для обеспечения потребностей власти, бизнеса и граждан; создание эффективной системы сбора, обработки, хранения и предоставления потребителям пространственных данных, обеспечивающей потребности государства, бизнеса и граждан в актуальной и достоверной информации о пространственных объектах [1].

Эти технологии позволяют жить комфортно, безопасно, эффективно работать, заниматься бизнесом, получать все услуги, которые помогут сделать среду обитания чище, лучше и удобнее для жизни. Киберфизические и кибербиологические системы развиваются крайне динамично, создавая Интернет вещей (IoT - Internet of Things), соединяя кибернетический, физический и биологический миры. IoT представляет собой класс устройств, которые могут контролировать окружающую их среду, сообщая о своем положении, получать команды и функционировать, используя полученные данные [2]. Известные крупные компании намерены использовать технологии «интернета вещей» в ближайшем будущем - в следующем году такие проекты запустят 30%, в течение двух лет - более 25%, а в срок от 2 до 5-ти лет - еще 15%. Не планируют использовать «интернет вещей» в долгосрочной перспективе только 5%, а 10% - со своими планами пока не определились. Во внедрении IoT технологий лидируют Латинская Америка и Азия: в Латинской Америке - 30%, в ближайший год в Азии планируют запустить подобные проекты 51% опрошенных, в Европе - 14%, в Северной Америке - 20% [3].

Постановка задач

«Новые технологии и «умный дом» — это очень хорошо, но действительно ли он мне необходим?» - самая распространенная реакция на предложение подумать над установкой такой системы. Комплектующие от различных производителей, противоречия между дизайнерами и строителями, большое количество мифов, много инсталляций 2000 годов, когда технология была недостаточно отработана, высокий порог входа, при установке на этапе проектирования возможна утрата актуальности под определенный протокол-сценарий с течением времени. Эти и другие распространенные вопросы значительно влияют на темпы перехода на новые технологии и степень массовости

их применения. Как донести до пользователей, кроме уже мотивированных технологических гиков, возможности и актуальность строительства умных домов и модернизации уже существующих?

Изначально наша сфера обитания не была насыщена электронными системами, все началось с освещения: одна лампочка один выключатель – первая концепция такого рода решений. Современная цивилизация пошла по пути быстрого технического развития, и многие блага цивилизации связаны с техникой, электрическими и электронными приборами. Актуальным и важным применением IoT-технологий является их использование по отношению к системам типа «Умный дом».

Развитие производственной индустрии электронных компонентов привело к снижению их стоимости при разработке и применения, что позволило значительно расширить область их экономически обоснованного использования. Оборудованием таких вычислительных сетей являются практически любые современные устройства. Существует много областей, где беспроводные вычислительные сети с IoT устройствами занимают одно из лидирующих положений из-за своих функциональных возможностей — это системы интеллектуализации производства, системы мониторинга объектов, экосистемы жилищно-коммунального хозяйства.

Современное оборудование становится все более доступным, и мы получаем возможность использовать такой его вариант, который будет более комфортен в различных сценариях или отвечать некоторым другим запросам. Но и в этой ситуации его можно не включать, не регулировать и не настраивать. Получив такую систему, мы просто перестаем ею пользоваться, считая такие процессы или достаточно утомительными или требующими технических навыков, концентрации, но тогда возможно ли считать оправданным приобретение и установку подобного оборудования.

Современный подход дает возможность оставить только плюсы от использования техники и полностью исключить или минимизировать свое участие в обеспечении ее функционирования. Домашняя автоматика в жилищно-коммунальном хозяйстве появилась именно благодаря такой постановке вопроса. При этом каждая единица оборудования является уникальным идентифицируемым объектом способным взаимодействовать в рамках существующей инфраструктуры сетей [4].

Умный дом — это комплексное решение, направленное на повышение качества жизни и ее безопасности за счет массового применения автоматизированных технических систем. Концептуальным следствием такого подхода является то, что дистанционное управление оборудованием не является целью реализации «умного дома», хотя может быть компонентом набора решений. Степень «ума» таких автоматизированных систем определяется не способом управления, а его необходимостью вообще. Автоматизация, в этом случае, является скоординированной работой контролируемых систем, которая направлена на повышение уровня экономии, комфорта и безопасности проживания. Установка правил для комфортного освещения или температуры в различных ситуациях, сценариев безопасности и контроля доступа - участие человека должно быть минимальным и ограничиваться указанием предпочтений. Появляется возможность при росте объема информационных технологий повышать возможности технических систем, а не собственные трудозатраты на управление.

Кроме того, систему «умный дом» обычно дополняют средствами мониторинга среды, и сбора информации с различных датчиков, что позволяет оперативно детектировать и локализовать потенциальные угрозы, как для жильцов: температура, задымление, качество воздуха, не санкционированное проникновение, так и для собственных систем – перебои электропитания, нештатный режим систем отопления, и др. Гибкое управление системами позволяет существенно экономить ресурсы и энергетические затраты, например, за счет перевода отопления в более экономичный режим в период отсутствия жильцов. Проводимые, после реализации «умного дома», измерения показали существенное уменьшение потребления электрической и тепловой энергии для бытовых нужд до 60% (по сравнению с обыкновенными домами). «Умный дом» не только может выполнять заложенные сценарии, но и предсказывает их, обладая развитым программным обеспечением.

Проблемные аспекты реализации

Реализация умного дома в концепции интернета вещей с помощью централизованных технологий весьма трудоемка, трудно масштабируема и практически абсолютно небезопасна. Это является существенным препятствием на пути массового использования технологии. Распределенный реестр может быть использован в интернете вещей для решения этих проблем. Сегодня мир переходит от централизованной модели, в центре которой находится сервер, облако - к децентрализованной, когда все участники взаимодействия, умные вещи, компоненты умного дома, будут связаны между собой. Распределенная архитектура блокчейна обеспечивает высокую степень безопасности, и даже если часть компьютеров сети будет взломана, то это не повредит работе всей системы в целом. Возможности применения технологии распределенного реестра в IoT достаточно перспективны, а потому сочетание этих двух технологий потенциально может иметь большой синергетический эффект [5]. Интересное и перспективное направление, которое развивается, не достаточно быстро, особенно это относится именно к внедрению подобных систем. Для интеллектуальных зданий характерно объединение всех систем здания в единую сеть, хотя при этом многие из систем могут сохранять свою автономность. Существующая проблема больших задержек в беспроводных сенсорных сетях связана, в первую очередь, с низкой пропускной способностью сетевых стандартов. Приоритетным направлением технологии IoT является высокая энергоэффективность и как следствие - невысокая пропускная способность. Большая часть протоколов беспроводных сенсорных сетей не обладают прозрачной совместимостью с сетями TCP/IP и друг с другом. TCP/IP достаточно сложен в реализации, из-за чего многие производители оборудования не имеют подобных массовых решений. Из-за отсутствия стандартов на протоколы для беспроводных сенсорных сетей каждый производитель стремится выпустить свой собственный стек протоколов, что приводит к отсутствию совместимости с устройствами других производителей. На сегодняшний день существует недостаточное количество единых стандартов и универсальных решений для вычислений на узлах и связи их между собой, для каждого вида оборудования используется свой собственный протокол [6]. Использованию стандартизированных приборов мешает отсутствие отдельных позиций в линейках у производителей.

Сервер получает данные и управляет, взаимодействует с контроллерами [7]. Контроллеры могут быть достаточно сложными и брать на себя часть работы по управлению. Такой подход называют децентрализованным или гибридным, в отличие от того, когда центральный узел принимает практически все задачи по обслуживанию выходных компонентов сети [8]. Если УД строится на одной из ЭКО-систем, то поставщиками предусмотрен набор решений с совместимыми контроллерами. В случае использования гибридных систем выбор гораздо шире [9]. Можно исходить из соображений цены и технических возможностей.

«Новые технологии и «умный дом», это очень хорошо, но действительно ли он мне необходим?» На самом деле умный дом обычно стоит 5% от суммы ремонта. И если можно ежедневно экономить время на рутинных домашних операциях, быть спокойным за здоровье близких, быть уверенным, что в доме или квартире, в которые вложены финансовые средства - все хорошо, и в итоге получить иной уровень жизни, то ответ на вопрос очевиден.

Результаты внедрения проекта

Разработанный и внедренный проект представляет собой решение начального уровня. Основные использованные функциональные устройства: одноплатный ПК (Raspberry pi 3 b+), 2 видеокamеры (OV5647), 2 датчика температуры и давления (GY-BMP280-3.3 i2c), датчик воды и пара (HC-SR501), 2 датчика движения (PIR HC-Sr501). Связь датчиков и одноплатного компьютера - проводная, ПК - роутер - WiFi. Способ донесения информации до конечного пользователя - электронная почта. Примерная общая стоимость оборудования, разработки ПО [10] и монтажа составила 25 тысяч рублей.

Представленный набор позволил реализовать все необходимые сценарии использования в системе «умный дом». Кроме того, в период эксплуатации в зимний сезон 2020 года были зафиксированы и предотвращены два инцидента связанные с протечкой воды и прекращением подачи газа. Их вероятные последствия в ценовом выражении не сопоставимы со стоимостью системы.

Заключение

Открытые инновации, интеллектуальные платформы, возможность адаптивной модернизации в отличие от развитой системы автоматизации процессов управления. С дальнейшим развитием Интернета вещей и технологии блокчейн различные сферы жизни, и, в частности, предметы быта умных домов, станут еще более взаимосвязанными. Крайне актуально, чтобы пересечение этих новых технологий было жизнеспособным, экономически целесообразным и действительно полезным конечному пользователю. На сегодняшний день в США умными являются лишь 6% домов, в России - всего 1,5%, а в Беларуси - менее 1%, эти технологии постепенно набирают популярность и к 2022 году в России прогнозируется рост количества «умных» домов до 8,5%. Интерес к умным домам растет, количество реализованных проектов увеличивается.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации». – [Электронный ресурс]. – URL: <https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/858/> (дата обращения 14.01.2021)
2. Упоров Е.И. Концепция интернета вещей как базовая идея создания «умного дома» / Е.И. Упоров, Ю.С. Белов // Международный студенческий научный вестник. 2018. С. 71-72.
3. Бабешко В.Н. Блокчейн в гетерогенных сетевых системах / В.Н. Бабешко // Новые информационные технологии в науке: сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции. 2017. С. 9-10.
4. Ефимов М.М. Интернет вещей: перспективы адаптивных систем / М.М. Ефимов, Р.В. Киричек // Информационные технологии и телекоммуникации. 2020. С. 55-66.
5. Бабешко В.Н. Многопроцессорные системы в туманных вычислительных сетях / В.Н. Бабешко // Инновации, качество и сервис в технике и технологиях: материалы 4-ой Международной научно-практической конф. в 3-х томах. 2014. С. 62-64.
6. Медведева В.А. Современные вычислительные сети с использованием туманных технологий / В.А. Медведева, А.С. Осипенко, В.Н. Бабешко // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: материалы XII-ой международной научно-практической конференции. 2015. С. 76-79.
7. Бабешко В.Н. Информационно-вычислительные системы в гетерогенных микропроцессорных распределенных сетевых инфраструктурах / В.Н. Бабешко // Мы продолжаем традиции Российской статистики. 2015. С. 306-307.
8. Бабешко В.Н. Информационные компоненты современных вычислительных комплексов / В.Н. Бабешко, С.В. Бабешко // Молодежь и системная модернизация страны: сборник научных статей международной Научной конференции студентов и молодых ученых: в 2-х томах. 2016. С. 13-16.
9. Бабешко В.Н. Глобальные гетерогенные вычислительные системы / В.Н. Бабешко // Инновационные исследования: проблемы внедрения результатов и направления развития: сборник статей международной научно-практической конференции: в 2 частях. 2017. С. 15-17.
10. Зеленина М.Г. Программные компоненты многопроцессорных устройств / М.Г. Зеленина, Е.Н. Панова, В.Н. Бабешко // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: сборник научных трудов XII-ой международной научно-технической конференции. 2015. С. 132-135.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Programma «Cifrovaja jekonomika Rossijskoj Federacii» [Program "Digital Economy of the Russian Federation"]. – [Electronic resource] – URL: <https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/858/> (accessed 14.01.2021) [in Russian]
2. Uporov E.I. Konceptija interneta veshhej kak bazovaja ideja sozdanija «umnogo doma» [The concept of the Internet of things as the basic idea of creating a "smart home"] / E.I. Uporov, Ju.S. Belov // Mezhdunarodnyj studencheskij nauchnyj vestnik [International student scientific bulletin]. 2018. P. 71-72. [in Russian]
3. Babeshko V.N. Blokchejn v geterogennyh setevyh sistemah [Blockchain in heterogeneous network systems] / V.N. Babeshko // Novye informacionnye tehnologii v nauke: sbornik statej po itogam Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii [New information technologies in science: a collection of articles on the results of the International Scientific and Practical Conference]. 2017. P. 9-10. [in Russian]
4. Efimov M.M. Internet veshhej: perspektivy adaptivnyh sistem [Internet of Things: Perspectives of Adaptive Systems] / M.M. Efimov, R.V. Kirichek // Informacionnye tehnologii i telekommunikacii [Information Technologies and Telecommunications]. 2020. P. 55-66. [in Russian]
5. Babeshko V.N. Mnogoprocessornye sistemy v tumannyh vychislitel'nyh setjah [Multiprocessor systems in foggy computing networks] / V.N. Babeshko // Innovacii, kachestvo i servis v tehnike i tehnologijah: materialy 4-oj Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konf. [Innovations, quality and service in engineering and technology: materials of the 4th International scientific-practical conference]. 2014. P. 62-64. [in Russian]
6. Medvedeva V.A. Sovremennye vychislitel'nye seti s ispol'zovaniem tumannyh tehnologij [Modern computer networks using foggy technologies] / V.A. Medvedeva, A.S. Osipenko, V.N. Babeshko // Sovremennye instrumental'nye sistemy, informacionnye tehnologii i innovacii: materialy XII-oj mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii [Modern instrumental systems, information technologies and innovations: materials of the XIIth international. scientific and practical conference]. 2015. P. 76-79. [in Russian]
7. Babeshko V.N. Informacionno-vychislitel'nye sistemy v geterogennyh mikroprocessornyh raspredelennyh setevyh infrastrukturah [Information and computing systems in heterogeneous microprocessor-based distributed network infrastructures] / V.N. Babeshko // My prodolzhaem tradicii Rossijskoj statistiki [We continue the traditions of Russian statistics]. 2015. P. 306-307. [in Russian]
8. Babeshko V.N. Informacionnye komponenty sovremennyh vychislitel'nyh kompleksov [Information components of modern computing systems] / V.N. Babeshko, S.V. Babeshko // Molodezh' i sistemnaja modernizacija strany: sbornik nauchnyh statej mezhdunarodnoj Nauchnoj konferencii studentov i molodyh uchenykh [Youth and systemic modernization of the country: collection of scientific articles of the international Scientific conference of students and young scientists]: in 2 volumes: 2016. P. 13-16. [in Russian]
9. Babeshko V.N. Global'nye geterogennye vychislitel'nye sistemy [Global heterogeneous computing systems] / V.N. Babeshko // Innovacionnye issledovanija: problemy vnedrenija rezul'tatov i napravlenija razvitija: sbornik statej mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii [Innovative research: problems of implementing the results and directions of development: collection of articles of the international scientific and practical conference]: in 2 parts 2017. P. 15-17. [in Russian]
10. Zelenina M.G. Programmnye komponenty mnogoprocessornyh ustrojstv [Software components of multiprocessor devices] / M.G. Zelenina, E.N. Panova, V.N. Babeshko // Sovremennye instrumental'nye sistemy, informacionnye tehnologii i innovacii: sbornik nauchnyh trudov XII-oj mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii [Modern instrumental systems, information technologies and innovations: collection of scientific works of the XII-th international scientific and technical conference]: in 4 volumes: 2015. P. 132-135. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.103.2.004>**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ СОПОСТАВЛЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ 20-600°C**

Научная статья

Егорова Ю.Б.¹, Давыденко Л.В.^{2,*}, Каратаева Е.С.³, Сидоркова М.М.⁴^{1, 3, 4} Ступинский филиал Московского авиационного института, Ступино, Россия;² Московский политехнический университет, Москва, Россия

* Корреспондирующий автор (mami-davidenko[at]mail.ru)

Аннотация

Проведено сопоставление временного сопротивления разрыву титановых сплавов на основе кластерного анализа, который позволил выделить 8 групп сплавов с приблизительно одинаковой интенсивностью снижения прочности в интервале температур 20-600°C. Предложены модели, позволяющие провести прогнозирование предела прочности сплавов разных классов при различной температуре эксплуатации, если известно значение предела прочности отожженного полуфабриката при комнатной температуре.

Ключевые слова: титановые сплавы, прочностные свойства, температура испытания, статистические исследования, прогнозирование свойств.

USING CLUSTER ANALYSIS METHODS TO COMPARE THE STRENGTH PROPERTIES OF TITANIUM ALLOYS AT 20-600 ° C

Research article

Yegorova Yu.B.¹, Davydenko L.V.^{2,*}, Karataeva E.S.³, Sidorkova M.M.⁴^{1, 3, 4} Stupino branch of the Moscow Aviation Institute, Moscow Stupino, Russia;² Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia

* Corresponding author (mami-davidenko[at]mail.ru)

Abstract

The current article makes a comparison of the tensile strength of titanium alloys on the basis of cluster analysis, which allowed for identifying 8 groups of alloys with approximately the same intensity of strength reduction in the temperature range of 20-600°C. The study proposes models that allow for predicting the rupture resistance of alloys of different classes at different operating temperatures if the value of the rupture resistance of the annealed semi-fabricated products at room temperature is known.

Keywords: titanium alloys, strength properties, test temperature, statistical studies, prediction of properties.

Введение

Титановые сплавы относятся к материалам, предназначенным для длительной эксплуатации при достаточно высоких температурах. К настоящему времени в РФ разработано более 50 марок титановых сплавов [1], [4], [5], которые используют при различных температурах в зависимости от химического состава и уровня механических свойств. Конструкционные сплавы применяют до температур 300-450°C, в то время как жаропрочные – до 500-600°C (кратковременно до 650°C). Жаропрочные сплавы разрабатывают преимущественно на основе α-фазы с небольшим количеством β-фазы (≤10%), поэтому по фазовому составу они относятся к псевдо α- и α+β-классам. Основные принципы легирования жаропрочных сплавов сводятся к следующим положениям [1], [3]: сплавы должны содержать максимально возможное содержание α-стабилизаторов (Al) и нейтральных упрочнителей (Sn, Zr), но не приводящее к образованию α₂-фазы; их целесообразно дополнительно легировать тугоплавкими изоморфными β-стабилизаторами (Mo, W) и небольшими количествами эвтектидных стабилизаторов (Cr, Fe); для дополнительного повышения жаропрочности применяется микролегирование кремнием и углеродом.

О возможности работы титановых сплавов при повышенных температурах можно судить, прежде всего, по зависимости кратковременных прочностных свойств от температуры. Цель настоящей работы состояла в сопоставлении предела прочности промышленных полуфабрикатов из титановых сплавов разных классов при температурах 20÷600°C.

Объекты и методы исследования

В работе были исследованы температурные зависимости предела прочности прутков и листов из 30 серийных и опытных титановых сплавов, разработанных в ВИАМ (Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов). Исходными данными послужили сведения, приведенные в справочниках, монографиях, статьях и различной нормативной документации [1], [12]. Из статей преимущество отдавалось публикациям ВИАМ, размещенным на его официальном сайте [8]. Статистическую обработку проводили с помощью ППП Statistica. Для сопоставления сплавов были использованы методы кластерного и корреляционно-регрессионного анализа при доверительной вероятности 0,95.

Основные результаты

Для зависимости прочностных свойств от температуры обычно применяют экспоненциальный закон, предложенный Курнаковым Н.С. [7]:

$$\sigma_B = \sigma_0 e^{-bT} \quad (1)$$

где σ_0 – свободный член, характеризующий сопротивление деформации, экстраполированное до 0 К; b – температурный коэффициент. Для каждого сплава на основе обобщения различных литературных данных был проведен регрессионный анализ предела прочности прутков и листов с использованием экспоненциальной зависимости (1) и полинома 3 степени:

$$\sigma_B = b_0 + b_1 \cdot t + b_2 \cdot t^2 + b_3 \cdot t^3, \text{ МПа} \quad (2)$$

После этого было проведено статистическое сравнение реальных и регрессионных значений предела прочности, которое показало, что соотношение (1) справедливо только в довольно узком интервале температур $\sim 100\div 400^\circ\text{C}$. При температурах $20\div 600^\circ\text{C}$ для большинства сплавов наилучшее приближение дает полином 3 степени (Таблица 1).

Сопоставление сплавов по уровню прочности осложняется тем, что в разных температурных интервалах степень разупрочнения сплавов неодинакова. Поэтому было проведено сопоставление не абсолютных значений предела прочности (в МПа), а относительных, выраженных в процентах по сравнению с комнатной температурой. Метод кластерного анализа позволил выделить 8 групп сплавов с приблизительно одинаковой интенсивностью снижения предела прочности с повышением температуры (табл. 1). Для каждой группы были исследованы регрессионные зависимости предела прочности (в %) от температуры испытания. Из нескольких моделей (линейная, экспоненциальная, параболическая, полиномиальная 3-й степени) был выбран полином 3-й степени, имеющий наиболее высокие формальные характеристики (коэффициент корреляции 0,99; минимальная ошибка модели 1,0-2,5%):

$$\sigma_B = 100 + b_1 \cdot (t - 20) + b_2 \cdot (t - 20)^2 + b_3 \cdot (t - 20)^3, \% \quad (3)$$

Таблица 1 – Предел прочности титановых сплавов при различных температурах

№ пп	Сплав	Вид полуфабриката	σ_B^* , МПа, при температуре, $^\circ\text{C}$						
			20	100	200	300	400	500	600
1	BT1-00	Л, Пр	369	292	219	166	131	110	101
2	BT1-0	Л, Пр	485	379	278	205	155	122	99
3	BT5	Пр	774	671	577	513	467	428	386
4	BT5-1	Л, Пр	875	774	675	596	531	471	407
5	BT18	Пр	1110	1030	978	941	907	854	765
6	AT2	Пр	730	578	469	420	398	-	-
7	BT18Y	Пр	1025	912	828	783	752	711	634
8	OT4-0	Л, Пр	561	482	400	333	276	224	172
9	BT20	Л, Пр	1010	875	793	766	738	654	456
10	AT3	Л	795	694	616	571	534	481	330
11	AT4	Л	914	800	707	644	580	480	336
12	BT41	Пр	1122	1007	936	908	882	820	679
13	OT4-1	Л	697	567	460	392	341	283	196
14	OT4	Л, Пр	824	692	596	547	506	438	306
15	BT4	Л	926	795	702	655	614	541	397
16	BT25	Пр	1106	1060	1020	985	932	843	700
17	BT6C	Л, Пр	864	756	659	593	546	503	420
18	BT9	Пр	1150	1070	999	950	901	826	704
19	BT6	Пр	977	900	815	737	659	597	483
20	BT36	Пр	1084	1020	952	890	825	750	650
21	BT8	Пр	1104	1023	956	906	854	777	654
22	BT46	Пр	1200	1130	1072	1025	963	864	703
23	BT14	Л, Пр	990	915	837	766	700	600	450
24	BT25Y	Пр	1165	1075	1010	966	920	844	710
25	BT3-1	Пр	1063	960	882	832	779	690	534
26	BT23	Л, Пр	1082	971	887	832	769	664	500
27	BT16	Пр	902	797	707	640	576	491	363
28	BT22	Пр	1175	1075	989	920	846	750	613
29	BT15	Пр	905	830	765	714	662	590	482
30	4201	Л, Пр	887	769	689	645	609	532	378

Примечание: полуфабрикат: Л – лист, Пр – прутки; * – указаны значения, полученные на основе соотношения (2).

Коэффициенты регрессии b_1 , b_2 , b_3 приведены в табл. 2. Соотношение (3) позволяет проводить прогнозирование предела прочности отожженных листов и прутков при различной температуре испытания, если известно значение предела прочности при комнатной температуре.

В наибольшей степени предел прочности падает с повышением температуры для технического титана, входящего в кластер 1. Наименьшая интенсивность снижения предела прочности, как и следовало ожидать, наблюдается для кластера 8, в который входят высокожаропрочные псевдо α -сплавы BT18, BT18Y, BT41. При 300°C сплавы этой группы

сохраняют до ~90% предела прочности, характерного для комнатной температуры, в то время как технический титан до ~45%. При температуре 500°C предел прочности составляет 77 и 28% по отношению к комнатной температуре соответственно для сплавов 1 и 8 кластеров.

Таблица 2 – Характеристики полиномиальной модели 3-й степени (3) для оценки предела прочности (%) прутков и листов титановых сплавов в зависимости от температуры 20-600°C (отжиг по стандартным режимам)

№ кластера	Сплав	b ₁	b ₂	b ₃	R	S, %
1	BT1-00; BT1-0	-0,3011	0,00042	-2,135·10 ⁻⁷	0,98	2,3
2	AT2; OT4-0; OT4-1	-0,2612	0,00053	-4,966·10 ⁻⁷	0,99	2,2
3	AT3; AT4; OT4; BT4; BT16; 4201	-0,2100	0,00055	-6,364·10 ⁻⁷	0,98	2,6
4	BT5; BT5-1; BT6C	-0,1750	0,00027	-2,019·10 ⁻⁷	0,99	1,4
5	BT6; BT14; BT15; BT23; BT22	-0,1290	0,00026	-3,326·10 ⁻⁷	0,99	1,3
6	BT20; BT3-1	-0,1320	0,00030	-3,737·10 ⁻⁷	0,99	0,8
7	BT8; BT9; BT36; BT46; BT25Y; BT25	-0,0994	0,00022	-2,859·10 ⁻⁷	0,99	1,0
8	BT18; BT18Y; BT41	-0,0832	0,00021	-2,852·10 ⁻⁷	0,99	1,9

Примечание: R – коэффициент корреляции, S – статистическая ошибка модели.

Внутри каждого кластера предел прочности титановых сплавов может изменяться в довольно широких пределах в зависимости от химического состава. Так, например, в пятом кластере, в который входят конструкционные α+β- и β-сплавы предел прочности при комнатной температуре изменяется от 900 до 1200 МПа, при 500°C – от 600 до 750 МПа, при 600°C - от 450 до 600 МПа. При температурах до 500°C по повышению предела прочности их можно расположить в следующем порядке: BT15 → BT6 → BT14 → BT23 → BT22. Высоколегированные жаропрочные псевдо α- и α+β-сплавы с большим содержанием алюминия обладают значительной прочностью при довольно высоких температурах (7 и 8 кластеры). Для жаропрочных α+β-сплавов (7 кластер) предел прочности возрастает в следующей последовательности: BT8, BT36 → BT9, BT25Y → BT25 → BT46. По уровню возрастания прочности жаропрочные псевдо α-сплавы (8 кластер) можно расположить в следующий ряд: BT18Y → BT41 → BT18.

Необходимо отметить, что сплавы BT18 и BT25 не нашли широкого применения из-за низкой технологичности. В начале 70-х годов были разработаны их модификации - сплавы BT18Y и BT25Y [4], [5]. Из серийных титановых сплавов наиболее высокопрочными и жаропрочными по совокупности служебных характеристик в настоящее время считаются сплавы BT25Y при 550°C и BT18Y при 600°C [9], [11], [12]. Новые жаропрочные сплавы BT41 и BT46 находятся на стадии промышленного освоения [9], [11], [12].

Заключение

1. Проведено сопоставление предела прочности разных сплавов на основе кластерного анализа, который позволил выделить 8 групп сплавов с приблизительно одинаковой интенсивностью снижения предела прочности с повышением температуры испытания в интервале 20-600°C.

2. Предложены регрессионные модели, позволяющие провести оценку (с доверительной вероятностью 0,95) прогнозируемого уровня предела прочности листов и прутков сплавов разных классов при температуре эксплуатации, если известно значение предела прочности отожженного полуфабриката при комнатной температуре.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

- Ильин А.А. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства. Справочник / А.А.Ильин, Б.А.Колачев, И.С.Полькин. -М.: ВИС – МАТИ, 2009.- 520 с.
- Глазунов С.Г. Конструкционные титановые сплавы / С.Г.Глазунов, В.Н. Моисеев. -М.: Металлургия, 1974. - 368 с.
- Солонина О.П. Жаропрочные титановые сплавы / О.П.Солонина, С.Г.Глазунов.- М.: Металлургия, 1976. - 448 с.
- Авиационные материалы. Справочник в 9 т. Т.5 Магниево- и титановые сплавы / под общ.ред. А.Т.Туманова. - М.: ОНТИ, 1973. - 560 с.
- Авиационные материалы: Справочник в 12 т. Т.6 Титановые сплавы / под общ.ред. Е.Н. Каблова. - М.: ВИАМ, 2010. - 96 с.
- Моисеев В.Н. Сварные соединения титановых сплавов / В.Н.Моисеев, Ф.Р.Куликов, Ю.Г.Кириллов и др.- М.: Металлургия, 1979. - 248 с.
- Микляев П.Г. Механические свойства легких сплавов при температурах и скоростях обработки давлением /П.Г. Микляев.- М: Металлургия, 1994. - 280 с.
- Сайт ВИАМ. – [Электронный ресурс] . – URL: <http://viam-works.ru/ru/articles> (дата обращения 12.01.2021)
- Каблов Е.Н. Разработка опытно-промышленной технологии изготовления полуфабрикатов из псевдо-α титанового сплава BT41 / Е.Н.Каблов, О.С.Кашапов, Т.В.Павлова, Н.А.Ночовная // Титан.– 2016. - №2. -С. 33-38.

10. Беляев М.С. Механические свойства и структура титанового сплава BT41 / М.С.Беляев, М.А.Горбовец, О.С.Кашапов, И.А. Ходинев // Цветные металлы. – 2014. - №8. -С. 66-71.
11. Кашапов О.С. Повышение прочностных характеристик жаропрочных псевдо- α -титановых сплавов / О.С.Кашапов, Т.В.Павлова, А.Р. Истракова, В.С. Калашников.// Авиационные материалы и технологии. – 2014. - № S5. -С. 73-80.
12. Павлова Т.В. Титановые сплавы для газотурбинных двигателей /Т.В.Павлова, О.С.Кашапов, Н.А.Ночовная // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2012. - №5. - С. 8-14.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Il'in A.A. Titanovye splavy. Sostav, struktura, svoystva. Spravochnik [Composition, structure, properties. Guide] / A.A. Il'in, B.A. Kolachev, I.S. Pol'kin. - M.: VILS – MATI, 2009.- 520 p.[in Russian]
2. Glazunov S.G. Konstrukcionnye titanovye splavy [Structural titanium alloys] / S.G. Glazunov, V.N. Moiseev. - M.: Metallurgiya, 1974. - 368 p.[in Russian]
3. Solonina O.P. Zharoprochnye titanovye splavy [Heat-resistant titanium alloys] / O.P. Solonina, S.G. Glazunov. - M.: Metallurgiya, 1976. - 448 p.[in Russian]
4. Aviacionnye materialy. Spravochnik. Magniye i titanovye splavy [Aviation materials. Reference book in 9 vols. Vol. 5 Magnesium and titanium alloys] / ed. A.T.Tumanova. - M.: ONTI, 1973. - 560 p.[in Russian]
5. Aviacionnye materialy: Spravochnik. Titanovye splavy [Aviation materials: Handbook in 12 vols. Vol. 6 Titanium alloys] / ed. E.N. Kablova. - M.: VIAM, 2010. - 96 p.[in Russian]
6. Moiseev V.N. Svarnye soedineniya titanovykh spлавov [Welded joints of titanium alloys] / V.N. Moiseev, F.R. Kulikov, Yu.G. Kirillov et al. - M.: Metallurgiya, 1979. - 248 p.[in Russian]
7. Miklyaev P.G. Mekhanicheskie svoystva legkikh spлавov pri temperaturah i skorostyah obrabotki davleniem [Mechanical properties of light alloys at temperatures and pressure treatment rates] / P.G. Miklyaev. - M: Metallurgiya, 1994. - 280 p. [in Russian]
8. Sajt VIAM. – [Electronic resource]. – URL: <http://viam-works.ru/ru/articles> (accessed 12.01.2021) [in Russian]
9. Kablov E.N. Razrabotka opytно-promyshlennoj tekhnologii izgotovleniya polufabrikatov iz psevdо- α -титанового сплава VT41 [Development of pilot-industrial technology for manufacturing semi-finished products from pseudo- α titanium alloy VT41] / E.N. Kablov, O.S. Khashapov, T.V. Pavlova, N.A. Nochovnaya. // Titan [Titanium]. – 2016. - №2. - P. 33-38.[in Russian]
10. Belyaev M.S. Mekhanicheskie svoystva i struktura titanovogo сплава VT41 [Mechanical properties and structure of VT41 titanium alloy] / M.S. Belyaev, M.A. Gorbovec, O.S. Khashapov, I.A. Hodinev // Cvetnye metally [Nonferrous metal]. – 2014. - №8. - P. 66-71.[in Russian]
11. Khashapov O.S. Povyshenie prochnostnykh harakteristik zharoprochnykh psevdо- α -титановых сплавов [Improving the strength characteristics of heat-resistant pseudo- α -titanium alloys] / O.S. Khashapov, T.V. Pavlova, A.R. Istrakova, V.S. Kalashnikov // Aviacionnye materialy i tekhnologii [Aviation materials and technologies]. – 2014. - № S5. - P. 73-80.[in Russian]
12. Pavlova T.V. Titanovye splavy dlya gazoturbinnnykh dvigatelej [Titanium alloys for gas turbine engines] / T.V. Pavlova, O.S. Khashapov, N.A. Nochovnaya // Vsematerialy. Enciklopedicheskij spravochnik [All material. Encyclopedic reference book]. – 2012. - №5. - P. 8-14.[in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.103.2.005>

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ РАБОТЫ ПАССАЖИРСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ VISUAL STUDIO

Научная статья

Журавлев А.А.^{1,*}, Аксенов К.А.², Шеклеин А.А.³

^{1, 2, 3} Уральский федеральный университет им. Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

* Корреспондирующий автор (SanyaProgrammer2503[at]gmail.com)

Аннотация

Пассажирские транспортные средства (ПТС) играют огромную роль в жизни современного человека, поскольку они помогают достаточно быстро и финансово выгодно добраться до места назначения. Однако значительное влияние на быстроту перемещения транспортного средства до места назначения оказывают пробки. Для того чтобы оценить влияние загруженности дорог на время перемещения пассажирских транспортных средств, в данной статье выполнены моделирование и анализ виртуальной пассажирской транспортной сети. Получены следующие результаты: среднее время, которое затрачивается исследуемым пассажирским транспортным средством в будние дни превосходит среднее время в соответствующие временные промежутки выходного дня. Результаты обуславливаются тем, что в выходные дни загруженность дорог ниже. Также установлена зависимость среднего времени прохождения маршрута от времени переключения светофора: время прохождения маршрута растет примерно с экспоненциальной скоростью при увеличении длительности переключения красного сигнала светофора и уменьшении времени переключения зеленого сигнала светофора.

Ключевые слова: моделирование, анализ, пассажирская транспортная сеть, Visual Studio.

SIMULATION AND ANALYSIS OF A PUBLIC TRANSPORT NETWORK VIA VISUAL STUDIO

Research article

Zhuravlev A.A.^{1,*}, Aksenov K.A.², Sheklein A.A.³

^{1, 2, 3} Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

* Corresponding author (SanyaProgrammer2503[at]gmail.com)

Abstract

Public transport plays a huge role in the life of a modern person because it helps get to the desired destination quickly and cheaply. However, traffic jams have a significant impact on the speed of transportation. The current article simulates and analyzes a virtual public network in order to assess the impact of traffic congestion on the travel time of public transport. The study obtains the following results: the average time spent by a public transport vehicle under study on weekdays exceeds the average time in the corresponding time intervals of the weekend. The results are due to the fact that traffic is lower on weekends. Also, the study establishes the dependence of the average time of completing a route from the time of switching of traffic lights: the route completion time grows approximately with the exponential rate with increasing duration of switching of the red light and reducing the duration of the green light.

Keywords: modeling, analysis, public transport network, Visual Studio

Введение

Пассажирские транспортные средства (ПТС) играют огромную роль в жизни современного человека, поскольку они помогают достаточно быстро и финансово выгодно добраться до места назначения.

Однако значительное влияние на быстроту перемещения транспортного средства до места назначения оказывают пробки. Чтобы оценить влияние загруженности дорог на перемещение ПТС необходимо выполнить моделирование и анализ работы некоторой пассажирской транспортной сети.

Цель статьи – разработать и проанализировать модель виртуальной транспортной сети, приведенной в разделе «Описание пассажирской транспортной сети» с помощью среды разработки Visual Studio.

В качестве материала исследования используется среда разработки Visual Studio.

В статье используется эмпирический метод исследования, поскольку основным источником результатов являются моделирование и анализ.

Описание пассажирской транспортной сети

Карта виртуального города (далее просто Город), для которого будет смоделирована работа пассажирской транспортной сети представлена на рисунке 1.

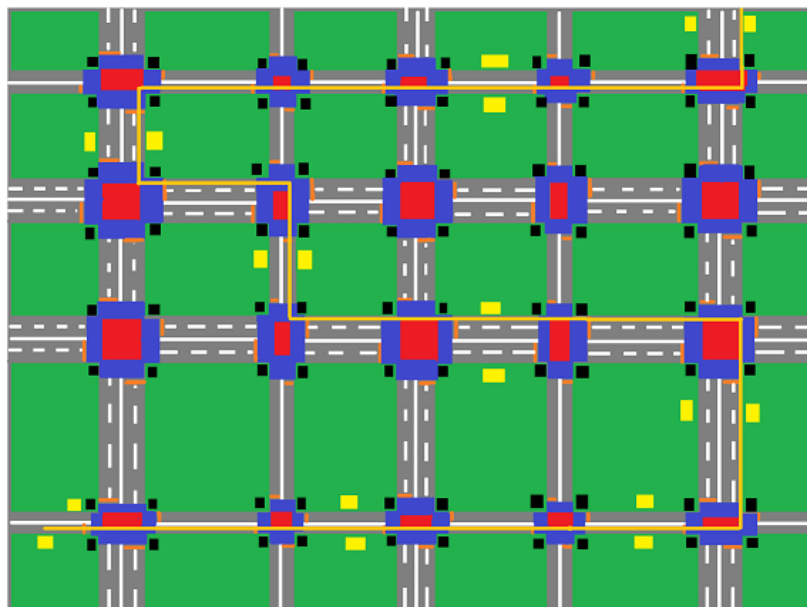


Рис. 1 – Карта Города:

серый – проезжая часть; *белый* – разделительная линия (пунктирная разделяет полосы одного направления движения, сплошная – разного направления); *красный* – перекресток; *синий* – пешеходный переход; *желтый* – остановка; *черный* – светофор; *зеленый* – жилая зона; *оранжевый* – стоп-линия; *золотистый* – маршрут исследуемого пассажирского транспортного средства

Обозначим исследуемое пассажирское транспортное средство как ПТС № 1.

Пассажирский транспорт работает с 6:00 до 23:00 в будние дни, и с 7:00 до 22:00 – в выходные дни. Средняя загруженность дорог Города в будние и выходные дни по 10-балльной шкале представлена в таблицах 1 [1].

Таблица 1 – Средняя загруженность дорог Города в будние и выходные дни

Период времени	Средняя загруженность дорог в будние дни, балл	Средняя загруженность дорог в выходные дни, балл
06:00-07:00	3	-
07:00-08:00	5	2
08:00-09:00	6	3
09:00-10:00	5	3
10:00-11:00	5	4
11:00-12:00	5	4
12:00-13:00	5	4
13:00-14:00	6	5
14:00-15:00	6	5
15:00-16:00	5	4
16:00-17:00	6	4
17:00-18:00	7	4
18:00-19:00	6	4
19:00-20:00	5	4
20:00-21:00	4	3
21:00-22:00	3	2
22:00-23:00	2	-

Блок-схема работы перекрестка представлена на рисунке 2 [2].

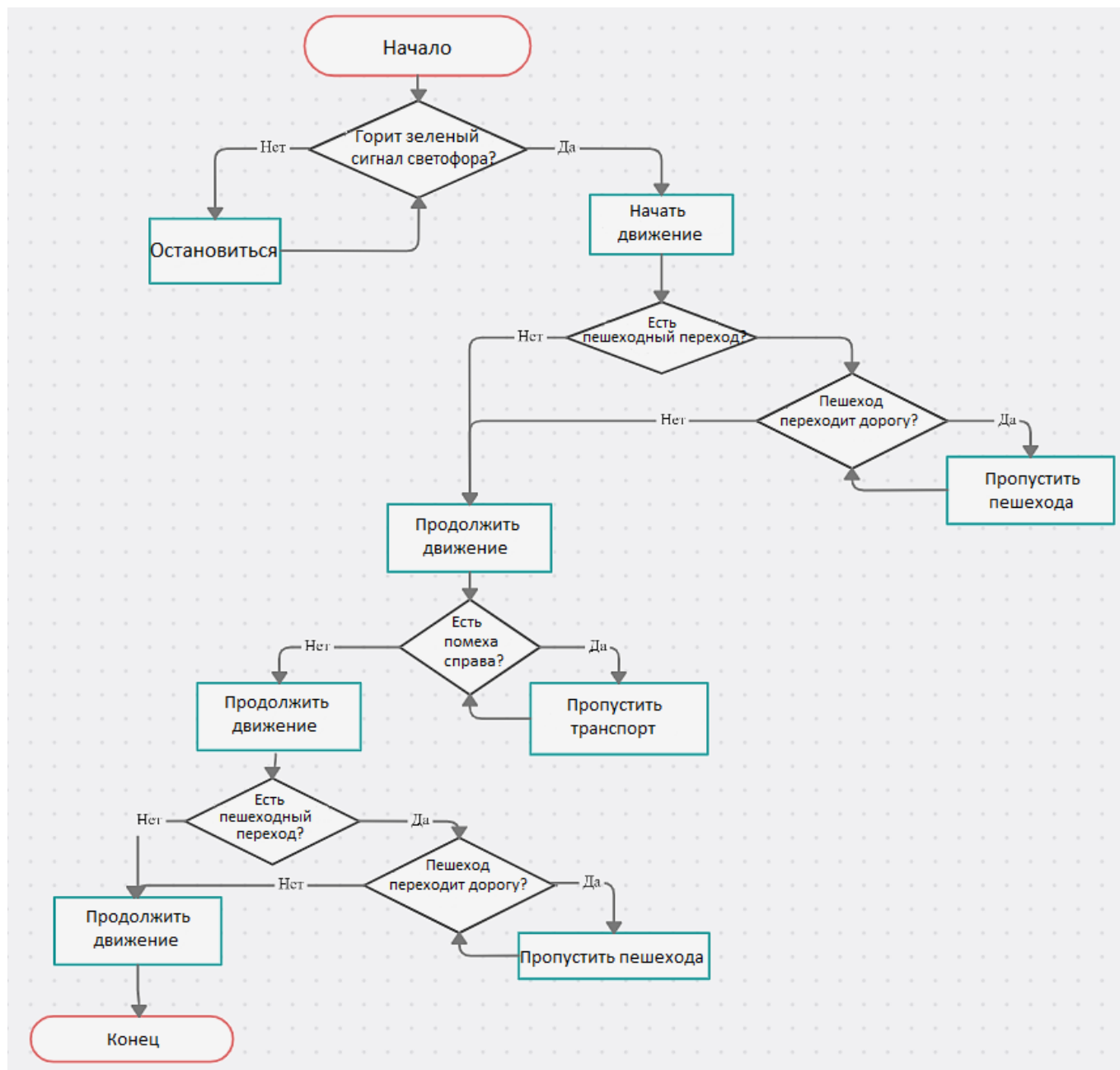


Рис. 2 – Блок-схема работы перекрестка

Задание

Смоделировать работу пассажирской транспортной сети в течение 30 дней (одного месяца). Для исследуемого транспортного средства (ПТС № 1) оценить среднее время перемещения из начальной точки маршрута в конечную за периоды времени, представленные в таблице 1 (в будние и выходные дни отдельно). Сравнить средние времена в соответствующие временные промежутки буднего и выходного дней. Построить график зависимости времени прохождения маршрута от средней длительности переключения светофора.

Разработка модели пассажирской транспортной сети

В качестве средств моделирования рассматривались системы имитационного моделирования AnyLogic [3], [4] и VPsim [11], [12], [13]. Для разработки модели пассажирской транспортной сети выбрана программа Visual Studio, язык программирования – C# [5], [6], [7].

Данная модель имеет следующие элементы:

1. Город – место, в котором происходит моделирование работы пассажирской транспортной сети.
2. Проезжая часть – область, по которой перемещаются транспортные средства.
3. ПТС (пассажирское транспортное средство) – главный участник моделирования.
4. Маршрут – путь, который проходит ПТС.
5. Разделительная линия.
6. Остановка.
7. Перекресток.
8. Светофор.
9. Стоп-линия.
10. Пешеход.

11. Пешеходный переход.
12. Автомобиль.
13. Жилая зона – неактивная область моделирования.

Элементы модели представлены соответствующими классами в Visual Studio [8], [9], [10].

Введем зависимость количества пешеходов и автомобилей от периода времени (суммарное количество пешеходов и автомобилей, которое находится на всех перекрестках города за определенный период времени). Данная зависимость представлена в таблице 2 (для будних и выходных дней).

Таблица 2 – Зависимость количества пешеходов и автомобилей от периода времени в будние дни и выходные дни

Период времени	Количество пешеходов и автомобилей (суммарно) в будние дни	Количество пешеходов и автомобилей (суммарно) в выходные дни
06:00-07:00	4000-6000	-
07:00-08:00	8000-10000	2000-4000
08:00-09:00	10000-12000	4000-6000
09:00-10:00	8000-10000	4000-6000
10:00-11:00	8000-10000	6000-8000
11:00-12:00	8000-10000	6000-8000
12:00-13:00	8000-10000	6000-8000
13:00-14:00	10000-12000	8000-10000
14:00-15:00	10000-12000	8000-10000
15:00-16:00	8000-10000	6000-8000
16:00-17:00	10000-12000	6000-8000
17:00-18:00	12000-14000	6000-8000
18:00-19:00	10000-12000	6000-8000
19:00-20:00	8000-10000	6000-8000
20:00-21:00	6000-8000	4000-6000
21:00-22:00	4000-6000	2000-4000
22:00-23:00	2000-4000	-

Расположим Город в координатной плоскости, в которой точкой отсчета (координата (0; 0)) будем считать левый нижний край карты (рисунок 3).

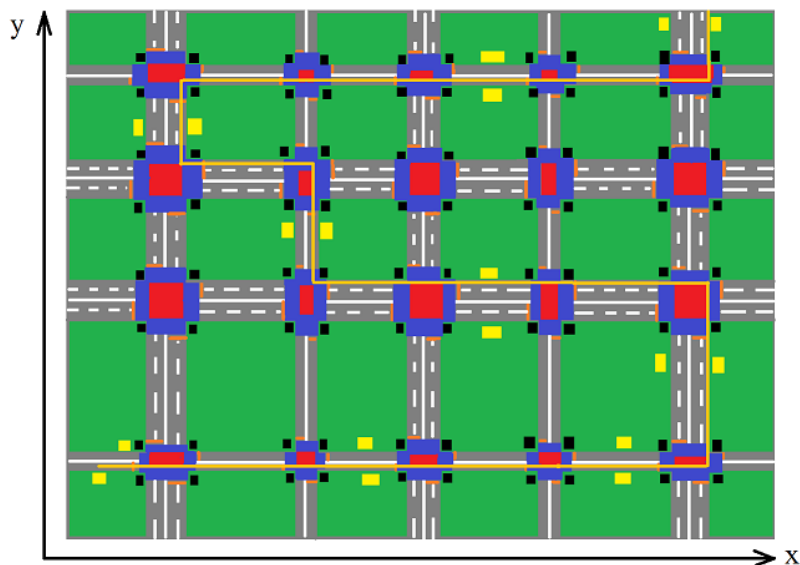


Рис. 3 – Город в координатной плоскости:

серый – проезжая часть; *белый* – разделительная линия (пунктирная разделяет полосы одного направления движения, сплошная – разного направления); *красный* – перекресток; *синий* – пешеходный переход; *желтый* – остановка; *черный* – светофор; *зеленый* – жилая зона; *оранжевый* – стоп-линия; *золотистый* – маршрут исследуемого пассажирского транспортного средства

Пусть длина Города равна 2500 единиц координат, ширина – 2000 единиц координат. 1 единица координат = 1 м. В итоге, получается, что общая длина маршрута составляет 7500 м (расстояние от первой до последней остановки).

Выполним моделирование работы описанной пассажирской сети с помощью среды разработки Visual Studio.

Анализ работы модели

Эксперимент № 1

Для исследуемого транспортного средства оценим среднее время перемещения из начальной точки маршрута в конечную за периоды времени, представленные в таблице 1.

Общим будем считать время, которое тратит транспортное средства при перемещении от первой (левый нижний угол карты) до последней остановки (правый верхний угол карты). На первой и последней остановки не учитывается время, которое ПТС тратит на посадку пассажиров.

Введем следующую формулу:

$$T_{\text{общ}} = T_{\text{г}} + T_{\text{со}} * (n - 2) \quad (1)$$

где $T_{\text{общ}}$ – общее время, которое транспортное средство затрачивает на перемещение от начальной до конечной остановки, $T_{\text{г}}$ – время, которое затрачивается на перемещение по городу (не учитываются только пересадки на остановках), $T_{\text{со}}$ – среднее время, которое ПТС затрачивает на остановки, n – количество остановок.

В формуле (1) количество остановок равно $(n - 2)$, поскольку не учитываются первая и последняя остановки.

Пусть среднее время, которое затрачивается на пересадки пассажиров, составляет 1 минуту.

Результаты работы программы представлен на рисунках 4 и 5.

Среднее время перемещения ПТС № 1 в период от 6 до 7 равно 30 мин. 4 сек.
Среднее время перемещения ПТС № 1 в период от 7 до 8 равно 39 мин. 56 сек.
Среднее время перемещения ПТС № 1 в период от 8 до 9 равно 46 мин. 52 сек.
Среднее время перемещения ПТС № 1 в период от 9 до 10 равно 39 мин. 56 сек.
Среднее время перемещения ПТС № 1 в период от 10 до 11 равно 39 мин. 48 сек.
Среднее время перемещения ПТС № 1 в период от 11 до 12 равно 39 мин. 47 сек.
Среднее время перемещения ПТС № 1 в период от 12 до 13 равно 39 мин. 51 сек.
Среднее время перемещения ПТС № 1 в период от 13 до 14 равно 46 мин. 49 сек.
Среднее время перемещения ПТС № 1 в период от 14 до 15 равно 46 мин. 36 сек.
Среднее время перемещения ПТС № 1 в период от 15 до 16 равно 39 мин. 55 сек.
Среднее время перемещения ПТС № 1 в период от 16 до 17 равно 46 мин. 41 сек.
Среднее время перемещения ПТС № 1 в период от 17 до 18 равно 51 мин. 20 сек.
Среднее время перемещения ПТС № 1 в период от 18 до 19 равно 46 мин. 51 сек.
Среднее время перемещения ПТС № 1 в период от 19 до 20 равно 39 мин. 46 сек.
Среднее время перемещения ПТС № 1 в период от 20 до 21 равно 33 мин. 37 сек.
Среднее время перемещения ПТС № 1 в период от 21 до 22 равно 30 мин. 4 сек.
Среднее время перемещения ПТС № 1 в период от 22 до 23 равно 24 мин. 18 сек.

Рис. 4 – Среднее время перемещения ПТС № 1 от начальной до конечной точки в будние дни

Среднее время перемещения ПТС № 1 в период от 7 до 8 равно 24 мин. 19 сек.
Среднее время перемещения ПТС № 1 в период от 8 до 9 равно 30 мин. 7 сек.
Среднее время перемещения ПТС № 1 в период от 9 до 10 равно 30 мин. 3 сек.
Среднее время перемещения ПТС № 1 в период от 10 до 11 равно 33 мин. 41 сек.
Среднее время перемещения ПТС № 1 в период от 11 до 12 равно 33 мин. 41 сек.
Среднее время перемещения ПТС № 1 в период от 12 до 13 равно 33 мин. 42 сек.
Среднее время перемещения ПТС № 1 в период от 13 до 14 равно 39 мин. 49 сек.
Среднее время перемещения ПТС № 1 в период от 14 до 15 равно 39 мин. 50 сек.
Среднее время перемещения ПТС № 1 в период от 15 до 16 равно 33 мин. 36 сек.
Среднее время перемещения ПТС № 1 в период от 16 до 17 равно 33 мин. 29 сек.
Среднее время перемещения ПТС № 1 в период от 17 до 18 равно 33 мин. 35 сек.
Среднее время перемещения ПТС № 1 в период от 18 до 19 равно 33 мин. 40 сек.
Среднее время перемещения ПТС № 1 в период от 19 до 20 равно 33 мин. 32 сек.
Среднее время перемещения ПТС № 1 в период от 20 до 21 равно 30 мин. 5 сек.
Среднее время перемещения ПТС № 1 в период от 21 до 22 равно 24 мин. 23 сек.

Рис. 5 – Среднее время перемещения ПТС № 1 от начальной до конечной точки в выходные дни.

Для более наглядной разницы между временами, затрачиваемыми в будние и выходные дни, построим гистограмму (рисунок 6).

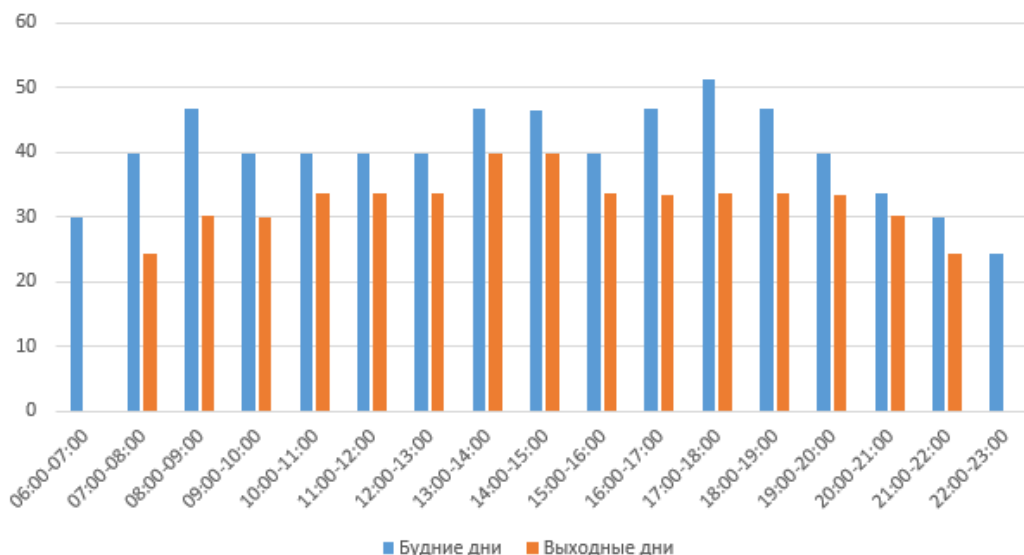


Рис. 6 – Сравнение средних времен перемещения пассажирского транспортного средства в будние и выходные дни

Как видно из рисунка 6 среднее время, затрачиваемое транспортным средством в выходные дни в аналогичные промежутки времени буднего дня существенно меньше. Это обусловлено более низкой загруженностью дорог в выходные дни по сравнению с будними днями.

Эксперимент № 2

Для исследуемого транспортного средства исследуем зависимость среднего времени прохождения маршрута от средней длительности переключения светофора.

В предыдущем эксперименте средняя продолжительность для светофоров была следующая:

- $T_{к.с} = 105$ секунд – средняя продолжительность включения красного сигнала светофора.
- $T_{ж.с} = 5$ секунд – средняя продолжительность включения желтого сигнала светофора.
- $T_{з.с} = 30$ секунд – средняя продолжительность включения зеленого сигнала светофора.

Проведем серию экспериментов, в которой будем изменять значения продолжительности включения для красного и зеленого сигнала светофоров, $T_{ж.с} = 5$ секунд – постоянная величина. Эксперименты проведены для будних дней.

Пусть $T_{к.с} = 105$ секунд, $T_{ж.с} = 5$ секунд, $T_{з.с}$ – изменяющаяся величина. Получаем следующий график зависимости среднего времени прохождения маршрута от средней длительности переключения зеленого сигнала светофора (рис. 7).

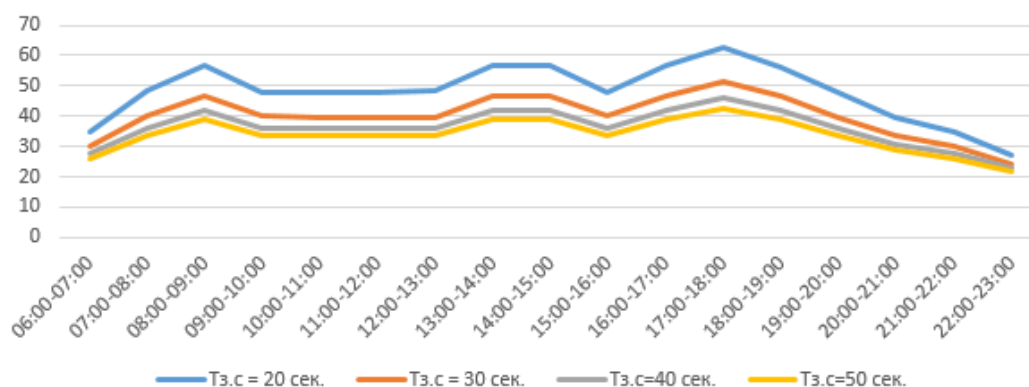


Рис. 7 – График зависимости среднего времени прохождения маршрута от средней длительности переключения зеленого сигнала светофора при $T_{к.с} = 105$ секунд и $T_{ж.с} = 5$ секунд

Пусть $T_{з.с} = 30$ секунд, $T_{ж.с} = 5$ секунд, $T_{к.с}$ – изменяющаяся величина. Получаем следующий график зависимости среднего времени прохождения маршрута от средней длительности переключения красного сигнала светофора (рисунок 8).

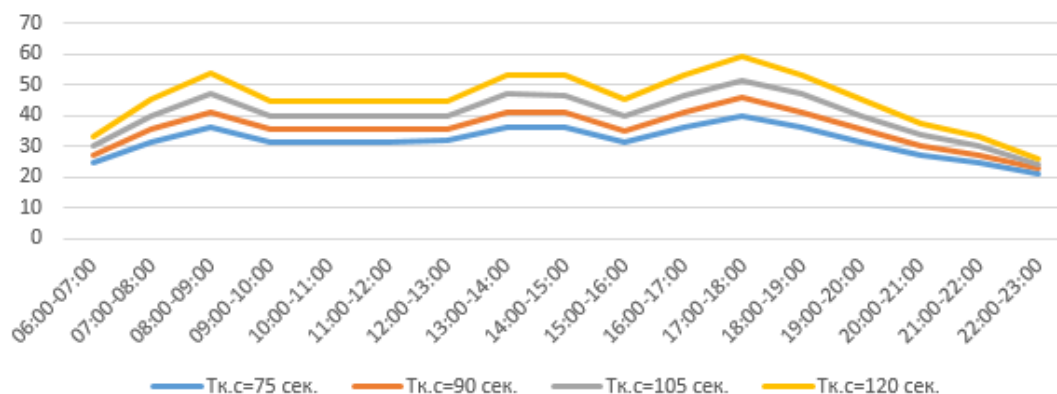


Рис. 8 – График зависимости среднего времени прохождения маршрута от средней длительности переключения зеленого сигнала светофора при $T_{з.с} = 30$ секунд и $T_{ж.с} = 5$ секунд

Как видно из рисунков 7 и 8, время прохождения маршрута растет примерно с экспоненциальной скоростью (для более точного определения необходимо изучение методов нахождения временной сложности алгоритмов) при увеличении длительности переключения красного сигнала светофора и уменьшении времени переключения зеленого сигнала светофора.

Заключение

В данной статье выполнено моделирование и анализ работы виртуальной пассажирской транспортной сети с помощью среды разработки Visual Studio. Получены следующие результаты: среднее время, которое затрачивается исследуемым пассажирским транспортным средством в будние дни превосходит среднее время в соответствующие временные промежутки выходного дня. Результаты обуславливаются тем, что в выходные дни загруженность дорог ниже. Также установлена зависимость среднего времени прохождения маршрута от времени переключения светофора: время прохождения маршрута растет примерно с экспоненциальной скоростью при увеличении длительности переключения красного сигнала светофора и уменьшении времени переключения зеленого сигнала светофора.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Исследование Яндекса – Пробки в Москве: 2013-2017 [Электронный ресурс]. URL: https://yandex.ru/company/researches/2017/moscow_traffic_2017 (дата обращения: 12.01.2021)
2. ПДД РФ, 13. Проезд перекрестков [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_2709/74cbe820904f4f8ce76047ddb81d14c8b953d3e/ (дата обращения: 12.01.2021)
3. Моделирование пассажирского автобусного маршрута в AnyLogic [Электронный ресурс]. URL: <https://www.anylogic.ru/resources/articles/modelirovanie-passazhirskogo-avtobusnogo-marshruta-v-anylogic/> (дата обращения: 12.01.2021)
4. Моделирование маршрутной сети городского пассажирского транспорта Нижнего Новгорода в Anylogic [Электронный ресурс]. URL: <https://www.anylogic.ru/resources/articles/modelirovanie-marshrutnoy-seti-gorodskogo-passazhirskogo-transporta/> (дата обращения: 12.01.2021)
5. Документация по Visual Studio. Добро пожаловать в интегрированную среду разработки Visual Studio [Электронный ресурс] // URL: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/visualstudio/get-started/visual-studio-ide?view=vs-2019> (дата обращения: 12.01.2021)
6. Клейнберг, Дж. Алгоритмы: разработка и применение. Классика Computers Science / Дж. Клейнберг, Е. Тардос Пер. с англ. Е. Матвеева. — СПб.: Питер, 2016. — 800 с.
7. Бхаргава А.. Грожаем алгоритмы. Иллюстрированное пособие для программистов и любопытствующих / А. Бхаргава. - СПб.: Питер, 2017. - 288 с.
8. Паронджанов В. Д. Учись писать, читать и понимать алгоритмы. Алгоритмы для правильного мышления. Основы оптимизации / В. Д. Паронджанов. — М.: ЛМК Пресс, 2012. — 520 с.
9. Хайнеман, Дж. Алгоритмы. Справочник с примерами на C, C++, Java и Python / Дж.Хайнеман, Г. Пояяис, С.Сеяков, 2-е изд.: Пер. с англ. — СПб.: ООО “Альфа-книга”, 2017. — 432 с.
10. Алгоритмы на C++ / Р. Седжвик — М.: Национальный Открытый Университет «ИНТУИТ», 2016. - 1001 с.
11. Aksyonov K. Identification of Problems and Limitations of the Planning of Fuel Distribution through the Gas Station Network and their Solution / K. Aksyonov, O. Aksyonova, H. Ayvazyan // SIBIRCON 2019 - International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences, Proceedings
12. Ivanovskaya A.N. Software Life Cycle Model Development at BPsim.DSS / Anastasiya N. Ivanovskaya ; Olga P. Aksyonova ; Polina E. Ziolkovskaya. // 2020 Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBREIT). 14-15 May 2020. Yekaterinburg, Russia.
13. Aksyonov K. Development of Cloud-Based Microservices to Decision Support System / K. Aksyonov, O. Aksyonova, A. Antonova, E. Aksyonova, P. Ziolkovskaya, // IFIP Advances in Information and Communication Technology Volume 582

IFIP, 16th IFIP WG 2.13 International Conference on Open Source Systems, OSS 2020; Innopolis; Russian Federation; 12 May 2020 до 14 May 2020. 2020. pp.87-97.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Issledovanie Jandeksa – Probki v Moskve: 2013-2017 [Yandex Research – Traffic Jams in Moscow: 2013-2017] [Electronic resource]. URL: https://yandex.ru/company/researches/2017/moscow_traffic_2017 (accessed: 12.01.2021) [in Russian]
2. PDD RF, 13. Proezd perekrestkov [Traffic Regulations of the Russian Federation, 13. Passage of Intersections] [Electronic resource]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_2709/74cbe820904f4f8ce76047ddbd81d14c8b953d3e/ (accessed: 12.01.2021) [in Russian]
3. Modelirovanie passazhirskogo avtobusnogo marshruta v AnyLogic [Modeling of a Passenger Bus Route in AnyLogic] [Electronic resource]. URL: <https://www.anylogic.ru/resources/articles/modelirovanie-passazhirskogo-avtobusnogo-marshruta-v-anylogic/> (accessed: 12.01.2021) [in Russian]
4. Modelirovanie marshrutnoj seti gorodskogo passazhirskogo transporta Nizhnego Novgoroda v Anylogic [Modeling of the Route Network of Urban Passenger Transport in Nizhny Novgorod in Anylogic] [Electronic resource]. URL: <https://www.anylogic.ru/resources/articles/modelirovanie-marshrutnoj-seti-gorodskogo-passazhirskogo-transporta/> (accessed: 12.01.2021) [in Russian]
5. Dokumentacija po Visual Studio. Dobro pozhalovat' v integrirovannuju sredu razrabotki Visual Studio [Visual Studio Documentation. Welcome to the Visual Studio IDE] [Electronic resource] // URL: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/visualstudio/get-started/visual-studio-ide?view=vs-2019> (accessed: 12.01.2021) [in Russian]
6. Kleinberg, J. Algoritmy: razrabotka i primenenie. Klassika Computers Science [Algorithms: Development and Application. Classics of Computers Science] / J. Kleinberg, E. Tardos Translated from English by E. Matveeva. — SPb.: Piter, 2016. — p. 800 [in Russian]
7. Bhargava A. Grokaem algoritmy. Illjustrirovannoe posobie dlja programmistov i ljubopytstvujushhikh. [Grokking Algorithms: An Illustrated Guide for Programmers and Other Curious People] / A.Bhargava - SPb.: Piter, 2017. - p. 288
8. Parondzhanov V. D. Uchis' pisat', chitat' i ponimat' algoritmy. Algoritmy dlja pravil'nogo myshlenija. Osnovy optimizacii. [Learn to Write, Read and Understand the Algorithms. Algorithms for Correct Thinking. Fundamentals of Optimization.] / V. D. Parondzhanov. — M.: LMK Press, 2012. — p. 520 [in Russian]
9. Heineman, G. Algoritmy. Spravochnik s primerami na C, C++, Java i Python [Algorithms. Handbook with Examples in C, C++, Java and Python, 2nd Ed.] / G. Heineman, G. Pollice, S. Selkow: Translated from English — SpB.: OOO “Al'fa-kniga”, 2017. — p. 432 [in Russian]
10. Algoritmy na C++ [Algorithms in C++] / R. Sedgewick — M.: Nacional'nyjj Otkrytyjj Universitet «INTUIT», 2016. - p. 1001 [in Russian]
11. Aksyonov K. Identification of Problems and Limitations of the Planning of Fuel Distribution through the Gas Station Network and their Solution / K. Aksyonov, O. Aksyonova, H. Ayvazyan // SIBIRCON 2019 - International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences, Proceedings
12. Ivanovskaya A.N. Software Life Cycle Model Development at BPsim.DSS / Anastasiya N. Ivanovskaya ; Olga P. Aksyonova ; Polina E. Ziomkovskaya. // 2020 Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBEREIT). 14-15 May 2020. Yekaterinburg, Russia.
13. Aksyonov K. Development of Cloud-Based Microservices to Decision Support System / K. Aksyonov, O. Aksyonova, A. Antonova, E. Aksyonova, P. Ziomkovskaya, // IFIP Advances in Information and Communication Technology Volume 582 IFIP, 16th IFIP WG 2.13 International Conference on Open Source Systems, OSS 2020; Innopolis; Russian Federation; 12 May 2020 до 14 May 2020. 2020. pp.87-97.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.103.2.006>

ВЛИЯНИЕ РУСЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ Р. АМУР НА ПРИБРЕЖНУЮ ИНФРАСТРУКТУРУ Г. ХАБАРОВСКА С УЧЕТОМ ПАВОДКА 2013 ГОДА

Научная статья

Казаринов А.Е.¹, Куликова Е.С.^{2,*}, Куликова Т.А.³

² ORCID: 0000-0003-2125-8177;

^{1, 2, 3} Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Россия

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

Аннотация

Паводок на реке Амур в 2013 г, который можно отнести к выдающимся природным явлениям, привел к большому материальному ущербу. Общий ущерб от наводнения по заявлению вице-премьера Юрия Трутнева, сделанному 25 апреля 2014 г. составил 527 млрд. руб. Проанализировав сложившуюся ситуацию авторы отмечают:

1. Амур уходит от Хабаровска вследствие уменьшения расхода воды за счет его увеличения в протоках Пемзенская и Бешеная;

2. Постоянное увеличение расхода воды в протоке Пемзенской представляет реальную угрозу (подмыв опор) совмещенному мосту через Амур, имеющему автодорожное и железнодорожное сообщение.

Целью данного исследования является комплексная оценка русловых деформаций, в том числе и от катастрофических паводков, приводящих к изменениям гидрологических характеристик русла Амура в прибрежной зоне Хабаровска. По результатам работы авторами сделан вывод о необходимости регулирования стока Амура для предотвращения постоянного увеличения расхода воды в Пемзенской протоке.

В качестве превентивной меры предлагается строительство выше истока Пемзенской протоки траверс переменной длины. Это позволит отбить направление потока к правому берегу Амура в район о. Большой Уссурийский, уменьшив сток воды в протоки с последующим строительством капитальной дамбы.

Ключевые слова: наводнение, русловые деформации, водозаборы, кривая Пирсона, кривая вероятности Крицкого и Менкеля, Амурский мост, подмостовое пространство, Пемзенская протока, гидроствор, инфраструктура, судоходство, аккумуляция наносов, траверсы, защитная дамба, фундамент.

INFLUENCE OF RIVER BED DEFORMATIONS OF THE AMUR RIVER ON THE COASTAL INFRASTRUCTURE OF Khabarovsk IN THE AFTERMATH OF THE 2013 FLOOD

Research article

Kazarinov A.E.¹, Kulikova E.S.^{2,*}, Kulikova T.A.³

² ORCID: 0000-0003-2125-8177;

^{1, 2, 3} Pacific National University, Khabarovsk, Russia

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

Abstract

The 2013 Amur River flood, which can be described as an outstanding natural phenomenon, led to great material damage. The total damage from the flood, according to the statement of Deputy Prime Minister Yuri Trutnev made on April 25, 2014, amounted to 527 billion rubles. Having analyzed the situation, the authors note:

1. The Amur River in Khabarovsk is undergoing a decrease in water consumption because of its increase in the Pemzenskaya and Beshenaya channels.

2. The constant increase in water consumption in the Pemzenskaya channel poses a real threat (bridge scour) to the road-rail bridge over the Amur River.

The purpose of this study is a comprehensive assessment of river bed deformations, including those caused by catastrophic floods that lead to changes in the hydrological characteristics of the Amur riverbed in the Khabarovsk coastal zone. According to the results of the study, the authors conclude that it is necessary to regulate the flow of the Amur River to prevent the constant increase in water consumption in the Pemzenskaya channel.

As a preventive measure, it is proposed the construction of the above source Penzenskoy traverse the ducts of variable length. This will allow for the repulsion of the flow direction to the right bank of the Amur River in the area of Bolshoy Ussuriysky Island, reducing the flow of water into the channels with the subsequent construction of a permanent dam.

Keywords: flood, river bed deformations, water intakes, Pearson distribution, Kritsky-Menkel distribution, the Amur Bridge, clearance box, Pemzenskaya channel, stream gauge, infrastructure, shipping, sediment accumulation, traverses, protective dam, foundation.

Введение

В соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 01.12.2016 г. № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации», в ближайшие 10 – 15 лет приоритетами научно-технологического развития Российской Федерации следует считать направления, которые позволят получить научные и научно-технические результаты и создать технологии инновационного развития внутреннего рынка продуктов и услуг, обеспечив, в том числе «возможность эффективного ответа российского общества на большие вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий, социальных институтов на современном этапе глобального развития» (п. 20, ж) [1]. В современных условиях назрела необходимость как максимально возможного снижения риска возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС), так и потребности быстрого и эффективного реагирования последствий ЧС природного и техногенного характера. Это возможно только путем использования современных методов и

технологий, к которым, безусловно, относятся методы прогнозов ожидаемых последствий опасных явлений, на основе которых возможна подготовка рекомендаций по минимизации или полного их устранения.

При анализе негативного влияния на объекты инфраструктуры в прибрежной зоне г. Хабаровска, связанного с изменениями р. Амур под воздействием русловых деформаций, авторы выделили следующие проблемы:

1. Амур уходит от Хабаровска: в результате периодически заливается водозабор у Хабаровска; усложняется судоходство; происходит аккумуляция отложений в левобережной части Амура; при наводнениях подвергаются затоплению неосвоенная часть г. Хабаровска, а также дачные массивы, расположенные на о. Кабельном и части о. Большого Уссурийского.

2. Постоянное увеличение расхода воды в протоке Пемзенской представляет реальную угрозу совмещенному ж/д - автомобильному мосту через р. Амур.

Если позиции первого пункта не имеют критичного характера, то угроза совмещенному мосту у г. Хабаровска, реальна как никогда. Анализ основных природных и антропогенных факторов и причин, обуславливающих интенсивные преобразования природной среды, позволил разработать максимально надежные методы прогнозов ожидаемых последствий опасных явлений, на основе которых возможна подготовка рекомендаций по минимизации, а в последующем, устранение их негативного влияния на прибрежную инфраструктуру г. Хабаровска. Поэтому комплексная оценка влияния климатических изменений на юге Дальнего Востока, приводящих к критическим паводкам на р. Амур и вызывающих русловые деформации с изменением гидрологических характеристик, является актуальной, своевременной и определяющей цель исследования.

Научная новизна работы заключается в обобщении разрозненных исследований по русловым деформациям в узле слияния р. Амур и р. Уссури, где отмечаются существенные деформации, приводящие к уменьшению расхода воды у г. Хабаровска. Авторами предложены конкретные решения, которые позволят вернуть русло Амура в прежнее состояние, остановить и предотвратить негативное влияние этих процессов на прибрежную инфраструктуру г. Хабаровска. Чрезвычайно высокий уровень паводка (8,08 м) в 2013 г. в Хабаровском крае вызвал к этому событию большой научный интерес. На это указывают многочисленные научные публикации. Например, автор [2] отмечает, что «среди природных факторов основное влияние на характер наводнения оказали следующие геоморфологические, гидрологические и метеорологические особенности бассейна р. Амур.

1. Аномальное высокое количество выпавших атмосферных осадков в течение летних месяцев – июля и августа. В этот период на значительной площади бассейна Амура отмечались особо обильные и продолжительные дожди.

2. Последовательное совпадение пика паводка на Амуре по мере его движения вниз по реке с пиками паводков рек всех основных областей формирования стока».

Многие исследователи в своих работах [3], [4], также отмечали тенденции к ухудшению ситуации в прибрежной зоне Хабаровска. Впоследствии были проведены исследования так же и русловых деформаций в р. Амур. В связи с этим, в статье авторы проанализировали отрицательные воздействия русловых деформаций на аккумуляцию донных наносов в русле р. Амур в черте города, заиливание центрального водозабора, ухудшение условий судоходства и изменение гидравлического режима протекания воды под совмещенным мостом Транссибирской магистрали.

Основные результаты

Имея ряд наблюдений за максимальными уровнями воды р. Амур у Хабаровска с 1896 г. авторы провели обработку данных с учетом паводка 2013 г., чтобы оценить его критичность. За расчетный уровень был взят уровень воды с вероятностью превышения 1 % и приведены максимальные уровни воды в Амуре с 1896 по 2019 г. г. (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Максимальные уровни воды в р. Амур с 1896 по 2019 гг.

Год	Уровень воды, м	Год	Уровень воды, м	Год	Уровень воды, м	Год	Уровень воды, м
1896	5,7	1927	4	1958	5,35	1989	4,8
1897	6,45	1928	5,85	1959	6,35	1990	3,4
1898	4,3	1929	5,35	1960	5,9	1991	4,4
1899	3,55	1930	3,85	1961	5,9	1992	3
1900	4,4	1931	4,45	1962	4,75	1993	2,6
1901	5	1932	6,25	1963	5,25	1994	2,8
1902	6,15	1933	3,75	1964	4,3	1995	4,6
1903	3,45	1934	4,3	1965	4,2	1996	4,9
1904	4,35	1935	4,45	1966	4,45	1997	5,2
1905	3,15	1936	5	1967	3,45	1998	3,6
1906	4,3	1937	4,6	1968	3	1999	5,1
1907	5	1938	5,35	1969	4,25	2000	4,9
1908	4,65	1939	4,1	1970	3,45	2001	4,6
1909	3,85	1940	4,05	1971	4,8	2002	3,8
1910	5,5	1941	5	1972	5,75	2003	2,8
1911	5,85	1942	4,15	1973	4,85	2004	5,8

Окончание таблицы 1 – Максимальные уровни воды в р. Амур с 1896 по 2019 гг.

Год	Уровень воды, м	Год	Уровень воды, м	Год	Уровень воды, м	Год	Уровень воды, м
1912	3,65	1943	4,35	1974	3,75	2005	5
1913	3,3	1944	3,45	1975	2,95	2006	3,8
1914	3,6	1945	4,5	1976	2,75	2007	2,9
1915	5,65	1946	5,1	1977	3,8	2008	5,2
1916	5,25	1947	4,75	1978	3,35	2009	4,9
1917	5	1948	4,6	1979	2,25	2010	3,7
1918	3,45	1949	4,5	1980	3,3	2011	4,4
1919	3,75	1950	3,35	1981	5,6	2012	5,5
1920	4,35	1951	6,4	1982	3,7	2013	8,08
1921	2,1	1952	3,5	1983	3,85	2014	4,9
1922	3,8	1953	6,05	1984	6,35	2015	3,5
1923	3,65	1954	2,05	1985	5,65	2016	4,3
1924	4,2	1955	5,25	1986	3,65	2017	4,6
1925	2,7	1956	6	1987	5,4	2018	4,9
1926	2,3	1957	6,25	1988	2,2	2019	6,47

Расчетный уровень воды определен двумя способами. Первый — через кривую Пирсона III типа, второй — через кривую вероятности Крицкого и Менкеля.

При использовании уравнения биномиальной кривой Пирсона на практике применяют таблицу с заранее просчитанными значениями по этому уравнению. Сам расчетный уровень определяем по формуле:

$$H_p = H_{cp} \left(\frac{\Phi_s}{\sqrt{a}} + 1 \right) \quad (1)$$

где H_{cp} - средние величины максимальных уровней, находится как среднее арифметического ряда наблюдений за уровнями воды;

a - основной параметр, отображающий изменчивость ряда;

Φ_s - коэффициент асимметрии, зависящий от вероятности превышения параметра $\sqrt{\frac{1}{a}}$ или от коэффициента вариации (C_v), который находится как отношение среднеквадратичного отклонения всех максимальных уровней от их среднего значения и определяется по формуле:

$$C_v = \frac{1}{H_{cp}} \sqrt{\frac{\sum (H_i - H_{cp})^2}{n - 1}} \quad (2)$$

где H_i - уровень i -го члена ряда;

H_{cp} - средний уровень воды;

n - количество измеренных уровней воды.

Выполнив расчеты получаем, что H_{cp} составит 4,345 м при коэффициенте вариации $C_v = 0,25$.

Значение Φ_s принимаем по таблице 3.2 [5], равное 3. Подставив данное значение в формулу для определения расчетного уровня воды, получим искомое расчетное значение (H_p) равное 7,766 метра.

В последнее время более широкой популярностью пользуется способ определения расчетного уровня воды по кривым вероятности Крицкого и Менкеля. Расчет по ним ведётся по специальным таблицам через отношение C_s/C_v .

Значение C_s определяем по формуле:

$$C_s = \frac{2C_v}{1 - \left(\frac{H_{min}}{H_{cp}} \right)} \quad (3)$$

где H_{min} - минимальное значение уровня члена ряда, H_{min} принимаем 2,3 м;

H_{cp} - средний уровень воды, $H_{cp} = 4,345$ м;

Подставив значения уровней воды в формулу, получаем, что $C_s = 0,93$. В этих условиях отношение $C_s/C_v = 3,719$.

По таблице 3.3 [5] определяем значение K_p . Для наших условий K_p соответствует 1,778. Из этого следует, что H_p составит $1,778 \times 4,345 = 7,725$ м.

Точность расчетов зависит от числа исходных данных, а так как наша выборка включает более 100 измерений, то погрешность крайне мала. Разница расчетного уровня воды между двумя способами составляет примерно 0,006 %. Из этого можно сделать вывод, что уровень воды с расчетной вероятностью находится в диапазоне от 7,725 до 7,766 метров.

По рассчитанным параметрам паводка можно сделать так же вывод о том, что наводнение 2013 г. было в своем роде уникальным (выдающимся), так как вероятность его появления менее 1 %. По «клетчатке вероятности», вероятность паводка с отметкой 8,08 м, примерно соответствует 0,5 % т.е. один раз в 200 лет.

По результатам измерения расхода воды на гидростворе № 2 (ниже моста) при таком уровне воды расход составил $46400 \text{ м}^3/\text{с}$ [6]. Необходимо так же отметить, что подходы к мосту в виде насыпей на автодорожной и железнодорожной частях моста на левой пойме не были подтоплены.

Многие исследователи в своих работах [6], [7] по деформациям русел в узле рек Амура и Уссури постоянно указывают на увеличение расходов воды в Пемзенской протоке. При этом отмечается, что если Пемзенская протока до 1970 г практически не существовала, то в начале 2000 г. ее ширина составляла уже до 450 м, а глубина до 12 м. В результате расход воды через протоки Пемзенскую и Бешеную значительно увеличился и составил более 60 % от всего расхода р. Амур (по данным Национального центра водных проблем). Постепенное увеличение расхода воды в Пемзенской протоке представляется возможным отследить и по результатам изменения уровней воды, начиная с 1965 г., приведенным в работе [8], (см. рисунок 1).

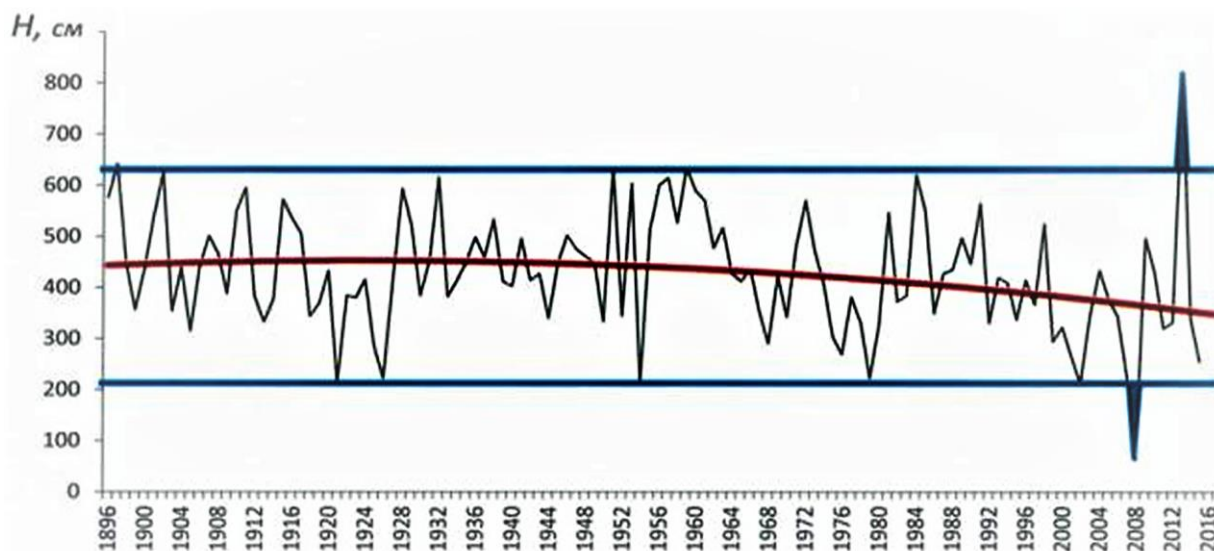


Рис. 1 – Динамика наивысших годовых уровней воды р. Амур у Хабаровска

По данным автора, начиная с 1960 г. уровень р. Амур у Хабаровска уменьшается (красная полиномиальная линия). Однако, по нашему мнению, это обусловлено исключительно тем, что с конца 60-х годов расход воды в Пемзенской протоке стал увеличиваться. Ошибочный вывод автора статьи [9] обусловлен тем, что водомерный пост в г. Хабаровске расположен на правом берегу Амура у высотных домов на улице Салтыкова – Щедрина, практически у входа в тоннель под Амур, то есть выше устьевой ее части, расположенной непосредственно у моста. Именно это и повлияло на уменьшение уровней воды, так как ежегодно увеличивался расход воды по Пемзенской протоке минуя водомерный пост. Такой объем меняет общую картину уровней воды у Хабаровска в основном за счет уровней воды менее пяти метров, так как при больших отметках происходит уже подтопление островов и поймы напротив города.

Практические результаты и рекомендации

Наш вывод о постоянном уширении русла Пемзенской протоки вследствие размыва берегов при высокой скорости течения воды хорошо коррелируется с исследованиями, представленными в работе [10], (см. рисунок 2).

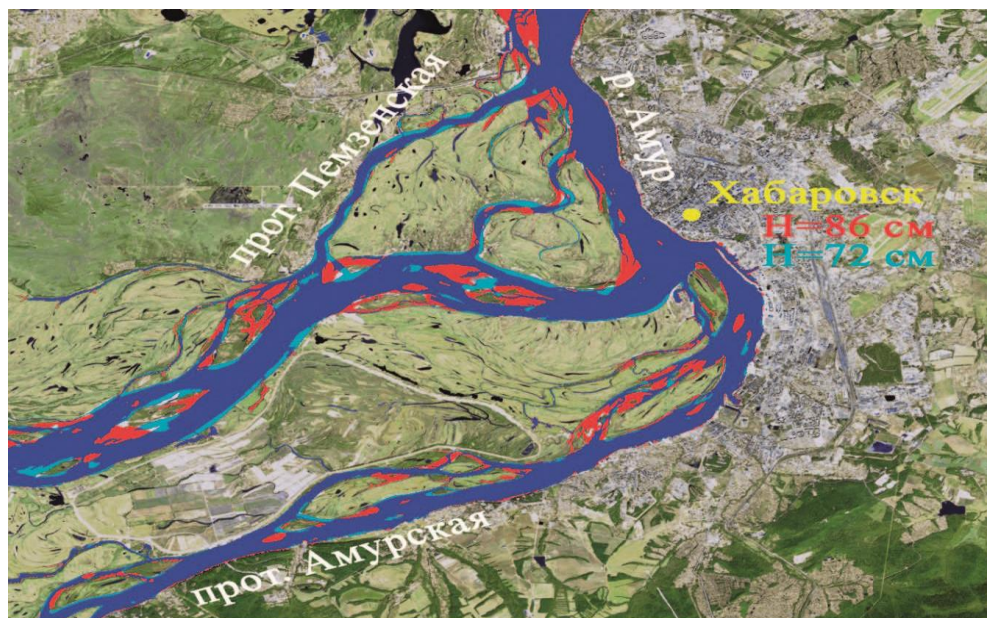


Рис. 2 – Сравнение русла Амура за период 1985 - 2015 гг.:
красный цвет – H=86 см; голубой – H=72 см

Синим цветом на рисунке обозначена та часть русла, которая присутствовала и в 1985 г., и в 2015 г., то есть не изменилась. Красным цветом на рисунке отмечены старицы (участки прежнего русла реки), то есть та часть реки, которая была в 1985 г., но в 2015 г. воды в этом месте больше нет. Голубой цвет, напротив, указывает новое русло и протоки, где воды в 1985 г. не было и куда к 2015 г. она уже прибыла, увеличив живое сечение русел как реки, так и проток. Размыв берегов как левого, так и правого отмечен на всем протяжении Пемзенской протоки. На Бешеной же протоке, вследствие ее извилистости, отмечаются как размывы берегов, так и рост побочней. В этой же работе автора [11], сделан вывод о том, что у Хабаровска р. Амур постепенно мелеет, а протоки Бешеная и Пемзенская с каждым годом становятся шире, что наглядно отражено в полученных классификациях. Чем же обусловлен интенсивный размыв берегов Пемзенской протоки. Результаты исследования русловых деформаций в узле слияния рек Амура и Усури предоставлены академическом журнале «География и природные ресурсы» [12], (см. рисунок 3).

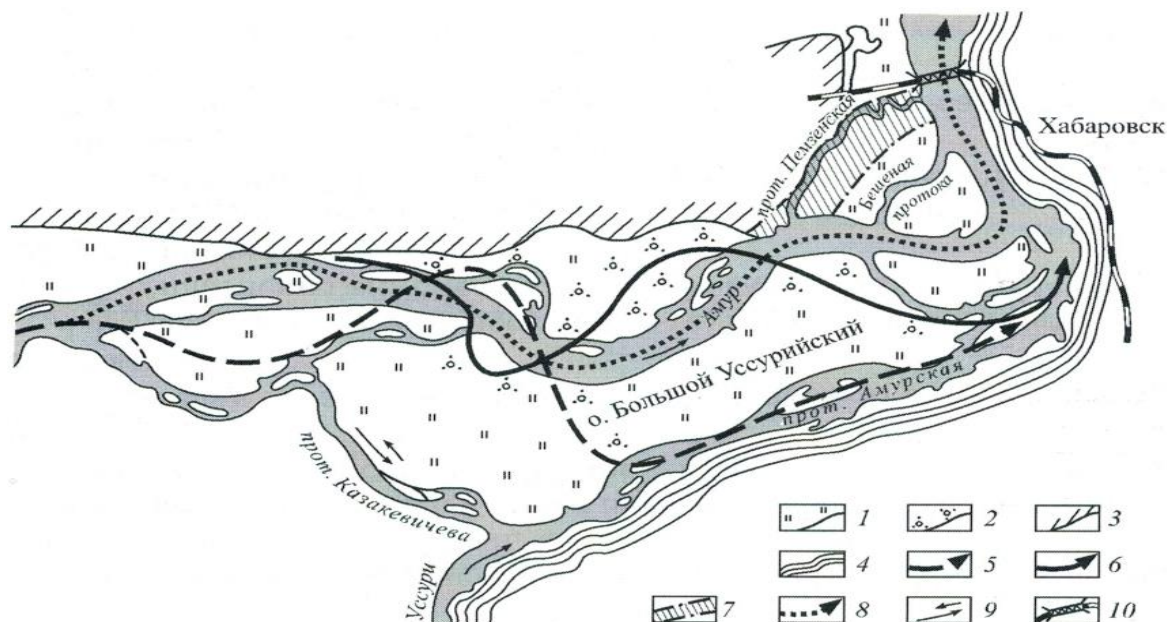


Рис. 3 – Узел слияния рек Амура и Усури и его переформирование под влиянием смещения излучин:

1 – луговые древние массивы поймы; 2 – массивы поймы, покрытые кустарником, соответствующие прежним положениям русла Амура; 3 – левый борт долины; 4 – коренные берега; 5, 6 – реконструированные по рельефу пойм прежние положения русла (по их оси); 7 – направление спрямления вынужденной излучины вдоль Пемзенской протоки; 8 -современное положения стержня потока; 9 – направления течения воды в протоке Казахевичева при разных соотношениях уровней Амура и Усури; 10 – совмещенный мост через Амур

Наибольший интерес на этом рисунке для нас представляет позиция 7, представляющая спрямление вынужденной излучины и совпадающая с Пемзенской протокой. Это означает, что не в столь отдаленной перспективе под мостом будет место слияния – устье рек Амур и Усури с предельно большим размывом русла, что неизбежно приведет к разрушению моста.

Согласно исследованиям Чалова Р.С. и др. [12], [13] вынужденная излучина образуется при большом угле встречи основного русла с коренным берегом (см. рисунок 3). Форма, параметры и деформации вынужденных излучин определяются конфигурацией и типом русла вверх по течению реки, а также наличия там же излучин и разветвлений. При больших углах встречи потока с коренным берегом (более 85°) вода, при высоком ее уровне, вызывает подпор от тормозящего действия потока в излучине. С учетом вышеизложенного, можно сделать вывод о том, что образование в верхней части вынужденной излучины двух разветвлений в виде протоков Бешеная и Пемзенская имеет естественное происхождение (см. рисунок 3). Особенность этих ответвлений – ежегодное увеличение расхода воды в них, что влечет уменьшение расхода в основном русле Амура у Хабаровска. Если позиции пункта 1 не имеют критичного характера, то угроза совмещенному мосту у Хабаровска, реальна как никогда (см. рисунок 4).

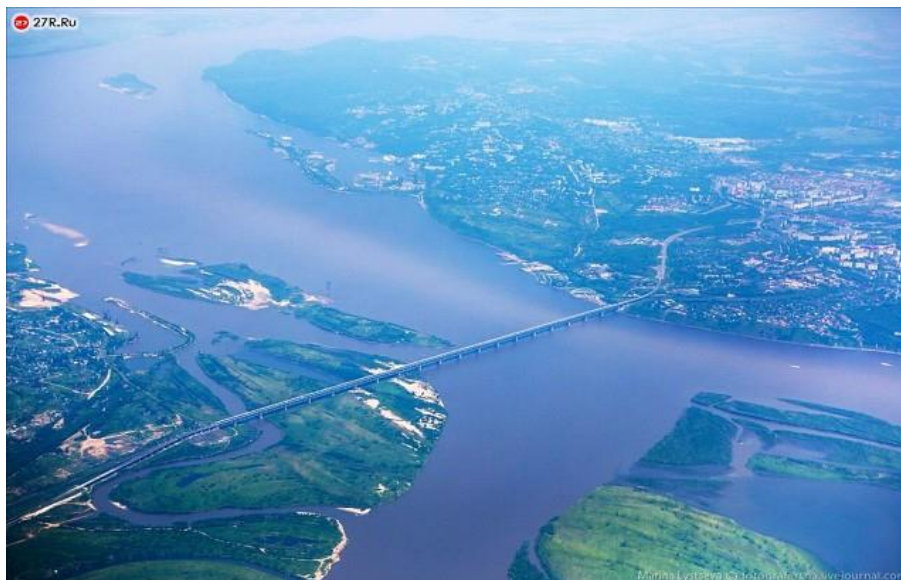


Рис. 4 – Слияние Пемзенской протоки с Амуром перед мостом

Авторы отмечают, что течение в устьевой части Пемзенской протоки, направлено под углом к опорам моста. Скорость течения воды в протоке выше, чем в р. Амур на 40 %. В результате этого вода протоки срезала часть острова, расположенного выше моста, уширив тем самым свое русло в месте слияния. В месте слияния водных потоков протоки и р. Амур (непосредственно перед мостом) возникает турбулентный режим течения воды, обусловленный их перемешиванием. Турбулентность поднимает частицы дна вверх и переносит их вниз по течению, увеличивая размыв. Турбулентный режим течения воды перед мостом наблюдается визуально и подтверждается тем, что вода в предмостовом пространстве (место слияния потоков) не замерзает до февраля, когда уровень воды в Амуре приближается к меженному. Скорость течения при таком уровне воды становится минимальной в годовом цикле стока. Продолжающееся увеличение расхода воды в протоке неизбежно приведет к той ситуации, когда турбулентный режим потока будет реализован уже не перед мостом, а в подмостовом пространстве, что вызовет предсказуемый (сосредоточенный) размыв дна под мостом. Этот размыв не прогнозируется в отличие от общего и местного размывов дна русла под мостом в условиях прямоструйного (параллельно опорам моста) течения воды. С учетом того, что расход воды в паводок 2013 г. был экстремальным ($46400 \text{ м}^3/\text{с}$) и проходил он в сжатом сечении под мостом с большей скоростью чем на открытых и пойменных участках реки не была проверена вероятность начала подмыва фундаментов опор путем их обследования после паводка.

Заключение

Таким образом, в результате проведенной оценки состояния русла Пемзенской и Бешеной протоков вследствие размыва берегов при высокой скорости течения воды, авторами были предложены следующие мероприятия по повышению устойчивости работы Амурского моста:

1. Провести мониторинг состояния фундамента опор моста, с постоянным контролем размыва дна у опор мостового перехода.
2. В качестве начального этапа регулирования русла реки Амур необходимо построить выше истока Пемзенской протоки как минимум три траверсы переменной длины. Это позволит изменить направление потока к правому берегу Амура и уменьшить расход воды в левобережных ответвлениях Амура.
3. Обосновать параметры дамбы, которая полностью предотвратит сток воды из Амура в протоки Пемзенская и Бешеная.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации / Указ Президента РФ от 01.12.2016 г. № 642 // Справ. - правовая система «Консультант Плюс».
2. Махинов А. Н. Наводнение в бассейне Амура 2013 года: причины и последствия / А. Н. Махинов, В. И. Ким, Б. А. Воронов // Вестник ДВО РАН. –2014. –№ 2. –С. 5–14.

3. Скрыльник Г. П. Природные риски, кризисы и катастрофы на территории российского Дальнего Востока / Г. П. Скрыльник // Изучение природных геосистем и их компонентов –С.18–28.
4. Махинов А. Н. Основные факторы формирования катастрофических наводнений в бассейне реки амур в 2013 году / А. Н. Махинов // Чтения памяти В. Я. Леванидова. –2014. –№6. –С. 436-442.
5. Андреев О.В. Проектирование мостовых переходов: учеб. пособие /под общей ред. О. В. Андреева. – М: Транспорт, 1980. – 250 с.
6. Шалыгин А.Л. Натурные исследования на реках бассейна амур в период прохождения паводка 2013 года / А.Л. Шалыгин, И.О. Дугина И.О. // Экстремальные паводки в бассейне Амура: гидрологические аспекты. Сборник работ по гидрологии под ред. В. Ю. Георгиевского, ФГБУ «ГТИ», СПб, 2015.–171 с.
7. Подгорная Т.И. Опасные природно-техногенные геологические процессы на освоенной территории Дальнего Востока РФ / Т. И. Подгорная // Хабаровск: Изд-во ТГУ, 2013. –285 с.
8. Амелченко Ю. А. Выявление и оценка площади русловых деформаций, произошедших за 30 лет на реке Амур на участке от села Екатерино-Никольское до Хабаровска / Ю. А. Амелченко, З. Н. Лотарева // Сборник научных трудов «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». –2018. – Т. 15. –№3. –С. 193–205.
9. Католиков В. М. Учет руслового процесса и режима затопления пойм при разработке противопаводковых защитных мероприятий на реках Амур и Зея и результаты работ Росгидромета по проблеме паводка 2013 года / В. М. Католиков // Доклад. [Электронный ресурс]. URL: hydrology.ru doklad_katolikova_ggi_rosgidromet (дата обращения: 8.12. 2020).
10. Кривошей В. А. О причинах наводнения на реке Амур / Кривошей В. А. // доклад. [Электронный ресурс]. URL: http://npncvp.ru/pubsitpic/floodprichni.pdf (дата обращения: 14.11. 2020).
11. Соколова Г. В. Амур мелеет / Г. В. Соколова // Амур мелеет. [Электронный ресурс]. URL: https://ecodelo.org/rossiyskaya_fedeaciya/dalnevostochnyy_fo/habarovskiy_kray/39375-amur_meleet-statia (дата обращения: 15.10. 2020).
12. Чалов Р. С. Влияние переформирования русел на развитие узлов слияния рек / Р. С. Чалов, С. Н. Рулева // научный журнал «География и природные ресурсы». –2014. –№ 1 –С. 161–168.
13. Чалов Р.С. Речные излуины. / под общей ред. Р.С. Чалова // . – М.: Издательство МГУ, 2004. –371 с. илл.

Список литературы на английском языке / References in English

1. O Strategii nauchno-tehnologicheskogo razvitiya Rossijskoj Federacii [On the Strategy of Scientific and Technological Development of the Russian Federation] / Decree of the President of the Russian Federation dated 01.12.2016 No. 642 // Right. The legal system is Consultant Plus. [in Russian]
2. Mahinov A.N. Navodnenie v bassejne Amura 2013 goda: prichiny i posledstviya [Flood in the Amur Basin 2013: Causes and Consequences] / A.N. Mahinov, V.I. Kim, B.A. Voronov // VECTNIK DVO RAN. –2014. –No. 2. P. 5-14. [in Russian]
3. Skrylnik G. P. Prirodnye riski, krizisy i katastrofy na territorii rossijskogo Dal'nego Vostoka [Natural risks, crises and catastrophes in the Russian Far East] / G.P. Skrylnik // Izuchenie prirodnyh geosistem i ih komponentov [Study of natural geosystems and their components] - P.18-28. [in Russian]
4. Mahinov A.N. Osnovnye faktory formirovaniya katastroficheskikh navodnenij v bassejne reki amur v 2013 godu [The main factors of the formation of catastrophic floods in the Amur River basin in 2013] / A.N. Mahinov // Chtenija pamjati V. Ja. Levaniidova [Readings of memory of V. Y. Levaniidov]. –2014. –No. 6. P. 436-442. [in Russian]
5. Andreev O.V. Proektirovanie mostovyh perehodov [Designing bridge crossings]: studies. allowance /under the general ed. O.V. Andreev. M: Transport, 1980. 250 p. [in Russian]
6. Shalygin A.L. Naturnye issledovaniya na rekah bassejna amura v period prohozhdeniya pavodka 2013 goda [Natural studies on the rivers of the Amur basin during the passage of the 2013 flood] / A.L. Shalygin, I.O. Dugina I.O. // Jekstremal'nye pavodki v bassejne Amura: gidrologicheskie aspekty. Sbornik rabot po gidrologii [Extreme floods in the Amur basin: hydrological aspects. A collection of works on hydrology] / under Ed. V.Y. Georgievsky, FSBU "GGI," SPB, 2015.-171 p. [in Russian]
7. Podgornaya T.I. Opasnye prirodno-tehnogennye geologicheskie processy na osvoennoj territorii Dal'nego Vostoka RF [Dangerous natural-technological geological processes in the developed territory of the Far East of the Russian Federation] / T. I. Podgornaya // Khabarovsk: Tsugh, 2013. –285 p. [in Russian]
8. Amelchenko Y.A. Vyjavlenie i ocenka ploshhadi ruslovyh deformacij, proizoshedshih za 30 let na reke Amur na uchastke ot sela Ekaterino-Nikol'skoe do Habarovska [Identification and assessment of the area of channel deformations that occurred over 30 years on the Amur River on the site from the village of Ekaterino-Nikolskaya to Khabarovsk] / Y. Amelchenko, S. N. Lotareva // Sbornik nauchnyh trudov «Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa» [A collection of scientific works "Modern problems of remote sensing of the Earth from space]. –2018. Vol. 15. –No. 3. P. 193-205. [in Russian]
9. Katolicov V. M. Uchet ruslovogo processa i rezhima zatopeniya pojim pri razrabotke protivopavodkovykh zashhitnyh meroprijatij na rekah Amur i Zeja i rezul'taty rabot Rosgidrometa po probleme pavodka 2013 goda [Accounting for the russo process and flooding regime of flooding floods in the development of flood control measures on the rivers Amur and See and the results of Roshydromet's work on the problem of flooding 2013] / V.M. Katolicov // Report. [Electronic resource] URL: hydrology.ru doklad_Katolikova_ggi_rosgidromet (accessed: 8.12. 2020). [in Russian]
10. Crivohei V.A. O prichinah navodneniya na reke Amur [On the causes of flooding on the Amur River] / Crivohei VA // Report. [Electronic resource] URL: http://npncvp.ru/pubsitpic/floodprichni.pdf (accessed: 14.11. 2020). [in Russian]
11. Sokolova G. V. Amur meleet [Cupid is shallow] / G.V. Sokolova // Amur meleet [Cupid is shallow]. [Electronic resource] URL: https://ecodelo.org/rossiyskaya_fedeaciya/dalnevostochnyy_fo/habarovskiy_kray/39375-amur_meleet-statia (accessed: 15.10. 2020). [in Russian]
12. Chalov R.S. Vlijanie pereformirovanij rusel na razvitie uzlov slijanija rek [Influence of reformations of the river on the development of river confluence nodes] / R.S. Chalov, S.N. Ruleva // nauchnyj zhurnal «Geografija i prirodnye resursy». [scientific journal «Geografya and Natural Resources»]. –2014. No. 1 -P. 161-168. [in Russian]
13. Chalov R.S. Rechnye izluchiny [River bends]. / under the general ed. R.S. Chalova // . M.: MSU Publishing House, 2004. - 371 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.103.2.007>**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРИТОЧНОГО КЛАПАНА**

Научная статья

Ласкин И.А.*Филиал Национального исследовательского университета «Московского Энергетического Института»
в г. Смоленске, Смоленск, Россия

* Корреспондирующий автор (laskinilya98[at]gmail.com)

Аннотация

Описан процесс постоянного притока воздуха в помещение с применением технологического приспособления, а именно приточного клапана. По результатам исследования, было выявлено что приточный клапан способен развивать достаточно высокую объемную производительность, и тем самым может применяться на промышленных предприятиях для поддержания оптимальных параметров микроклимата в помещении. Так же была построена аппроксимирующая функция от экспериментально полученных данных. Она позволяет спрогнозировать работоспособность приточного клапана в диапазоне физических данных, не вошедших в поле данных проведенного эксперимента. Получен снимок тепловизора, позволяющий визуально оценить перепад температур, и тем самым доказать поступление воздуха в помещение из окружающей среды.

Ключевые слова: инфильтрация, приточный клапан, вентиляция, объем, производительность.

DETERMINING THE VOLUME CAPACITY OF A FRESH AIR INTAKE VENT

Research article

Laskin I.A.*

Branch of the National Research University of the Moscow Power Engineering Institute in Smolensk, Smolensk, Russia

* Corresponding author (laskinilya98[at]gmail.com)

Abstract

The current study describes the process of constant airflow into the room with the use of a technological device, namely the fresh air intake vent. The study found that the fresh air intake vent is able to develop a sufficiently high volumetric capacity, and thus can be used in industrial enterprises to maintain optimal parameters of indoor microclimate. The research also constructs the approximating function from the experimentally obtained data that allows for predicting the performance of the fresh air intake vent in the range of physical data that is not included in the data field of the experiment. A thermal imager image was obtained, which helps visually assess the temperature difference and thus prove the exterior flow of air into the room.

Keywords: infiltration, fresh air intake vent, ventilation, volume, productivity.

Введение

Инфильтрация воздуха – способ обеспечить работу естественной вентиляции помещения. Приточный клапан позволяет обеспечить постоянный приток свежего воздуха, при этом решая важную проблему: герметичные светопрозрачные конструкции не дают воздуху проникать в помещение, тем самым образуя зоны «застоя» воздуха, скопления влаги, и, как следствие, образования плесени [10]. Так же имеется возможность регулировать приток свежего воздуха.

Большинство бытовых клапанов приточной вентиляции действуют без дополнительного источника энергии – за счет разницы в атмосферном давлении на открытом воздухе и в помещении, где давление ниже, создается воздушный поток, входящий в помещение с улицы и обеспечивающий вентиляцию [8]. Проветриватель - устройство пассивной вентиляции. В большинстве случаев, чтобы приточный клапан выполнял свои функции, достаточно обеспечить соблюдение всего трех условий:

- чтобы температура воздуха за окном была не выше +5°C [10];
- чтобы в вашем доме нормально работала система вентиляции;
- чтобы между комнатами в доме воздух мог свободно проходить в достаточном количестве - как правило, для этого достаточно, чтобы межкомнатные двери имели снизу зазор не менее 2 см [2].

Экспериментальная часть

Сущность эксперимента заключается в следующем: приточный клапан VT-101 врезается в раму герметичного пластикового окна в помещении размером 4х3х2 м.

Для корректных показателей работоспособности приточного клапана необходимо было произвести измерения скоростей потока в воздухе при температурах наружного воздуха больше 5 °C с использованием механического побудителя в вытяжке (таблица 2) и меньше 5 °C [3], [10] без использования механического побудителя (таблица 1).

Таблица 1 – Скорости ветра на клапане в различных положениях регулирования при температуре наружного воздуха ниже 5 °C

Канал 1, м/с	Канал 2, м/с	Канал 3, м/с	Сумма скоростей на клапане, м/с	Скорость на вытяжке, м/с
2,5	–	–	2,5	0,8
–	2,4	–	2,4	
–	–	2,6	2,6	
2,2	1,9	–	4,1	0,8
2,2	–	2,1	4,3	
–	2,3	2,0	4,3	
2,4	2,1	2,0	6,5	0,8

Измерения скорости воздуха производились с помощью термоанемометра testo 425 при температуре наружного воздуха – 9 °C

Элементарные объемные расходы вычисляем по формуле:

$$Q = v \cdot F, \text{ где} \quad (1)$$

v – скорость потока воздуха, м/с

F – площадь поперечного сечения проходного канала.

Площади поперечного сечения каналов:

$$F_{к.1} = 1008 \text{ мм}^2$$

$$F_{к.2} = 1045 \text{ мм}^2$$

$$F_{к.3} = 1150 \text{ мм}^2$$

Расходы воздуха:

$$Q_{к.1} = 2,5 \cdot 1008 \cdot 10^{-6} = 0,00252 \text{ м}^3/\text{с} = 9,07 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$Q_{к.2} = 2,4 \cdot 1045 \cdot 10^{-6} = 0,0025 \text{ м}^3/\text{с} = 9,0 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$Q_{к.3} = 2,6 \cdot 1150 \cdot 10^{-6} = 0,003 \text{ м}^3/\text{с} = 10,76 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$Q_{к.1-2} = 4,1 \cdot (1008 + 1045) \cdot 10^{-6} = 0,0084 \text{ м}^3/\text{с} = 30,30 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$Q_{к.1-3} = 4,3 \cdot (1008 + 1150) \cdot 10^{-6} = 0,0093 \text{ м}^3/\text{с} = 33,48 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$Q_{к.2-3} = 4,3 \cdot (1045 + 1150) \cdot 10^{-6} = 0,0094 \text{ м}^3/\text{с} = 33,84 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$Q_{к.1-2-3} = 6,5 \cdot (1008 + 1045 + 1150) \cdot 10^{-6} = 0,021 \text{ м}^3/\text{с} = 75,60 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Для проверки работоспособности приточного клапана при температуре наружного воздуха больше 5 °C, необходимо было произвести установку вентилятора в вытяжной канал. Вследствие этого был установлен осевой вентилятор с диаметром рабочего колеса 125 мм. Для того, чтобы знать какое давление создает вентилятор необходимо было произвести его тарирование. Так как на осевом вентиляторе данного типа статическое давления незначительно, то дальнейшие расчеты ведем через динамическое давление [1]. Для измерения скорости всасывания потока вентилятора использовался крыльчатый анемометр АСО – 3. Важно отметить, что замер скорости потока воздуха в вентиляторе необходимо производить на расстоянии не менее 5 рабочих диаметров вентилятора, так как только на этом расстоянии поток воздуха стабилизируется, то есть переходит из турбулентного состояния в ламинарное [2], [5].

Тарировка произведена на 8 режимов работы вентилятора от минимального до максимального и обозначена их следующим образом: N, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6; где N – минимальное напряжение, 6 – максимальное напряжение, остальные режимы идут в порядке возрастания подаваемого напряжения. Посредством изменения напряжения на вентиляторе через регулятор напряжения, изменяется скорость всасывания потока, и тем самым изменяем давление, создаваемое вентилятором.

Динамическое давление рассчитываем по формуле:

$$P_{\text{дин.}} = \frac{\rho \cdot V^2}{2}, \text{ где} \quad (2)$$

ρ – плотность воздуха, при $t = 20$ °C;

V – скорость потока воздуха в вентиляторе.

Давление, создаваемое вентилятором при различных режимах

Режим N:

$$V = 0,77 \text{ м/с}$$

$$P_{\text{дин.}} = \frac{1,2 \cdot 0,77^2}{2} = 0,36 \text{ Па}$$

Режим 0:

$$V = 1,16 \text{ м/с}$$

$$P_{\text{дин.}} = \frac{1,2 \cdot 1,16^2}{2} = 0,81 \text{ Па}$$

Режим 1:

$$V = 1,5 \text{ м/с}$$

$$P_{\text{дин.}} = \frac{1,2 \cdot 1,5^2}{2} = 1,35 \text{ Па}$$

Режим 2:

$$V = 1,75 \text{ м/с}$$

$$P_{\text{дин.}} = \frac{1,2 \cdot 1,75^2}{2} = 1,84 \text{ Па}$$

Режим 3:

$$V = 2,1 \text{ м/с}$$

$$P_{\text{дин.}} = \frac{1,2 \cdot 2,1^2}{2} = 2,65 \text{ Па}$$

Режим 4:

$$V = 2,5 \text{ м/с}$$

$$P_{\text{дин.}} = \frac{1,2 \cdot 2,5^2}{2} = 3,75 \text{ Па}$$

Режим 5:

$$V = 2,57 \text{ м/с}$$

$$P_{\text{дин.}} = \frac{1,2 \cdot 2,57^2}{2} = 3,96 \text{ Па}$$

Режим 6:

$$V = 2,63 \text{ м/с}$$

$$P_{\text{дин.}} = \frac{1,2 \cdot 1,5^2}{2} = 4,15 \text{ Па}$$

Стоит отметить, что статическим давлением стоит пренебречь, так как при попытке его измерения при помощи жидкостного манометра, значения манометра не изменилось. Это говорит о том, что изменение статического давления имеет значение близкое к нулю. Именно поэтому им стоит пренебречь.

Обработка полученных данных

После тарирования вентилятора, он был установлен в вентиляционный вытяжной канал. Затем произведены измерения скоростей притока воздуха при различных режимах работы вентилятора и посчитаны объемы притока воздуха. Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Объемы притока воздуха при различных режимах работы вентилятора

№ режима	Канал 1			Канал 2			Канал 3			
	V, м/с	$P_{\text{дин.}}$, Па	Q, м ³ /ч	V, м/с	$P_{\text{дин.}}$, Па	Q, м ³ /ч	V, м/с	$P_{\text{дин.}}$, Па	Q, м ³ /ч	$Q_{\text{общ.}}$, м ³ /ч
Режим N	0,9	0,36	3,27	0,7	0,36	2,63	0,6	0,36	2,48	9,96
Режим 0	1,3	0,81	4,72	1,1	0,81	4,14	1,0	0,81	4,14	14,63
Режим 1	1,4	1,35	5,07	1,2	1,35	4,50	1,1	1,35	4,54	15,91
Режим 2	1,5	1,84	5,44	1,3	1,84	4,90	1,3	1,84	5,6	17,6
Режим 3	1,7	2,65	6,16	1,6	2,65	6,01	1,5	2,65	6,19	20,89
Режим 4	2,0	3,75	7,20	1,8	3,75	6,74	1,8	3,75	7,45	24,12
Режим 5	2,2	3,96	7,99	2,1	3,96	7,88	2,1	3,96	8,67	27,44
Режим 6	2,4	4,15	8,71	2,3	4,15	8,64	2,2	4,15	9,11	30,6

Из полученных экспериментальным путем данных, используя один из методов аппроксимации функции, стоит построить график аппроксимирующей функции. Это позволит оценить объемную производительность приточного клапана в диапазоне данных вне поля произведенных измерений. Уравнение аппроксимирующей функции – уравнение прямой линии.

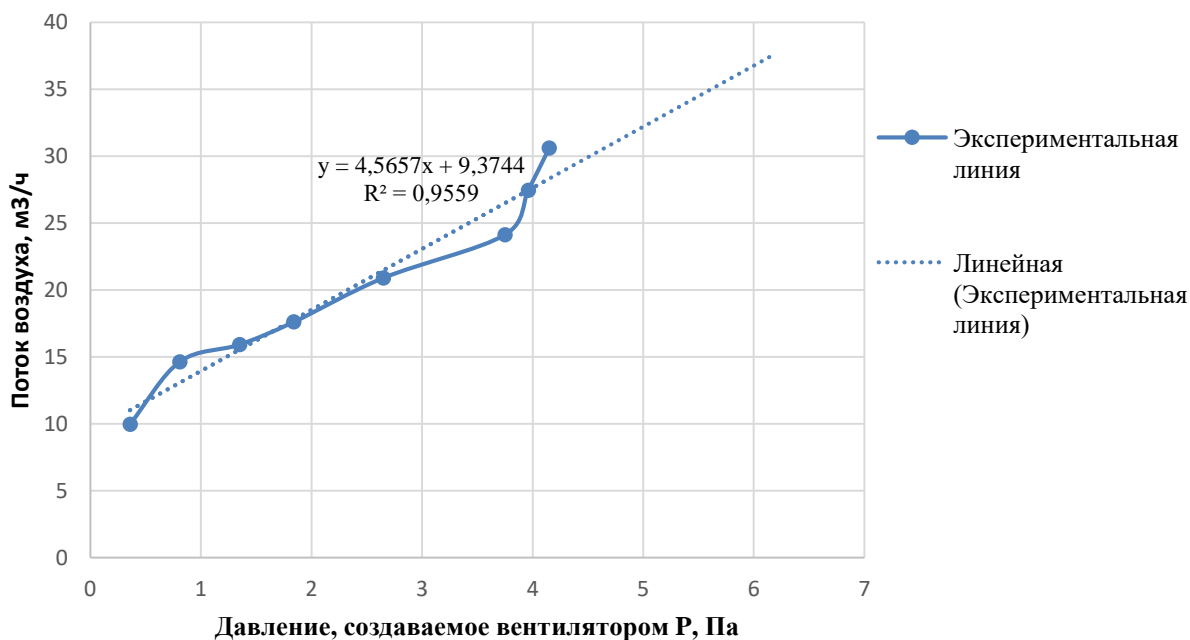


Рис. 1 – Экспериментальная зависимость притока воздуха от давления, создаваемого вентилятором

Чтобы убедиться в том, что осуществляется приток свежего воздуха, а не выход тепла из помещения, был произведен замер тепловизором. Результаты замера приведены на рисунке 2.

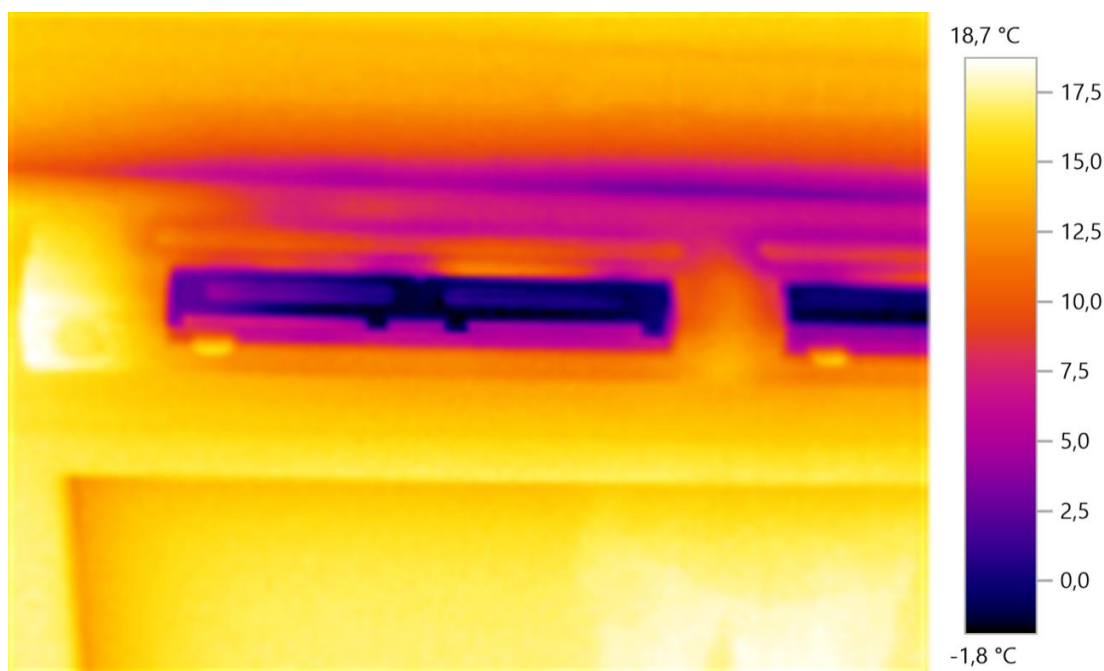


Рис. 2 – Тепловизионный снимок клапана

Из приведенных рисунков видно, что площадь поверхности клапана имеет довольно низкую температуру. Это свидетельствует о том, что в помещение поступает наружный (холодный) воздух и потери тепла будут обуславливаться только смешиванием холодного и теплого потоков воздуха, но не выходом его через клапан наружу.

Заключение

В ходе исследования, были произведены испытания оконного приточного устройства, в ходе которых было произведено тарирование вентилятора диаметром 125 мм. на 8 режимов работы. Так же выявлена реальная объемная производительность в холодный период года, когда устройство работает без механического побудителя в вытяжном канале, и в теплый период, когда устройство работает только с механическим побудителем. В холодный период года максимальная производительность приточного устройства составляет 75 м³/ч, а в теплый период – 31 м³/ч. Это обусловлено тем, что в холодное время года разность давления имеет большее значение, в сравнении с летним периодом. Сделаны снимки тепловизором, доказывающие работоспособность приточного клапана.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Архипов, Т. В. Автоматическое регулирование вентиляции и кондиционирования воздуха / Т.В. Архипов. - М.: ЁЁ Медиа, 2014. - 834 с.
2. Баркалов, Б. Кондиционирование воздуха в промышленных, общественных и жилых зданиях / Б. Баркалов, Е. Карпис. - М.: Литературы по строительству, 2014. - 270 с.
3. Беккер А. Системы вентиляции / А. Беккер. - М: Техносфера, Евроклимат, 2007. - 240 с.
4. Боровков, В.С. Аэрогидродинамика систем вентиляции и кондиционирования воздуха / В.С. Боровков, Ф.Г. Майрановский. - М.: Стройиздат, 2015. - 120 с.
5. Игнаткин И.Ю. Система рекуперации теплоты с адаптивной рециркуляцией вытяжного воздуха / И.Ю. Игнаткин // Вестник ВНИИМЖ. 2019. № 1 (33). С. 100 – 103.
6. Ливчак, И.Ф. Вентиляция многоэтажных жилых зданий / И.Ф. Ливчак. - М.: АВОК-ПРЕСС, 2016. - 82 с.
7. Лобов Д.С. Энергосбережение в системах вентиляции / Д.С. Лобов, К.С. Самутенко // Актуальные вопросы энергетики. 17.05.2017. С. 46 – 48
8. Самойлов, В. С. Вентиляция и кондиционирование / В.С. Самойлов, В.С. Левадный. - М.: Аделант, 2014. - 240 с.
9. СанПиН 2.1.2.1002 – 00 Санитарно-эпидемиологические требования к жилым зданиям и помещениям. – Введ. 2007-07-01. – М.: Минздрав России, 2001. – 27 с.
10. СНиП 2.04.05. – 91 Отопление, вентиляция и кондиционирование – Введ. 1992-01-01. – М.: Госстрой РФ, 1992. – 64 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Arkhipov, V. V. Avtomaticheskoe regulirovanie ventiljacji i kondicionirovanija vozduha [Automatic Regulation of Ventilation and Air Conditioning] / T. V. Arkhipov. - М.: YoYo Media, 2014. - 834 p. [in Russian]
2. Barkalov, B. Kondicionirovanie vozduha v promyshlennyh, obshhestvennyh i zhilyh zdaniyah [Air Conditioning in Industrial, Public and Residential Buildings] / B. Barkalov, E. Karpis. - М.: Literature on construction, 2014. - 270 p. [in Russian]
3. Becker A. Sistemy ventiljacji [Ventilation Systems] / A. Becker. - М: Tekhnosfera, Evroklimat, 2007. - 240 p. ISBN 978-5-94836-147-5 [in Russian]
4. Borovkov, V. S. Aehrogidrodinamika sistem ventiljacji i kondicionirovanija vozdukha [Aerohydrodynamics of Ventilation and Air Conditioning Systems] / V. S. Borovkov, F. G. Mayranovsky. - М.: Stroyizdat, 2015. - 120 p. [in Russian]
5. Ignatkin I. Yu. Sistema rekuperacii teploty s adaptivnojj recirkulaciejj vytjazhnogo vozdukha [Heat Recovery System With Adaptive Exhaust Air Recirculation] / I. Yu. Ignatkin // Bulletin of the All-Russian Research Institute of Livestock Production Engineering. 2019. № 1 (33), pp. 100 – 103 [in Russian]
6. Livchak, I. F. Ventiljacija mnogoetazhnykh zhilykh zdaniij [Ventilation of Multi-Storey Residential Buildings] / I. F. Livchak. - М.: AVOK-PRESS, 2016. - 82 p. [in Russian]
7. Lobov, D. S. Ehnergosberezhenie v sistemakh ventiljacji [Energy Conservation in Ventilation Systems] / D. S. Lobov, K. S. Samusenko // Aktual'nye voprosy ehnergetiki [Current Issues of Power Engineering]. 17.05.2017, pp. 46 – 48 [in Russian]
8. Samoylov, V. S. Ventiljacija i kondicionirovanie [Ventilation and Air Conditioning] / V. S. Samoilov, V. S. Levadny. - М.: Adellant, 2014. - 240 p. [in Russian]
9. SanPiN 2.1.2.1002-00 Sanitarno-ehpidemiologicheskie trebovanija k zhilym zdanijam i pomeshhenijam [Sanitary and Epidemiological Requirements for Residential Buildings and Premises]. - Effective from 2007-07-01. - Moscow: Ministry of Health of Russia, 2001. - 27 p. [in Russian]
10. SNiP 2.04.05. - 91 Otoplenie, ventiljacija i kondicionirovanie [Heating, Ventilation and Air Conditioning-Introduction]. Effective from 1992-01-01. - Moscow: Gosstroy RF, 1992. - 64 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.103.2.008>

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ

Обзорная статья

Мурузина Е.В.*

ORCID: 0000-0001-6663-344X,

Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского) Федерального Университета,
Набережные Челны, Россия

* Корреспондирующий автор (sds-m7lab[at]mail.ru)

Аннотация

Рассмотрено определение коэффициента фильтрации песчаных грунтов лабораторными испытаниями. Существующая стандартная методика вызывает некоторые затруднения расчета в виду неточных формулировок испытания, что приводит к их различной интерпретации. Также требуется выполнение промежуточных расчетов, построения аппроксимированного графика, что является трудоемкой процедурой, особенно для сотрудников производственных лабораторий. Выявлено, что на коэффициент фильтрации песчаной смеси влияет, в том числе ее гравийная составляющая, которая в стандартной методике не учитывается.

Установлено, что перед началом испытаний отсутствуют рекомендации выбора режима фильтрации и, соответственно, прибора. Отмечены два режима фильтрования и связанные с ним показатели градиента напора и начальной высоты уровня воды в приборе, оказывающие влияние на расчет.

Показана возможность упрощения промежуточных расчетов, в том числе без построения графика. Доказана эффективность введения в расчет раздела по учету гравийной составляющей песчаного грунта.

Ключевые слова: коэффициент фильтрации, песчаный грунт, градиент напора, лабораторные испытания.

ON CALCULATING THE FILTRATION COEFFICIENT OF SANDY SOILS

Review article

Murzina E.V.*

ORCID: 0000-0001-6663-344X,

Kazan Federal University - Naberezhnye Chelny Institute, Naberezhnye Chelny, Russia

* Corresponding author (sds-m7lab[at]mail.ru)

Abstract

The current study examines the calculation of the filtration coefficient of sandy soils through laboratory tests. The existing standard methodology causes some difficulties in the calculation due to the inaccurate wording of the test, which leads to different interpretations. It also requires performing intermediate calculations, constructing an approximate schedule, which is a time-consuming procedure, especially for employees of production laboratories. The study demonstrates that the filtration coefficient of the sand mixture is affected, among others, by the gravel component, which is not taken into account in the standard method.

It is also established that before the start of the tests, there are no recommendations for selecting the mode and the device of the filtration. The study notes two filtering modes and the associated pressure gradient and the initial height of the water level in the device that affect the calculation as well as shows the possibility of simplifying intermediate calculations, including those without plotting. The research proves the efficiency of introducing the section on accounting for the gravel component of sandy soil into the calculation.

Keywords: filtration coefficient, hydraulic conductivity, sandy soil, the gradient of pressure, laboratory tests.

Введение

Определение коэффициента фильтрации, главным образом, песчаных грунтов, а также песчано-гравийных смесей, природного песка является актуальной практической задачей. Определение его значения важно при выборе рациональной схемы подземного контура, расчета конструкций водопорного элемента, а также при фильтрационных утечках, скорости консолидации грунта в основании [1]. Этот показатель является определяющим для морозозащитного, дренающего слоя дорожной одежды при строительстве и реконструкции автомобильных дорог [2].

В связи с обеспечением требуемых показателей СП 34.13330.2012 «Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85 «Автомобильные дороги» и требований контракта (договора строительного подряда) данный показатель грунта (песка), как и другие характеристики, определяется с конкретного строительного объекта в лабораторных условиях. После отбора проб по ГОСТ 12071-2014 «Грунты. Отбор упаковка, транспортирование и хранение образцов», доставки в лабораторию, грунтовый материал подготавливают, а затем осуществляют его лабораторные исследования, включая определение показателя коэффициента фильтрации грунта. Регулярность испытания грунта на данный показатель определяется сменой партии или поставщика материала, а также по требованию Подрядного договора, Заказчика или строительного контроля. Далее возникают вопросы по методике испытания и расчета данного показателя песчаного грунта.

Анализ публикаций показывает разнообразие методик и приборов по определению коэффициента фильтрации грунтов.

В связи с внедрением современных зондов с датчиками порового давления появилась возможность оценить фильтрационные характеристики грунтов проведением статического зондирования [3], [4]. Однако расчет по этим методикам носит преимущественно эмпирический характер с привязкой к определенным разновидностям грунта и климатических зон. Российскими учеными [5] предложена методика оценки коэффициента фильтрации грунта по данным статического зондирования, используя численное моделирование при помощи программного комплекса Plaxis 2D с применением модели упрочняющегося грунта (Hardening Soil) [6], [7].

В работе [8] вводится понятие «неопределенность», заменяя понятие «погрешность» при определении коэффициента фильтрации исследуемого грунта. В статье [9] приводится методика определения коэффициента фильтрации водоносных грунтов, позволяющая подбирать оптимальное фильтровальное оборудование для скважин. Даны формулы по расчету коэффициентов фильтрации грунтов для разнообразных видов скважин, находящихся в различных гидрологических и гидрогеологических условиях. Определение коэффициента фильтрации в слабопроницаемых грунтах предложено в [10].

Появляются работы по определению данного показателя с помощью математического моделирования и расчетных схем [11], [12], [13]. Исследователи [14] оценивают масштабный эффект, используя коэффициенты фильтрации, определенные различными методами. В работе [15] рассматривается модель двухмерной фильтрации частиц грунта с трехмерными порами, что позволяет проследить эволюцию процесса фильтрации.

Фильтрационные испытания грунтов осуществляются по действующему ГОСТ 25584-2016 «Грунты. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации». Сравнительно недавно он был актуализирован, однако данная методика лабораторных испытаний и соответственно расчет, вызывают вопросы.

Таким образом, публикации и стандартная методика показывают разноплановость подходов методик определения, приборов и способов проведения испытания песчаных грунтов на коэффициент фильтрации. Цель данной работы - выявление недостатков существующего стандарта (нормативного документа) по лабораторному определению коэффициента фильтрации песчаных грунтов и разработки рекомендаций по их изменению и упрощению.

Методы и принципы исследования

Стандартные методики определения коэффициента фильтрации грунтов

В ГОСТе 25584-2016 обозначены три методики определения коэффициента фильтрации песчаных грунтов: при постоянном градиенте напора (стационарный режим фильтрации), при переменном градиенте напора (нестационарный режим фильтрации) и методики, применяемой в дорожном и аэродромном строительстве. Для первой методики рекомендуется использовать прибор, изображенный на рисунке 1.

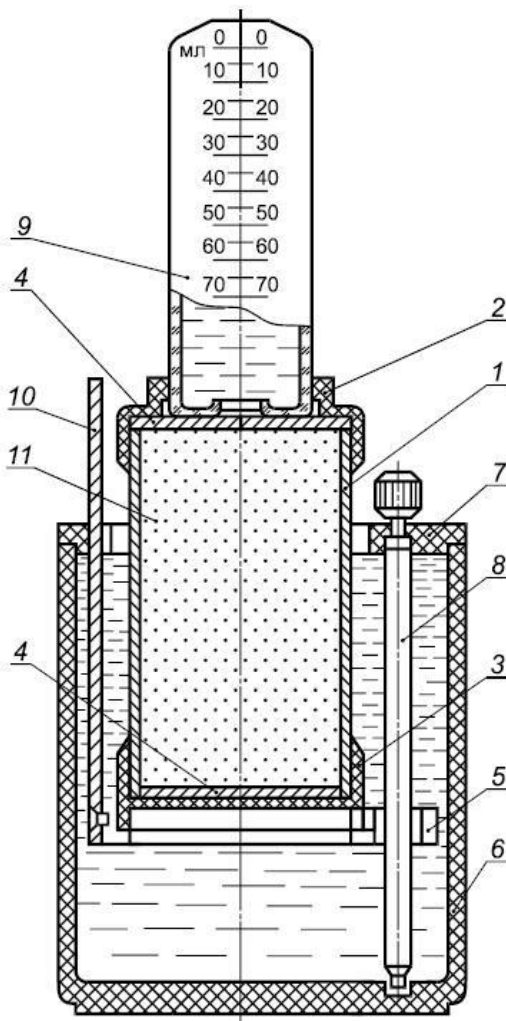


Рис. 1 – Схема фильтрационного прибора для определения коэффициента фильтрации песчаных грунтов при постоянном градиенте напора:

- 1 - цилиндр; 2 - муфта; 3 - перфорированное дно; 4 - латунная сетка; 5 - подставка;
6 - корпус; 7 - крышка; 8 - подъемный винт; 9 – стеклянный баллон со шкалой объема фильтрующей жидкости;
10 – планка со шкалой градиента напора; 11 –испытываемый образец грунта

Для расчета вторым и третьим способом предлагается прибор фильтрации, называемый производителями ПКФ (прибор для определения коэффициента фильтрации песчаных грунтов) Союздорнии (см. рисунок 2).

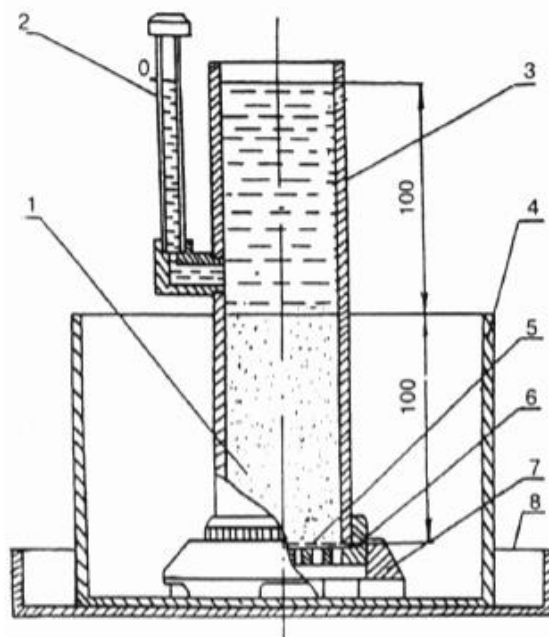


Рис. 2 – Схема прибора Союздорнии ПКФ для определения коэффициента фильтрации песчаных грунтов:

1 - образец грунта; 2 – пьезометр; 3 – фильтрационная трубка; 4 – стакан; 5 – латунная сетка;

6 – съемное перфорированное дно; 7 – подставка; 8 – поддон

К сожалению, ГОСТ 25584-2016 не указывается по какому принципу перед началом испытаний должен выбираться прибор и соответственно, режим фильтрации. Подобный вопрос встает и при оснащении лаборатории оборудованием.

О трудностях, связанных с определением коэффициента фильтрации стандартным прибором Союздорнии ПКФ также указывают в [16].

Методика определения коэффициента фильтрации песчаных грунтов

Для определения коэффициента фильтрации песчаных грунтов при переменном градиенте напора, а также грунтов, используемых в дорожном и аэродромном строительстве, применяется, как было сказано выше, фильтрационный прибор, изображенный на рис.2.

В начале испытания согласно п.4.5.3.2 ГОСТ 25584-2016 требуется рассчитать значение объема воды (см³) для увлажнения пробы грунта по формуле (1):

$$Q = \frac{m(\omega_0 - \omega_q)}{\rho_w(1 + \omega_q)} \quad (1)$$

где m – масса пробы грунта, г;

ω_0 – оптимальная влажность грунта, доли единицы;

ω_q – гигроскопическая влажность грунта, доли единицы;

ρ_w – плотность воды, равная 1 г/см³.

Однако, данная формула пригодна лишь в случае, когда гигроскопическая влажность грунта меньше оптимальной. Но так бывает не всегда. Если же $\omega_q > \omega_0$, то грунт не требуется увлажнять, и для дальнейшего расчета плотности сухого грунта в трубке ρ_{di} учитывается фактическая влажность грунта.

При испытании грунта согласно п.4.5.3.5 ГОСТ 25584-2016 указывается, что фильтрационную трубку 3 с грунтом на подставке помещают в стакан 4, который постепенно наполняют водой до верха. Затем этот стакан с прибором помещают в емкость для воды (ведерко) и заполняют водой до уровня выше слоя гравия на 10-15 мм. После появления воды в трубке над слоем гравия воду доливают примерно на $\frac{1}{3}$ ее высоты. Далее извлекают стакан с прибором из емкости (ведерка) (п.4.5.3.6) ГОСТ 25584-2016 и устанавливают на поддон. В этом случае градиент напора будет равен 1 ($i=1$).

С этого момента начинается сам процесс испытания, или как говорят специалисты, «материал начинает фильтровать».

Обсуждение

ГОСТ 25584-2016 п.4.3.4.2 рекомендует в процессе фильтрации (указанной выше) при времени падения уровня воды в пьезометре от отметки 0 до 50 мм более 10 минут фильтрационную трубку с подставкой извлекать из стакана и устанавливать на поддон. При этом указывается, что градиент напора увеличивается, без указания величин.

Но такие «пробные» испытания отнимают много времени у испытателей, включая продолжительную подготовительную работу. Поэтому было бы удобнее прибор (трубку) выставлять сразу, в начале испытания на поддон и размытое понятие «градиент напора увеличивается» замениться конкретным значением: $i=2$.

Далее в процессе расчета по результатам испытаний должен строиться график в координатах $\ln\left(\frac{H_0}{H_0-S}\right) - C \cdot t$, где H_0 – начальная высота уровня воды в пьезометре, см; S – снижение уровня воды в пьезометре, см; t – время, за которое произошло снижение уровня воды на значение S , сек.

К сожалению, в ГОСТе 25584-2016 не указано, каким образом значение градиента напора i связано с показателем «начальная высота уровня воды в пьезометре» - H_0 . В связи с этим, возникает разная интерпретация расчетов исследователей. В случае, когда градиент напора равен 1 ($i=1$) и прибор (трубка) фильтрует на поддоне в стакане с водой, тогда принимается $H_0=10$ см. В случае, когда фильтрационная трубка с песчаным грунтом фильтрует непосредственно на поддоне, то при расчете градиент напора следует брать $i=2$, а соответственно, $H_0=20$ см.

Показатель S характеризует снижение уровня воды в пьезометре (п. 4.3.5.1 ГОСТ 25584-2016) и имеет, как правило, следующие значения: 0, 10; 20; 30; 40 и 50 мм. Замер времени этого снижения осуществляется на каждой точке, т.е. через каждые 10 мм пьезометра.

Для построения графика по оси Y должны откладываться значения $\ln\left(\frac{H_0}{H_0-S}\right)$. Как говорилось выше, в случае градиента напора воды $i=1$, значения по оси Y составят: 0,10; 0,22; 0,36; 0,51; 0,69. Если используется случай с градиентом напора $i=2$, то значения для оси Y будут следующими: 0,05; 0,10; 0,17; 0,22; 0,29. Нанесенные на ось Y цифровые значения были бы наиболее удобны при расчете, чем нахождение логарифмической дроби.

Значения координат по оси X должны соответствовать $C \cdot t$, где C рассчитывается по формуле (2):

$$C = \frac{F_k}{F_n \cdot l_k} \quad (2)$$

где F_k и F_n – площади поперечного сечения образца грунта и фильтрационной трубки над образцом грунта.

Значение F_k будет равно F_n при условии равных значений этих параметров, подставленных в формулу (2). Таким образом, данные показатели можно сократить и формула соответственно, упроститься. l_k – это высота образца грунта (см), который засыпается в начале испытаний в трубку прибора ($h = 20$ см), и должна составлять 10 см. Поэтому C будет равно 0,1, а t включает в себя пять показаний времени, соответствующих значениям S в секундах. Тогда ось X будет именоваться $0,1 \cdot t$, см·сек. По полученным значениям в координатных осях строится график в виде аппроксимированной прямой (см. рисунок 3).

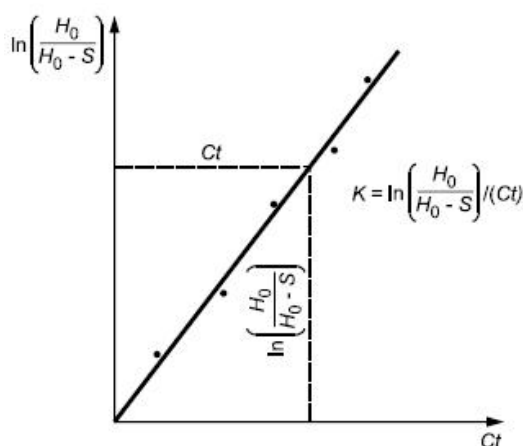


Рис. 3 – График для определения коэффициента фильтрации песчаных грунтов

Из построенного графика (по пяти значениям пьезометра) в произвольной точке определяется предварительный коэффициент фильтрации K в см/сек по формуле (3):

$$K = \frac{\ln\left(\frac{H_0}{H_0-S}\right)}{C \cdot t} \quad (3)$$

Опыт лабораторных испытаний показывает, что все эти пять значений ложатся в прямую без аппроксимирования, поэтому можно для расчетов принимать или среднее значение среди пяти, или значение, соответствующее пятой точке. Таким образом, необходимость в построении графика отсутствует и его можно заменить расчетом.

Далее согласно п.4.3.5.3 ГОСТ 25584-2016 определяется коэффициент фильтрации K_{10} , приведенный к условиям фильтрации при температуре 10 °C (м/сут) по формуле (4):

$$K_{10} = 864 \frac{K}{T} \quad (4)$$

где $T = (0,7 + 0,03T_\phi)$

T_ϕ - фактическая температура воды при испытании, °C.

Согласно ГОСТ 25584-2016 расчеты по определению коэффициента фильтрации на этом заканчиваются. Однако, это не совсем так.

Практический опыт показывает, что испытываемый песчаный материал редко бывает однородным по гранулометрическому составу и поэтому при расчете коэффициента фильтрации необходимо учитывать содержание в нем гравия (частицы размером 2-10 мм), который, как правило, в составе песчаной смеси увеличивает значение коэффициента фильтрации. При условии, что эти частицы не являются глиной или органическими примесями.

Данная методика имеется в ГОСТ 25607-2009, которую желательно применять при определении коэффициента фильтрации песчаных грунтов. Согласно п.5.11 СП 34.13330.2012 сначала определяется эффективный размер частиц представленной песчаной смеси $D_{э.с.}$, которому соответствует такой номинальный размер отверстий сита, полный остаток (%) на котором, определяют по формуле (5):

$$X = \frac{100(M_n - 10)}{M_n} \quad (5)$$

где M_n – содержание песка в смеси, % по массе (данный показатель может также называться «Проход на сите № 2,5, %», который берется из зернового состава песчаного грунта).

$D_{э.с.}$ – «виртуальный» размер сита, соответствующий «Проходу» X ; определяется пропорцией, используя промежуточные значения «размер сита, мм – Проход, %» из данных зернового состава.

Для последующего расчета необходим эффективный размер частиц песка $D_{э.п.}$, которому соответствует номинальный размер отверстий сита, полный остаток на котором $X=90\%$. Этот показатель также определяется пропорцией.

Заканчивают расчет следующей формулой (6):

$$K_f = \left(\frac{D_{э.с.}}{D_{э.п.}} \right)^2 \cdot K_{10}, \quad (6)$$

подставив полученные значения $D_{э.с.}$ и $D_{э.п.}$.

Полученное значение K_f имеет размерность м/сут.

Заключение

Выявлены недостатки стандартной методики расчета коэффициента фильтрации песка в лабораторных условиях. Предложены рекомендации по их изменению:

1. Перед началом испытаний рекомендуется обозначать режим фильтрации и применяемый фильтрационный прибор.
2. При лабораторных испытаниях принимать во внимание фактическую влажность песчаного грунта и сопоставлять ее с оптимальной.
3. Значение градиента напора i необходимо согласовывать с процессом фильтрования грунта и с показателем «начальная высота уровня воды в пьезометре» – H_0 .
4. При построении графика коэффициента фильтрации предлагается нанесение числовых значений по оси Y , а на оси X – показатель $0, l \cdot t$ (см·сек).
5. Возможность замены построения графика аппроксимированной прямой на расчет.
6. Предложено ввести в методику расчета раздел по учету гравийной составляющей песчаного грунта.

Благодарности

Автор выражает признательность экс-начальнику Испытательной лаборатории ЗАО «Трест Транспроект» (г. Казань) – Позняковой Тамаре Николаевне при подготовке материала.

Acknowledgement

The author expresses his gratitude to Tamara Nikolaevna Poznyakova, ex-head of the Testing Laboratory of JSC "Trest Transproekt" (Kazan), when preparing the material.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Касперов Г. И. Методика лабораторных исследований по определению коэффициента фильтрации песчаных грунтов для оценки безопасности при эксплуатации шламохранилищ / Г. И. Касперов, В. Е. Левкевич, С. М. Пастухов и др. // Вестник Командно-инженерного института МЧС Респ. Беларусь. - 2015.- № 2 (22). - С. 68-72.
2. Цупиков С. Г. Строительство дорожных одежд и материально-техническое обеспечение дорожного строительства / С. Г. Цупиков, Н. С. Казачек, Л. С. Цупикова: учеб. пособие, Москва : Вологда: Инфра-Инженерия, 2019. 380с. [Электронный ресурс] URL: <http://znanium.com/catalog/product/1053291> (дата обращения 20.11.2020).
3. Fellenius H. Basics of foundation design / H. Fellenius. Sidney, Canada. - 2014. - 413p.
4. Togliani G. CPT / CPTupilecapacity prediction methods–questiontime / G. Togliani, G .R Reuter. // 3rd Intern. Symp. Cone Penetration Testing. LasVegas, Nevada, USA. - 2014. - P. 993–1002.
5. Пономарев А. Б. Определение коэффициента фильтрации глинистого грунта по данным статического зондирования с измерением порового давления / А. Б. Пономарев, М. А. Безгодов // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. - 2017. - Т. 8. - № 4. - С. 43–53.

6. Строкова Л.С. Определение параметров для численного моделирования поведения грунтов / Л.С. Строкова // Известия Томского политехнического университета. - 2008. - № 1. - С.69–74.
7. Vermeer P. A. The hardening soil model : formulation and verification / P. A. Vermeer, T. Schanz, P.G. Bonnier // Beyond 2000 in Computational Geotechnics – 10 Yearsof Plaxis. Balkema, Rotterdam. - 1999. - Vol.2. - P. 281–297.
8. Русанова А. Д. Методика оценки расширенной неопределенности при определении коэффициента фильтрации песчаных грунтов / А. Д. Русанова, Л. Д. Малая, Р. Н. Иванов и др. // Международная НТК «МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ, КАЧЕСТВО: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА»: сборник материалов. - Омск: ГТУ, 2017. - С. 247-251.
9. Мищенко Т.А. Определение коэффициента фильтрации водоносных грунтов / Т.А. Мищенко // Наука молодых - будущее России: сборник научных статей 3-й Межд. Науч. Конф. перспек-х разработок молодых ученых. - Юго-Западный государственный университет. Курск, 2018. - Т. 4. - С. 227-230.
10. Лехов В.А. Экспериментальное определение коэффициента фильтрации и коэффициента диффузии в слабопроницаемых отложениях / В.А. Лехов, В.Н. Соколов // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. - 2017. - №3. - С. 67-75.
11. Букова М.И. Определение коэффициента фильтрации методом педотрансферных функций / М.И. Букова, А.С. Бондал, К.Т. Моисеев // Неделя науки 2017: сборник форума с междун. участием С.-Петербурга, 2017. - С.245-247.
12. Strzelecki T. Relation Between filtration and Soil Consolidation Theories / T. Strzelecki, M. Strzelecki // Studia Geotechnica et Mechanica. - 2015. Vol. 37. - No. 1. - P. 105-114.
13. Terleev A. V. Estimating some hydrophysical properties of soil using mathematical modeling / A. V. Terleev, W. Mirschel, A. Nikonorov et al. // MATEC Web of Conf.«International Scientific Conference Environmental Science for Construction Industry». Ho Chi Minh City, VietNam, 2018. - № 020352018.
14. Rozine T. N. Effect of filtration Coefficient Determination Method on the Scale Effect in Water-Saturated Fine-Grained Soils / T. N. Rozine, T. Toma Sabbagh // Soil Mechanics and Foundation Engineering. - 2017. - Vol. 53(6). - P. 376-380.
15. Kuzmina L. I. Calculation of two-size particles filtration in a porous medium / L. I. Kuzmina, Y. V. Osipov // VII Intern. Symp. on Actual Problems of Computational Simulation in Civil Engineering (APCSCE): IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. Novosibirsk, Russia, 2018. - Vol. 456. - №012052.
16. Земляной В.В. Определение коэффициента фильтрации песчаных грунтов прибором Создорнии ПКФ / В.В. Земляной, Л.В. Кучерова, З.В. Мизенко // Вологодские чтения. - 2009. - №76. - С.127-128.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kasperov G. I. Metodika laboratornykh issledovaniy po opredeleniyu koeffitsienta filtratsii peschanykh gruntov dlya otsenki bezopasnosti pri ekspluatatsii shlamokhranilishch [Laboratory research methodology for determining the filtration coefficient of sandy soils for assessing the safety of sludge storage facilities] / G. I. Kasperov, V. E. Levkevich, S. M. Pastukhovidr. ets // Vestnik Komandno-inzhen. ins-ta MCHS Resp. Belarus' [Herald of the Command and engineering Institute of the Ministry of emergency situations of the Republic of Belarus]. - 2015. - Vol. 22. - No. 2. - Pp. 68-72. [in Russian]
2. Tsupikov S. G. Stroitel'stvo dorozhnykh odezhd i material'no-tehnicheskoe obespechenie dorozhnogo stroitel'stva [Construction of road coverings and material and technical support of road construction] / S. G. Tsupikov, N. S. Kazachek, L.S. Tsupikova. Moscow:Vologda, Infra-Engineering, 2019. 380 p. [Electronic resource] URL: <http://znanium.com/catalog/product/1053291>. (accessed 20.11.2020) [in Russian]
3. Fellenius H. Basics of foundation design / H. Fellenius. Sidney, Canada. - 2014. - 413p.
4. Togliani G. CPT / CPTupilecapacity prediction methods–questiontime / G. Togliani, G .R Reuter. // 3rd Intern. Symp. Cone Penetration Testing. Las Vegas, Nevada, USA. - 2014. - P. 993–1002.
5. Ponomarev A. B. Opredelenie koeffitsienta filtratsii glinistogo grunta po dannym staticheskogo zondirovaniya s izmereniyem porovogo davleniya [Determination of the filtration coefficient of clay soil according to static sounding data with measurement of pore pressure] / A. B. Ponomarev, M. A. Bezgodov //Vestnik PNIPU. Stroitel'stvo i arkhitektura [Herald PRPU. Construction and architecture]. - 2017. - Vol. 8. - No. 4. - P. 43–53. [in Russian]
6. Strokova L.S. Opredelenie parametrov dlya chislenного моделиrovaniya povedeniya gruntov [Determination of parameters for numerical modeling of soil behavior] / L.S. Strokova // Izv. Tomsk. polytechnicheskogo universitheta [Proceedings of Tomsk Polytechnic University]. - 2008. - No. 1. - Pp. 69–74. [in Russian]
7. Vermeer P. A. The hardening soil model : formulation and verification / P. A. Vermeer, T. Schanz, P.G. Bonnier // Beyond 2000 in Computational Geotechnics – 10 Yearsof Plaxis. Balkema, Rotterdam. - 1999. - Vol.2. - P. 281–297.
8. Rusanova A. D. Metodika otsenki rasshirennoy neopredelennosti pri opredelenii koeffitsienta filtratsii peschanykh gruntov [Methodology for assessing expanded uncertainty in determining the filtration coefficient of sandy soils] / A. D. Rusanova, L. D. Malaya, R. N. Ivanovidr ets. // Mezhdunar. NTK «METROLOGIYA, STANDARTIZATSIYA, KACHESTVO: TEORIYAI PRAKTIKA»: sb. Mater [collection of materials Intern. Scient. and Technic. Conf. "METROLOGY, STANDARDIZATION, QUALITY: THEORY AND PRACTICE"]. - Омск:GTU, 2017. - P. 247-251. [in Russian]
9. Mishchenko T. A. Opredelenie koeffitsienta filtratsii vodonosnykh gruntov [Determination of the filtration coefficient of aquifers] / T. A. Mishchenko // Nauka molodykh – budushchee Rossii: sb. nauchn. Trud. 3-I Mezhd. Nauch. Konf. perspek-kh razrabotok molod. Uchenykh [Proc. Intern. Scien. Conf. «Science of the young is the future of Russia»]. Kursk, 2018. - Vol. 4. - P. 227-230. [in Russian]
10. Lekhov V. A. Eksperimental'noe opredelenie koeffitsienta filtratsii i koeffitsienta diffusii v slabopronitsaemykh otlozheniyakh [Experimental determination of the filtration coefficient and diffusion coefficient in low-permeability sediments] / V. A. Lekhov, V. A. Sokolov // Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya [Geoeology. Engineering geology, hydrogeology, geocryology]. - 2017. - No.3. - Pp. 67-75. [in Russian]
11. Bukova M. I. Opredelenie koeffitsienta filtratsii metodom pedotransferynykh functsii [Determination of the filtration coefficient by the method of pedotransfer functions] / M. I. Bukova, A.S. Bondal, K. T. Moiseev // Nedelya nauki 2017: sb. trudov s mezhd. uch. S.-Peterburg [Proc. Forum with intern. Partic. «Science Week 2017»]. St. Petersburg, 2017. - Pp. 245-247. [in Russian]

12. Strzelecki T. Relation Between filtration and Soil Consolidation Theories / T. Strzelecki, M. Strzelecki // *Studia Geotechnica et Mechanica*. - 2015. Vol. 37. - No. 1. - P. 105-114.
13. Terleev A. V. Estimating some hydrophysical properties of soil using mathematical modeling / A. V. Terleev, W. Mirschel, A. Nikonorov et al. // *MATEC Web of Conf.* «International Scientific Conference Environmental Science for Construction Industry». Ho Chi Minh City, VietNam, 2018. - № 020352018.
14. Rozine T. N. Effect of filtration Coefficient Determination Method on the Scale Effect in Water-Saturated Fine-Grained Soils / T. N. Rozine, T. Toma Sabbagh // *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. - 2017. - Vol. 53(6). - P. 376-380.
15. Kuzmina L. I. Calculation of two-size particles filtration in a porous medium / L. I. Kuzmina, Y. V. Osipov // VII Intern. Symp. on Actual Problems of Computational Simulation in Civil Engineering (APCSCE): IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. Novosibirsk, Russia, 2018. - Vol. 456. - №012052.
16. Zemlyanoi V. V. Opredelenie koeffitsienta filtratsii peschanykh gruntov priborom Soyuzdornii PKF [Determination of the filtration coefficient of sandy soils by the device of The creation of the PKF] / V. V. Zemlyanoi, L.V. Kucheroва, Z. V. Mizenko // *Vologdinskie chteniya [Vologda Readings]*. - 2009. - No.76. - Pp. 127-128. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.103.2.009>ПОИСК РЕШЕНИЙ В ПРОДУКЦИОННЫХ СИСТЕМАХ МЕТОДАМИ
ОБОБЩЕННОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Научная статья

Русакова З.Н.*

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Россия, Москва

* Корреспондирующий автор (z.n.rusakova[at]mail.ru)

Аннотация

В настоящее время активное развитие получает концепция создания базовых элементов систем искусственного интеллекта. В работе рассматриваются вопросы разработки алгоритмического и программного инструментария экспертных систем искусственного интеллекта, основным компонентом которых является блок логического вывода. Предлагается шаблон интерпретатора для решения задач моделирования продукционных систем в пространстве состояний с прямым и обратным логическим выводом на основе метода поиска в глубину. Средствами обобщенного программирования разработана полиморфная иерархия классов C++, реализующих основные алгоритмы вывода, на основе стратегии формирования списков открытых и закрытых вершин.

Ключевые слова: граф, списки, обобщенное программирование, поиск, деревья, шаблоны, классы, правила продукции, динамические структуры.

SEARCHING FOR SOLUTIONS IN PRODUCTION SYSTEMS VIA GENERIC PROGRAMMING METHODS

Research article

Rusakova Z.N.*

Bauman Moscow State Technical University, Russia, Moscow

* Corresponding author (z.n.rusakova[at]mail.ru)

Abstract

Currently, the concept of creating the basic elements of artificial intelligence systems is being actively developed. The article deals with the development of algorithmic and software tools for AI expert systems, the main component of which is inference. The study proposes an interpreter template for solving problems of modeling production systems in the state space with forward and backward chaining based on the depth-first searching method. Based on the strategy of creating lists of open and closed vertices, the study develops a polymorphic hierarchy of C++ classes that implement the main inference algorithms by means of generic programming.

Keywords: graph, lists, generic programming, search, trees, templates, classes, product rules, dynamic structures.

Введение

Активное развитие в настоящее время экспертных систем искусственного интеллекта требует создания алгоритмического и программного инструментария, обеспечивающего быстроедействие при обработке больших массивов данных. Решение поставленных задач обеспечивается средствами объектно - ориентированного языка C++.

В продукционных системах знания представляются с помощью набора правил продукции. Под продукцией понимается выражение следующего вида: $\langle I, A \rightarrow B \rangle$, где I идентификатор правила (например, порядковый номер), A - посылка правила, B - заключение; $A \rightarrow B$ является ядром правила-продукции [1], [2], [3]. Посылка является множеством условий, связанных логической связкой "И". Для решения используется аппарат теории графов. Правила продукции представляются графами И-ИЛИ. Логический вывод в продукционных системах соответствует поиску решений в И-ИЛИ графах. Если правила-продукции не содержат в условной части конъюнкций, то вывод в продукционных системах будет соответствовать поиску решений в пространстве состояний.

В качестве формальной модели описания графа (или базы правил) в пространстве состояний используется представление графа списком ребер [4], [5], [6]. В пространстве состояний правило представляется направленным ребром графа. База правил соответствует списку ребер графа. Семантические определения вершин задается в словаре, в котором каждой вершине ставится в соответствие понятие предметной области. Правила базы знаний формулируются в терминах понятий предметной области.

Ребро графа описывается классом Rebro [7], полями которого объявляются начальная и конечные вершины - firstNum, lastNum, номер правила - num_p, метка ребра, которая изначально равна 0, при включении ребра в дерево решения метка устанавливается в 1. В конструктор класса передаются параметры для инициализации.

```
class Rebro {
public:
    int firstNum, lastNum, num_p, metka;
    Rebro(){}
    Rebro(int fn, int ln, int vs):firstNum(fn), lastNum(ln), num_p (vs), metka(0){}
};
```

Вершина описывается классом Node [7], полями которого объявляются целые числа – номер вершины (num) и поле flag, определяющее выбор вершины в процессе поиска. Целью работы является разработка шаблона интерпретатора для решения задач моделирования продукционных систем в пространстве состояний. Ниже описывается проектирование полиморфной иерархии классов, реализующих основные алгоритмы прямого и обратного вывода, на языке C++, позволяющего осуществить распараллеливание вычислений и повысить быстроедействие [6]. Для программной реализации используются обобщенные динамические структуры – списки [6], [7], [8].

Алгоритм решения

В основе алгоритмов логического вывода в интерпретаторах систем продукций используются классические методы обработки графов - поиск в ширину и в глубину. При решении задач поиска в графах вводится понятие открытых и закрытых вершин или белые, серые и черные вершины [1], [3], [5]. Вершины графа изначально раскрашиваются одинаково - все вершины белые. При открытии вершины она становится серой. Вершина – открытая, пока не порождены ее потомки. Эти вершины составляют фронт вершин, являющихся потомками вершины раскрытия. Вершина – закрытая, если в процессе поиска порождены все ее потомки. В этом случае вершина становится черной.

Эти вершины хранятся и обрабатываются в двух списках поиска: список открытых вершин и список закрытых вершин. Вершины графа в процессе поиска из списка открытых переписываются в список закрытых или черных. Методы поиска в ширину и в глубину отличаются стратегией выбора узлов для раскрытия из списков открытых вершин. Стратегия метода поиска в ширину реализуется по принципам моделирования очереди: вершина для раскрытия выбирается из головы списка открытых вершин, а потомки записываются в хвост списка открытых [4], [7], [10]. В стратегии поиска в глубину используется механизм стека: вершина для раскрытия выбирается из головы списка открытых вершин, потомки записываются в голову. В первом случае дерево решения формируется в списке открытых вершин, во втором - в списке закрытых вершин. В работе [7] описывается разработанный шаблон поиска использующий метод поиска в ширину. В данной статье рассматривается проектирование класса поиска на основе метода в глубину. В основе стратегии лежит механизм стека: первый вошел – первый вышел (LIFO), который используется при формировании списков открытых вершин [1], [4], [6].

Списки открытых и закрытых вершин и список, описывающий граф сети, создаются на основе методов разработанного шаблонного класса List [7], [8], [9], моделирующего двунаправленные списки объектов. В классе List определяются адресные поля: указатели на первое и последнее звено, и реализованы основные методы обработки списков: добавить в голову, добавить в хвост, взять из головы, взять из хвоста, просмотр списка.

```
template < class T >
class List {
public:
    Elem <T> * first,* last,* cur;
    List<T>()      {first=0; last=0; cur=0; }
// прототипы основных методов
    void add ( T temp ); //добавить в хвост
    void add_head ( T temp); //добавить в голову
    void del_xwost() ; //удалить из хвоста
    void del_head ( ); // удалить из головы
};
```

Реализация методов класса приводится в [7], [8], [9]. Звено списка описывается шаблонным классом Elem с информационным полем, тип которого передается как параметр, и двумя указателями [7], [8], [9].

На основе обобщенных классов C++ разработана иерархия классов моделирования продукционных систем как решение поисковых задач в графах [7]. Базовый класс в иерархии – обобщенный класс Poisk_graf. В потомках этого класса реализуется различные алгоритмы поиска [7]. Полями класса Poisk_graf объявляются списки открытых и закрытых вершин и список ребер, описывающий граф:

```
List <Tr> listOpenNodes; List <Tr> listCloseNodes; List <T> sreb;
```

Параметрами шаблона являются классы, описывающие ребра (правила) графа – класс Rebro и вершины – класс Node [7]. В конструктор класса с параметрами передаются аргументы: список описания графа, вершина источника и целевая вершина. В конструкторе класса вызываются конструкторы создания списков открытых и закрытых вершин и выполняется их инициализация.

```
template < class T , class Tr >
class Poisk_graf {
public:
    int flagys, flagnot, incep, cel ;
    List <Tr> listOpenNodes; //список открытых вершин
    List <Tr> listCloseNodes; // список закрытых вершин
    List <T> sreb; //список ребер – правила продукции
//конструкторы
    Poisk_graf <T, Tr > (){}
    Poisk_graf <T, Tr> ( List <T> p, int inw, int celw){
        sreb = p;    incep=inw; cel= celw;
        flagys=1, flagnot=1; listOpenNodes=List <Tr>();
        listOpenNodes.add(incep);
        listCloseNodes=List <Tr>(); }
};
```

В основе всех методов поиска лежит поиск по образцу, целью которого является порождение потомков вершины, выбранной для раскрытия. В алгоритме поиска в глубину вершина раскрытия выбирается из головы списка открытых вершин. При поиске в глубину находится один из возможных потомков. Возможный выбор определяется различными критериями, которые определяют количество итераций достижения решения. В простейшем случае этот потомок – вершина первого ребра, инцидентного вершине раскрытия. Построение дерева решения и поиск достижимых вершин выполняется по следующему алгоритму.

Пока список открытых вершин не пуст или целевая вершина не достигнута на каждом шаге цикла выполнить:

Из головы списка открытых вершин извлекается вершина, которая становится текущей подцелью, для нее вызывается метод поиска по образцу и определяется потомок. Для потомка проверяются условия:

если цель достигнута - выход из цикла поиска;

если потомок в поиске по образцу не найден (вершина не раскрывается) и список открытых вершин не пуст, то вершина, для которой порождали потомка, из списка открытых вершин удаляется и записывается в список запрещенных вершин, который соответствует в поиске в глубину списку закрытых;

если потомок в поиске по образцу не найден и в списке открытых вершин - только начальная вершина поиска, что соответствует варианту обходу графа в случае, если решение не найдено;

если потомок определен и цель не достигнута, то запись потомка в голову списка открытых вершин;

Ниже описывается шаблонный класс - потомок базового класса, в двух методах которого определяется список вершин и правил решения модифицированным методом поиска в глубину, в котором при выборе потомка проверяются перечисленные ниже условия.

```
template < class T , class Tr>
class Poisk_graf_potomok_gl:          public Poisk_graf <T,Tr>{
public: // конструкторы
Poisk_graf_potomok_gl <T, Tr > (){}
Poisk_graf_potomok_gl <T, Tr> ( List <T> p, int inw, int celw):
Poisk_graf(p, inw,celw){ }
int potomki (); // метод - поиск по образцу
int poisk (); // метод – поиск в глубину
};
```

В методе класса potomki () выполняется поиск по образцу, в методе - poisk() – алгоритм поиска в глубину. Поиск по образцу выполняется в цикле просмотра ребер графа. Для поиска потомка в цикле просматривается список ребер графа. Найденная вершина записывается в голову списка открытых вершин. На каждом шаге цикла проверяется выполнение одного из условий:

проверка совпадения вершины раскрытия с начальной вершиной и определения конечной как целевой. В этом случае получено решение и устанавливается значение флага поиска, определяющего решение;

если потомок не целевая вершина, то для выбора вершины подцели на следующий шаг поиска необходимо выполнение условий:

ребро, инцидентное вершине, еще не было просмотрено (его метка равна 0), и следующая подцель не входит в список запрещенных вершин,

если условия выполняются, то вершина потомок записывается в голову списка открытых вершин и выполняется выход из цикла поиска образца.

Описание метода поиска по образцу в классе потомке:

```
template < class T , class Tr>
int Poisk_graf_potomok_gl <T,Tr >:: int potomki (){
int i,j, k,flag;          flag=1; j=0;
sreb.cur=sreb.first; // начало списка базы правил
//определяется первый потомок
while ( sreb.cur && flag==1 && j==0)    {
if( listOpenNodes.first->data.num ==sreb.cur->data.firstNum &&
sreb.cur->data.lastNum ==cel && sreb.cur->data.metka==0){
flagys=0; j++; flag=0;
} // нашли цель - вышли из цикла
else // определение потомка - и запись в голову списка
if(listOpenNodes.first->data.num==sreb.cur->data.firstNum &&
sreb.cur->data.metka==0 )      {
listOpenNodes.add_head(sreb.cur->data.lastNum);
sreb.cur->data.metka=1;
// ребро в списке ребер помечается как пройденное
j++; flag=0; } // выход из цикла просмотра
sreb.cur=sreb.cur->next; // переход к следующему ребру
}
return j;
}
```

В методе поиска в глубину используются результаты метода поиска по образцу. Построение дерева решения и поиск достижимых вершин выполняется в методах класса по вышеописанному алгоритму.

Пока список открытых вершин не пуст или целевая вершина не достигнута, на каждом шаге цикла вызывается метод поиска по образцу и определяется потомок, который заносится в голову списка открытых вершин. Если потомок в поиске по образцу не найден (вершина не раскрывается) (выполняются условия: j=0 и решения нет - flagys=1) и список открытых вершин не пуст, то вершина, для которой порождали потомка, из списка открытых вершин удаляется и записывается в список запрещенных вершин. Если потомок определен и цель не достигнута, то продолжение цикла поиска.

```
template < class T , class Tr>
int Poisk_graf_potomok_gl <T,Tr >:: int poisk() {
int i,j,k, n; listCloseNodes.first=0;
```

```

while ( flagys && flagnot )    {
    j=potomki (); // определение потомка
    if ( flagys==0 ){ return 1; }
    else if ( flagys && j==0 && listOpenNodes.first->next!=0 ) {
        //запись в список закрытых вершин
        listCloseNodes.add_head(listOpenNodes.first->data.num); listOpenNodes.del_head(); }
    else // нет решения
    if ( j==0 && listOpenNodes.first->next==0 &&
        listOpenNodes.first->data.num ==incep ) {
        flagnot=0; return 0; }
    }
}

```

Для тестирования

методов поиска в глубину и построения решения объявляется экземпляр переменной класса:

Poisk_graf_potomok_gl < Rebro ,Node> graf;

Вызывается конструктор класса, которому передаются параметры: список ребер, начальная и целевая вершины:

graf = Poisk_graf_potomok_gl < Rebro, Node>(<список аргументов>); после вызова конструктора и инициализации вызывается метод поиска. Результаты тестирования фрагмента базы правил приведены ниже.

```

База Правил
nodes 0 1 номер правила 101; nodes 2 6 номер правила 103; nodes 0 4 номер правила 104; nodes 2 3 номер правила 105; nodes 4 5 номер правила 106; nodes 4 3 номер правила 107; nodes 3 5 номер правила 108; nodes 6 7 номер правила 109; nodes 5 9 номер правила 110; nodes 3 6 номер правила 111; nodes 5 8 номер правила 112; nodes 7 8 номер правила 113; nodes 8 3 номер правила 114; nodes 10 9 номер правила 115; nodes 7 10 номер правила 116; nodes 1 2 номер правила 102; nodes 10 11 номер правила 117; nodes 11 9 номер правила 118; nodes 12 7 номер правила 119; nodes 11 12 номер правила 120; nodes 8 9 номер правила 121; nodes 11 13 номер правила 122; nodes 13 14 номер правила 123; nodes 14 12 номер правила 124;
Poisk

цель 9 исток 12 Список Open
Num 9 Num 5 Num 3 Num 8 Num 7 Num 12
Список правил
Num 119 Num 113 Num 114 Num 108 Num 110
цель 11 исток 0 Список Open
Num 11 Num 10 Num 7 Num 6 Num 2 Num 1 Num 0
Список правил
Num 101 Num 102 Num 103 Num 109 Num 116 Num 117
цель 10 исток 4 Нет решения
Список Close
Num 3 Num 6 Num 5 Num 8 Num 9

```

Рис. 1 – Результаты тестирования фрагмента базы правил

Решение – вершины пути содержатся в списке открытых вершин, правила – в списке правил.

Заключение

На основе обобщенного программирования C++ разработан шаблон интерпретатора для решения задач моделирования производственных систем в пространстве состояний. Используемая стратегия методов поиска решения и выбранная платформа C++ эффективнее других с точки зрения быстродействия и возможности использования потоков для распараллеливания вычислений. Программный инструментальный является основой для разработки интерпретаторов в графах И-ИЛИ и системах нечеткого вывода.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

- Новиков Ф.А. Символический искусственный интеллект: математические основы представления знаний / Ф.А. Новиков. Москва: Издательство Юрайт, 2019, 278
- Седжвик Р. Алгоритмы на C++. Фундаментальные алгоритмы и структуры данных / Р. Седжвик. – М.: Вильямс, 2013. – 1056 с.
- Кормен Т. Алгоритмы: построение и анализ, 3-е изд / Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест, К. Штайн. – М.: Вильямс, 2013. – 1328 с.
- Касьянов В.Н. Графы в программировании: обработка, визуализация и применение / В.Н. Касьянов, В.А. Евстигнеев. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. 1104 с.
- Страуструп – 1999 Страуструп Б. Язык программирования C++. СПб.: Бином, 1999. с. 990.
- Джоши Пратик Искусственный интеллект с примерами на Python / Пратик Джоши Пер. с англ. - СПб. : ООО "Диалектика", 2019. - 448 с. –
- Русакова З.Н. Применение обобщенного программирования для решения поисковых задач в графах / З.Н. Русакова // Журнал Тенденции развития науки и образования. Апрель 2020 г. №60, Часть 2 Изд. НИЦ «Л-Журнал»,
- Русакова З.Н. Динамические структуры данных и вычислительные алгоритмы Visual C++ / З.Н. Русакова. Санкт-Петербург. 2014, 272 с.
- Русакова З.Н. Структуры данных в C++ / З.Н. Русакова, И.В. Рудаков. Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2020, с157.

10. Русакова З.Н., Разработка инструментальных средств для решения задач принятия решений / З.Н. Русакова // Интеллектуальные системы. Труды Девятого международного симпозиума, М., РУСАКИ, 2010, 773

Список литературы на английском языке / References in English

1. Novikov F.A. Simvolicheskiy iskusstvennyy intellekt: matematicheskie osnovy predstavleniya znaniy [Symbolic artificial intelligence: mathematical foundations of knowledge representation] / F.A Novikov. – Moscow: Yurayt Publishing House, 2019, 278. [in Russian]

2. Sedgwick R. Algoritmy na C++. Fundamental'nye algoritmy i struktury dannyh [Algorithms in C ++. Fundamental algorithms and data structures] / R. Sedzhvik. - M. : Williams, 2013. -- 1056 p. [in Russian]

3. Cormen T. Algoritmy: postroyeniye i analiz [Algorithms: construction and analysis] / T. Cormen, Ch. Lejzerson, R. Rivest, K. Shtajn, 3rd ed. - M. : Williams, 2013. -- 1328 p. [in Russian]

4. Kasyanov V.N. Grafy v programmirovaniy: obrabotka, vizualizatsiya i primeneniye [Graphs in programming: processing, visualization and application] / V.N. Kas'yanov, V.A. Evstigneev. - SPb. : BHV-Petersburg, 2003. 1104 p. [in Russian]

5. Strastrup – 1999 Strastrup B. Jazyk programmirovaniya C++. [Stroustrup - 1999 Stroustrup B. C ++ programming language]. SPb. : Binom, 1999. p. 990. [in Russian]

6. Joshi Practice [Artificial intelligence with examples in Python] / Pratik Dzhoshi transl. from English - SPb. : LLC "Dialectics", 2019. - 448 p. -[in Russian]

7. Rusakova Z.N. Primeneniye obobshchennogo programmirovaniya dlya resheniya poiskovykh zadach v grafakh [Application of generalized programming for solving search problems in graphs] / Z.N. Rusakova // Zhurnal Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya. [Journal of Trends in the development of science and education]. April 2020 No. 60, Part 2 Ed. Research Center "L-Journal", [in Russian]

8. Rusakova Z. N. Dinamicheskie struktury dannyh i vychislitel'nye algoritmy Visual C++ [Dynamic data structures and computational algorithms of Visual C ++] / Z.N. Rusakova. St. Petersburg. 2014, 272 p. [in Russian]

9. Rusakova Z. N. Struktury dannyh v S++ [Data structures in C ++] / Z.N. Rusakova, I.V Rudakov. Moscow: Publishing house MSTU im. N.E Bauman. 2020, p 157. [in Russian]

10. Rusakova Z.N., Razrabotka instrumental'nykh sredstv dlya resheniya zadach prinjatija reshenij [Development of tools for solving decision-making problems] / Z.N. Rusakova // Intellektual'nye sistemy. Trudy Devyatogo mezhdunarodnogo simpoziuma [Intelligent systems. Proceedings of the Ninth International Symposium], M., RUSAKI, 2010, 773. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.103.2.010>**КОМПРЕССОРЫ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН ДЛЯ РАБОТЫ НА ХЛАДАГЕНТАХ, ХИМИЧЕСКИ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ С МЕДНЫМИ ЧАСТЯМИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ**

Обзорная статья

Крысанов К.С.¹, Соломатин А.В.^{2,*}^{1,2} Московский политехнический университет, Москва, Россия

* Корреспондирующий автор (ya.lexaneon333[at]yandex.ru)

Аннотация

В статье предлагается общий обзор проблем и факторов для реализации конструкций холодильного компрессора имеющего возможность работать с хладагентами, химически взаимодействующими с медными частями электродвигателя и последующего его производства. Разбор достоинств и недостатков каждого из конкретных конструкторских решений. Технологические препятствия для производства таких компрессоров на основе имеющихся средств производства и в сложившейся отрасли холодильного машиностроения. На основе рассмотрения перспективности каждой конструкции компрессора для ее последующей реализации и потенциальной надежности и безопасности при эксплуатации, выбраны наиболее предпочтительные варианты для применения их на практике.

Ключевые слова: холодильный компрессор, линейный компрессор, аммиачный компрессор, аммиак, алюминиевая обмотка, экранированный электродвигатель.

REFRIGERATION COMPRESSOR FOR OPERATING ON REFRIGERANTS THAT CHEMICALLY INTERACT WITH THE COPPER PARTS OF AN ELECTRIC MOTOR

Review article

Krysanov K.S.¹, Solomatin A.V.^{2,*}^{1,2} Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia

* Corresponding author (ya.lexaneon333[at]yandex.ru)

Abstract

The current article provides a general overview of the problems and factors for the implementation of the designs of a refrigeration compressor that can work with refrigerants that chemically interact with the copper parts of the electric motor and its subsequent production. The study conducts an analysis of the advantages and disadvantages of each of the specific design solutions as well as describes the technological obstacles of the production of such compressors on the basis of available means of production and in the established industry of refrigeration engineering. The paper selects the most preferred options for their practical application based on the consideration of the potential of each compressor design for its subsequent implementation and the potential reliability and safety during their operation.

Keywords: refrigeration compressor, linear compressor, ammonia compressor, ammonia, aluminum winding, shielded electric motor.

Введение

На сегодняшний день экологическая ситуация и новые регулирующие нормы по исключению из эксплуатации озоноразрушающих веществ и веществ с высоким потенциалом глобального потепления вынуждают ученых и специалистов по холодильному оборудованию серьезно взглянуть на природные хладагенты, такие как воздух, вода, аммиак, диоксид углерода и другие, в качестве долгосрочной альтернативы ГХФУ хладагентам в промышленном холодильном оборудовании. Аммиак является одним из самых энергоэффективных и проверенных хладагентов в истории холодильной промышленности. Любой, кто занимается производством консервов и промышленных пищевых продуктов, знает, что аммиак является предпочтительным хладагентом из-за его непревзойденных термодинамических свойств, что позволяет снизить эксплуатационные энергозатраты [4]. Для наглядности сказанного приведены данные некоторых современных хладагентов (см. таблицу 1) [8].

Таблица 1 – Характеристики хладагентов

Хладагент	R22	R404a	R134a	R600a	R717
Теплота парообразования (q_0) при 0 °C, кДж/кг	205,6	168,6	197,2	355,8	1260,6
Отношение давлений при $T_k=35$ °C, $T_0=-25$ °C, π_k	6,78	6,4	8,32	8,05	8,96

К тому же экономия электроэнергии косвенно снижает выбросы углекислого газа в атмосферу, взяв во внимание, что более 50% электроэнергии вырабатывается ТЭС, а сектор искусственного охлаждения (включая кондиционирование воздуха) потребляет около 17% всей используемой в мире электроэнергии [6]. Несмотря на свои превосходные термодинамические свойства, обеспечивающие возможность проектирования на его основе энергоэффективных систем с минимальным воздействием на окружающую среду, аммиак не использовался в системах с небольшой производительностью. Этому есть ряд причин технического и технологического характера.

Основная часть

Основными факторами и препятствиями для использования аммиака в малых холодильных системах являются:

1. Снижение заправки хладагентом.

Учитывая, что традиционно аммиак использовался в крупных коммерческих и промышленных применениях, возникает возможность расширить область его применения, чтобы охватить также системы небольшой емкости. Одним из важных аспектов, который следует учитывать при проектировании аммиачных систем, является снижение общего количества хладагента в системе, что является важным шагом в повышении безопасности.

2. Несовместимость аммиака с медью.

Учитывая, что под воздействием аммиака медь активно корродирует, создание герметичных компрессоров для аммиака сопряжено с рядом проблем, поскольку электродвигатель, обычно имеющий медные обмотки, контактировал бы с хладагентом. Кроме того, большинство малых и средних холодильных и тепловых насосных систем, использующих ХФУ, ГХФУ или ГФУ, были построены с использованием медных труб. Как следствие, холодильная промышленность разделена на те, которые занимаются, главным образом, галогенированными углеводородами, использующими медные трубки и герметичные или полугерметичные компрессоры, и те, которые используют аммиак в системах большой емкости со стальными трубами и открытыми компрессорами.

3. Отсутствие компонентов для аммиачных систем малой мощности.

Основным препятствием для коммерческого внедрения аммиачных систем малой мощности является отсутствие компонентов, специально предназначенных для этих применений. Система малой мощности также должна быть газонепроницаемой и работать с минимальным количеством хладагента.

Были определены четыре различных варианта типа компрессора, применение которых потенциально возможно для аммиачных систем малой мощности:

Открытые (сальниковые) компрессоры: открытые компрессоры (см. рисунок 1), разработанные для аммиака, доступны от нескольких производителей даже для небольших размеров. Одним из примеров является компрессор F2 от Вокс. Этот компрессор рассчитан на аммиак, а тепловая мощность при работе на минимально допустимой скорости составляет около 7 кВт. Но следует отметить, что наличие сальникового уплотнения вала электродвигателя в компрессорах этого типа является недостатком. Значительные и трудноустраняемые утечки хладагента могут происходить через сальники, расположенные на валу компрессора. Это одна из причин того, что в последние годы абсолютное большинство фреоновых компрессоров малой производительности выпускают в бессальниковом и герметичном исполнении со встроенным электродвигателем охлаждаемым всасываемым паром. Так же сальник может создавать дополнительное сопротивление вращению вала электродвигателя увеличивая механические потери агрегата [2].

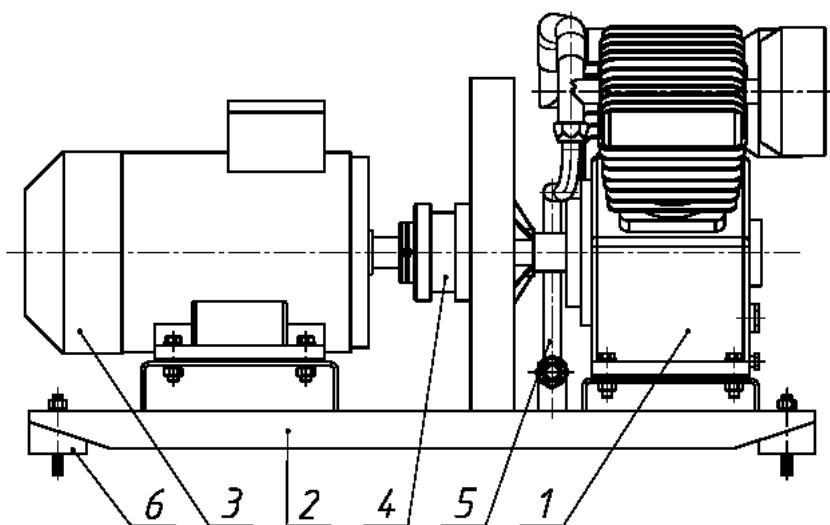


Рис. 1 – Схема сальникового компрессора:

1 – поршневой компрессор; 2 – рама; 3 – электродвигателя;
4 – резино–металлическая муфта; 5 – трубопровод; 6 – виброопоры

Компрессоры с алюминиевой обмоткой. Второй вариант - герметичный компрессор, у которого обмотки электродвигателя выполнены из алюминия вместо меди. Электрическая изоляция проводов в двигателе также должна быть выбрана для совместимости с аммиаком. Примером может служить Маекава как производитель компрессоров этого типа. Двигатель Маекава совместим с аммиаком благодаря использованию алюминия в обмотках двигателя и использованию тефлона для электрической изоляции обмоток. Компрессор спирального типа с охлаждающей способностью от 5 до 15 кВт подключается непосредственно к двигателю, который работает со скоростью 3600 об / мин и частотой 60 Гц (см. рисунок 2).

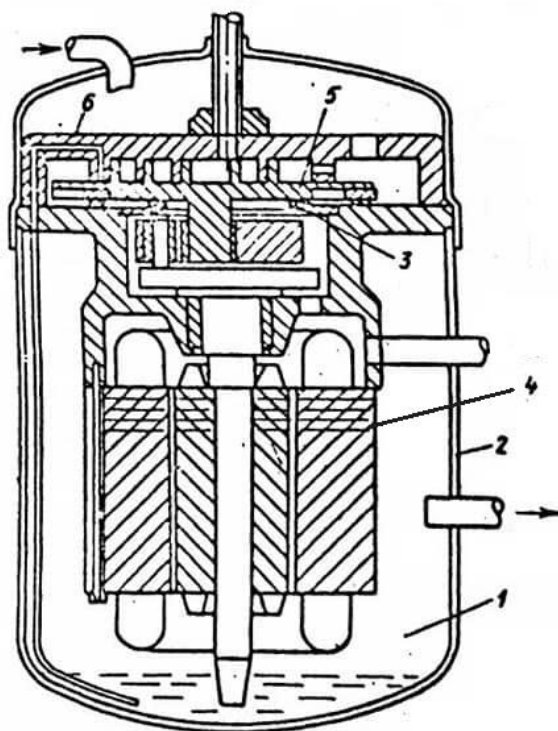


Рис. 2 – Схема компрессора Маекава с алюминиевыми обмотками электродвигателя:

1 – картер компрессора; 2 – корпус; 3 – кольцевое уплотнение; 4 – алюминиевая обмотка; 5 – подвижная спираль; 6 – неподвижная спираль

К плюсам алюминиевой обмотки можно отнести меньший, чем у медной обмотки, вес и меньшую стоимость. Но и минусы у данного решения тоже есть: проводимость алюминия ниже меди (0,4 МОм/см у алюминия против 0,6 МОм/см у меди), теплопроводность так же ниже, что ведет к большим тепловым нагрузкам, чем у меди. Что неизбежно ведет к повышению электрических потерь и уменьшению КПД электродвигателя [7], [9]. Следовательно, требуется увеличивать сечение обмоточного провода.

Например, для сохранения неизменного коэффициента заполнения паза клетки электродвигателя необходимо при уменьшении числа параллельных проводников на меньшее число параллельных элементарных проводников в каждом эффективном проводе и переходе на провод большего диаметра соблюдать условие:

$$m_1 d_{из1}^2 = m_2 d_{из2}^2$$

где $d_{из1}^2$ и $d_{из2}^2$ – диаметры изолированного провода. Максимально допустимый диаметр изолированного провода 2,35 мм, тогда минимальное m_2 находим из следующих формул:

$$m_2 \geq 0,18 m_1 d_{из1}^2$$

Затем m_2 должно быть округлено до ближайшего целого m_2' . Диаметр алюминиевого провода тогда находим по следующей формуле:

$$d_{из2} = \sqrt{\frac{m_1}{m_2'}} d_{из1}.$$

В качестве примера возьмем обмотку из провода сечением 0,8 мм², диаметром 1/1,08 мм, при $m_1 = 3$, также определим возможность уменьшения числа m_1 :

$$m_2 \geq 0,18 \cdot 3 \cdot 1^2 = 0,54,$$

округляем до $m_2' = 1$, тогда $d_{из2} = \sqrt{\frac{3}{1}} \cdot 1 = 1,73$. Выбираем из номенклатуры провод диаметром 1,81/1,89 мм сечением 2,57 мм².

Увеличение сечения составит $\frac{2,57-3 \cdot 0,8}{3 \cdot 0,8} \cdot 100 = 7\%$. Снижение же тока в свою очередь ведет к снижению мощности электродвигателя. Между соотношением мощностей P_a/P_m и максимальных токов I_a/I_m электродвигателя с

алюминиевой или медной обмотками при неизменном числе эффективных проводов в пазу будет иметь место зависимость:

$$\frac{P_a}{P_M} = \sqrt{\frac{\left(\frac{I_a}{I_M}\right)^2 + (\cos \varphi_M)^2 - 1}{\cos \varphi_M}}$$

где $\cos \varphi_M$ номинальный коэффициент мощности электродвигателя. Вывод формулы основан на совместном решении двух приближенных уравнений:

$$\frac{P_a}{P_M} \approx \frac{I_a \cos \varphi_a}{I_M \cos \varphi_M} \text{ и } I_a \cos \varphi_a \approx I_M \cos \varphi_M.$$

То есть изменением кпд при изменении тока можно пренебречь, намагничивающие силы пропорциональны $I_1 \cos \varphi_1$. В соответствии с этим электродвигатель с $\cos \varphi_1 = 0,85$ и алюминиевой обмоткой проводом диаметром 1,81/1,89 мм сечением 2,57 мм² потребует понижение тока в отношении $\frac{I_a}{I_M} = 0,91$ и соответственно

$$\frac{P_a}{P_M} = \sqrt{\frac{0,91^2 + 0,85^2 - 1}{0,85}} = 0,87$$

В данном примере ток будет ниже на 9% на алюминиевой обмотке и мощность ниже на 13%.

Компрессоры с экранированным статором: в компрессорах этого типа электрические обмотки статора двигателя компрессора расположены снаружи герметичного колпака/экрана (тонкая газонепроницаемая оболочка), а ротор, который не имеет обмоток, а только постоянные магниты, находится внутри корпуса. Это означает, что нет электрических соединений или сообщения вала со стороны хладагента с наружной полостью, в которой находятся обмотки, что сводит к минимуму риск утечки хладагента, делает систему герметичной. Экран изготавливается из немагнитной нержавеющей стали толщиной 0,3 мм, зазор между статором и экраном 0,05 мм, между ротором и экраном 0,3 мм (см. рисунок 3) [5]. Однако, из-за этого увеличивается расстояние между ферромагнитными частями статора и ротора (воздушный зазор между статором и ротором), что приводит к снижению электрического холодильного коэффициента на 10% по сравнению с аналогичными компрессорами с классической конструкцией электродвигателя [1], [10].

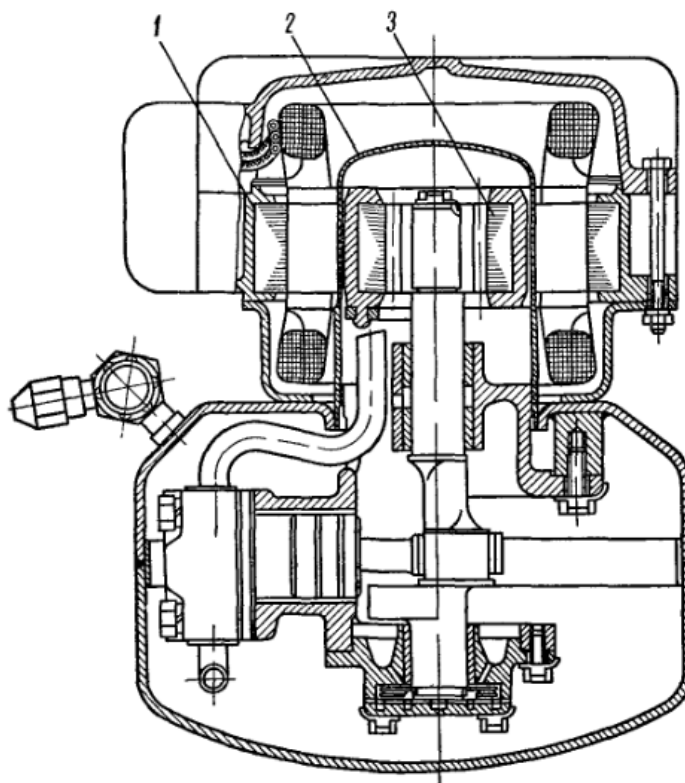


Рис. 3 – Схема экранированного компрессора:

1 – обмотка статора; 2 – экран из нержавеющей немагнитной стали; 3 – ротор

Хотя этот тип двигателей применяется в тех случаях, когда обмотки необходимо экранировать от суровых условий (химического воздействия, высокой температуры), он широко не используется в холодильной промышленности, а

основным плюсом данного решения считается повышенная ремонтпригодность. Есть один австрийский производитель таких компрессоров для холодильной техники и тепловых насосов (Frigorol), охватывающий диапазон от 3 кВт до 21 кВт холодопроизводительности.

Увеличивая воздушный зазор между статором и ротором, пренебрегая падением напряжения в активном и индуктивном сопротивлениях обмотки статора, можно записать $U=E=4,44 \omega f B S k_{обл}$. То есть магнитная индукция от зазора не зависит.

Намагничивающий ток двигателя определяется с помощью закона полного тока $H_{cm} l_{cm} + H_0 l_0 = I_\mu w_1$, откуда $I_\mu = (H_{cm} l_{cm} + H_0 l_0) / w_1$.

Следовательно, с увеличением воздушного зазора l_0 увеличивается намагничивающий ток двигателя I_μ .

Таким образом, ток холостого хода $I_0 = (I_\mu^2 + I_a^2)^{1/2}$ увеличивается. Коэффициент мощности и реактивная мощность двигателя равны $\cos \varphi = P/S = P/(P^2 + Q^2)^{1/2}$; $Q = I_\mu U$.

Из-за увеличения тока холостого хода увеличится реактивная мощность и, следовательно, уменьшится коэффициент мощности двигателя. При увеличении воздушного зазора увеличатся потоки рассеяния, что вызовет еще большее уменьшение коэффициента мощности двигателя [3].

Линейный компрессор. Конструкция поршневого компрессора линейного типа (см. рисунок 4) перспективна в плане выведения медной обмотки из области с холодильным агентом и обладает повышенной компактностью по сравнению с обычными поршневыми компрессорами. Также к достоинствам этой конструкции можно отнести меньшие механические потери, так как отсутствуют узлы кривошипно-шатунного механизма и соответственно трение, создаваемое ими, и меньшую массу [11]. Однако такой механизм требует более сложной системы смазки нежели классический, что не является конструкторской проблемой, а энергозатраты на работу маслоснабжения не велики. Как и вариант с газонепроницаемым колпаком (экраном) в этом случае возможно полное отсутствие контакта хладагента и обмоток.

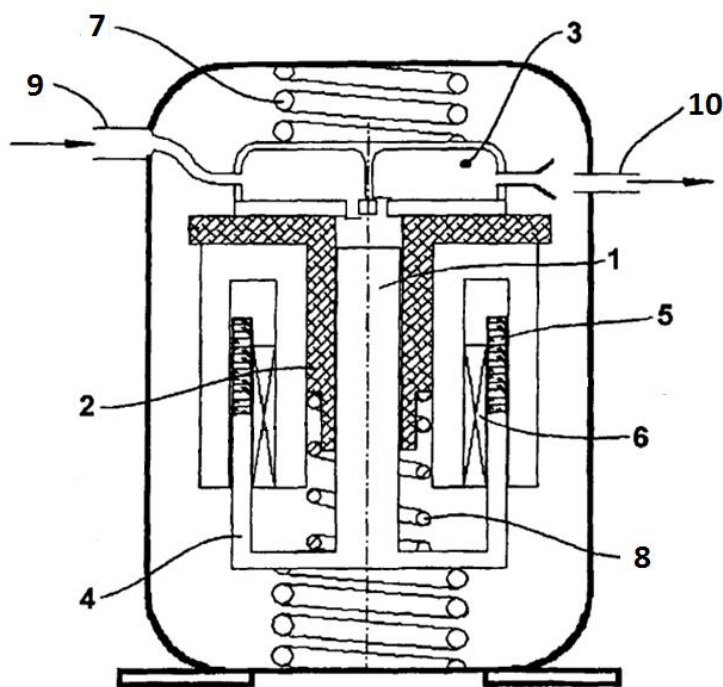


Рис. 4 – Схема классического герметичного линейного компрессора:

1 – поршень; 2 – цилиндр; 3 – клапанный узел; 4 – шток привода поршня; 5 – обмотка; 6 – статор; 7 – подвесная пружина; 8 – возвратная пружина; 9, 10 – патрубки всасывания и нагнетания

Мировая промышленность на данный момент производит в крупных масштабах линейные компрессора малых мощностей и имеет соответствующую производственно-технологическую базу и наработки в их проектировке. Основным производителем является компания LG. На сегодняшний день линейного компрессора с изолированными обмотками статора не существует, а учитывая все достоинства этого агрегата можно считать его оптимальным для реализации конструкции герметичного компрессора с экранированной обмоткой статора для аммиачных холодильных машин с малой заправкой.

Заключение

Исследовав ситуацию в холодильной промышленности, можно утверждать о наличии сферы холодильной техники, в которой возможно улучшить энергетические показатели путем внедрения систем, работающих на энергоэффективном и экологически безопасном хладагенте R717. Для расширения сферы применения этого хладагента необходимо разработать и исследовать свойства компрессорных агрегатов способных эксплуатироваться с данным хладагентом. Исследовав методы реализации конструкций таких компрессорных и насосных агрегатов, можно утверждать о потенциале линейного типа компрессоров в сочетании с экранированием медных обмоток электродвижущих частей и целесообразности дальнейшей разработки и изучения его энергетических характеристик.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Богданов А.В. Современные электроприводы герметичных насосов и компрессоров / А.В. Богданов, Г.Г. Беликов, Э.В. Лапшин // Труды международного симпозиума надежность и качество.- 2012.- №2.- С. 194-195.
2. Бохан К.А. Эксплуатация и ремонт холодильных установок: учеб. пособие / К.А. Бохан.- Брянск: Мичуринский филиал ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет», 2015.- 164 с.
3. Липкин Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: учеб. 4-е изд., перераб. и доп. / Б.Ю. Липкин.- М.: Высшая школа, 1990. - 363 с.
4. Рукавишников А.М. Энергетическая эффективность сегодня-экономический выигрыш завтра / А.М. Рукавишников, М.В. Литовченко // Холодильная техника. -2012. -№5. -С. 9-13.
5. Сапожников В.Б. Подбор компрессоров для холодильных систем мясоперерабатывающих производств / В.Б. Сапожников // Холодильное оборудование.- 2015.- №11.- С. 14-19.
6. Сводный доклад, содержащий новейшую научную информацию в области климата// Холодильная техника. -2019. -№11. -С. 6-12.
7. Слоним Н.М. Алюминиевые провода при ремонте асинхронных двигателей/ Н.М. Слоним // Москва, «Энергия». -1973. -136 с.
8. Цветков О.Б. Таблицы свойств холодильных агентов: учеб.-метод. пособие / О.Б. Цветков, Ю.А. Лаптев. – СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2013. -52 с.
9. Шевченко В.В. Сравнение характеристик асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором при замене материала обмотки ротора и предложения по их улучшению / В.В. Шевченко, Н.И. Горюшкин, И.Я. Лизан // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит. -2014. -№12. -С. 27-34.
10. Якобсон В.Б. Малые холодильные машины / В.Б. Якобсон, А.А. Гоголин, К.Д. Кан .- Москва, Пищевая промышленность. -1977. -102 с.
11. Xinye Zhang Theoretical analysis of dynamic characteristics in linear compressors / Xinye Zhang , Davide Ziviani, JamesE. Braun, EckhardA. Groll // International Journal of Refrigeration. -2019. -P. 115-117.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Bogdanov A.V. Sovremennyye jelektroprivody germetichnyh nasosov i kompressorov [Modern electric drives of hermetic pumps and compressors] / A.V. Bogdanov, G.G. Belikov, Je.V. Lapshin // Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma nadezhnost' i kachestvo [Proceedings of the international symposium reliability and quality].- 2012.- №2.- P. 194-195. [in Russian]
2. Bohan K.A. Jekspluatacija i remont holodil'nyh ustanovok: ucheb. posob. [Operation and repair of refrigeration units: studies. stipend.] / K.A.Bohan.- Brjansk: Michurinskij filial FGBOU VO «Brjanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet» [Bryansk: Michurinsky Branch of the Bryansk State Agrarian University], 2015.- 164 p. [in Russian]
3. Lipkin B.Ju. Jelektrosnabzhenie promyshlennyh predpriyatij i ustanovok: ucheb. [Power supply of industrial enterprises and installations: textbook. 4th edition, reprint. and supplemented] / B.Ju. Lipkin.- M.: Vysshaja shkola, 1990. - 363 p. [in Russian]
4. Rukavishnikov A.M. Jenergeticheskaja jeffektivnost' segodnja-jekonomicheskij vyigrysh zavtra [Energy efficiency today-economic gain tomorrow] / A.M. Rukavishnikov, M.V. Litovchenko // Holodil'naja tehnika [Refrigeration equipment]. -2012. – P. 9-13. [in Russian]
5. Sapozhnikov V.B. Podbor kompressorov dlja holodil'nyh sistem mjasopererabatyvajushhih proizvodstv [Selection of compressors for refrigeration systems of meat processing industries] / V.B. Sapozhnikov // Holodil'noe oborudovanie [Refrigerating equipment].- 2015.- №11.- P. 14-19. [in Russian]
6. Svodnyj doklad, soderzhashhij novejšuju nauchnuju informaciju v oblasti klimata [Summary report containing the latest scientific information in the field of climate] // Holodil'naja tehnika [Refrigeration equipment]. -2019. -P. 6-12. [in Russian]
7. Slonim N.M. Aljuminievye provoda pri remonte asinhronnyh dvigatelej [Aluminum wires in the repair of asynchronous motors] / N.M. Slonim // Moskva, «Jenergija» [Moscow, "Energy"]. -1973. -136 p. [in Russian]
8. Cvetkov O.B. Tablicy svojstv holodil'nyh agentov [Tables of properties of refrigerating agents] / O.B. Cvetkov, Ju.A. Laptev // Ucheb.-metod. posobie. – Spb.: NIU ITMO; IHiBT, [Study-method. stipend. - St. Petersburg: NRU ITMO; IHiBT], 2013. – 52 p. [in Russian]
9. Shevchenko V.V. Sravnenie harakteristik asinhronnogo dvigatelja s korotkozamknutym rotorom pri zamene materiala obmotki rotora i predlozhenija po ih uluchsheniju [Comparison of the characteristics of an asynchronous motor with a short-circuited rotor when replacing the material of the rotor winding and suggestions for their improvement] / V.V. Shevchenko, N.I. Gorjushkin, I.Ja. Lizan // Jenergoberezhenie, jenergetika, jenergoaudit [Energy saving, energy, energy audit]. -2014. -№12. - P. 27-34. [in Russian]
10. Jakobson V.B. Malye holodil'nye mashiny [Small refrigerating machines] / A.A. Gogolin, K.D. Kan // Moskva, Pishhevaja promyshlennost' [Moscow, Food industry]. -1977. -102 p. [in Russian]
11. Xinye Zhang Theoretical analysis of dynamic characteristics in linear compressors / Xinye Zhang , Davide Ziviani, JamesE. Braun, EckhardA. Groll // International Journal of Refrigeration. -2019. -P. 115-117.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.103.2.011>

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МЕТОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ВАКУУМНЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПАНЕЛЕЙ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ

Научная статья

Тимкин Д.М.*

ORCID: 0000-0002-6627-2151,

Самарский государственный университет путей сообщения, Самара, Россия

* Корреспондирующий автор (dm.teamking[at]yandex.ru)

Аннотация

В публикации рассмотрены основные тенденции развития вагоностроения, главным направлением в которых является улучшение их динамических характеристик за счет снижения массы. Одним из способов снижения массы пассажирского вагона без потери его динамических свойств является применение в его конструкции вакуумной теплоизоляции на основе сотовых панелей, однако производство данных теплоизоляционных материалов повышает требование к оборудованию и производству в целом. В публикации рассмотрены два основных способа производства вакуумной теплоизоляции с использованием экструзионной линии и 3-D принтера. Используя данные годовых отчетов основного поставщика пассажирских вагонов для ОАО «РЖД» и рыночной стоимости материалов, выполнено сравнение затрат на изготовлении контрольной партии. Рассчитана себестоимость производства вакуумной теплоизоляции. Выполнено сравнение инвестиционных проектов по производству вакуумной теплоизоляции для пассажирских вагонов двумя способами.

Ключевые слова: вакуумная теплоизоляция, пассажирский вагон, экструзия, 3-D печать, дисконтированный доход.

AN ANALYSIS OF PROMISING METHODS FOR THE PRODUCTION OF VACUUM INSULATION PANELS FOR PASSENGER CARS

Research article

Timkin D.M.*

ORCID: 0000-0002-6627-2151,

Samara State Transport University, Samara, Russia

* Corresponding author (dm.teamking[at]yandex.ru)

Abstract

The current article discusses the main trends in the development of car building, the main objective of which is to improve their dynamic characteristics by reducing weight. One of the ways to reduce the weight of a passenger car without losing its dynamic properties is to use a vacuum thermal insulation based on honeycomb panels in its design; however, the production of these thermal insulation materials increases the requirement for equipment and production in general. The publication discusses two main methods of producing vacuum thermal insulation using an extrusion line and a 3D printer. Using the data of annual reports of the main supplier of passenger cars for JSC "Russian Railways" and the market value of materials, the study conducts a comparison of the costs for the production of a validation batch and calculates the production cost of vacuum thermal insulation. The article contains two variants of a comparison of investment projects for the production of vacuum thermal insulation for passenger cars.

Keywords: vacuum thermal insulation, passenger car, extrusion, 3D printing, discounted income.

Введение

Количество потребляемых энергоресурсов напрямую зависит, как от источников тепла, так и от способов их сохранения. Одним из способов сохранения тепловой энергии отопительной системы пассажирского вагона является устройство теплоизоляции кузова. Ориентируясь на вопросы сохранения энергии и задачи энергетической программы ОАО «РЖД», требуется определить каким образом можно производить вакуумные теплоизоляционные панели и оценить эффективность выбранного метода.

Цель работы

Провести анализ различных способов производства вакуумных теплоизоляционных панелей и оценить экономический эффект от перехода с базового метода производства, к более перспективному выпуску с помощью 3-D печати.

Основная часть

Проектирование перспективных видов подвижного состава тесно связано с новыми разработками, как в конструкции вагона, так и в производстве его деталей. В настоящее время большинство разработок в конструкторской области связано с повышением динамических качеств подвижного состава. Из курса основ механики подвижного состава известно, что основным критерием в повышении динамических качеств подвижного состава является масса вагона.

Снизить массогабаритные показатели можно разными способами, но основным методом является использование несущей конструкции кузова из сварных сэндвич-панелей. Следующим этапом в проектировании был переход от стали к алюминиевым сплавам. В настоящее время рассматриваются варианты конструирования кузова вагона из композитных материалов, но полностью выполнить переход на данную концепцию не представляется возможным, поскольку данные кузова имеют низкую прочность против ударных нагрузок.

Ещё одним способом снижения массогабаритных показателей является использование более легких теплоизоляционных материалов. Один из примеров таких материалов – вакуумная теплоизоляция на основе экструдированных сотовых панелей.

Работа в этой области может вестись по следующим направлениям: первое – кузов пассажирского вагона состоит с дополнительной внутренней или внешней теплоизоляцией [1]; второе – кузов пассажирского вагона состоит из полиамидных экструдированных панелей, внутренняя полость которых вакуумирована [2, С. 103]; третье – кузов пассажирского вагона состоит из стального каркаса, наружной обшивки из стального листа и внутренней обшивки из пластика, между которыми расположены слои тепло- и звукоизоляции в том числе вакуумная теплоизоляция в виде полиамидных экструдированных панелей [3, С. 14].

Проект стенки пассажирского вагона с вакуумной теплоизоляцией в виде полиамидных экструдированных панелей представлен на рисунке 1 (взято из [3, С. 23]).

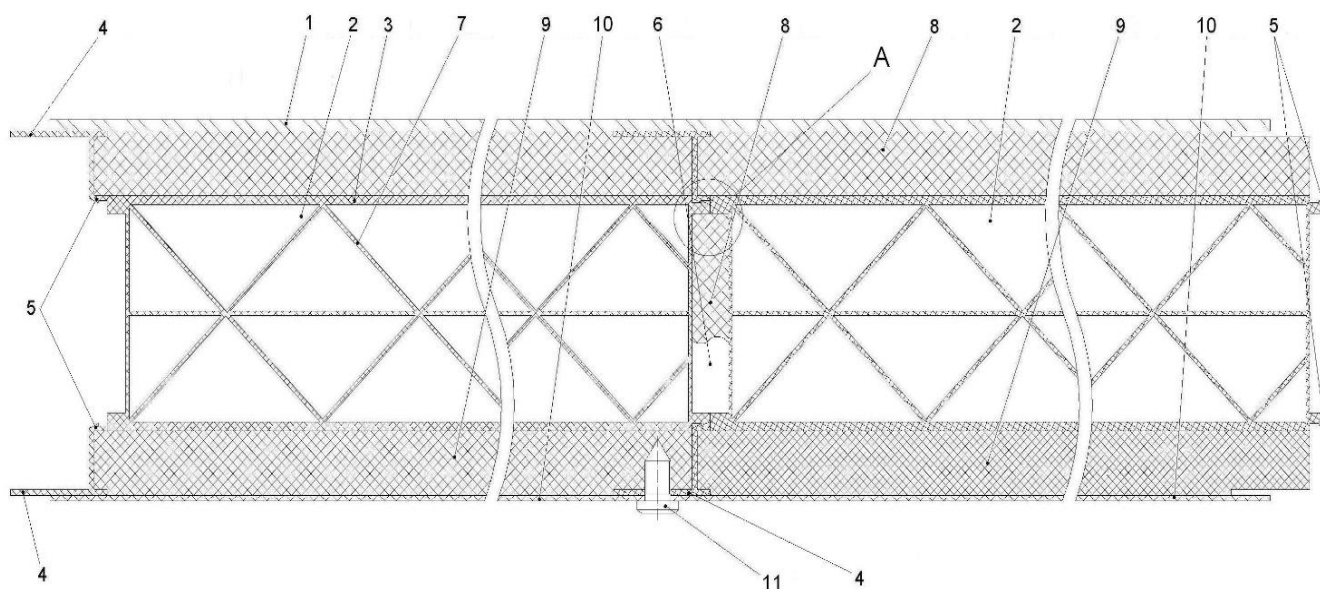


Рис. 1 – Теплоизолирующая стенка по патенту №182546:

1 – наружная стальная стенка; 2 – вакуумные теплоизоляционные элементы; 3 – внешние обечайки; 4 – кронштейны-ограничители; 5 – разъемные соединения типа «защелка»; 6 – зазоры; 7 – внутренние ребра жесткости; 8 – вспененный теплоизоляционный материал; 9 – звукоизоляционный материал; 10 – внутренняя декоративная стенка; 11 – крепежные элементы

С изобретением Чаком Халлом технологии 3-D печати и появлением в 2010-х годах промышленных 3-D принтеров, способных напечатать модели различной технической сложности и масштабов, способы производства с помощью данной технологии все чаще стали вытеснять старые способы производства [4].

В случае с сотовыми панелями ведущей технологией является производство с помощью экструзионных линий, где разогретый материал выдавливается через формовочную матрицу. Данный метод является сверхпроизводительным (производительность экструдеров может варьироваться от 180 кг/час до рекордных 1200 кг/час). Разнообразная форма матриц позволяет выпускать продукцию различной конфигурации, и вакуумные теплоизоляционные панели не являются здесь исключением. В данной статье рассмотрен экструдер, характеристики которого представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики экструдера (данные plastinfo.ru)

Характеристика	Размерность	Значение
Тип оборудования	-	LMSB
Цена за единицу оборудования	руб.	17750000,00
Цена сменной матрицы	руб.	4500000
Производительность	кг/час	180,00
Мощность электрическая	кВт	105,00
Время работы в сутки	час	8,00

Альтернативой производства будет выступать метод 3-D печати сотовых панелей. Наиболее хорошо показавшими себя выступают промышленные 3-D принтеры, использующие в своей конструкции подвижные экструдеры, характеристики выбранного для сравнения 3-D принтера представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики 3-D принтера (данные blb3d.ru)

Характеристика	Размерность	Значение
Тип оборудования	-	THE BOX
Цена	руб.	26 215 770,00
Производительность	кг/час	6,00
Мощность электрическая	кВт	15,00
Время работы в сутки	час	24,00

В первом приближении оба производства имеют множество сходств. С помощью экструдера, заменяя матрицы, можно варьировать толщину стенки, форму и размер сотовой панели. Различия начинаются в конструкции самого оборудования и принципе его действия, что нередко сказывается на производительности.

Оба рассматриваемых метода несут в себе положительные и отрицательные черты, но если говорить о внедрении новых технологий в производство, то в первую очередь интересуемся экономической эффективностью перехода с базового способа производства, которым является экструзия на перспективный – метод 3-D печати.

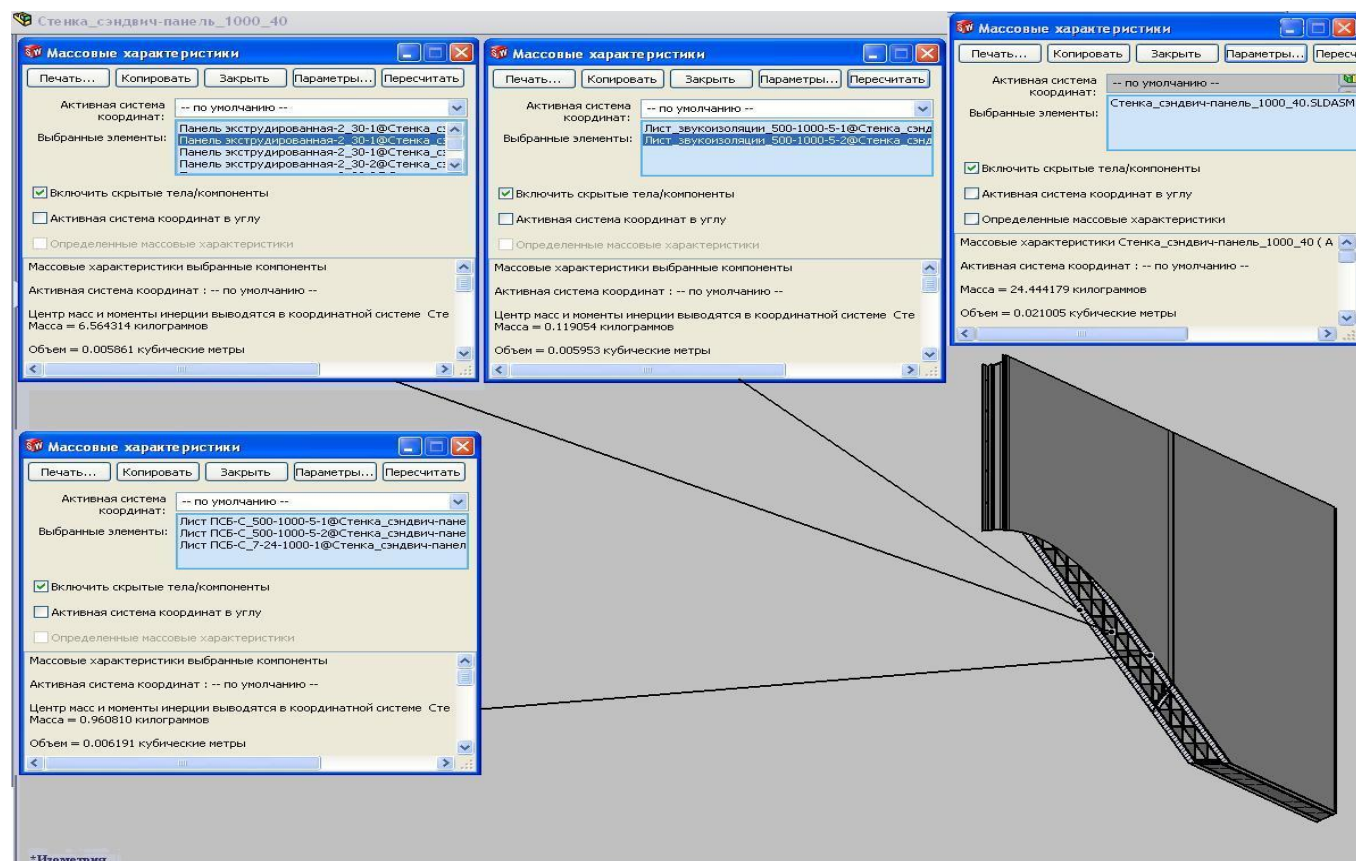
Внедрение новой техники и технологий, взамен старой является инвестиционным проектом, оценка эффективности которого выполнена согласно [4].

3-D модель теплоизоляционной стенки, показанной на рисунке 1, позволяет определить массу каждого элемента, приходящуюся на 1 м² поверхности пассажирского вагона. На рисунке 2 представлены массовые характеристики 1 м² стенки пассажирского вагона, а также массовые характеристики полиамидных вакуумных элементов, теплоизоляционных слоев из материала ПСБ-С и звукоизоляционных слоев из материала URSA Terra.

Как видно из рисунка 2, масса 1 м² стенки составляет 24,444 кг, масса полиамидных вакуумных панелей – 6,564 кг, масса теплоизоляции из пенополистирола ПСБ-С с плотностью 140 кг/м³ – 0,961 кг, масса звукоизоляции из материала URSA Terra плотностью 20 кг/м³ – 0,119 кг.

Чтобы рассчитать массу каждого материала стенки, потребную для производства стенок всего вагона, необходимо умножить приведенные величины на площадь ограждения пассажирского вагона. На рисунке 3 представлены расчеты площади ограждения пассажирского вагона, выполненные с помощью анализа его 3-D модели.

Умножая массу материала, приходящуюся на 1 м² поверхности кузова вагона, на площадь всей его поверхности, можно получить следующие значения масс материалов, приходящихся на один пассажирский вагон: полиамид ПА-6 – 1781 кг, пенополистирол ПСБ-С – 261 кг, материал URSA Terra – 32 кг.

Рис. 2 – Массовые характеристики 1 м² теплоизоляционной стенки

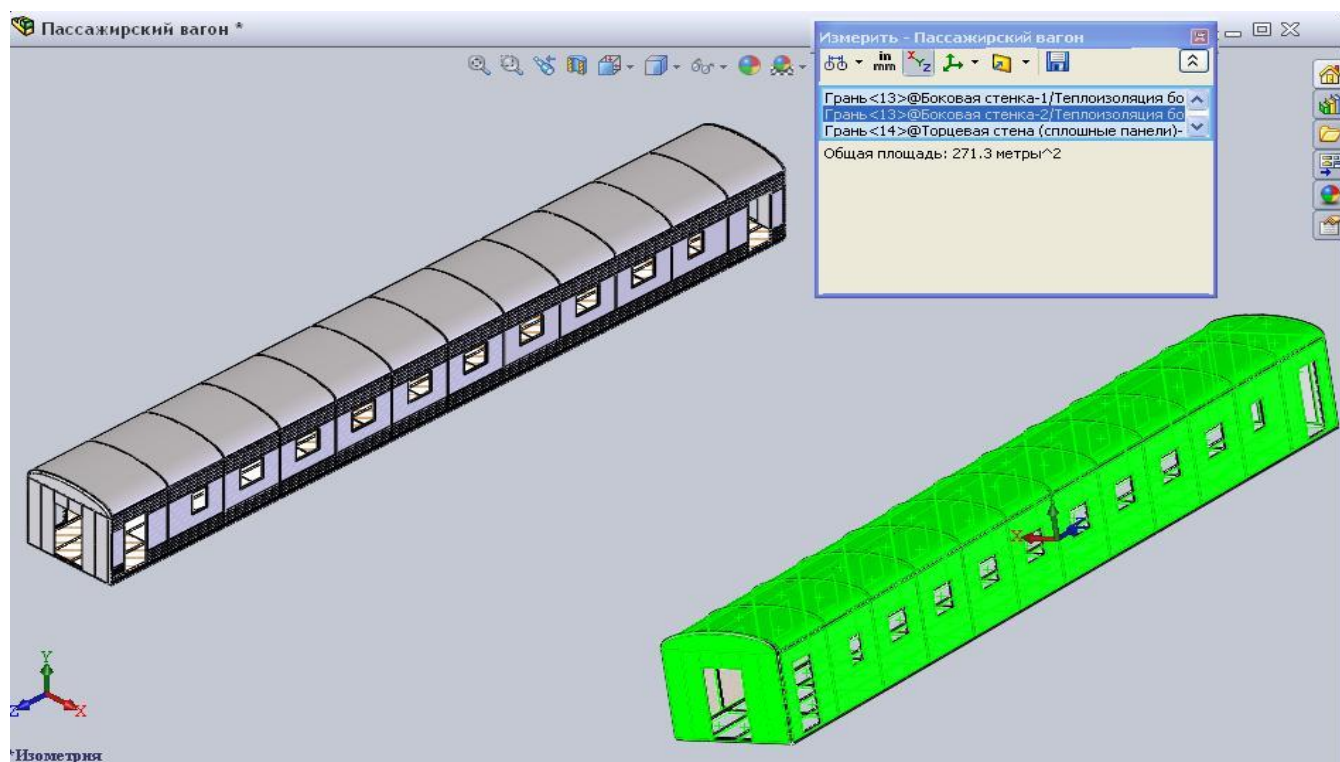


Рис. 3 – Анализ площади ограждения пассажирского вагона с помощью программы SolidWorks

3-D принтеры, используя свою автоматизированную систему могут работать 24 часа, в отличие от экструдера, которому постоянно нужен оператор, соответственно рабочая смена экструзионной линии сокращается до 8 часов. Расчет выполнен, исходя из тарифов, приведенных в таблице 3.

Как и любой производственный агрегат, экструдер и 3-D принтер являются устройствами, потребляющими электрическую энергию, поэтому зададимся фиксированным тарифом, по которому будет рассчитана стоимость энергии производственного участка. Поскольку данное оборудование закупается на капитал ОАО «РЖД», то согласно [6] средневзвешенная цена за 1 кВтч электроэнергии составляет 5 рублей.

Даже полностью автоматизированное оборудование нуждается в техническом обслуживании, а также в наблюдении оператора за процессом изготовления и функционирования. Согласно [7] выбирается тарифная ставка для электромеханика в размере 96,2 руб./час.

Стоимость материалов по данным таблицы 3 взяты исходя из средней рыночной стоимости, предлагаемой поставщиками в сети Интернет.

Поскольку 3-D принтер может работать целые сутки, так или иначе присутствие оператора на участке необходимо, для исключения форс-мажорных ситуаций, работа операторов предусматривается день-ночь по графику 2 через 2. Наличие работника на автоматизированном производственном участке предусматривается из соображений безопасности, поскольку даже за самым умным оборудованием должен следить человек, выполняя роль оператора-наладчика.

Таким образом раскладка фонда оплаты труда будет выглядеть следующим образом (таблица 4).

Зададимся программой выпуска пассажирских вагонов. Согласно [8] АО «Тверской вагоностроительный завод» в год выпустил 37 вагонов модели 64-4440.

Таблица 3 – Тарифы на материальные ресурсы

Характеристика	Размерность	Экструзия	3-D печать
Количество рабочих дней	шт.	247,00	351,00
Цена электроэнергии (по тарифу для ОАО "РЖД")	руб./кВтч	5,00	5,00
Тариф электромеханика (оператора)	руб./час	96,20	96,20
Продолжительность рабочей смены персонала	час	8,00	8,00
Продолжительность работы оборудования	час	8,00	24,00
Цена материала: Полиамид ПА-6 (гранулы или прутки)	руб./кг	1050	2500
Цена материала: Пенополистирол ПСБ-С	руб./кг	206,9	206,9
Цена материала: Материал URSA Terra	руб./кг	93,27	93,27

Таблица 4 – Годовой фонд оплаты труда

Характеристика	Размерность	Экструзия	3-D печать
Требуемое количество операторов исходя из расчета 1 человек на смену	чел.	1,00	2,00
Месячная тарифная ставка	руб.	16041,35	16041,35
Доплата за выходные дни +2,5% на 1 чел	руб.	-	401,03
Доплата за работу в ночное время суток +40%, 1 чел.	руб.	-	2020,20
ФОТ месяц (на одного работника)	руб.	16041,35	18462,58
ФОТ годовой	руб.	192496,20	221550,96
Отчисления на социальные нужды, 31,2%	руб.	60058,81	69123,91
Расходы на работу персонала участка, год	руб.	252555,01	290674,92
Расходы на работу персонала участка с учетом количества работников, год	руб.	252555,01	581349,84

Исходя из планируемой программы выпуска, требуется оборудовать участки производства с одинаковой массой выпуска готовой продукции, в противном случае программа выпуска производственным участком не будет выполнена. Результаты расчета сведены в таблицу 5.

Реструктуризация производственных участков, а также приобретение и внедрение нового оборудования, является инвестиционным проектом, с гарантированным сроком окупаемости.

Поскольку проект модернизации рассчитан на жизненный цикл приобретаемого оборудования, то горизонт планирования будет составлять не менее 7 лет.

Отметим, что при расчете инвестиционного проекта приведение текущей стоимости идёт с первого года производства, тогда как капитальные вложения планируются раньше, то есть в нулевом году.

Таблица 5 – Производственная программа и капитальные вложения

Характеристика	Параметр	Экструзия	3-D печать
Общий фонд рабочего времени в год, $\tau_{\text{раб}}$	час	1976,00	8424,00
Масса комплекта изоляции на один вагон:	кг	2074	
Полиамид ПА-6	кг	1781	
Пенополистирол ПСБ-С	кг	261	
Материал URSA Terta	кг	32	
Количество комплектов за год	шт.	37,00	37,00
Масса продукции из полиамида (вакуумные элементы), выпускаемой 1 единицей оборудования за год, $M_{\text{произв}}$	кг	355680	50544
Требуемая масса производимой продукции, $M_{\text{треб}}$	кг	65897	

Как видно из таблицы 5 один 3-D принтер не может обеспечить требуемую программу выпуска. Поэтому таких принтеров нужно несколько, количество оборудования рассчитаем по следующей зависимости:

$$k = \frac{M_{\text{треб}}}{M_{\text{произв}}} \quad (1)$$

где k – количество оборудования, требуемого для обеспечения программы производств;

$M_{\text{треб}}$ – требуемая масса производимой продукции, кг;

$M_{\text{произв}}$ – масса продукции, которую способна выпустить одна технологическая единица, кг;

Подставим в формулу данные из таблицы 5, получим:

$$k = \frac{76738}{65897} \approx 2$$

Таким образом для оснащения равноценных производственных участков, мы получаем соотношение оборудования, равное 1:2, то есть на одну экструзионную линию ($k_{\text{обруд}} = 1$), будет приходиться участок из 2-х 3-D принтеров ($k_{\text{обруд}} = 2$).

Необходимое время работы оборудования можно определить следующим образом:

$$\tau_{\text{оборуд}} = \frac{M_{\text{треб}}}{M_{\text{произ}} \cdot k_{\text{оборуд}}} \cdot \tau_{\text{раб}} \quad (2)$$

Для одного экструдера $\tau_{\text{оборуд}} = 366,1$ час.; для двух 3-D принтеров $\tau_{\text{оборуд}} = 5491,4$ час.

С учетом количества оборудования, фонда оплаты труда для работников, обслуживающих оборудование, затраты на программу выпуска будут выглядеть следующим образом (таблица 6).

Таблица 6 – Скорректированный фонд оплаты труда

Характеристика	Размерность	Экструзия	3-D печать
Время работы производственного участка	час	366,1	5491,4
Тарифная ставка	руб./час	96,20	96,20
ФОТ за рабочее время участка	руб.	35218,82	528272,68

Таблица 7 – Затраты на программу производства

Параметр	Изм.	Экструзия	3-D печать
Расходы на работу персонала участка, год	руб.	35218,82	528272,68
Расходы на материал	руб.	69172950	164742500
Расходы на электроэнергию за время $\tau_{\text{оборуд}}$	руб.	192199,58	823710,00
Итого расходы на производственную программу	руб.	6940368,4	166094482,68

В расходах на производственную программу производства вакуумной теплоизоляции из полиамида с помощью экструзии следует добавить затраты на замену сменных матриц из-за абразивно-гидравлического износа каждые 50 часов работы. Так как при экструзионном способе производства время работы составляет 366,1 часа, то необходимо 7 замен матриц. При стоимости одной матрицы 4500 тыс. руб. Затраты на производство методом экструзии повышаются на 31500 тыс. руб. и составят 38440,684 тыс. руб.

Основным показателем эффективности инвестиционного проекта является совокупный чистый дисконтированный доход. Чистый дисконтированный доход является интегральным показателем, объединяющим эффекты за каждый год горизонта планирования.

Чистый дисконтированный доход определяется по следующей зависимости:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^T (R_t - Z_t) \cdot \frac{1}{(1+E)^t} = \sum_{t=0}^T \frac{\mathcal{E}_t}{(1+E)^t} \quad (3)$$

где R_t – результаты, достигаемые на t -ом шаге расчета (доходы);

Z_t – затраты (текущие издержки и инвестиции), осуществляемые на том же шаге;

E – норма дисконта, принятая $E = 0,06$;

\mathcal{E}_t – экономический эффект, достигаемый на t -ом шаге.

T – горизонт расчета;

$t = 0, 1, 2, \dots, T$ – номер рассматриваемого периода (шаг расчета).

Поскольку чистый дисконтированный доход – интегральный показатель, то его положительное значение может говорить нам, что при текущих затратах на производство и цену готовой продукции, инвестиционные затраты будут окупаться.

Инвестиции в проект заключаются в оборудовании экспериментальных производственных участков экструдером или двумя 3-D принтерами, они осуществляются на 0 шаге. Общие капитальные затраты складываются из стоимости 37 пассажирских вагонов модели 64-4440 и инвестиций на оборудование и производство вакуумной теплоизоляции для этих вагонов по двум различным вариантам (экструзионное изготовление и 3-D печать).

Затраты на техническое обслуживание одного пассажирского вагона равны 16 тыс. руб. в год. Эксплуатационные затраты складываются из затрат на техническое обслуживание и затрат на потребляемую в вагоне электроэнергию. Потребная мощность электрооборудования вагона летом составляет 50 кВт, а зимой – 98 кВт [9, С. 52]. Так как годовой фонд работы электроприборов вагона составляет 3600 часов, то среднегодовые затраты электроэнергии одного вагона с существующей теплоизоляцией равны $0,5 \cdot (50+98) \cdot 3600 = 266\,400$ кВт час. Учитывая тариф на электроэнергию 5 руб./кВт час, годовые затраты на потребляемую в одном вагоне электроэнергию составляют $266\,400 \cdot 5 = 1\,332\,000$ руб. Использование вакуумной теплоизоляции в пассажирском вагоне снижает на 47,6% энергопотребление системы кондиционирования летом и системы отопления зимой [10, С. 19]. Поэтому годовые затраты на потребляемую электроэнергию в одном вагоне с вакуумной теплоизоляцией составляют $1\,332\,000 \cdot (1-0,476) = 697\,968$ руб. Таким образом, на каждом шаге эксплуатационные затраты на 37 вагонов с существующей теплоизоляцией составят $Z_t =$

$37 \cdot (16 + 1332) = 49876$ тыс. руб., а на столько же вагонов с вакуумной теплоизоляцией $3_i = 37 \cdot (16 + 697,968) = 26416,816$ тыс. руб.

Годовой доход от эксплуатации партии пассажирских вагонов будет определяться по пассажирообороту.

Пассажирооборот – это показатель отражения объема перевозок пассажиров в пассажиро-километрах и исчисляется как произведение количества пассажиров на расстояние. В нашем случае пассажирооборот вагона рассчитывается по формуле:

$$\Gamma_n = A \cdot n \cdot l \cdot N \quad (4)$$

где A – максимальная вместительность, составляющая 40 чел.;

n – количество вагонов;

l – расстояние перевозки (пробег), км;

N – число груженых рейсов в году.

Если рассмотреть самое востребованное направление Горьковской железной дороги на маршруте Москва- Нижний Новгород, тогда $l = 440$ км, а число рейсов в году $N = 365$, то годовой пассажирооборот партии из 37 пассажирских вагонов модели 64-4440 составляет $\Gamma_{n1} = 40 \cdot 37 \cdot 440 \cdot 365 = 237688000$ пассажиро-километров.

Денежный доход одного года при эксплуатации 37 пассажирских вагонов будет равен:

$$P = \Gamma_n \cdot k \quad (5)$$

где $k = 0,002659$ тыс. руб./ пассажиро-километров – норма прибыли при установленном тарифе на пассажирские поезда направления Нижний Новгород-Москва в размере 1170 рублей.

Годовой доход от эксплуатации партии из 37 пассажирских вагонов модели 64-4440 составляет $P_1 = 237688000 \cdot 0,002659 = 632012,39$ тыс. руб.

Более точное сравнение эффективности данных инвестиционных проектов возможно после анализа затрат на производство разных моделей вагонов.

Результаты расчетов и сравнение инвестиционных затрат для двух способов производства приведены на рисунках 4-6.

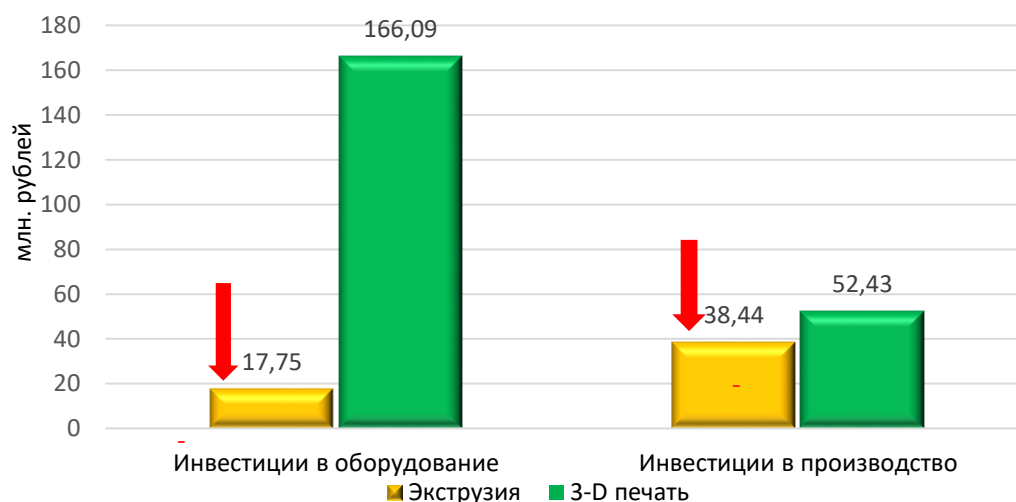


Рис. 4 – Сравнение инвестиционных затрат

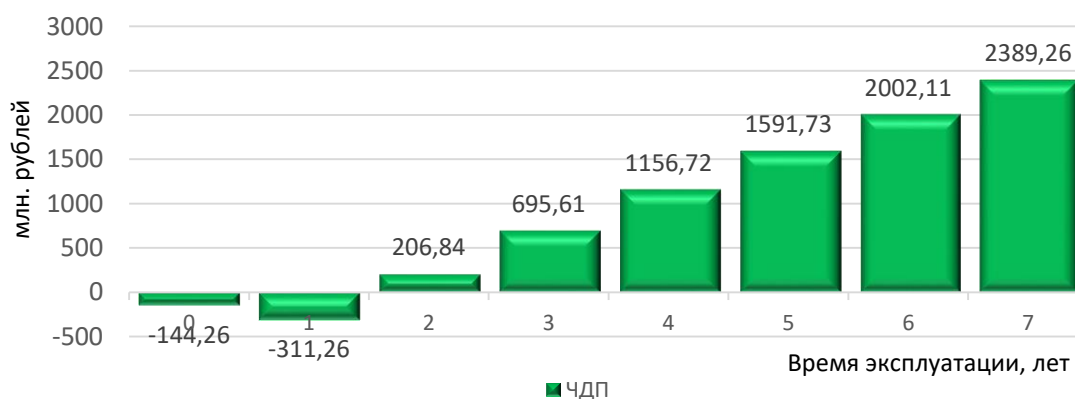


Рис.5 – Результаты расчета дисконтированного денежного потока при эксплуатации вагонов с обычной теплоизоляцией



Рис. 6 – Результаты расчета дисконтированного денежного потока при эксплуатации вагонов с инновационной теплоизоляцией

Заключение

На основании сравнительного анализа двух способов производства сотовых панелей (методом экструзии и 3-D печати), можно сделать заключение, что при текущей стоимости оборудования и расходах на производство, инвестиционный проект в производство вакуумной теплоизоляции для пассажирских вагонов с помощью экструзии доказывает свою экономическую эффективность. Согласно расчетам, за семь лет эксплуатации 37 пассажирских вагонов с такой теплоизоляцией дисконтированный доход составит 2487490 тыс. руб., что на 98227 тыс. руб. больше, чем дисконтированный доход от эксплуатации такого же количества вагонов с существующей теплоизоляцией за тот же период. Инвестиционный проект в производство вакуумной теплоизоляции для пассажирских вагонов с помощью 3-D печати показал меньшую величину дисконтированного дохода, чем доход вагонов с существующей теплоизоляцией, поэтому в настоящее время он нерентабелен. Активно развивающиеся технологии объемной печати предлагают производителям техники возможности изготавливать детали более сложных профилей, и, возможно, в будущем при снижении стоимости 3-D принтеров данные технологии могут применяться при изготовлении вакуумной теплоизоляции пассажирских вагонов.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Балалаев А.Н. Особенности эксплуатации и ремонта пассажирского вагона с кузовом из алюминиевых панелей, полученных методом экструзии / А.Н. Балалаев, И.К. Андрончев // Вестник транспорта Поволжья, 2013. №3. С. 29-34.
2. Киселев Д.А. Методика проектирования кузова пассажирского вагона с вакуумной теплоизоляцией в виде экструдированных панелей из полиамида / Д.А. Киселев, Т.А. Миронова // Новая наука: современное состояние и пути развития. Международное научное периодическое издание по итогам Международной научно-практической конференции (Стерлитамак, 30 апреля 2017г. Стерлитамак: АМИ, 2017. №4-2-2. С. 102-113.
3. Балалаев А.Н. Проектирование наземных транспортных средств с использованием сотовых конструкций / А.Н. Балалаев, А.М. Зиятдинов, М.А. Паренюк, Д.М. Тимкин. Самара: СамГУПС, 2019. 196 с.
4. Хабр. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/smileexpo/blog>. (дата обращения 12.12.2020)
5. Методические рекомендации по расчету экономического эффекта внедрения научно-технических достижений и передового опыта на железных дорогах – филиалах ОАО «РЖД». М.: ОАО «РЖД», 2005. 22 с.
6. Приложение № 1 к Приказу ФАС России от 12.04.2011 № 263.
7. Положении об оплате труда работников филиалов открытого акционерного общества "Российские железные дороги" утверждено решением правления ОАО "РЖД" от 15 апреля 2004 года, протокол N 8.
8. Годовой отчет открытого акционерного общества «Тверской вагоностроительный завод» за 2017 год.
9. Балалаев А.Н. Оценка энергоэффективности системы электроснабжения пассажирского вагона с использованием ветрогенераторов и солнечных батарей / А.Н. Балалаев, С.В. Коркина, Е.М. Плохов, А.Ю. Половинкина // Электротехника. 2020. №3. С. 50-54.
10. Балалаев А.Н. Исследование модели вакуумной теплоизоляции пассажирского вагона / А.Н. Балалаев, М.А. Паренюк, Г.М. Сергеев, Д.М. Тимкин // Вестник транспорта Поволжья. 2018. № 2. С. 13-20.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Balashev A. N. Osobennosti ekspluatatsii i remonta passagirskogo vagona s kuzovom iz alluminievikh panelei, poluchennikh metodom ekstruzii [Features of operation and repair of a passenger car with a body made of aluminum panels obtained by extrusion] / A. N. Balashev, I.K. Andronchev // Vestnik transporta Povolzh'ya 2003 , pp. 29-34 [in Russian]
2. Kiselev D.A. Metodika proektirovaniya kuzova passagirskogo vagona s vacuumnoi teploizolyatsiei v vide ekstrudirovannikh panelei iz poliamida. [Method of designing a passenger car body with vacuum thermal insulation in the form of extruded polyamide panels] / D.A. Kiselev, T.A. Mironova // Novaya nauka: sovremennoye sostozniye I puti razvitiya.

Mezhdunarodnoye nauchnoye periodicheskoye izdaniye po itogam Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii [New science: current state and development paths. International scientific periodical following the results of the International scientific and practical conference], 2017, vol. 4-2-2, pp. 102-113. [in Russian]

3. Balalaev A.N. Proektirovaniye nazemnykh transportnykh sredstv s ispolzovaniem sotovykh konstruktsiy [Design of ground vehicles using honeycomb structures] / A.N. Balalaev, A.M. Ziyatdinov, M.A. Parenjuk, D.M. Timkin, Samara, 2019, 196 p. [in Russian]

4. Habr. – [Electronic resource]. – URL: <https://habr.com/smileexpo/blog>. (accessed 12.12.2020) [in Russian]

5. Metodicheskie rekomendatsii po raschetu jekonomicheskogo jeffekta vnedreniya nauchno-tehnicheskikh dostizhenij i peredovogo opyta na zheleznih dorogah – filialah OAO «RZhD» [Methodological recommendations for calculating the economic effect of the introduction of scientific and technical achievements and best practices on the railways-branches of JSC "Russian Railways"]. Moscow: JSC "Russian Railways", 2005. 22 p. [in Russian]

6. Prilozhenie № 1 k Prikazu FAS Rossii ot 12.04.2011 [Appendix No. 1 to the Order of the FAS of Russia] № 263. [in Russian]

7. Polozheniye ob oplate truda rabotnikov filialov otkritogo aktsionernogo obschestva «Rosiiskiy zheleznyye dorogi», utverzhdeno pravleniem OAO «RZhD» [Regulations on remuneration of employees of branches of the open joint-stock company "Russian Railways" approved by the decision of the board of JSC "Russian Railways"], minutes No. 8 dated 04/15/2004. [in Russian]

8. Godovoy otchet otkritogo aktsionernogo obshestva «Tverskoy vagonostroitelnyy zavod» [Annual report of the open joint stock company "Tver Carriage Works"], Tver, 2017. [in Russian]

9. Balalaev A.N. Otsenka energoeffektivnosti sistemi energosnabzheniya passagirskogo vagona s ispolzovaniem vetrogeneratorov i solnechnykh batarei [Energy efficiency assessment of a passenger car power supply system using wind turbines and solar panels] / A.N. Balalaev, S.V. Korkina, E.M. Plokhov, A.Ju. Polovinkina // Elektrotehnika [Electrical engineering], 2020, vol. 3, p. 50-54. [in Russian]

10. Balalaev A.N. Issledovaniye modeli vacuumnoy teploizolyatsii passagirskogo vagona [Study of the model of vacuum thermal insulation of a passenger car] / A.N. Balalaev, M.A. Parenjuk, G.M. Sergeev, D.M. Timkin // Vestnik transporta Povolzhya [Volga Transport Bulletin], 2018, vol. 2, pp. 13-20. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.103.2.012>**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕТРАДИЦИОННОГО СЫРЬЯ В КАЧЕСТВЕ ДОБАВКИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Научная статья

Медведев П.В.¹, Федотов В.А.^{2,*}, Бочкарева И.А.³, Лукьянова Е.С.⁴² ORCID: 0000-0002-3692-9722;^{1, 2, 3, 4} Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

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

Аннотация

В статье выявлено положительное влияние арбузного концентрата на замедление процесса черствения хлебобулочных изделий. При внесении его в количестве 5 % к массе муки удельный объем хлеба возрастает на 16 %, сжимаемость мякиша хлеба как сразу после выпечки, так и после суток хранения была выше по сравнению с контролем. Степень изменения показателя сжимаемости была наименьшей. Приведены результаты исследований о том, какой из компонентов арбузного концентрата оказывает основное влияние на замедление черствения хлеба и изменение его свойств, описан предположительный механизм этого явления. Оценивали влияние на замедление черствения хлебобулочных изделий глюкозы, пектина, клетчатки, а также совместного влияния этих компонентов. Наибольшая степень замедления черствения хлеба достигается за счет комплексного влияния сахара и пектина, что обусловлено повышением содержания водорастворимых компонентов в хлебе и увеличении количества связанной воды.

Ключевые слова: хлебобулочные изделия, потребительские свойства, качество продукции, нетрадиционное сырье, органолептическая оценка.

IMPROVING THE QUALITY OF BAKERY PRODUCTS VIA ALTERNATIVE RAW MATERIALS

Research article

Medvedev P.V.¹, Fedotov V.A.^{2,*}, Bochkareva I.A.³, Lukianova E.S.⁴² ORCID: 0000-0002-3692-9722;^{1, 2, 3, 4} Orenburg State University, Orenburg, Russia

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

Abstract

The article reveals the positive effect of watermelon concentrate on slowing down the staling process of bakery products. When it is applied in an amount of 5 % by weight of flour, the specific volume of bread increases by 14.5 %, the compressibility of the bread crumb both immediately after baking and after a day of storage was higher compared to the control. The degree of change in the compressibility index was the smallest. The paper presents the results of research on which of the components of watermelon concentrate has the main effect on slowing down the staling of bread and changing its properties, and describes the alleged mechanism of this phenomenon. We evaluated the effect of glucose, pectin, and fiber on slowing down the staling of bakery products, as well as the combined effect of these components. The greatest degree of slowing down the staling of bread is achieved due to the combined effect of sugar and pectin, which is due to an increase in the content of water-soluble components in bread and an increase in the amount of bound water.

Keywords: bakery products, consumer properties, product quality, non-traditional raw materials, organoleptic evaluation.

Современная промышленность использует бахчевые культуры для пищевых, кормовых и технических нужд [1]. Так, на пищевые нужды арбузы перерабатывают в мед, патоку, законсервированный сок, сухой порошок из сока и пр. По данным источников литературы, из 1 тонны арбузов получается около 40 кг семян, 310 кг корки, 130 кг мезги, 600 кг арбузного сока. Мезга также может быть переработана в повидло, его выход - примерно 300 - 350 кг из 1 т арбузной мезги [2], [3], [4]. Из мякоти арбуза отжимают сок, который выпаривают в вакууме при температуре до 45 °С для минимизации потерь биологически активных веществ. Таким образом получают пастообразный концентрат высокой биологической ценности. Концентрат богат витаминами, бета-каротином, минеральными веществами (Mg, Fe, K, P, Ca), фруктозой, органическими кислотами, пектином. Концентрат может быть использован в качестве биологически активной добавки для повышения потребительских свойств продуктов питания. Выход продукта составляет около 3 %. Срок хранения даже в обычных условиях при комнатной температуре несколько лет [5], [6]. Данный арбузный концентрат использовали в качестве добавки при производстве хлеба. Арбузный концентрат содержит около 70 % сахаров, из них до 40 % фруктоза, до 35 % глюкоза, до 5 % сахароза [7], [8]. Содержание пектина около 4 %, клетчатки 12 %, белка 5 %, органических кислот 1,5 %. В опытах выпекали хлеб без добавок (контроль), с арбузным концентратом (5 % к массе муки), с глюкозой в количестве, эквивалентном ее содержанию в рецептурной дозе арбузного концентрата (3,3 %), с пектином (0,5 % и 1,0 %) и клетчаткой (0,5 % к массе муки), а также с глюкозой и пектином (3,3 % и 0,5 % соответственно). Хлеб из муки пшеничной первого сорта готовили в лабораторных условиях безопарным способом, выпекали по 2 образца массой 400 г в лабораторной печи [9]. Качество хлеба оценивали по удельному объему, состоянию мякиша, пористости. О черствении хлеба судили по изменению показателя сжимаемости хлеба на пенетрометре в процессе хранения. Определяли также намокаемость мякиша, содержание водорастворимых веществ и связанной воды в первые (через 16 ч после выпечки) и во вторые сутки хранения. Интенсивность протекающих процессов оценивали по соотношению этих показателей (таблица 1).

Как показали результаты экспериментов: внесение в хлеб как сахара, так и пектина увеличивает удельный объем хлеба, пористость и сжимаемость его мякиша. В наибольшей степени удельный объем хлеба возрастает при внесении 5% арбузного концентрата (на 16 %), а также при совместном внесении в тесто сахара с пектином. Добавление клетчатки не сказывается сколько-нибудь положительно ни на объеме хлеба, ни на сжимаемости его мякиша (низкий удельный

объем хлеба, плотный и очень упругий мякиш). Однако на вторые сутки сжимаемость мякиша в хлебе с пектином снижалась, а у образцов с сахаром, пектином и сахаром, и арбузным концентратом была выше, т.е. свежесть хлеба с этими добавками сохраняется лучше.

Таблица 1 – Органолептические показатели качества хлеба с различными добавками

Показатели	В хлебе						
	Без добавок (контроль)	С арбузным концентратом	С пектином 0,5 %	С пектином 1,0 %	С клетчаткой	С сахаром	С сахаром и пектином
Кислотность, град	2,5	2,7	2,5	2,6	2,6	2,7	2,6
Пористость, %	72	76	74	74	71	75	76
Влажность, %	41,5	41,1	42,2	43,7	41,6	42,2	42,2
Удельный объем хлеба, см ³ / 100 г	252	293	282	275	252	264	282
Состояние пористости	Развитая	Хорошо развитая			Развитая	Развитая	
Состояние мякиша	Упругий	Эластичный, сухой			Упругий	Эластичный	
Сжимаемость на пенетрометре, ед. прибора:							
в 1-е сутки	39	47	51	42	37	46	48
в 2-е сутки	26	38	29	27	27	35	38
сохранение, %	72	78	61	62	71	75	78
Намокаемость мякиша, % к СВ							
в 1-е сутки	459	504	487	507	464	491	498
в 2-е сутки	445	486	456	485	454	457	463
сохранение, %	96	94	92	97	98	90	97
Содержание водорастворимых веществ, %							
в 1-е сутки	2,84	3,08	2,78	2,74	2,84	3,05	3,09
в 2-е сутки	2,44	2,94	2,54	2,65	2,64	2,88	3,04

Таким образом, основным компонентом арбузного концентрата, задерживающим черствение хлеба, является, по-видимому, сахар. В сочетании его с пектином, вносимым в чистом виде или в арбузном концентрате, этот эффект усиливается. Сам пектин, хотя и улучшает свойства свежего хлеба, не задерживает его черствения.

Исследование механизма наблюдаемого явления показало, что при внесении в тесто как сахара, так и пектина повышаются гидрофильные свойства мякиша хлеба, его намокаемость. С увеличением содержания в хлебе пектина эффект от его влияния был выражен сильнее: при дозировке 0,5 % намокаемость была примерно такой же, как при внесении сахара, а при введении 1,0 % она существенно повышалась и даже превышала намокаемость хлеба с арбузным концентратом. Совместное влияние сахара и пектина на гидрофильность мякиша было примерно таким же, как и действие арбузного концентрата.

Наиболее высоким содержание водорастворимых веществ было в хлебе с сахаром, пектином и сахаром, и арбузным концентратом. Отдельно пектин не увеличивает количества водорастворимых веществ.

Таким образом, улучшение состояния мякиша и сохранение свежести у хлеба с добавками является следствием повышения гидрофильных свойств мякиша и содержания водорастворимых веществ. Такая закономерность наблюдается в образцах хлеба с сахаром, пектином и сахаром, а также с арбузным концентратом. Хлеб с пектином хотя отличается высокой намокаемостью, но не содержит большого количества водорастворимых веществ и не обладает лучшей сохраняемостью.

По литературным данным, для сохранения свежести хлеба важное значение имеет содержание в нем прочно связанной воды. Очевидно, что добавка в хлеб сахара, сахара в сочетании с пектином и арбузного концентрата повышает не только намокаемость хлеба, но и способность его удерживать воду в связанном состоянии в процессе хранения. Для проверки этого предположения проведены калориметрические определения количества различных типов воды в хлебе с использованием дифференциального сканирующего микрокалориметра ДСМ-10М [10]. Метод позволяет определить количество свободной слабо связанной воды (замерзающей при охлаждении ниже 0 °С) и количество прочно связанной (незамерзающей) воды по эндотермам плавления льда, образовавшегося после предварительного замораживания хлеба. Высказанное предположение о роли связанной воды в сохранении свежести хлеба подтверждают результаты калориметрических определений содержания различных типов воды в хлебе с указанными добавками. Исследования показали, что даже при минус 90 °С в образце хлеба остается прочно связанная незамерзающая вода (таблица 2).

Таблица 2 – Показатели качества хлеба с различными добавками

Показатели	В хлебе						
	без добавок (контроль)	с арбузным концентратом	с пектином 0,5 %	с пектином 1,0%	с клетчаткой	с сахаром	с сахаром и пектином
Влажность, %	41,7	42,3	42,5	42,8	41,9	42,7	42,7
Количество свободной воды, % к СВ	36,7	34,9	38,1	42,1	37,2	36,9	36,7
Количество прочно связанной (незамерзающей) воды, % к СВ	35,7	38,2	35,1	34,2	35,6	36,8	36,7
Количество прочно связанной воды, % к общему содержанию	49,8	52,7	48,2	46,2	48,7	50,1	50,4

Плавление льда начинается при температуре минус 20 °С, а основное количество воды переходит в жидкое состояние при температуре минус 8 °С. Установлено, что в хлебе с арбузным концентратом уменьшается содержание свободной воды и увеличивается на 2,2 % количество незамерзающей воды по сравнению с контролем. В хлебе с возрастающей дозировкой пектина содержание свободной воды повышается, а незамерзающей (связанной) соответственно уменьшается. Количество незамерзающей воды также несколько снижается и в хлебе с клетчаткой. Добавка в хлеб сахара или пектина с сахаром повышает количество прочно связанной воды (на 1,0 %) и незначительно сказывается на содержании свободной воды. Предположение об увеличении количества прочно связанной воды и образцах хлеба с добавками, задерживающими его черствение, получило подтверждение. Следовательно, основными компонентами арбузного концентрата, задерживающими черствение хлеба, служат сахар и пектин, которые проявляют это свойство в сочетании. Этот вывод может иметь значение для разработки других способов замедления черствения хлеба. Механизм этого явления заключается в повышении количества водорастворимых компонентов в хлебе и увеличении содержания связанной воды.

Проведенные исследования выявили положительное влияние арбузного концентрата на замедление процесса черствения и сохранения свежести хлебобулочных изделий в том числе за счет изменения в содержании свободной и связанной воды.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Калачев, М. В. Малые предприятия для производства хлебобулочных и макаронных изделий / М. В. Калачев. - М. : ДеЛи принт, 2008. - 288 с.
2. Пищевая химия / Нечаев А. П., Траубенберг С. Е., Кочеткова А. А. и др. Под ред. А. П. Нечаева. – СПб.: ГИОРД, 2001. – 592 с.
3. Шепелев, А. Ф. Товароведение и экспертиза электротоваров: учебное пособие для вузов / А. Ф. Шепелев, И. А. Печенежская. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2002. - 192 с.
4. Федотов В. А. Информационно-измерительная система определения потребительских свойств пшеницы / В. А. Федотов, П. В. Медведев // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2013. – № 3. – С. 140-145.
5. Федотов, В. А. Факторы формирования потребительских свойств зерномучных товаров / В. А. Федотов // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2011. – № 4. – С. 186-190.
6. Гуцалюк, Т. Г. Бахчеводство Казахстана / Т. Г. Гуцалюк. – НИИКОХ, 2006. – 227 с.
7. Дютин, К. Е. Перспективы селекционной работы с бахчевыми культуры / К. Е. Дютин, С. Д. Соколов // Вестник РАСХН. - 2006. - № 5. - С. 56 – 59.
8. Тарасенко, Ф. П. Прикладной системный анализ (наука и искусство решения проблем): Учебник / Ф. П. Тарасенко. - Томск: Издательство Томского университета, 2004. – 128 с.
9. Медведев, П.В. Управление качеством продуктов переработки зерна и зерномучных товаров / П. В. Медведев, В. А. Федотов, И. А. Бочкарева // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. - 2016. - № 1. - С. 61 – 69.
10. Потороко, И. Ю. Современное состояние и тенденции развития хлебопекарной отрасли / И. Ю. Потороко, Н. В. Андросова // Сборник материалов XII Международной научно-практической конференции «Торгово-экономические проблемы регионального бизнес-пространства» – Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2014. – С. 168–170.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kalachev, M. V. Malye predpriyatija dlja proizvodstva hlebobulochnyh i makaronnyh izdelij [Small enterprises for the production of bakery and pasta products] / M. V. Kalachev. - M. : DeLi print, 2008. - 288 p. [in Russian]
2. Pishchevaya khimiya [Food Chemistry] / Nechaev A.P., Traubenberg S.E., Kochetkova A.A., etc. Ed. by A. P. Nechaev. - St. Petersburg: GIORД, 2001. - 592 p. [in Russian]
3. Shepelev, A. F. Tovarovedenie i e`kspertiza e`lektrotovarov: uchebnoe posobie dlja vuzov [Commodity science and expertise of electrical goods: textbook for universities] / A. F. Shepelev, I. A. Pechenezhskaia. - Rostov-na-Donu: Feniks, 2002. - 192 p. [in Russian]

4. Fedotov, V. A. Informacionno-izmeritel'naja sistema opredelenija potrebitel'skih svojstv pshenicy [Information and measurement system for determining the consumer properties of wheat] / V. A. Fedotov, P. V. Medvedev // Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of the Orenburg State University]. – 2013. – № 3. – P. 140-145. [in Russian]
5. Fedotov, V. A. Faktory formirovaniya potrebitel'skih svojstv zernomuchnyh tovarov [Factors of formation of consumer properties of grain products] / V. A. Fedotov // Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of the Orenburg State University]. – 2011. – № 4. – P. 186-190. [in Russian]
6. Gutcaliuk, T. G. Bakhchevodstvo Kazakhstana [Melon growing in Kazakhstan] / T. G. Gutcaliuk. – NIIKOKH, 2006. – 227 p. [in Russian]
7. Diutin, K. E. Perspektivy selekcionnoi raboty s bakhchevymi kultury [Prospects of selection work with melons] / K. E. Diutin, S. D. Sokolov // Vestneyk RASKHN [Bulletin of the RAAS]. - 2006. - № 5. – P. 56 – 59. [in Russian]
8. Tarasenko, F. P. Prikladnoi` sistemny`i` analiz (nauka i iskusstvo resheniia problem): Uchebnik [Applied Systems Analysis (science and art of problem solving): Textbook] / F. P. Tarasenko. - Tomsk; Tomsk university publishing house, 2004. – 128 p. [in Russian]
9. Medvedev, P.V. Upravlenie kachestvom produktov pererabotki zerna i zernomuchny`kh tovarov [Quality management of grain processing products and grain products] / P. V. Medvedev, V. A. Fedotov, I. A. Bochkareva // Nauchny`i` zhurnal NIU ITMO. Seriya: ProtCESSy` i apparaty` pishchevy`kh proizvodstv [Scientific Journal of NRU ITMO. Series: Processes and devices of food production]. - 2016. - № 1. - P. 61 – 69. [in Russian]
10. Potoroko, I. Iu. Sovremennoe sostoianie i tendencii razvitiia khlebopekarnoi` otrasli [Current state and development trends of the bakery industry] / I. Iu. Potoroko, N. V. Androsova // Sbornik materialov XII Mezhdunarodnoi` nauchno-prakticheskoi` konferencii «Torgovo-e`konomicheskie problemy` regional`nogo biznes-prostranstva» [Collection of materials of the XII International Scientific and Practical Conference «Trade and Economic problems of the Regional business space»], Cheliabinsk: Chelyabinsk: SUSU Publishing House, 2014. – P. 168–170. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.103.2.013>**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ РЕНОВАЦИИ ЦЕМЕНТОВАННЫХ И НИТРОЦЕМЕНТОВАННЫХ ДЕТАЛЕЙ**

Научная статья

Швеёв И.А.^{1,*}, Швеёв А.И.², Швеёва Е.И.³^{1, 2, 3} Набережночелнинский институт (филиал) Казанского федерального университета, Набережные Челны, Россия

* Корреспондирующий автор (Shveev_Ivan777[at]mail.ru)

Аннотация

В данной статье установлено, что допустимая величина износа на восстанавливаемых цементованных (нитроцементованных) деталях зависит от технических условий при эксплуатации автомобиля. Дополнительным условием повышения износостойкости деталей может служить повышение противозадирных свойств рабочей поверхности, которые достигаются в результате термического оксидирования. Чистота поверхности заготовок и скорость охлаждения деталей после наплавки оказывают непосредственное влияние на образование пор и глубину их залегания в наплавленном слое. Обязательным условием при этом является сохранение в поверхностном слое (изношенной детали) углерода не менее 0,4 %. Предложено для скоростного нагрева изношенных частей деталей под пластическую деформацию использовать индукционные установки.

Ключевые слова: эксплуатация автомобиля, реновация, цементованные детали, технология, износостойкость, запчасти.

TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR THE RENOVATION OF CARBURIZED AND NITRO-CARBURIZED PARTS

Research article

Shveyov I.A.^{1,*}, Shveyov A.I.², Shveyova E.I.³^{1, 2, 3} Kazan Federal University - Naberezhnye Chelny Institute, Naberezhnye Chelny, Russia

* Corresponding author (Shveev_Ivan777[at]mail.ru)

Abstract

The current study establishes that the permissible amount of wear on the restored carburized (nitro-carburized) parts depends on the technical conditions during the operation of a vehicle. An additional condition for increasing the wear resistance of the workpieces can be an increase in the anti-scuffing properties of the active surface, which are achieved as a result of thermal oxidation. The surface finish and the cooling rate of the parts after welding will have a direct impact on the formation of pores and the depth in the layer of the weld. A prerequisite for this is the preservation of no less than 0.4 % of carbon in the surface layer of the worn part. The study proposes to use induction-heating installations for fast heating of worn elements of the parts for plastic flow.

Keywords: vehicle operation, renovation, cemented parts, technology, wear resistance, spare parts.

Продление ресурса эксплуатации техники за счет восстановления работоспособности изношенных узлов до уровня новых изделий – приоритетное направление развития современной техники [1]. Значительные расходы на дорогостоящие запчасти, их дефицит и зависимость от производителя указывают на актуальность проблемы и требуют неотложного решения по разработке и реализации на ремонтных предприятиях эффективных технологий восстановления быстроизнашиваемых деталей автомобилей [6].

Для повышения износостойкости деталей широко применяют упрочнение рабочих поверхностей методами химико-термической обработки и, в первую очередь, цементацией и нитроцементацией [3]. Но даже и такие изделия не в полной мере защищены от главного недуга – износа в зоне контакта сопрягаемых деталей [1]. Основополагающим фактором стабилизации и достижения на высоком уровне ресурса деталей является повышение качества поверхностного слоя, так как он во всех случаях оказывается наиболее нагруженным [5]. В зависимости от вида и степени нагрузки, характера среды и т.д. для большинства изделий эффективными являются общепризнанные технологии упрочнения контактирующих поверхностей, базирующих на нанесении покрытий, легирования, термического и деформационного воздействия, а также за счет их комбинирования [2]. Проведенный анализ по износу деталей грузовых автомобилей, в соответствии с поступившими в капремонт узлов и агрегатов, показал, что его величина в подавляющем большинстве случаев не превышает 0,1÷0,4 мм на сторону [1]. Оригинальный способ восстановления поршневых пальцев двигателей предложен и внедрен на ряде предприятий специалистами Кировоградского ремонтного завода, Московского института инженеров сельскохозяйственного производства и Государственного научно-исследовательского технологического института ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка [7]. Способ предусматривает направленное увеличение наружного (рабочего) размера детали при сохранении ее длины. Такой результат достигнут за счет горячей пластической деформации, при которой усилие при осевом сжатии соответствует тепловому расширению стали, совмещенной с регламентацией условий охлаждения внутренней и наружной поверхности изделия. Несмотря на эффективность и доступность такого метода в условиях ремонтных предприятий, он не позволяет восстанавливать изношенные детали, имеющие сложную геометрическую форму [1]. Особый интерес представляет и технология придания работоспособности узлам и сборочным единицам автомобиля и двигателя за счет механической обработки в ремонтный размер рабочих поверхностей деталей. Несмотря на компенсацию размеров за счет сопрягаемой детали, эта технология широко используется в промышленности [4]. Однако она не может быть реализована для широкой номенклатуры деталей и особенно для изделий, контактирующих по сложному варианту - по эвольвенте. Восстановление деталей с такими износами, а не их выбраковка, позволяет решать многие технические, технологические и экологические задачи в производстве.

Приоритетное место в технологиях восстановления изношенных деталей машин занимают методы пластического деформирования, благодаря которым осуществляется перемещение металла из нерабочих участков в зоны износа. Имеются данные, что при малой толщине стенки колец большого диаметра (190мм) увеличение диаметра после азотирования может достигать до весьма значительной величины, достигающей 1мм. Изменение размеров деталей при азотировании происходит вследствие возникновения разности удельных объемов и коэффициентов расширения диффузионного слоя, имеющего в своем составе ϵ , γ и λ – фазы нитрида хрома (CrN) и сердцевин основного металла. По мере увеличения легированности стали хромом, алюминием и другими нитридообразующими элементами увеличивается степень поглощения сталью азота и значительно увеличивается объемное изменение после азотирования [10].

В реализации такой технологии участвуют стадии нагрева детали под пластическую деформацию, непосредственно сама стадия деформирования, механическая и термическая обработка. Все стадии, без исключения, оказывают существенное влияние на показатели качества не только поверхностного слоя, но и детали в целом [7]. Поэтому необходимым условием является всестороннее обоснование параметров на каждой стадии обработки. Учитывая величину износа цементованного слоя на изучаемых деталях и закономерности распределения углерода по глубине цементованного слоя, установлено, что в зоне максимального износа содержание углерода на поверхности составляет от 0,5 до 0,7% [8]. Такое содержание углерода обеспечит высокую закаляемость стали как при охлаждении в воде, так и в масле. Важным условием при реализации технологии восстановления является сохранение, либо незначительное снижение (до 0,4%) углерода на поверхности такой детали. Эта задача сложна, но выполнима [1]. Сохранение химического состава стали на поверхности во время стадии горячей пластической деформации можно достичь путем безокислительного высокотемпературного ($T \geq 1000^\circ\text{C}$) нагрева только изношенной части детали в соляных ваннах, но применение и эксплуатация такой среды вызывает ряд технологических и экологических проблем. И все же наиболее перспективным является скоростной индукционный нагрев детали [9]. Но и он вызывает небольшое окалинообразование и частичное обезуглероживание с поверхности из-за контакта нагреваемой, а затем и нагретой детали с воздушной атмосферой.

На примере стали 40ХН2МА нами оценена степень ее обезуглероживания, произошедшая при нагреве в индукторе заготовки Ø70 мм до температуры $1260 \pm 20^\circ\text{C}$. Установлено, что необходимое время для нагрева стальной заготовки в индукторе до указанной температуры составляет 8 минут, которое вызывает частичное обезуглероживание с поверхности на глубину до 0,02мм [10]. Естественно, с увеличением времени контакта нагреваемой заготовки с воздухом наблюдается и повышение глубины обезуглероживания поверхности. Поэтому при разработке ремонтной технологии с использованием индукционного нагрева для изношенных деталей необходимо заблаговременно учитывать и припуск на механическую обработку изделий на величину обезуглероженного слоя. Сохранение на поверхности восстанавливаемой детали углерода не менее 0,4%, обеспечит при закалке твердость от 56 HRC и выше [1]. После механической обработки в окончательный геометрический размер восстановленные детали подвергают поверхностной закалке с нагрева ТВЧ. Для достижения высокой закаляемости на поверхности скорость охлаждения при закалке, как показали результаты исследования, должна быть не ниже $400^\circ\text{C}/\text{сек}$ в области температур мартенситного превращения, что достигается при спрейном охлаждении водой, водо-воздушной смесью, водными растворами полимеров и другими средами [10].

Одним из вариантов реализации разработанной технологии является восстановление шаровых пальцев с износом по цементованной сфере. После горячей пластической деформации изношенной части детали, шлифовки и закалке с нагрева ТВЧ поверхность этих деталей полностью соответствует первоначальному их состоянию: твердость поверхности – 58-59 HRC и микроструктура – мелкоигольчатый мартенсит [10]. Данная технология с успехом может быть применена и при восстановлении изношенных крестовин, шкворней и других цементованных деталей машин [1].

На основании вышеизложенного, можно сделать вывод о том, что допустимая величина износа на восстанавливаемых цементованных (нитроцементованных) деталях зависит от технических условий по эксплуатации автомобиля. Обязательным условием при этом является сохранение в поверхностном слое (изношенной детали) углерода не менее 0,4 %. Для скоростного нагрева изношенной части детали под пластическую деформацию необходимо использовать индукционные установки.

Таким образом, научная новизна заключается в закономерности изменения состава и структуры по сечению цементованного слоя деталей предложена и обоснована технология восстановления прочностных свойств изношенной детали за счет закалки остаточного цементованного слоя после нагрева токами высокой частоты.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Астащенко В.И. Технология восстановления изношенных цементованных деталей автомобиля/ В.И. Астащенко, А.И. Швейв, Т.В. Швейва // Автомобильная промышленность. -2011. - № 4. - С.31-32.
2. Лялякин В.П. Восстановление и упрочнение деталей машин — резерв экономии материальных ресурсов. / В.П. Лялякин //Ремонт, восстановление, модернизация. – 2012. - № 1. - С.9-13.
3. Неучев А.Л. Применение стали непрерывной разливки в кузнечном производстве / А.Л. Неучев // Кузнечно-штамповое производство – 2006. - №11. – С.21-22.
4. Никифоров В.М. Технология металлов и других конструкционных материалов / В.М. Никифоров - СПб.: Политехника, 2003. - 211с.
5. Папшев Д.Д. Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным плазменным деформированием / Д.Д. Папшев – М.: Машиностроение, 2008. – 152с.
6. Попова Л.Е., Диаграммы превращения аустенита в сталях и бета-раствора в сплавах титана. Справочник термиста. 3-е изд., перераб.и доп. / Л.Е. Попова, А.А. Попов - М.: Металлургия, 1991. – 503с.

7. Полухин П.И. Сопротивление пластической деформации металлов и сплавов: Справочник. 3-е изд., перераб. и доп. / П.И. Полухин, Г.Я. Гун, А.М. Галкин - М.: Metallurgiya, 2013. – 351с.
8. Упрочнение поверхностей деталей комбинированными способами / под ред. А.Г. Бойцова – М.: Машиностроение, 2001. – 144с.
9. Фетисов Г.П. Материаловедение и технология металлов: 2-е изд. / под ред. Г.П. Фетисова – М.: Высшая школа, 2010. – 862с.
10. Shveyov A.I. High level forming of properties in steel products / A.I. Shveyov, V.I. Astashchenko, T.V. Shveyova et al. // World Applied Sciences Journal. – 2013. - 24(9) – P.1148-1150.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Astashhenko V.I. Tekhnologiya vosstanovleniya iznoshennykh cementovannykh detalejj avtomobilja [Technology of Cemented Restoration of Worn Parts Car] / V.I. Astashhenko, A.I. Shvejov, T.V. Shvejova // Avtomobil'naja promyshlennost' [The Automotive Industry]. -2011. - No. 4. - pp.31-32. [in Russian]
2. Ljaljak V.P. Vosstanovlenie i uprochnenie detalejj mashin — rezerv ehkonomii material'nykh resursov [Restoration and Strengthening of Machine Parts-a Reserve for Saving Material Resources]. / V.P. Ljaljak // Remont, vosstanovlenie, modernizacija [Repair, Restoration, Modernization]. – 2012. - No. 1. - pp.9-13. [in Russian]
3. Neuchev A.L. Primenenie stali nepreryvnoj razlivki v kuznechnom proizvodstve [The Use of Continuous Casting Steel in Forging Production] / A.L. Neuchev // Kuznechno-shtampovoe proizvodstvo [Forging and Stamping Production] – 2006. - No.11. – pp.21-22. [in Russian]
4. Nikiforov V.M. Tekhnologiya metallov i drugikh konstrukcionnykh materialov [Technology of Metals and Other Structural Materials] / V.M. Nikiforov // SPb.: Politehnika, 2003. - p. 211 [in Russian]
5. Papshev D.D. Otdelchno-uprochnajushhaja obrabotka poverkhnostnym plazmennym deformirovaniem [Finishing and Strengthening Treatment with Surface Plasma Deformation] / D.D. Papshev // M.: Mashinostroenie, 2008. – p. 152 [in Russian]
6. Popova L.E., Diagrammy prevrashhenija austenita v staljakh i beta-rastvora v splavakh titana. Spravochnik termista. 3-rd ed., pererab.i dop. [Diagrams of the Transformation of Austenite in Steels and Beta-Solution in Titanium Alloys. Handbook of the Heat Treatment Operator. 3rd Ed., Revised and Updated] / L.E. Popova, A.A. Popov // M.: Metallurgija, 1991. – p. 503 [in Russian]
7. Polukhin P.I. Soprotivlenie plasticheskoy deformatsii metallov i splavov: Spravochnik. 3-rd ed., pererab. i dop. [Resistance to Plastic Deformation of Metals and Alloys: Handbook. 3rd Ed., Revised and Updated] / P.I. Polukhin, G.Ja. Gun, A.M. Galkin - M.: Metallurgija, 2013. – p. 351 [in Russian]
8. Uprochnenie poverkhnostej detalejj kombinirovannymi sposobami [Strengthening of Surfaces of Parts by Combined Methods] / Edited by A.G. Boytsova // M.: Mashinostroenie, 2001. – p. 144 [in Russian]
9. Fetisov G.P. Materialovedenie i tekhnologiya metallov: 2-nd ed. [Material Science and Technology of Metals: 2nd Ed.] / Edited by G.P. Fetisova // M.: Vysshaja shkola, 2010. – p. 862 [in Russian]
10. Shveyov A.I. High level forming of properties in steel products. / A.I. Shveyov, V.I. Astashchenko, T.V. Shveyova et al. // World Applied Sciences Journal. – 2013. - 24(9) – P.1148-1150.

АРХИТЕКТУРА / ARCHITECTURE

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.103.2.014>

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПРИМОРСКИХ САНАТОРНО-КУРОРТНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ
В ИСТОРИЧЕСКОМ КОНТЕКСТЕ**

Научная статья

Маркина К.Г.^{1,*}, Моргун Н.А.²

^{1,2} Академия архитектуры и искусств Южного Федерального Университета, Ростов-на-Дону, Россия

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

Аннотация

В этой статье рассматриваются основные исторические этапы в проектировании санаториев на территории России и за рубежом. Рассмотрена эволюция понятия «санаторий» через архитектурно-пространственную организацию санаторно-курортного отдыха в историческом аспекте. В основу анализа отечественного опыта были приняты во внимание территории г. Сочи и Крымского полуострова. Зарубежный опыт представлен санаториями и СПА-отелями Европы и США. Выявлены основные тенденции в проектировании санаториев согласно каждому выделенному историческому периоду. Сформулированы общие тенденции и различия в проектировании санаторно-курортных учреждений различной направленности, описаны основные функционально-планировочные решения.

Ключевые слова: санаторий, санаторно-курортное учреждение, бальнеологические учреждения, СПА-отели, санаторий-профилакторий.

**THE HISTORICAL CONTEXT OF THE FORMATION PATTERNS OF RECREATIONAL
AND MEDICAL FACILITIES**

Research article

Markina K.G.^{1,*}, Morgun N.A.²

^{1,2} Institute of Architecture and Arts of Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

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

Abstract

This article discusses the main historical stages in the design of sanatoriums and health resorts in Russia and abroad. The study explores the evolution of the concept of "sanatorium" (a facility with spa and medical services in countries of the former Soviet Union) through the architectural and spatial organization of recreational activities from a historical perspective. The analysis of the Russian facilities was based on the territories of Sochi and the Crimean Peninsula while the foreign facilities are represented by SPA resorts in Europe and the United States. The study identifies the key trends in the design of the facilities under study according to each selected historical period. The authors formulate the general trends and differences in the design of resort institutions of various types and outline the main functional and planning solutions.

Keywords: sanatorium, resort institution, balneological institutions, SPA hotels, disease prevention center.

Введение

Целебные свойства многочисленных природных ресурсов известны с древних времен, примитивные постройки для водолечения и грязелечения в местах выхода минеральных вод и местах нахождения лечебных грязей были своего рода прототипами первых бальнеологических курортов. Зачастую, именно целебные водные источники служили отправной точкой создания здравниц, прилегающих к лечебным территориям [1].

Практика курортно-санаторного лечения известна еще с древнейших времен. Издавна природа была союзником медиков при лечении и реабилитации. С развитием подходов к реабилитации стали появляться специализированные учреждения, такие как санаторно-курортные комплексы [2].

Основной текст

Становление санаторно-курортного лечения имеет многовековую историю. В России в 1820-1830-х гг. только начиналось зарождение будущих курортов на Кавказе. В этот период понятие «курорт» означало место, на территории которого или рядом с ним находится природный источник (минеральных вод, лечебных грязей и т.п.), при этом в архитектурной реализации это выражалось лишь в садово-парковой практике или же сезонным арендным жилищем (см. рисунок 1). Аналогичные процессы проходят и за рубежом, самый известный из которых город-курорт Карловы Вары.



Рис. 1 – Организация санаторного лечения в Царской России

Таким образом, первый этап характеризуется отсутствием сформулированной типологии, имеет хаотичный характер построек и выражен постройками гостиничного типа, в частности арендным жилищем. Этот период в отечественной практике является «подготовительным», который характеризуется обозначением территориальных границ лечебного курорта.

19 век внес свои коррективы в строительстве санаториев по всему миру. Появление понятия «санаторий» в этот период связано в первую очередь с распространением туберкулеза по всему миру. В Европейской истории наиболее яркими примерами являются санаторий в Гёрберсдорфе и Эмма Чилдренс Хоспитал (см. рисунок 2). По своей структуре представляющие собой гостиницы с доступом к лечебным природным ресурсам. Террасы для принятия солнечных ванн, летние веранды и организованные пешеходные дорожки на прилегающей территории являлись отличительными особенностями этих санаториев.



Рис. 2 – Санаторий в Гёрберсдорфе (репродукция)

Важнейшим периодом развития проектирования и строительства санаторно-курортных учреждений в России был 19 век, что послужило развитию архитектуры санаториев в целом [2], [3].

В России этот период можно назвать как «Дореволюционный», который продолжался до 1917 года. К 1858 г. развитие практики санаторно-курортного лечения дало мощный рывок развитию отечественной практики санаторно-курортных учреждений. Как следствие этого, в конце XIX в. появились многочисленные климатические курорты на южном берегу Крыма, а уже к началу XX в.

Ярким примером является санаторий «Саки», с 1884 расположенный в городе Саки, на берегу одноименного озера, который представлен знаменитыми Ваннами отделениями, построенными в 1828 году. Другим примером является санаторий «Красный маяк» в районе Симеиз по своей структуре являющимся типичным примером доходного дома того периода с общественной функцией на первом этаже (см. рисунок 3).



Рис. 3 – Санаторий «Красный маяк». Симеиз

К началу 1940 г. в СССР было уже 3600 санаториев и домов отдыха почти на 470 тыс. мест. Этот период считается расцветом практики санаторного лечения [4], [5].

По своей функциональной структуре имели вертикальное зонирование (общего обслуживания на первом этаже, жилые на верхних) этажностью не более 4 этажей. Основной планировочной ячейкой было жилое помещение, удобства находились на этаже по двум сторонам коридора.

Советский период в Российской практике является уникальным. Довоенный период с 1917 года и до 1941 года внес значительные перемены в архитектурной интерпретации понятия «санаторий», который имел два принципиально разных направления.

Первое это приспособлением ранее построенных дач, доходных домов и усадеб в спальные корпуса санаториев. Примером служит дача Бахрушева — знаменитого московского мецената. Потом её, как и многое другое переделали в санаторий «Красный стрелок», ну и наконец дача стала одним из корпусов санатория Кавказ (см. рисунок 4).

Второе – новое строительство санаториев согласно медицинскому профилю с учетом социально-демографических, природно-климатических условий конкретной местности. Наиболее яркими примерами являются санаторий «Горный воздух» Академик В.А. Веснин и А.А. Веснин 1931 (см. рисунок 5), санаторий «Красная Москва» 1938 [6], [7], [8].



Рис. 4 – Санаторий Кавказ. Корпус №1. Ранее дача Бахрушева



Рис. 5 – Сочи. Санаторий «Горный воздух». Академик В.А. Веснин и А.А. Веснин. 1931

Санаторий Приморье в Сочи, построенный в 1937 г., имеет централизованную структуру с четким вертикальным функциональным зонированием. В его планировочной схеме на первом этаже расположены лечебные помещения, а также присутствуют жилые комнаты различной комфортности на втором и третьем этаже (см. рисунок 6).

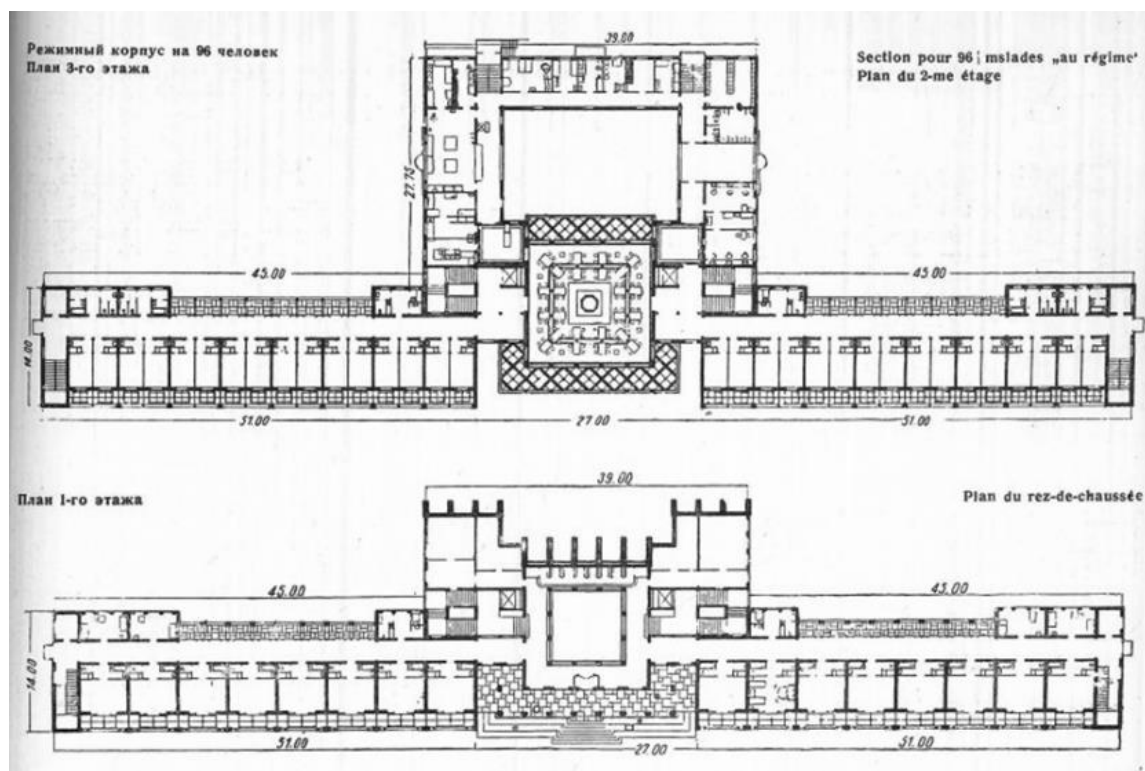


Рис. 6 - Санаторий Приморье в Сочи. 1937

Санаторий Ленинградского Городского Отдела Здравоохранения (1936) имеет павильонную структуру. Для комплекса зданий особенно характерны боковые части, занятые спальными корпусами, образующие подобие курдонера, а также круглый корпус столовой посреди курдонера, кухня находится позади столового корпуса. Административно-хозяйственный корпус выделен (к нему проложен отдельный подъезд). Помимо общих спальных корпусов, санаторий имеет небольшие здания типа коттеджей, находящиеся по другую сторону автостреды (см. рисунок 7).

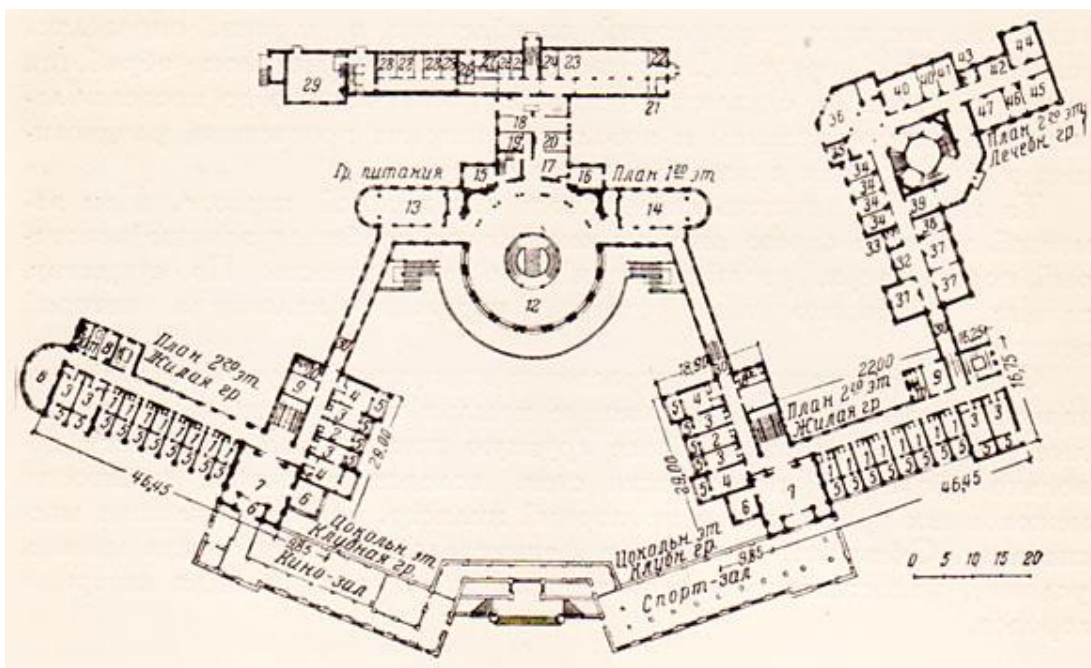


Рис. 7 – Сочи. Санаторий Ленинградского Городского Отдела Здравоохранения. 1936. Ранее санаторий им. Кирова

Вторая Мировая война нанесла огромный ущерб рекреационному хозяйству Европы и нашей страны, т.к. большинство ведущих курортных территорий оказались в зоне боевых действий. Большинство построенных санаториев были уничтожены, часть из них переоборудована под военные цели.

Активное восстановление и реконструкция разрушенных курортов и строительство новых учреждений приходилось на первые пять лет после завершения войны. Этот исторический этап можно охарактеризовать как «Восстановительный». Одновременно восстанавливались здравницы на Южном берегу Крыма, началось строительство новых санаториев, домов отдыха, благоустройство парков, пляжей и набережных. Реконструкция и новое строительство санаторно-курортных учреждений в послевоенные годы велись по новому проекту районной планировки, который был составлен в 1953 г. в целях обеспечения комплексной застройки и благоустройства всего Южного берега. В проекте развивалась на более высоком техническом уровне сложившаяся в середине 30-х годов концепция создания на Южном берегу Крыма единого города-курорта.

В послевоенное десятилетие в Крыму были возведены десятки первоклассных санаторных комплексов: имени XX съезда КПСС и "Гелиос" в Евпатории, санаторий "Россия", "Украина" и "Горный воздух" в Ялте, "Горное солнце" - в Алушке, "Нефтяник" - в Старом Крыму (см. рисунок 8,9).



Рис. 8 – Мисхор. Санаторий "Украина". 1955 г. Архитектор Б. В. Ефимович



Рис. 9 – Ялта. Санаторий "Горный воздух". 1953-1964 гг. Архитектор И. В. Жолтовский

Организованная в СССР оригинальная система санаторно-курортного лечения подразумевала общедоступность для всех слоев населения. Курортная деятельность была полностью монополизирована государством, управление ею происходило посредством государственного планирования, которое осуществлялось только органами государственной власти. Итогом этого советского периода стало создание типовых и экспериментальных проектов санаториев. Санаторий нового типа рассматривался как объект решающий комплекс задач [6], [9].

Для удовлетворения многообразных потребностей в отдыхе и профилактике заболеваний была принята следующая типология: санатории (в том числе для родителей с детьми), санатории-профилактории (для профилактического лечения без отрыва от производства), дома отдыха и пансионаты, базы отдыха, туристические и курортные гостиницы, туристические базы, мотели, кемпинги, приюты, хижины, лагеря и др.

Изначально основная деятельность санаториев была направлена в большую степень в медицинскую составляющую реабилитационного процесса, чем курортную. Это повлияло не только на терминологию, применяющуюся при проектировании, но и на архитектурно-пространственные решения. Особое внимание уделялось проектированию врачебных кабинетов и помещений сестринской помощи, а не пространствам для отдыха и реабилитации. Объемно-пространственные решения в основном представляли коридорную систему, вся структура объекта имела блочную схему с четким функциональным зонированием [10].

Применялись самые различные типы объемно-пространственной композиции, но в целом преобладало два принципиально различных приема. Первый — павильонный, т.е. сочетание отдельных зданий различного назначения — лечебных и спальных корпусов, блоков питания, клубной части. Второй — централизованный — объединение всех функциональных элементов в едином, более или менее расчлененном объеме [1].

Новым словом в создании лечебно-санаторных комплексов для лечения особо сложных болезней опорно-двигательного аппарата и спинного мозга является санаторий на 376 мест в Саках, построенный в 1974 г. на базе целебных иловых грязей, рапы и минеральной воды.

Планировочно и технологически объединены в один комплекс 7 блоков - жилые помещения, клуб, поликлиника, водогрязелечебница. Обычные лестницы заменены тут удобными пандусами для передвижения колясок больных, с учетом специфики болезни устроены лоджии с раздвижными перегородками, которые очень удобны в эксплуатации (архитектор М. И. Мелин-Парсаданова).

Развал СССР и переход к рыночной экономике ударил по санаторно-курортному делу в России: сократилось рекреационное пространство. Многие санатории пришли в запустение, некоторые разрушены или переоборудованы под иные цели. Оставшиеся учреждения уже не отвечают в полной мере современным требованиям к лечебно-реабилитационному процессу. При этом в Европе и США строительство санаториев процветало и типологически не отличалось от ранее применяемых архитектурно-планировочных решений.

Современный этап характеризуется тремя направлениями в проектировании санаториев: первый это проектирование санаториев по традиционным проектам 50-60 годов, адаптированных под условия местности и планируемой вместимости. Преобладают централизованные системы с вертикальным зонированием, а спальные корпуса представляют собой типовые решения гостиниц. Это санатории малой вместимости общеоздоровительной направленности и в большинстве с возможностью проживания с детьми.

Второй - новый тип развития санаторно-курортных учреждений СПА-отели. СПА -отели по своей сути — это гостиницы, где человек получает лечение и отдых благодаря минеральным водам, термальным источникам, водорослям и т.д. Современные СПА-отели имеют бассейны с термальной водой, бани и сауны. При многих СПА-отелях работают медицинские центры, которые лечат различного рода заболевания. Формат СПА-центров появился на Западе около 15 лет назад, а сегодня активно развивается в России. [11], [12], [13].

Санаторий «СПА Вильниус Сана» - современный лечебно-оздоровительный центр для детей и взрослых, имеет общеоздоровительный профиль. По своей структуре состоит из жилого блока, лечебного и досугово-развлекательного. Этот СПА-отель по своей структуре является типичным представителем этого направления.

Зарубежные традиционные санаторные комплексы по сути своей представляют собой гостиничные корпуса различной комфортности и отдельно стоящими зданиями, направленными на реабилитацию или лечение. Важной особенностью является возможность семейного лечения и отдыха в таких санаториях.

Термально-солевой курорт Бад Райхенхаль в Боварии и Остров Лошинь в Хорватии напоминают по своей функционально-планировочной организации привычные санаторно-курортные районы в России с хорошо развитой культурно-досуговой функцией (см. рисунок 10). А Немоурс Чилдренс Хоспитал в США яркий пример монокомплекса с развитым лечебным, общеоздоровительным и досуговым блоком (см. рисунок 11).



Рис. 10 – СПА-отель Аурора. Остров Лошинь. Хорватия

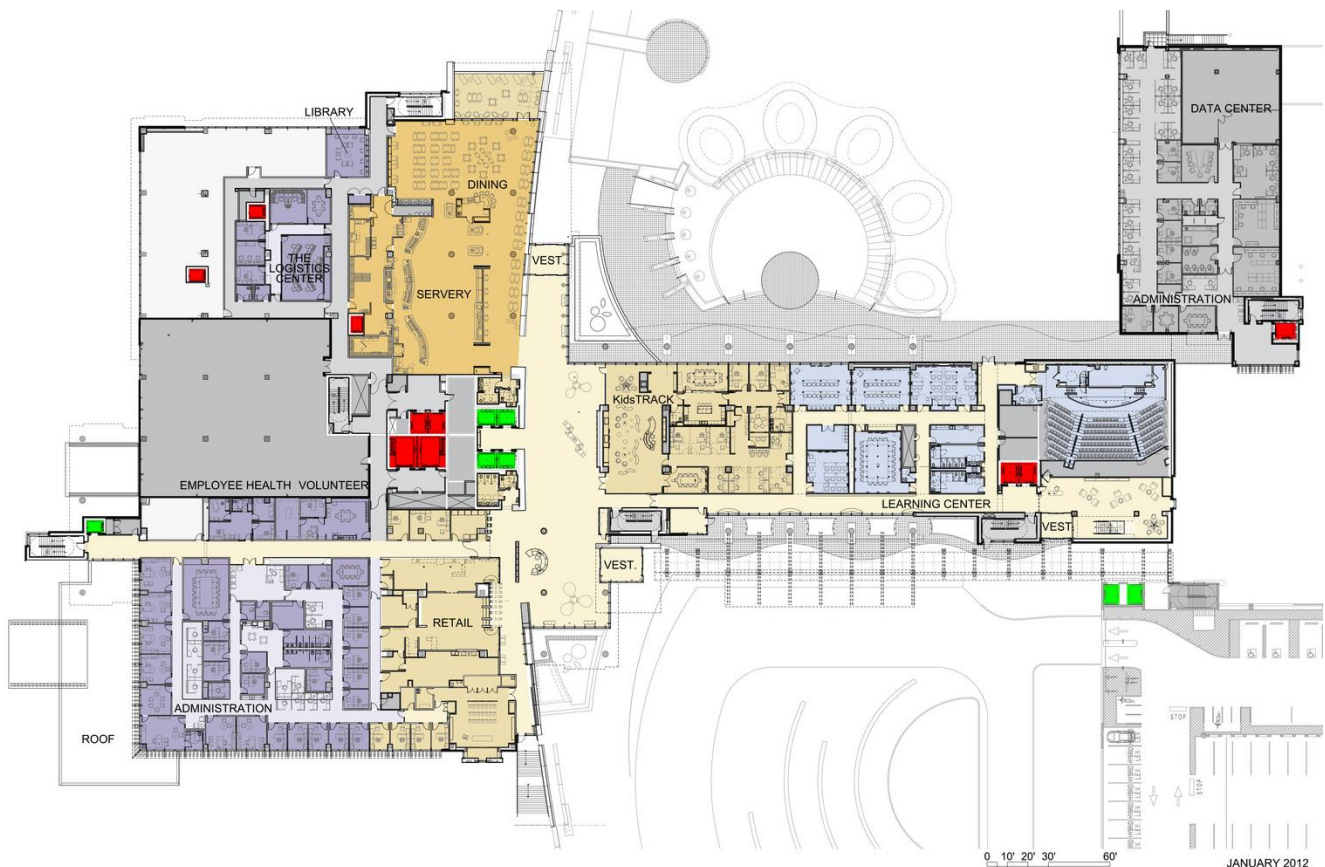


Рис. 11 – Немоурс Чилдренс Хоспитал. США. План первого этажа

Третий – ландшафтотерапия в Российской практике или «сады здоровья» в зарубежной. Практика ландшафтотерапии перекликается с китайским искусством Фэн-Шуй и Японскими садами в поиске гармонии и влиянии окружающего природного пространства на здоровье людей [15].

На современном этапе в свою очередь это направление делится на три типа. Первый тип исцеляющих садов подобен святилищу или природному водохранилищу, где сохраняются максимально все элементы природной экосистемы. Они представлены зелеными включениями в инфраструктуры города, охватывающими открытые пространства города, зеленые дороги, природные парки и зеленые полосы. Второй тип – сад медитации в помещении больницы или медицинского центра, в частности санаториев. Наконец, третий тип – частный сад. Третий тип реализуется на приусадебных участках, территориях, примыкающих к крупным общественным зданиям [15].

Заключение

Историческое развитие архитектуры «санатория» в Российской практике условно можно разделить на 6 этапов: первый этап – подготовительный; второй этап – дореволюционный (до 1917), характерный только для территории России; третий этап – довоенный (1917-1945); четвертый этап – послевоенный (1945-1991); пятый этап – промежуточный (1991-2001), характерный только для территории России; шестой этап – современный (с 2001 и до наших дней).

Историческое развитие архитектуры «санатория» в зарубежной практике условно можно разделить на 3 этапа: первый этап – подготовительный; второй этап – довоенный; третий этап – послевоенный; пятый этап – современный.

На основе выше сказанного, можно выделить общие направления строительства санаториев в России и за рубежом.

Общие тенденции в формировании санаторных комплексов на основе анализа отечественного и зарубежного опыта:

1. Строятся вблизи термальных источников, водных акваторий и иных лечебных месторождений
2. Имеют единую классификацию по природно-лечебным факторам (бальнеогрязевой курорт, грязевой курорт, климатический курорт и т.п.)
3. Наличие городов-курортов.

Отдельным направлением в санаторном деле за рубежом являются курорты для отдыха с детьми. В таком случае учреждение представляет собой комплекс для семейного отдыха, учитывающий особенности лечения, досуга и отдыха детей разных возрастов. Функциональный состав такого учреждения представляет собой: лечение, реабилитацию, отдых для детей и взрослых, а также развлекательную функцию.

Комплексы делятся на два типа:

- Монокомплекс представляет собой здание, в пределах которого осуществляются все необходимые услуги для лечения и дополнительный доступ к общественным местам отдыха
- Развернутый полифункциональный комплекс с развитой собственной инфраструктурой

Отличительной чертой зарубежного опыта при применении развернутой структуры является уход от традиционного жилого блока и преобразование его в отдельные дома-кемпинги или дома коттеджного типа, организованные вокруг блоков-зданий для лечения и отдыха.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Инструкция по планировке и застройке курортов и зон отдыха, ВСН-23-75, М., Стройиздат, 1976.
2. Санаторно-курортное дело в России. [Электронный ресурс]. – Москва. – URL: <https://clck.ru/TC5Cv> (дата обращения 12.01.2021)
3. Ермолов А.С. Заметки о поездке на Черноморское побережье Кавказа осенью 1907 г. Интересы народного здоровья / А.С. Ермолов. СПб, 1908.
4. Ирхина К. С. Формирование санаторно-курортного комплекса на черноморском побережье Республики Крым, город Саки / К. С. Ирхина, Н. А. // Моргун Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2019. № 1 (27). С. 83–90.
5. Шиндяпина Е. С. Архитектурно-историческое наследие поселка Ореанда на Южном берегу Крыма / Е. С. Шиндяпина // Искусство. Образование. Наука. С. 68-73
6. Сидорова А.А. Становление в Крымском Симеизе противотуберкулезного курорта СССР / А.А. Сидорова // International Journal of Humanities and Natural Sciences, vol.5-3 / С. 23-28
7. Мозокина С.Л. Современные тенденции развития санаторно-курортной сферы РФ / С.Л. Мозокина // Теория и практика сервиса: экономика, социальная сфера, технологии. № 3 (21). 2014 С. 81-86
8. Иванцов В.Г. Градостроительная культура на территории Сочи в первой половине XX века / В.Г. Иванцов // European researcher. 2011. № 7 (10) С. 1025-1029
9. Рысин Ю.В. Исторические поселения Северо-Западного Кавказа: трансформации статуса и перспективы сохранения и актуализации архитектурно-градостроительного наследия / Ю.В. Рысин, В.В. Бондарь // Градостроительство (3) 2016. С. 99-105
10. Шинкарев А. С. Основные принципы организации санаторно-курортных услуг в России и за рубежом: сравнительный анализ / А. С. Шинкарев // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2017. – № S5. – 0,4 п. л. – [Электронный ресурс]. – URL: <http://e-koncept.ru/2017/470071.htm>. (дата обращения 12.01.2021)
11. Cohen M. Understanding the Global Spa Industry: Spa Management / M. Cohen, G. Bodeker. Oxford, UK: Elsevier, 2009. 465 p

12. Tabacchi M.H. Current Research and Events in the Spa Industry / M.H. Tabacchi // Cornell Hospitality Quarterly. 2010. №51. P.102-117.
13. Milica Rančić Spa-Wellness Center as Part of the Hotel Facility / Milica Rančić, Jovanka Popov-Raljić, Lazar Pavić. // TURIZAM Volume 17, Issue. (2013) p. 49-50. – [Electronic resource] URL: <https://clck.ru/TC5EE> (accessed 12.01.2021)
14. Эколого-генетические основы ландшафтотерапии / Труханов А.И., Жученко Н.А., Черкасов А.В // Вестник восстановительной медицины. — 2013. — № №6, (58). — С. 12—19.
15. Hesham El Barmelgy. Healing Gardens' Design / Hesham El Barmelgy. // International Journal of Education and Research // Vol. 1 No. 6 June. England, 2013. p. 1- 20

Список литературы на английском языке / References in English

1. Instrukcija po planirovke i zastrojke kurortov i zon odtyha [Instructions for the Planning and Construction of Resorts and Recreation Areas], VSN-23-75, M., Stroyizdat, 1976 [in Russian]
2. Sanatorno-kurortnoe delo v Rossii [Health Resort Business in Russia] [Electronic resource]. - Moscow. - URL: <https://otherreferats.allbest.ru/sport/d00179332.html>, free. - Title from the screen [in Russian]
3. Ermolov A. S. Zametki o poezdke na Chernomorskoe poberezh'e Kavkaza osen'ju 1907 g. [Notes on a Trip to the Black Sea Coast of the Caucasus in the Autumn of 1907]/ A. S. Ermolov. Interesy narodnogo zdoravija [Interests of Public Health]. St. Petersburg, 1908. [in Russian]
4. Irkhina K. S. Formirovanie sanatorno-kurortnogo kompleksa na chernomorskom poberezh'e Respubliki Krym, gorod Saki [Formation of a Sanatorium and Resort Complex on the Black Sea Coast of the Republic of Crimea, the City of Saki]/ K. S. Irkhina, N. A. Morgun// Inzhenerno-stroitel'nyj vestnik Prikaspija : nauchno-tehnicheskij zhurnal [Scientific Journal "Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region"] / Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering. Astrakhan : Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, 2019. № 1 (27), pp. 83-90. [in Russian]
5. Shintyapina E. P. Arkhitekturno-istoricheskoe nasledie poselka Oreanda na Juzhnom beregu Kryma [Architectural and Historical Heritage of the Village of Oreanda on the Southern Coast of the Crimea]/ E. S. Shintyapina. Isskustvo. Obrazovanie. Nauka [Art. Education. Science], pp. 68-73 [in Russian]
6. Sidorova A. A. Stanovlenie v Krymskom Simeize protivotuberkuleznogo kurorta CCCR [Formation in the Crimean Simeiz of the Anti-Tuberculosis Resort of the USSR]/ A. A. Sidorova// International Journal of Humanities and Natural Sciences, vol. 5-3, pp. 23-28 [in Russian]
7. Osokina S. L. Sovremennye tendencii razvitiya sanatorno-kurortnoj sfery RF [Current Trends in the Development of the Sanatorium and Resort Sector of the Russian Federation]/ S. L. Osokina// Teoriya i praktika servisa: ehkonomika, social'naja sfera, tekhnologii [Journal «Teoriya i praktika servisa: ehkonomika, sotsial'naya sfera, tekhnologii»], No. 3 (21). 2014, pp. 81-86 [in Russian]
8. Ivantsov V. G. Gradostroitel'naja kul'tura na territorii Sochi v pervojj polovine KhKh veka [Urban Planning Culture on the Territory of Sochi in the First Half of the Twentieth Century]/ V. G. Ivantsov // European researcher. 2011. No. 7 (10), pp. 1025-1029 [in Russian]
9. Rysin Yu. V. Istoricheskie poselenija Severo-Zapadnogo Kavkaza: transformacii statusa i perspektivy sokhraneniya i aktualizacii arkhitekturno-gradostroitel'nogo nasledija [Historical Settlements of the North-West Caucasus: Transformations of the Status and Prospects for the Preservation and Actualization of Architectural and Urban Heritage]/ Yu. V. Rysin, V. V. Bondar// Gradostroitel'stvo [Urban Planning] (3) 2016, pp. 99-105 [in Russian]
10. Shinkarev A. S. Osnovnye principy organizacii sanatorno-kurortnykh uslug v Rossii i za rubezhom: sravnitel'nyjj analiz [Basic Principles of the Organization of Sanatorium-Resort Services in Russia and Abroad: Comparative Analysis]/ A. S. Shinkarev // Nauchno-metodicheskij ehlektronnyjj zhurnal «Koncept» [Scientific and Methodological Electronic Journal "Concept"]. - 2017. - no. P5 – 0,4 printed sheet - [Electronic resource] URL: <http://e-koncept.ru/2017/470071.htm>. (accessed 12.01.2021) [in Russian]
11. Cohen M. Understanding the Global Spa Industry: Spa Mannagement / M. Cohen, G. Bodeker. Oxford, UK: Elsevier, 2009. 465 p.
12. Tabacchi M.H. Current Research and Events in the Spa Industry / M.H. Tabacchi // Cornell Hospitality Quarterly. 2010. №51. P. 102-117.
13. Milica Rančić Spa-Wellness Center as Part of the Hotel Facility / Milica Rančić, Jovanka Popov-Raljić, Lazar Pavić. // TURIZAM Volume 17, Issue. (2013) p. 49-50. – [Electronic resource] URL: <https://clck.ru/TC5EE> (accessed 12.01.2021)
14. Ecological and genetic bases of landscape therapy. Trukhanov A. I., Zhuchenko N. A., Cherkasov A. V. // Bulletin of Restorative medicine. — 2013. — № №6, (58). — Pp. 12-19. [in Russian]
15. Hesham El Barmelgy. Healing Gardens' Design / Hesham El Barmelgy. // International Journal of Education and Research // Vol. 1 No. 6 June. England, 2013. p. 1- 20

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.103.2.015>**ДРЕВЕСНО-ЦЕМЕНТНЫЕ КОМПОЗИТЫ КАК ЗВУКОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

Обзорная статья

Таранов Д.К.^{1,*}, Исаева Е.С.²¹ ORCID: 0000-0002-9902-7275;² ORCID: 0000-0003-0365-8505;^{1,2} Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

* Корреспондирующий автор (daniil5879[at]mail.ru)

Аннотация

Древесно-цементные композиты широко используются во многих странах как для внутренних, так и для наружных работ. Прочностные свойства позволяют использовать их как строительные материалы (например, сайдинг, кровля, облицовка, ограждение и др.), а акустические, как звуковые барьеры на шоссе. Данные композиты обладают уникальными преимуществами перед другими обычными материалами. Как правило, эти продукты сочетают в себе свойства цемента (относительно высокую устойчивость к воде, грибку и заражению термитами в сочетании с хорошей звукоизоляцией) и древесины (высокое соотношение прочности и веса, обрабатываемость). Такие продукты как бетон или кирпич просто отражают звуковые волны от своей поверхности в разных направлениях. Изделия из цементно-связанных частиц фактически поглощают или полностью устраняют ударяющие по ним звуковые волны, что значительно снижает общий шум.

Ключевые слова: древесно-цементные композиты, цемент, шум, звук, город, защита, акустика.

SAWDUST-CEMENT COMPOSITES AS SOUND INSULATION MATERIALS

Review article

Taranov D.K.^{1,*}, Isayeva E.S.²¹ ORCID: 0000-0002-9902-7275;² ORCID: 0000-0003-0365-8505;^{1,2} Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

* Corresponding author (daniil5879[at]mail.ru)

Abstract

Sawdust-cement composites are widely used in many countries for both indoor and outdoor applications. Their strength properties allow them to be used as building materials (siding, roofing, cladding, fencing, etc.) and their acoustic capabilities prove to be useful as highway sound barriers. These composites have unique advantages over other conventional materials. Usually, these products combine the properties of cement (relatively high resistance to water, fungus, termite infestation and significant sound insulation) and wood (high strength-to-weight ratio, workability). Products such as concrete or brick simply reflect sound waves from their surface in different directions, while the products made of cement-bonded particles absorb or completely eliminate the incoming sound waves, which significantly reduces the overall noise level.

Keywords: sawdust-cement composites, cement, noise, sound, city, protection, acoustics.

Введение

Из Государственного Доклада “О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2019 году” следует, что среди объектов – источников шума, являющихся основанием для жалоб, лидирующее значение, как и в предыдущие годы, занимают предприятия общественного питания и торговли, имеющие значительное количество вентиляционного оборудования, холодильного оборудования, наружные блоки системы кондиционирования и охлаждения, встроенные (пристроенные) к жилым домам спортивно-оздоровительные учреждения, предприятия отдыха и развлечения (бильярдные, клубы и т. д.) [1]. Возведение массивных и долговечных стен и перегородок не всегда является возможным. Возникает необходимость использовать лёгкий и недорогостоящий материал, который будет отвечать требуемым звукоизоляционным характеристикам. Очевидно, что появляется потребность в исследованиях не только физико-механических свойств строительных материалов, но и в исследовании их звукопоглощающих и звукоотражающих свойств.

Основная часть

Древесно-цементные композиты обычно представляют собой нити, частицы или волокна древесины, смешанные вместе с портландцементом в качестве минерального связующего и производимые в панели, кирпичи, плитки и другие продукты, используемые в строительной отрасли. Chittenden делит древесные композиты на минеральной связке на две отдельные группы: композиты, в которых древесина входит в состав минеральной матрицы (в виде волокон, опилок, стружки или частиц) и композиты, в которых цемент (или другое минеральное связующее) действует исключительно как связующее, например древесноволокнистая цементная плита или древесно-стружечная плита [8]. Они имеют гораздо более высокую устойчивость к разрушению (т.е. плесень, гниль, бурильные молотки и термиты) и горению, чем плиты, склеенные смолой, или цельная древесина. Они могут быть изготовлены из древесины или растительных отходов, не подходящих для производства пиломатериалов, или обычных древесных композитов на связующей смоле. Древесно-цементные композиты намного лучше подходят для использования в местах с высокой степенью возгорания. При их производстве не выделяется токсичных отходов, а использование инертного связующего позволяет создать производство без риска для здоровья, связанного с использованием композитных материалов на полимерной связке. Хотя древесно-цементные композиты имеют высокую плотность, относительно низкая прочность панелей ограничивает их использование для неструктурных панелей или кровли.

Древесно-цементные композиты тяжелее, чем композиты на полимерной связке, но в то же время они легче бетона, что позволяет применять их в сборных конструкциях, в элементах, которые не подвергаются нагрузкам, например, в несущих стенах и перегородках. Производство древесно-цементных композитов может быть перспективным способом утилизации древесных остатков, таких как отходы строительства, древесные элементы, вышедшие из строя, остатки древесины от сельского хозяйства или пищевой промышленности.

Некоторые целлюлозные и лигноцеллюлозные материалы могут проявлять некоторую степень несовместимости с цементом, существуют общепринятые методы оценки степени несовместимости, которые основаны на тепловых характеристиках процесса схватывания цемента или на физических свойствах композитов, изготовленных в лаборатории, в сравнении с контрольными образцами без добавок. Когда портландцемент используется в качестве связующего, такая совместимость может быть выражена в показателях гидратации цемента при смешивании с данной породой древесины [9]. Изотермическая титрационная калориметрия - надежный метод исследования гидратации цемента [10], [11], [14]. Преимущество этого метода заключается в обеспечении мгновенного измерения потока свободного тепла и полной энергии реакций гидратации.

Проблема химической совместимости дерева и цемента иногда приводит к задержке или полному отсутствию схватывания. В случае неприемлемой совместимости может применяться разбавленный щелочной раствор, его может быть достаточно для повышения качества исходного материала до желаемого уровня. Кроме того, некоторые обычные ускорители отверждения цемента, такие как хлориды олова, железа, алюминия, магния или кальция, улучшают совместимость. Их можно применять с целью ускорения схватывания цемента, улучшения физических свойств композита или придания видам древесины особой пригодности для изготовления композитов.

Известно, что технологии производства и промышленного применения различного типа древесностружечных, древесноволокнистых и прочих органо-волоконистых плит на различных минеральных и органических вяжущих были разработаны и успешно внедрены в крупнотоннажное производство в СССР в 60-70 годах 20 века. Тем не менее такие авторы, как Ребиндер П. А., Баженов Ю. М., Елшина Л. И., Мощанский Н. А., Солматов В. И., Иващенко Ю. Г. не поднимали вопросы звукоизоляционных свойств данных композитов [12], [13], [14]. Прочностные характеристики, которые были тщательно изучены, показывают перспективность данного материала. Основные вопросы, рассматриваемые авторами – комплексы мероприятий, повышающие надежность защитной обработки; определение влияния вида мелкого неорганического заполнителя на адгезионное сцепление цементного раствора с древесиной; изучение влияния водно-экстрактивных веществ древесины на прочность при сжатии цементного камня и твердение цементного теста и др. Поднятие таких вопросов только подтверждает необходимость в дальнейшем исследовании данного материала.

За рубежом были разработаны некоторые передовые методы, которые позволяют производить древесно-цементные композиты в гораздо более короткие сроки, чем при использовании обычных процедур. В отличие от сегодняшнего метода, где могут потребоваться сутки на схватывание и 28-дневный период на отверждение, такие методы, как введение двуокси углерода в тесто, в его различных состояниях, позволяют значительно уменьшить время его производства [3]. Добавки кремнеземной или изотиоцианатной смолы, извести гидротатной, жидкого стекла также продемонстрировали улучшение свойств продукта.

Сейчас задача состоит в том, чтобы перенести эти разработки в промышленный сектор. Следует также отметить, что, хотя сообщалось о многих вкладах в этой области, их внедрение другими исследователями или промышленными компаниями должно осуществляться с осторожностью. Это связано с тем, что из-за высокой вариабельности природных материалов, древесины и лигноцеллюлозы, обобщения в области науки о дереве часто затруднены, подчеркивают многие отечественные и зарубежные исследователи. Испытание материалов, определение методов производства и изменение свойств — все это должно быть выполнено заново, если сырье поступает из других видов растений.

Все строительные материалы обладают некоторыми акустическими свойствами, так как все они поглощают, отражают или передают ударяющий по ним звук. Условно говоря, акустические материалы – это материалы, разработанные и используемые с целью поглощения звука, который в противном случае мог бы быть отражен. Когда звуковая волна ударяется о акустический материал, звуковая волна заставляет волокна или частицы поглощающего материала вибрировать. Эта вибрация вызывает небольшое количество тепла из-за трения, и, таким образом, звукопоглощение достигается за счет преобразования энергии в тепло. Чем более волокнистый материал, тем лучше впитывается волна и наоборот, более плотные материалы менее абсорбируются. Звукопоглощающие характеристики акустических материалов значительно зависят от частоты. Обычно низкочастотные звуки очень трудно поглощать из-за их большой длины волны. С другой стороны, люди менее восприимчивы к звукам низкой частоты, что во многих случаях может быть полезно для человека. Для подавляющего большинства обычных акустических материалов толщина материала оказывает наибольшее влияние на звукопоглощающие свойства материала. Хотя и собственный состав акустического материала определяет его акустические характеристики, для улучшения или влияния на акустические характеристики могут использоваться и другие факторы. Включение воздушного пространства или слоя звукопоглотителя в композитную панель часто служит для улучшения низкочастотных характеристик.

При оценке характеристик звукопоглощения шумоизоляционных экранов в целом принимаются во внимание значения частот, при которых человеческое ухо наиболее чувствительно, а не значения в каждом частотном диапазоне. Индекс шумоподавления (звукопоглощения) - Noise Reduction Coefficient (NRC) берется как среднее арифметическое значений суммы коэффициентов звукопоглощения при частотах 250 Гц, 500 Гц, 1000 Гц и 2000 Гц, результат округляется с точностью до 0,05 дБ. Другими словами, коэффициент шумоподавления – это средний показатель того, сколько звука может поглотить акустическое изделие. Индекс измеряется от нуля до единицы. Ноль указывает на идеальное отражение, что означает, что продукт не поглощает звук. Единица указывает на идеальное поглощение, что означает, что продукт поглощает весь звук полностью. Чем выше NRC, тем лучше звук поглощается изделием. В общем смысле, если значение NRC меньше 0,3, эти типы материалов называются отражающими

материалами. Толщина и плотность продукта являются двумя основными факторами при расчете коэффициента шумоподавления. Например, акустический продукт с рейтингом 0,95 NRC означает, что 95% звука в помещении поглощается, а остальные 5% отражаются.

Согласно исследованиям, значение NRC для цементно-стружечных плит с плоской поверхностью составляет 0,025 при толщине плиты 10 мм. Для плиты толщиной 12 мм и 18 мм значения NRC были определены как 0,030 и 0,035 соответственно. С другой стороны, значение NRC для цементно-стружечных плит с текстурированной поверхностью определяется как 0,035 при толщине плиты 10 мм. Для плиты толщиной 12 мм и 14 мм значения NRC были определены как 0,040 и 0,045 соответственно. Для сравнения, гладкая бетонная стена имеет значение близкое к 0, кирпичная кладка с заделкой швов в районе 0,45, минеральная вата близкое к 1. Таким образом некоторые цементно-стружечные композиты можно считать звукоотражающими [2].

Lutfullah Gunduz и Sevkett Onur Kalkan в своих исследованиях приводят показатели снижения воздушного шума от 30 до 37 дБ в диапазоне частот 100-3150 Гц в зависимости от толщины панелей из цементно-стружечных плит. Также использование определенных конструкций в разделительных стойках могут показывать снижение шума более чем на 60 дБ [5].

Согласно экспериментальному исследованию Андреева А. А и др., при одноосном сжатии прочность и жесткость образцов древесно-цементного композита меняется в зависимости от состава смеси. Образцы материала проявляли разнонаправленные тенденции изменения прочности с увеличением скорости деформирования V . Если $V = 5$ мм/мин, то увеличение концентрации таких добавок, как стеатит с 10 до 15 % от массы цемента уменьшает прочность с 3,68 до 3,43 МПа. С увеличением скорости деформирования до 30 мм/мин прочность возрастает. Если $V = 90 \dots 120$ мм/мин, то прочность всех образцов почти одинакова: 3,62...3,72 МПа. При $V = 180$ мм/мин наибольшую прочность обеспечивают добавки стеатита и микрокремнезема [7]. Исходя из проведенных исследований в Петрозаводском государственном университете следует, что изменение компонентов образцов влияет на их прочность и жесткость, а как следствие может оказывать влияние на акустические свойства композитов. При проведении экспериментальных исследований можно получить нужные эксплуатационные характеристики цементно-стружечных композитов.

Заключение

Отечественными авторами написано много научных работ по изучению свойств цементно-стружечных плит, но никто ранее не рассматривал применения их в качестве звукоизоляционных материалов. Современные потребности показывают необходимость в более детальном исследовании акустических свойств цементно-стружечных плит. Зарубежные авторы видят необходимость применения данного материала, что демонстрируется на растущем количестве научных исследований. Сейчас задача состоит в том, чтобы перенести эти разработки в промышленный сектор. Следует отметить, что внедрение разработок другими исследователями или промышленными компаниями должно осуществляться с осторожностью. Это связано с тем, что из-за высокой вариативности природных материалов, древесины и лигноцеллюлозы, обобщения в области науки о дереве часто затруднены, как подчеркивают многие, как отечественные, так и зарубежные исследователи. Испытание материалов, определение методов производства и изменение свойств — все это должно быть выполнено снова, если в состав сырья были внесены изменения. Данные материалы являются экологичными, что позволяет использовать их в гражданском строительстве без боязни за негативные последствия. Удешевление стоимости готового продукта, за счет включения отходов, позволяет производителям получить больше выгоды, а потребителям сэкономить свои финансовые средства. Отличные прочностные, звукоизоляционные и звукоотражающие характеристики позволяют использовать данный материал в качестве перегородок в жилых домах и промышленных зданиях, в которых встает вопрос о повышенном уровне шума.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2019 году: Государственный доклад. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2020. – 299 с.
2. Lutfullah Gunduz Effects of using Cement-Bonded Particle Boards with a Composite Component in Terms of Acoustic Performance in Outdoor Noise Barriers / Lutfullah Gunduz, Sevkett Onur Kalkan, A. Munir Isker, // International Conference on Technology, Engineering and Science (IConTES), October 26 - 29, 2018 Antalya/Turkey.
3. Lan, H.F. Manufacturing of cement-bonded wood particle composites and acoustic characteristics / Lan, H.F. and Huang, Y.F. // Forest Products Industries (Taiwan) 19(1), 85-99.
4. Semple, K.E. Wood-cement composites – Suitability of Western Australian mallee eucalypt, blue gum and melaleucas / Semple, K.E. and Evans P.D. // A report for the RIRDC / Land and Water Australia / FWPRDC / MDBC. RIRDC Publication No 04 / 101
5. Jorge, F.C. Wood-cement composites: A review / Jorge, F.C., Pereira, C. and Ferreira, J.M.F. // Holz als Roh und Werkstoff, 62(5):370-377.
6. Мерсов, Е.Д. Производство древесноволокнистых плит / Е.Д. Мерсов. – М.: Высшая школа, 1999 – 232 с.
7. Андреев А. А. Древесно-цементный композит с добавкой стеатита как конструкционный и деформирующий материал / А. А. Андреев, Г. Н. Колесников, А.А Чалкин // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер.: «Естественные и технические науки». 2014. № 6 (143) – 4 с.
8. Chittenden, A.E. 1972. Wood and cement: past and future / A.E. Chittenden // in Proceedings 7 th World Forestry Congress 4-10 Oct. 1972 Buenos Aires. Vol V, pp 6128-6133.

9. Moslemi, A.A. Compatibility of southern hardwoods with Portland cement / Moslemi, A.A. and Y.T. Lim. 1984. // Forest Prod. J. 34(718):22-26.
10. American Society for Testing and Materials. 1982. Heat of hydration of hydraulic cement. ASTM C 186-82. ASTM, West Conshohocken, Pa.
11. Sauvat, N. A study of ordinary Portland cement hydration with wood by isothermal calorimetry / Sauvat, N., R. Sell, E. Mougél, and A. Zoulalian. // Holzforschung 53(1): 104-108
12. Ребиндер П.А. Поверхностно-активные вещества / П.А. Ребиндер. М. 1961.
13. Баженов Ю.М. Технология бетона / Ю.М. Баженов. Учебное пособие для вузов. - М.: Высш. шк., 1987.-414 с. •
14. Мощанский, Н.А. Плотность и стойкость бетонов / Н.А. Мощанский. -М.: Госстройиздат, 1951. - 176 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. O sostojanii sanitarno-jepidemiologicheskogo blagopoluchija naselenija v Rossijskoj Federacii v 2019 godu: Gosudarstvennyj doklad [On the state of sanitary and epidemiological welfare of the population in the Russian Federation in 2019: State report]. - Moscow: Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare, 2020. - 299 p. [in Russian]
2. Lutfullah Gunduz Effects of using Cement-Bonded Particle Boards with a Composite Component in Terms of Acoustic Performance in Outdoor Noise Barriers / Lutfullah Gunduz, Sevet Onur Kalkan, A. Munir Isker, // International Conference on Technology, Engineering and Science (IConTES), October 26 - 29, 2018 Antalya/Turkey.
3. Lan, H.F. Manufacturing of cement-bonded wood particle composites and acoustic characteristics / Lan, H.F. and Huang, Y.F. // Forest Products Industries (Taiwan) 19(1), 85-99.
4. Semple, K.E. Wood-cement composites – Suitability of Western Australian mallee eucalypt, blue gum and melaleucas / Semple, K.E. and Evans P.D. // A report for the RIRDC / Land and Water Australia / FWPRDC / MDBC. RIRDC Publication No 04 / 101
5. Jorge, F.C. Wood–cement composites: A review / Jorge, F.C., Pereira, C. and Ferreira, J.M.F. // Holz als Roh und Werkstoff, 62(5):370-377.
6. Mersov, E. D. Proizvodstvo drevesnovoloknistyh plit [Fiberboard production] / E.D. Mersov. - М.: Higher school, 1999 - 232 p. [in Russian]
7. Andreev AA. Drevesno-cementnyj kompozit s dobavkoj steatita kak konstrukcionnyj i deformirujushhij material [Wood-cement composite with the addition of steatite as a structural and deforming material] / A. A. Andreev, G. N. Kolesnikov, A.A. Chalkin //Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: «Estestvennye i tehicheskie nauki» [Scientific notes of Petrozavodsk State University. Ser.: "Natural and technical sciences."] 2014. No. 6 (143) - 4 p. [in Russian]
8. Chittenden, A.E. 1972. Wood and cement: past and future / A.E. Chittenden // in Proceedings 7 th World Forestry Congress 4-10 Oct. 1972 Buenos Aires. Vol V, pp 6128-6133.
9. Moslemi, A.A. Compatibility of southern hardwoods with Portland cement / Moslemi, A.A. and Y.T. Lim. 1984. // Forest Prod. J. 34(718):22-26.
10. American Society for Testing and Materials. 1982. Heat of hydration of hydraulic cement. ASTM C 186-82. ASTM, West Conshohocken, Pa.
11. Sauvat, N. A study of ordinary Portland cement hydration with wood by isothermal calorimetry / Sauvat, N., R. Sell, E. Mougél, and A. Zoulalian. // Holzforschung 53(1): 104-108
12. Rebinder, P.A. Poverhnostno-aktivnye veshhestva [Surfactants] / P.A. Rebinder. М. 1961. [in Russian]
13. Bazhenov, Yu.M. Tehnologija betona [Concrete technology] / Ju.M. Bazhenov. A textbook for universities. - М.: Higher. shk., 1987.-414 p. [in Russian]
14. Moshchansky, Kh.A. Plotnost' i stojkost' betonov [Density and resistance of concrete] / Kh.A. Moschanskiy. -М.: Gosstroyizdat, 1951. - 176 p. [in Russian]

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ / CHEMISTRY

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.103.2.016>

АДСОРБЦИОННОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ ФОРМАМИДА АКТИВНЫМ УГЛЕМ

Научная статья

Соловьева Ю.В.^{1,*}, Беляева О.В.², Васильева И.В.³, Голубева Н.С.⁴^{1,3} Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия;^{2,4} Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия

* Корреспондирующий автор (sol.j[at]mail.ru)

Аннотация.

Исследована адсорбция формамида из водных растворов на активных углях. Определены особенности и механизм адсорбционного взаимодействия. При этом были определены параметры адсорбции, лимитирующая стадия массопереноса и рассчитан коэффициент массопереноса, необходимый для инженерных расчетов. В результате расчета получили динамические характеристики процесса адсорбции: динамическая емкость; скорость перемещения рабочей зоны; продолжительность работы неподвижного слоя; длина рабочего слоя; количество воды, очищенной до проскока. В статье приведены результаты оптимизации процесса адсорбционного извлечения формамида промышленным активным углем АГ-ОВ-1 методом математического моделирования с использованием данных статики, кинетики, динамики. Предложена схема аппаратного оформления технологии адсорбционного извлечения формамида.

Ключевые слова: активный уголь, водные растворы формамида, адсорбция, оптимизация, математическое моделирование.

ADSORPTIVE REMOVAL OF FORMAMIDE WITH ACTIVATED CARBON

Research article

Solov'eva Yu.V.^{1,*}, Belyaeva O.V.², Vasilyeva I.V.³, Golubeva N.S.⁴^{1,3} Novosibirsk State Agricultural University, Novosibirsk, Russia;^{2,4} Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

* Corresponding author (sol.j[at]mail.ru)

Abstract

The current article examines the adsorption of formamide from aqueous solutions on active carbons and determines the features and mechanism of the adsorptive interaction. At the same time, the study determines the parameters of adsorption, the limiting stage of mass transfer and calculates the mass transfer coefficient required for engineering calculations. The calculation has found the dynamic characteristics of the adsorption process: the dynamic capacity; the speed of movement of the working area; the duration of the fixed bed; the length of the working layer; the amount of purified water before slipping. The article presents the results of optimization of the process of adsorptive removal of formamide with industrial activated carbon AG-OV-1 by mathematical modeling using data from statics, kinetics, and dynamics as well as proposes the scheme of the hardware design of the technology of adsorptive removal of formamide.

Keywords: active carbon, aqueous solutions of formamide, adsorption, optimization, mathematical modeling.

Введение

Водно-ресурсный потенциал России значительно уменьшается из-за неэффективного использования. Действие значительной части промышленных предприятий, сбрасывая жидкие отходы без качественной очистки, приводит к загрязнению экосистем. Поэтому очистка малоконцентрированных сточных является актуальной задачей современности. Формамид в качестве основного или вспомогательного вещества используется в области медицины, органического синтеза, для получения пестицидов и других органических веществ. Токсичность формамида обусловлена проникающей способностью через неповрежденную кожу, он имеет общетоксическое и эмбриотоксическое действие, вызывает поражение печени, нервной системы и сердечно-сосудистых тканей, способен накапливаться в организме [1].

Сорбционное извлечение является перспективным направлением в создании технологий очистки малоконцентрированных органоминеральных сточных вод. Активные угли занимают ведущее место среди адсорбентов, так как имеют развитую пористую структуру и поверхностные функциональные группы, способные к химическому взаимодействию.

Цель настоящей работы является исследование адсорбционного извлечения и представление возможного аппаратного оформления непрерывного процесса адсорбционного извлечения формамида из водного раствора.

Методы и принципы исследования

Объектом исследования являлись водные растворы формамида с концентрацией 0,1 г/дм³. В качестве сорбента использовали отечественный промышленный активный уголь (АУ) марки АГ-ОВ-1 (АО «Сорбент» г. Пермь).

Для выяснения особенностей поверхности активных углей, определяющих эффективность адсорбции, были проведены исследования состояния поверхности методом порометрии.

Характеристики пористой структуры адсорбентов исследовались по адсорбции азота на установке ASAP 2400 фирмы «Micromeritics». Параметры пористой структуры представлены в табл. 1.

Для исследования динамики адсорбции использовали лабораторную колонку с параметрами Н=7см, d=1,5см. Раствор адсорбата пропускали через неподвижный слой адсорбента АУ с постоянной скоростью в течение 200 минут,

концентрацию формамида определяли через каждые 5 минут. Скорость пропускания раствора через неподвижный слой адсорбента составляла 1,4 м/ч.

Концентрацию формамида в растворах определяли по стандартной методике на приборе СФ - 46.

Основные результаты и их обсуждение.

Исследование структуры активных углей до и после адсорбции формамида позволило выявить следующую закономерность: после адсорбции общая удельная поверхность ($S_{БЭТ}$, м²/г) и поверхность микропор уменьшились в среднем на 50%, кроме того, также уменьшился общий объем пор (V_s , см³/г) в среднем на 50%, объем микропор ($V_{микро}$, см³/г) на 70 %. Но в тоже время незначительно изменился объем мезопор, что позволяет предположить, что адсорбция идет по объемному механизму в микропорах.

Таблица 1 – Параметры пористой структуры

Образец	$S_{БЭТ}$, м ² /г	$S_{микро}$, м ² /г	V_s , см ³ /г	$V_{микро}$, см ³ /г	$V_{мезо}$, см ³ /г
АГ-ОВ-1	682	369	0,459	0,218	0,241
АГ-ОВ-1 _{фа}	342	156	0,222	0,037	0,204

Для создания адсорбционной технологии были определены параметры адсорбции, лимитирующая стадия массопереноса [3], [4]. Рассчитан коэффициент массопереноса, необходимый для инженерных расчетов [5]. В данной работе представлены результаты оптимизации адсорбционного фильтра методом математического моделирования и показана принципиальная возможность адсорбционной технологии извлечения формамида активным углем марки АГ-ОВ-1.

Методом математического моделирования произведен подбор основных размеров адсорбционной колонны и оптимизация режима ее работы. В основу расчета положено фундаментальное уравнение внешннедиффузионной динамики адсорбции в случае линейной изотермы.

$$\sqrt{\tau} = \sqrt{\frac{a_0}{w \cdot C_0}} \cdot \sqrt{H} - b \sqrt{\frac{a_0}{\beta_n \cdot C_0}}$$

где τ - время работы слоя длиной H до появления проскоковой концентрации сорбируемого вещества C ; C_0 - начальная концентрация вещества в потоке, ммоль/дм³; a_0 - содержание вещества в неподвижной фазе, равновесное с C_0 , ммоль/кг; w - средняя скорость потока, м/ч; β_n - коэффициент внешнего массопереноса с учетом разности концентраций [6], [7].

Для подтверждения правомерности такого подхода провели экспериментальные исследования адсорбции в динамических условиях формамида углеродным сорбентом АГ-ОВ-1 из водных растворов и построили выходные кривые. Данные расчета и экспериментальные выходные кривые представлены на рис.1

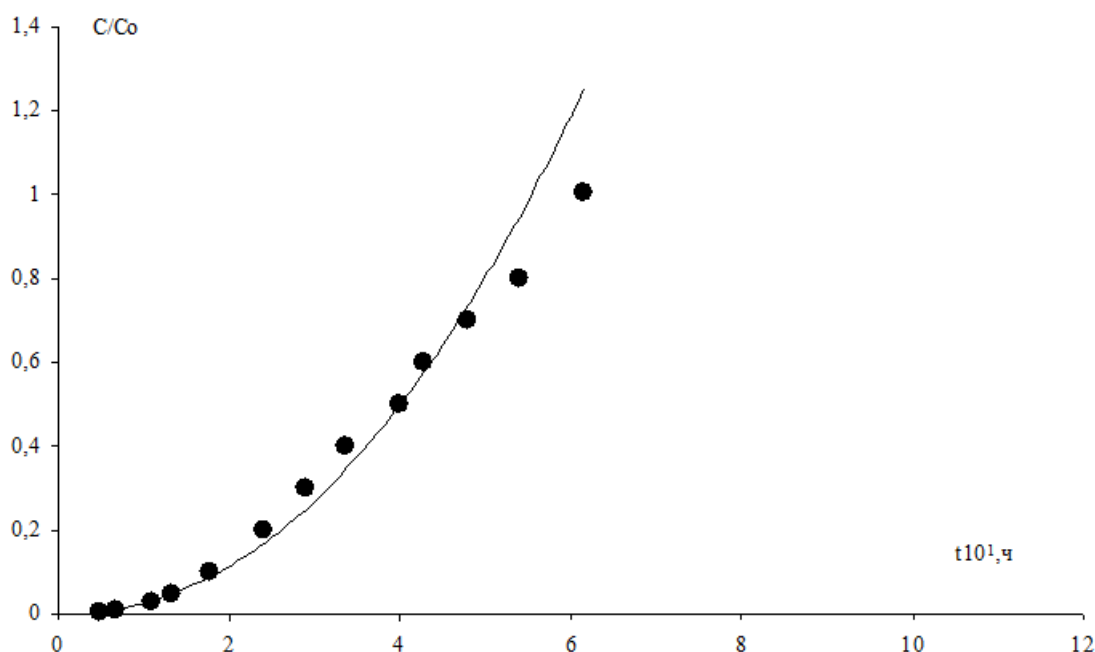


Рис. 1 – Выходные теоретическая (1) и экспериментальная (2) кривые динамики адсорбции из водного раствора для активного угля АГ-ОВ-1

Совпадение экспериментальных (точки) и теоретически рассчитанных величин (сплошная линия) показали, что уравнение может быть использовано для расчета параметров адсорбционных колонн [8], [9].

В результате расчета были получены основные динамические характеристики процесса адсорбции: динамическая емкость; скорость перемещения рабочей зоны; продолжительность работы неподвижного слоя; длина рабочего слоя; количество воды, очищенной до проскока [5].

В момент проскока загрязнения в фильтрат не весь слой активного угля в колонне насыщен до равновесия с входной концентрацией вещества в сточных водах, поступающих в адсорбер. В зоне массообмена на участке работающего слоя адсорбент не достигает равновесного насыщения. При значительных объемах сточных вод, а также для увеличения эффективности использования адсорбционной емкости активного угля целесообразно применять цепь трех последовательно соединенных адсорберов [10]. В этом случае вода последовательно проходит две колонны и на замену адсорбента отключается только первая по движению воды колонна, содержащая полностью насыщенный до равновесия активный уголь. Одновременно с отсоединением первой колонны при помощи переключения задвижек на обвязывающих трубопроводах к оставшейся в цепи второй колонне подключают колонну с новым активным углем, чем обеспечивается постоянство условий адсорбции растворенных загрязнений из потока жидкости.

Таким образом, минимальное число адсорбционных колонн в блоке – 3 из которых 2 включенные последовательно работают в режиме адсорбции растворенных веществ из потока и одна всегда находится в режиме регенерации адсорбента. На рис. 2 показана пооперационная схема работы такой установки.

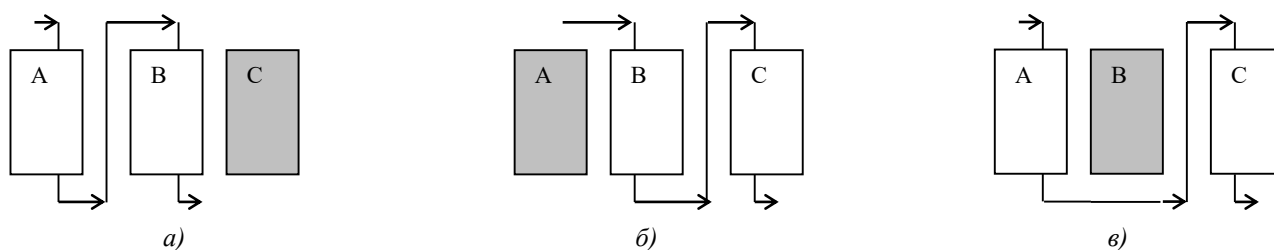


Рис. 2 – Пооперационная схема работы адсорбционной установки из трех аппаратов

Из отстойников вода поступает в адсорберы. На первой стадии адсорбционная очистка воды производится в последовательно соединенных аппаратах А и В, а замена отработанного активного угля – в аппарате С (рис.2 а.). К моменту появления проскоковой концентрации загрязнения за слоем аппарата В полностью насыщенным оказывается активный уголь адсорбера А, который и выключается на замену адсорбента. Взамен аппарата А к адсорберу В подключается последовательно адсорбер С, и работа установки продолжается до появления в фильтрате проскока, фиксируемого за аппаратом С (рис.2 б). Тогда адсорбер В выходит на замену адсорбента, а вместо него к адсорберу С подключают аппарат А с новым активным углем (рис.2 в).

Благодаря такой работе адсорбционных колонн, объем очищаемых от органического компонента сточных вод в первой колонне блока вырастает по сравнению с объемом раствора, очищенного в одиночной адсорбционной колонне на 37 %.

Разработанная адсорбционная очистка позволит вернуть очищенную воду в технологическую схему, а отработанный адсорбент после 5 циклов адсорбции – регенерация поступает на утилизацию.

Заключение

Установлен механизм адсорбции формамида из водных растворов, получены основные адсорбционные и кинетические параметры необходимые для инженерных расчетов.

По результатам экспериментальных данных и теоретических расчетов определены основные параметры адсорбционной колонны и режим непрерывной очистки сточных вод одной из стадий производства диметилформамида.

Разработанная технология позволит вернуть воду и формамид в технологический процесс, что обеспечит ресурсосбережение.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Когановский А.М. Адсорбционная технология очистки вод / А.М. Когановский. - Киев: Техника, 1981. – 175 с.
2. Тарковская И.А. Окисленный уголь / И.А. Тарковская. Киев, Наукова думка, 1981, 196с
3. Соловьева Ю.В. Исследование адсорбции диметилформамида активными углями / Ю.В. Соловьева, Т.А. Краснова, Н.В. Соловьев // Экология и промышленность России. 2013.- №2.- С.57-59
4. Соловьева Ю.В. Адсорбционное извлечение диметилформамида из водных растворов / Ю.В. Соловьева, Т.А. Краснова, Н.В. Соловьев, М.П. Кирсанов // Вестник РУДН 2014. № 4 . С.356-360.
5. Соловьева Ю.В. Технология очистки сточных вод от диметилформамида / Ю.В. Соловьева, Т.А. Краснова, Н.П. Полякова, М. П. Кирсанов // Экология и промышленность России. 2018.- №3. –С. 46-50
6. Zhu Jie Selective and sorption of cadmium and mercury on its column / Zhu Jie, Guiochon Georges // J. Chromatogr. 1993. - V. 636. - P. 189 - 195.
7. Фенелонов В.Б. Пористый углерод / В.Б. Фенелонов. Новосибирск: Институт катализа, 1995. 518 с
8. Corwin, C.J. Adsorption and desorption of trace organic contaminants from granular activated carbon adsorbents after intermittent loading and throughout backwash cycles / Corwin, C.J./ Scott Summers// Water research. – 2011.-2. – P. 417-426
9. Марутовский Р.М. Массопередача многокомпонентных смесей в системе жидкость – твердое тело / Р.М. Марутовский // Химия и технология воды, 1986. - Т. 8. - № 3. - С. 3 - 14.

10. Azizian S. Kinetic model of sorption a theoretical analysis / S. Azizian // J. Coll. Inter. Sci. 2004. 276. P. 47-62.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Koganovsky A.M. Adsorbicionnaja tehnologija ochistki vod [Adsorption technology for water purification] / A.M. Koganovskij. - Kiev: Technics, 1981. -175 p. [in Russian]
2. Tarkovskaya I.A. Okislennyj ugol' [Oxidized coal] / I.A. Tarkovskaja. Kiev, Naukova Dumka, 1981, 196 p. [in Russian]
3. Solovyeva Yu.V. Issledovanie adsorbicii dimetilformamida aktivnymi ugljami [Study of the adsorption of dimethylformamide by active carbons] / Yu.V. Solovyeva, T.A. Krasnova, N.V. Soloviev // Jekologija i promyshlennost' Rossii [Ecology and Industry of Russia]. 2013.- No. 2.- P. 57-59. [in Russian]
4. Solovyeva Yu.V. Adsorbicionnoe izvlechenie dimetilformamida iz vodnyh rastvorov [Adsorption extraction of dimethylformamide from aqueous solutions] / Yu.V. Solovyeva, T.A. Krasnova, N.V. Soloviev, M.P. Kirsanov // Vestnik RUDN [Bulletin of RUDN University] 2014. No. 4. P. 356-360. [in Russian]
5. Solovyeva Yu.V. Tehnologija ochistki stochnyh vod ot dimetilformamida [Technology of wastewater treatment from dimethylformamide] / Yu.V. Solovyeva, T.A. Krasnova, N.P. Polyakova, MP Kirsanov // Jekologija i promyshlennost' Rossii [Ecology and Industry of Russia]. 2018.- No. 3. -P. 46-50. [in Russian]
6. Zhu Jie Selective and sorption of cadmium and mercury on its column / Zhu Jie, Guiochon Georges. // J. Chromatogr. 1993. - V. 636. - P. 189 - 195.
7. Fenelonov V. B. Poristyj uglerod [Porous carbon] / V.B. Fenelonov. Novosibirsk: Institute of Catalysis, 1995. 518 p. [in Russian]
8. Corwin, C.J. Adsorption and desorption of trace organic contaminants from granular activated carbon adsorbents after intermittent loading and throughout backwash cycles/ Corwin, C.J./ Scott Summers// Water research. – 2011.-2. – P. 417-426
9. Marutovsky R. M. Massoperedacha mnogokomponentnyh smesej v sisteme zhidkost' – tverdoe telo [Mass transfer of multicomponent mixtures in the liquid – solid system] / R.M. Marutovskij // Himija i tehnologija vody [Chemistry and technology of water], 1986. - Vol. 8. - No. 3. - p. 3-14. [in Russian]
10. Azizian S. Kinetic model of sorption a theoretical analysis// J. Coll. Inter. Sci. 2004. 276. P. 47-62.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.103.2.017>**КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ЭЛЕКТРОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АКТИВНЫХ ЦЕНТРОВ
ДЕПРЕССОРНО-ДИСПЕРГИРУЮЩЕЙ ПРИСАДКИ В СРЕДЕ AVOGADRO**

Научная статья

Швед М.В.*

Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

* Корреспондирующий автор (shved.mv[at]students.dvfu.ru)

Аннотация

Целью исследования явилась разработка 3-D модели депрессорно-диспергирующей добавки с целью оценки ее активных центров с использованием метода квантово-химического расчета PM3 (параметрический метод, основанный на интегральной аппроксимации пренебрежения дифференциальным двухатомным перекрытием) в программном пакете Avogadro, а также предложение механизма действия присадки и реализация этого взаимодействия в том же программном пакете. Квантово-химическое моделирование проводилось в программном комплексе Avogadro с использованием полуэмпирического метода расчета электронной структуры PM3 при стандартных условиях 273 К и 0,1 МПа. Выполнен квантово-химический расчет электронных характеристик активных центров. Расчетным путем определены нуклеофильные и электрофильные центры с зарядами (– 0,5700 е.з. для атома кислорода в карбонильной группе) и (0,6590 е.з. для атома углерода в карбонильной группе). Построена 3-D схема механизма взаимодействия молекулы сополимера этилена и винилацетата с кристаллами n-парафина.

Ключевые слова: депрессорно-диспергирующая присадка, квантово-химический метод, молекулярный электростатический потенциал, моделирование, 3-D модель, механизм.

**QUANTUM CHEMICAL CALCULATIONS OF THE ELECTRONIC CHARACTERISTICS OF THE ACTIVE
CENTERS OF THE DEPRESSOR-DISPERSING ADDITIVE IN AVOGADRO SOFTWARE**

Research article

Shved M.V.*

Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

* Corresponding author (shved.mv[at]students.dvfu.ru)

Abstract

The aim of the current study is to develop a 3D model of a depressor-dispersing additive in order to evaluate its active centers using the PM3 quantum chemical calculation method (a parametric method based on the integral approximation of the neglect of the differential diatomic overlap) in the Avogadro software package as well as to propose the mechanism of action of the additive and the implementation of this interaction in the software. The quantum chemical modeling was carried out in the Avogadro software package using a semi-empirical method for calculating the electronic structure of PM3 under standard conditions of 273 K and 0.1 MPa. The study conducts a quantum chemical calculation of the electronic characteristics of the active centers as well as calculates the nucleophilic and electrophilic centers with charges (– 0.5700 C. for the oxygen atom in the carbonyl group) and (0.6590 C. for the carbon atom in the carbonyl group). A 3D scheme of the interaction mechanism of a copolymer molecule of ethylene and vinyl acetate with n-paraffin crystals is constructed.

Keywords: depressor-dispersing additive, quantum chemical method, molecular electrostatic potential, modeling, 3D model, mechanism.

Введение

Развитие нефтехимии дизельных является одной из актуальных задач российской экономики, перед которой крайне остро стоят задачи повышения качества продукции. Математическое моделирование представляет собой неотъемлемую часть нефтегазовой индустрии, а также играет огромную роль в современном нефтехимическом комплексе. Моделирование сам по себе уникальный метод, посредством которого можно провести расчет сложного процесса, предсказать свойства того или иного объекта исследования, не нанося при этом абсолютно никакого вреда окружающей среде.

Большинство задач, связанных с повышением эксплуатационных характеристик нефтепродуктов, добавок к ним или внедрением тех, или иных технологий, проходят стадию создания, в первом приближении, математической модели, которая в свою очередь должна отражать заложенные в нее физические свойства.

Понимание взаимодействий в системе: присадка – кристаллы парафина, позволит прогнозировать оптимальную концентрацию добавляемой присадки для придания топливам низкотемпературных свойств, отвечающих современным требованиям [1].

Каждая депрессорно-диспергирующая присадка отличается активными центрами, посредством которых обеспечивается улучшение низкотемпературных характеристик дизельных топлив, а именно снижение температуры застывания и повышение седиментационной устойчивости [2], [3].

Методы и принципы исследования

Активные центры молекул оценивают посредством индексов реакционной способности. Индексами реакционной способности (ИРС) называются полученные в результате квантово-химических расчетов электронные и энергетические характеристики системы, коррелирующие с экспериментальными данными о реакционной способности соединений [3], [4]. Из данного общего определения ясно, что таких индексов существует достаточно много и с каждым годом их число заметно увеличивается.

Распространенным и информативным статическим ИРС молекулы является кулоновский потенциал – молекулярный электростатический потенциал (МЭП или МЕР) [5]. Сформулировать физический смысл можно следующим образом: пусть заряд q_1 создает в точке пространства с радиус-вектором r МЭП $V(r)$. Если в эту точку поместить точечный заряд q , то энергия электростатического взаимодействия между зарядом q и зарядом q_1 будет равна qV (в одноэлектронном приближении без учета поляризационной составляющей). В каждой точке r пространства внутри и вне молекулы МЭП имеет вид:

$$V(r) = - \int \frac{\rho(r)}{|r - r_i|} \cdot dV_i + \sum_{\alpha} \frac{Z_{\alpha}|e|}{|r - R_{\alpha}|}, \quad (1)$$

где: $\rho(r)$ – электронная плотность, $Z_{\alpha}|e|$ и R_{α} – заряд и радиус-вектор ядра α .

Особый интерес для нас МЭП представляет потому, что необходимая для его расчета электронная плотность $\rho(r)$ может быть не только рассчитана теоретически, но и получена косвенным образом из эксперимента по рентгеноструктурному анализу. Кроме того, именно «МЭП (МЕР) определяет силы Гельмана-Фейнмана, действующие на ядра молекулы при их отклонениях от положения равновесия» [5].

Лучший способ визуализации МЭП состоит в построении контурных карт изопотенциалов, создаваемых молекулами. Электростатический потенциал молекулы можно реализовать в программном комплексе Avogadro.

Обсуждения и результаты

Объектом моделирования служит депрессорно-диспергирующая присадка (ДДП). Основной задачей является реализация 3-D модели в трехмерном пространстве, с целью оценки и выявления активных центров депрессорно-диспергирующей присадки. Состав ДДП (Производитель – LAWRUN): этиленвинилацетатная смесь. В качестве активного вещества выступает сополимер, представляющий собой сложный эфир этилена и винилацетата – этиленвинилацетат (см. рисунок 1).

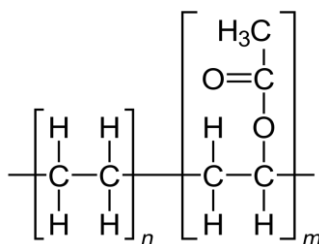


Рис. 1 – Структура элементарного звена сополимера: этиленвинилацетата

Первым этапом было определение степени сополимеризации для того, чтобы рассмотрение молекулы было полным. А именно оценена геометрия молекулы и углы между связями. Выбор оптимального значения степени сополимеризации сводится к выбору числа элементарных звеньев этилена и винилацетата, входящих в состав присадки. Соответственно для этилена $n = 5$, а для винилацетата $m = 4$. Тогда, с учетом данных начальных условий, молекула сополимера, построенная в расширении MolView, будет представлять собой следующую 2-D структуру (см. рисунок 2).

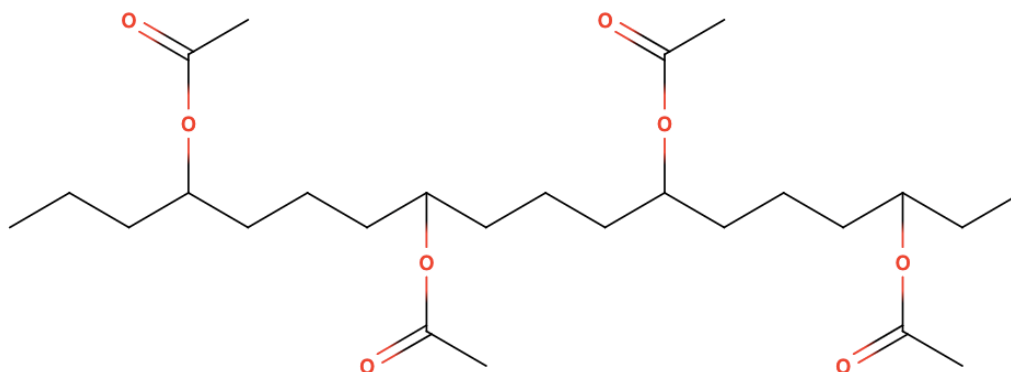


Рис. 2 – Структура 2-D модели сополимера – этиленвинилацетата

Следующим этапом был перенос данной структуры в программу Avogadro. Для начала поэтапно проводим построение каждой части молекулы и проводим операцию выравнивания (на каждом этапе), чтобы все атомы и связи между ними были в соответствии с действительными данными.

После построения и наращивания молекулярного каркаса получаем 3-D модель сополимера этиленвинилацетата (см. рисунок 3).



Рис. 3 – 3-D модель молекулы сополимера: этиленвинилацетата

Чтобы оценить активные центры (реакционные) молекул было проведено построение карты МЕР молекулы (молекулярного электростатического потенциала).

Квантово-химический расчет выполнен в программе Avogadro методом PM3. Данный метод основан на интегральном приближении пренебрежения дифференциальным двухатомным перекрытием. Условия стандартные: 298 К и 0,1 МПа. Используемый полуэмпирический метод является методом валентного приближения, то есть учитывает валентные электроны и атомные орбитали валентных оболочек.

Энергетическое распределение электронной плотности показывает нуклеофильные и электрофильные центры молекулы, которые ответственны за связывание кристаллов парафина и, как следствие, прекращение процесса кристаллизации. Соответственно данные центры располагаются на карбонильной группе: нуклеофильные центры (повышенная электронная плотность), располагаются на атомах кислорода (красная область), а электрофильные центры (пониженная электронная плотность), располагается на атоме углерода (синяя область).

Полученные квантово-химическим методом данные по электронным характеристикам представлены на рисунках 4 и 5. Каждый атом подписан значением соответствующего заряда, нуклеофильный и электрофильный предел равен соответственно (– 0,5700 е.з. для атома кислорода в карбонильной группе) и (0,6590 е.з. для атома углерода в карбонильной группе).

Полярные группы в сополимере сообщают кристаллам н-парафина заряд, который в результате действия электростатических сил отталкивания препятствует их срастанию и образования пространственной сетки.

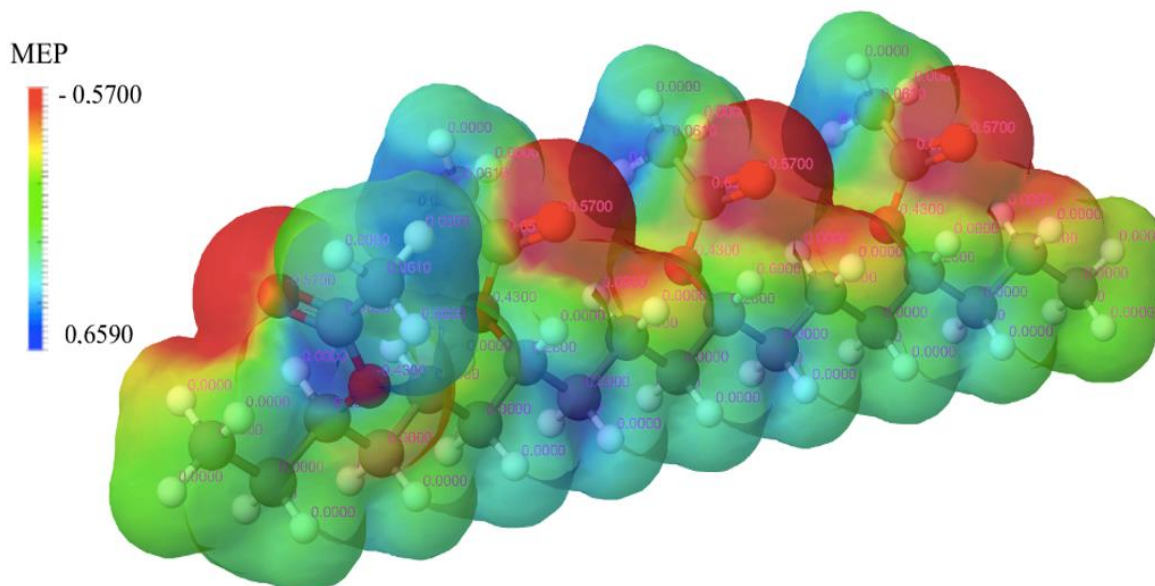


Рис. 4 – Распределение МЕР в молекуле сополимера

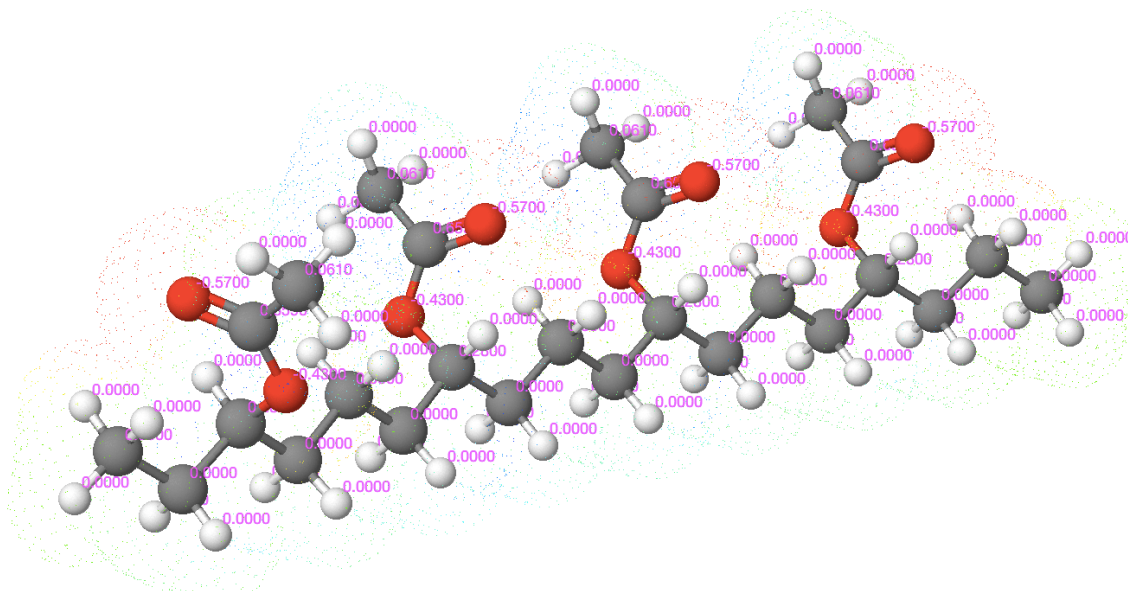


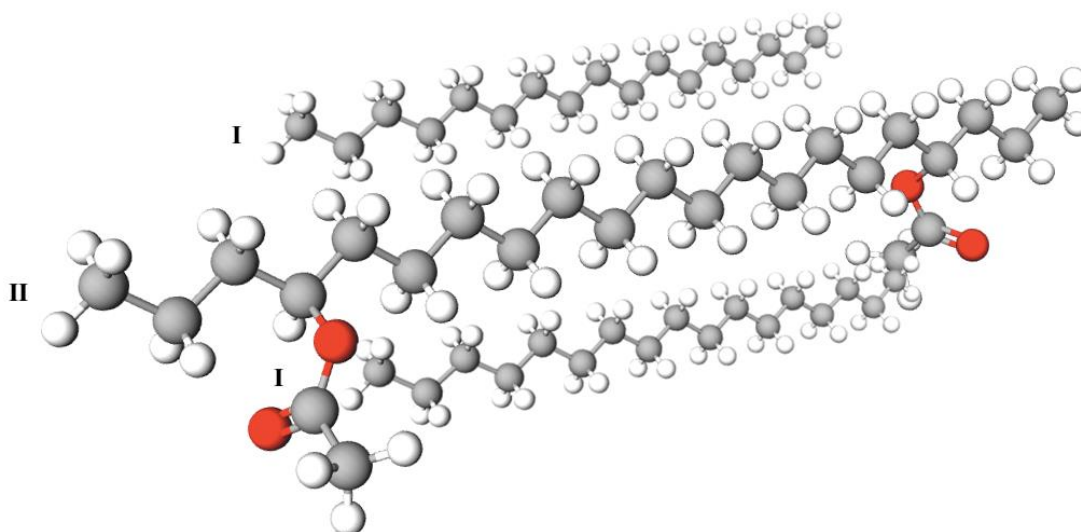
Рис. 5 – Распределение МЕР в молекуле сополимера (точечная версия)

Застывание дизельного топлива обуславливается образованием кристаллической фазы: при понижении температуры выделяются твердые кристаллы *n*-парафинов, которые, объединяясь формируют пространственную сетку, некий каркас, связывающий жидкую фазу. Действие присадки начинается с того, что молекулы сополимера взаимодействуют с поверхностью зарождающихся кристаллов.

Исходя из приведенных расчетов, можно сказать, что присадка адсорбируется на гранях кристаллов *n*-парафинов, причем полярные фрагменты (сложноэфирные группы) молекул депрессора обращены к поверхности кристаллов парафинов, а неполярные – к углеводородной среде. Адсорбируясь таким образом, молекулы депрессора покрывают мономолекулярным слоем микрокристаллы застывающего парафина и препятствует сближению кристаллов *n*-алканов и их сращиванию, что, в сущности, предотвращает образование пространственного каркаса и застывание нефтепродукта.

Также тут имеет место смешанный механизм, сочетающий в себе адсорбцию и образование комплексов в зависимости от содержания *n*-алканов в нефтепродукте. Сополимер образует центры кристаллизации, на поверхности которых группируются кристаллы парафинов, формируя скопления в виде друз. Полиметиленовые сегменты, присутствующие в молекулах присадки – сополимер этилена с винилацетатом, идентичны парафинам дизельного топлива и могут сокристаллизоваться с ними по схеме (см. рисунок 6).

Это в свою очередь приводит к уменьшению температуры застывания дизельных топлив и равномерному распределению парафинов по всему объему.

Рис. 6 – Схема взаимодействия молекул *n*-алканов с молекулой сополимера этилена с винилацетатом:
I – алкан, II – сополимер

Заключение

Таким образом, разработана 3-D модель депрессорно-диспергирующей присадки, а также при помощи квантово-химического метода РМЗ рассчитаны электронные характеристики (заряды атомов) молекулы сополимера, а именно активные центры полярных фрагментов присадки: нуклеофильные и электрофильные. Показана целесообразность адсорбционного и смешанного механизмов действия присадок. Смоделирована 3-D схема взаимодействия *n*-алканов с молекулой присадки.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Машнич В. В. Квантово-химические расчеты межмолекулярных взаимодействий углеводородов дизельных топлив с депрессорной присадкой / В. В. Машнич, Е. В. Францина, М. В. Майлин // Проблемы геологии и освоения недр. — Томск : Изд-во ТПУ, 2020. — Т. 2. — С. 297-298.
2. Башкатова С.Т. Межмолекулярные взаимодействия и механизм действия присадок в топливной дисперсной системе / С.Т. Башкатова, И.Н. Гришина, О.В., Попова, В.А. Винокуров // Учебное пособие, М., ФГУП изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, — 2010. — С. 52.
3. Любименко В.А. Компьютерное моделирование структуры и свойств межмолекулярных комплексов в дизельных топливах в присутствии депрессорно-диспергирующих присадок / В.А. Любименко // Труды РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина № 2 (275). — 2014. — С. 43-51.
4. Муштакова С.П. Основы квантовой механики и квантовой химии. Методы расчета электронной структуры и свойств молекул / С.П. Муштакова, Н.А. Бурмистрова: Учеб. пособие для студентов хим. фак. — Саратов: Изд-во «Новый ветер», — 2015. — С. 107.
5. Ермаков, А. И. Квантовая механика и квантовая химия: учебник и практикум для академического бакалавриата / А. И. Ермаков. — Москва: Изд. Юрайт, — 2016. — С. 555.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Mashnich V. V. Kvantovo-himicheskie raschety mezhmolekuljarnyh vzaimodejstvij uglevodorodov dizel'nyh topliv s depressornoj prisadkoj [Quantum-chemical calculations of intermolecular interactions of diesel fuel hydrocarbons with a depressor additive] / V. V. Mashnich, E. V. Francina, M. V. Maylin // Problemy geologii i osvoenija neдр [Problems of geology and mineral resources development]. — Tomsk: Publishing House of TPU, 2020. — Vol. 2. — P. 297-298. [in Russian]
2. Bashkatova S. T. Mezhmolekuljarnye vzaimodejstvija i mehanizm dejstvija prisadok v toplivnoj dispersnoj sisteme [Intermolecular interactions and the mechanism of action of additives in the fuel dispersed system] / S. T. Bashkatova, I. N. Grishina, O. V., Popov, V. A. Vinokurov // tutorial, Moscow, Federal state unitary enterprise publishing house "Oil and gas" Gubkin Russian state University of oil and gas. I. M. Gubkina — 2010. — P. 52. [in Russian]
3. Ljubimenko V.A. Komp'juternoe modelirovanie struktury i svojstv mezhmolekuljarnyh kompleksov v dizel'nyh toplivah v prisutstvii depressorno-dispergirujushhih prisadok [Atlas Of The Major Species. Computer modeling of the structure and properties of intermolecular complexes in diesel fuels in the presence of depressor-dispersing additives] / V.A. Ljubimenko // Trudy RGU nefti i gaza imeni I.M. Gubkina [Proceedings of Gubkin Russian State University of Oil and Gas] № 2 (275). — 2014. — P. 43-51. [in Russian]
4. Mushtakova S. P. Osnovy kvantovoj mehaniki i kvantovoj himii. Metody rascheta jelektronnoj struktury i svojstv molekul [Fundamentals of quantum mechanics and quantum chemistry. Methods for calculating the electronic structure and properties of molecules] / S.P. Mushtakova, N.A. Burmistrova: Textbook for students of chemical physics. — Saratov: Publishing house "New Wind", — 2015. — P. 107. [in Russian]
5. Ermakov, A. I. Kvantovaja mehanika i kvantovaja himija: uchebnik i praktikum dlja akademicheskogo bakalavriata [Quantum mechanics and quantum chemistry: textbook and practice for academic undergraduate] / A. I. Ermakov. - Moscow: Ed. Yurayt, — 2016. — P. 555. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.103.2.018>**РЕАКТИВНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ АКТИВНОСТИ КАТАЛАЗЫ В ТКАНЯХ ПЕЧЕНИ КРЫС ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА СЕКРЕТОРНЫЕ КАРДИОМИОЦИТЫ**

Научная статья

Борискин П.В.¹, Гуленко О.Н.^{2,*}, Павлова О.Н.³, Масляков В.В.⁴, Леонов В.В.⁵, Палевская С.А.⁶² ORCID: 0000-0001-6338-7095;³ ORCID: 0000-0002-8055-1958;¹ ООО «ТестГен», Ульяновск, Россия;^{2, 3, 4} Самарский государственный университет путей сообщения, Самара, Россия;⁵ Медицинский университет «Реавиз», Самара, Россия;⁶ Институт профессионального образования, Самара, Россия

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

Аннотация

Оксидативный стресс, как следствие нарушения гомеостатического равновесия организма, является пусковым моментом в формировании множества патогенетических состояний. В изучении механизмов развития оксидативного стресса еще существует множество неизученных моментов, но наибольший интерес представляет раскрытие патогенетической значимости окислительных процессов при патологиях сердечно-сосудистой системы. Цель работы - исследование динамики активности каталазы в тканях печени крыс при оксидативном стрессе, вызванном криодеструкцией миокарда правого предсердия. Эксперимент проводили на здоровых беспородных белых половозрелых крысах мужского пола восьмимесячного возраста, массой 220-240 г в количестве 60 штук. Животные были поделены на 2 группы поровну: 1 – интактные крысы; 2 – опытная группа. Животным опытной группы проводили криодеструкцию правого предсердия. Активность каталазы в тканях печени крыс исследовали до начала опыта, а также на 1, 3, 5, 7 и 14 сутки эксперимента. Выводы: активность каталазы в печени крыс, при экспериментальном оксидативном стрессе, вызванном воздействием на секреторные кардиомиоциты путем криодеструкции правого предсердия, снижается по сравнению с интактными животными в течение 7 суток после повреждающего воздействия, а к 14 суткам отмечается тенденция к нормализации уровня фермента.

Ключевые слова: оксидативный стресс, сердечно-сосудистая система, крысы, каталаза.**REACTIVE CHANGES IN CATALASE ACTIVITY IN RAT LIVER TISSUES WHEN AFFECTING SECRETORY CARDIOMYOCYTES**

Research article

Boriskin P.V.¹, Gulenko O.N.^{2,*}, Pavlova O.N.³, Maslyakov V.V.⁴, Leonov V.V.⁵, Palevskaya S.A.⁶² ORCID: 0000-0001-6338-7095;³ ORCID: 0000-0002-8055-1958;¹ TestGen LLC, Ul'janovsk, Russia;^{2, 3, 4} Samara State Transport University, Samara, Russia;⁵ "Reaviz" Medical University, Samara, Russia;⁶ Institute of Professional Education for Regional Health Development, Samara, Russia

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

Abstract

Oxidative stress as a consequence of a violation of the homeostatic balance of the body is the starting point in the formation of a variety of pathogenetic states. There are still many unexplored points in the study of the development mechanisms of oxidative stress, however the most interesting is the disclosure of the pathogenetic significance of oxidative processes in the pathologies of the cardiovascular system. The aim of the study is to examine the dynamics of catalase activity in rat liver tissues under oxidative stress caused by the cryodestruction of the right atrial myocardium. The experiment was carried out on 60 healthy outbred mature male albino rats of eight months of age and weighing 220-240 g. The animals were equally divided into 2 groups: intact and experimental. The animals of the experimental group underwent the cryodestruction of the right atrium. The activity of catalase in rat liver tissues was studied before as well as on the 1st, 3rd, 5th, 7th, and 14th days of the experiment. Conclusions: the activity of catalase in the liver of rats under experimental oxidative stress caused by the effect on secretory cardiomyocytes via cryodestruction of the right atrium decreases in comparison with intact animals within 7 days after the nociceptive influence, and by 14 days there is a tendency to normalize the level of the enzyme.

Keywords: oxidative stress, cardiovascular system, rats, catalase.**Введение**

Оксидативный стресс возникает в результате дисбаланса потоков электронов внутри клетки, так как утечка электронов из каскадов метаболических и электрохимических реакций на кислород приводит к образованию активных форм кислорода и окислительному повреждению молекулярных структур в клетке. В норме такие утечки компенсируются работой эффективных антиоксидантных ферментов и систем репарации и биосинтеза, но, если утечек слишком много, или если антиоксидантные системы недостаточно активны и эффективны, продукты окислительного повреждения накапливаются в организме и приводят к некорректной работе клетки, органа или организма в целом и таким образом появляется оксидативный стресс [1], [2].

В целом, по данным многочисленных исследований, оксидативный стресс является пусковым фактором множества патологий или основным механизмом патогенеза. Окислительный стресс, несомненно, сказывается и на работе сердечно-сосудистой системы [3].

Возрастные изменения сердечно-сосудистой системы во многом определяют особенности развития хронической сердечной недостаточности (ХСН) у пациентов старших возрастных групп [4]. Одним из ключевых звеньев патогенеза ХСН считается дисфункция эндотелия за счет снижения синтеза оксида азота (NO) и, как следствие, замедление системного кровотока и возникновение оксидативного стресса. Повышенные концентрации свободных радикалов оказывают повреждающее воздействие на кардиомиоциты и эндотелий, провоцируя развитие депрессии сократительной функции миокарда и возрастающей вазоконстрикцией. Первичные и вторичные продукты перекисного окисления липидов (диеновые конъюгаты, малоновый диальдегид и другие ненасыщенные альдегиды) являются мутагенами и обладают выраженной цитотоксичностью. В противовес процессам перекисного окисления функционирует антиоксидантная система организма, представленная такими ферментами, как каталаза, супероксиддисмутаза, глутатионпероксидаза. Они предотвращают возникновение и прогрессирование гипертрофии миокарда, апоптоза кардиомиоцитов и других процессов. Снижение антиоксидантной защиты является важным компонентом процесса перекисного окисления липидов. Интенсификация свободнорадикальных процессов относится к универсальным механизмам воздействия факторов риска на функцию эндотелия, способствующих развитию и прогрессированию ХСН [5], [6].

В связи с вышесказанным, целью нашей работы явилось изучение в тканях печени крыс динамики активности каталазы после криодеструкции миокарда правого предсердия для инициации оксидативного стресса.

Задачи исследования: установить уровень активность каталазы в тканях печени интактных крыс и животных с индуцированным оксидативным стрессом в динамике.

Материалы и методы

В исследовании было использовано 420 крыс-самцов восьмимесячного возраста, массой 220-240 г, которые содержались в виварии. Крысы были разделены на две группы – интактную и опытную по 210 животных в каждой. Для инициации оксидативного стресса крысам опытной группы проводили криодеструкцию правого предсердия, в котором в основном сосредоточены секреторные кардиомиоциты, содержащие гранулы с предсердным натриуритическим фактором (ПНФ). Этот гормон является мощным вазодилататором, он вовлечен в регуляцию водно-электролитного обмена и метаболизма жировой ткани. Подробная методика данного эксперимента представлена нами в ранее опубликованном исследовании [7].

Активность каталазы в тканях печени исследовали с использованием стандартной методики Королюка М.А. до начала эксперимента, а также на 1, 3, 5, 7 и 14 сутки опыта. Животных декапитировали в указанные сутки опыта по 30 штук в каждой группе [8], [9].

Исследование выполнено в соответствии с правилами лабораторной практики в Российской Федерации: приказ Минздрава СССР № 755 от 12.08.1977 г.; приказ МЗ РФ № 267 от 19.06.2003 г.; закон «О защите животных от жестокого обращения» гл. V, ст. 104679-ГД от 01.12.1999 г. На проведение эксперимента получено заключение Комитета по биоэтике при «Медицинском университете «Реавиз» № 167 от 18 сентября 2019 г.

Для анализа полученных данных, не соответствующих нормальному распределению, использовали непараметрический статистический анализ, с целью выявления различий активности каталазы у интактных животных и крыс опытной группы.

Основные результаты

На рисунке 1 отражена в динамике активность каталазы в тканях печени животных в течение эксперимента.

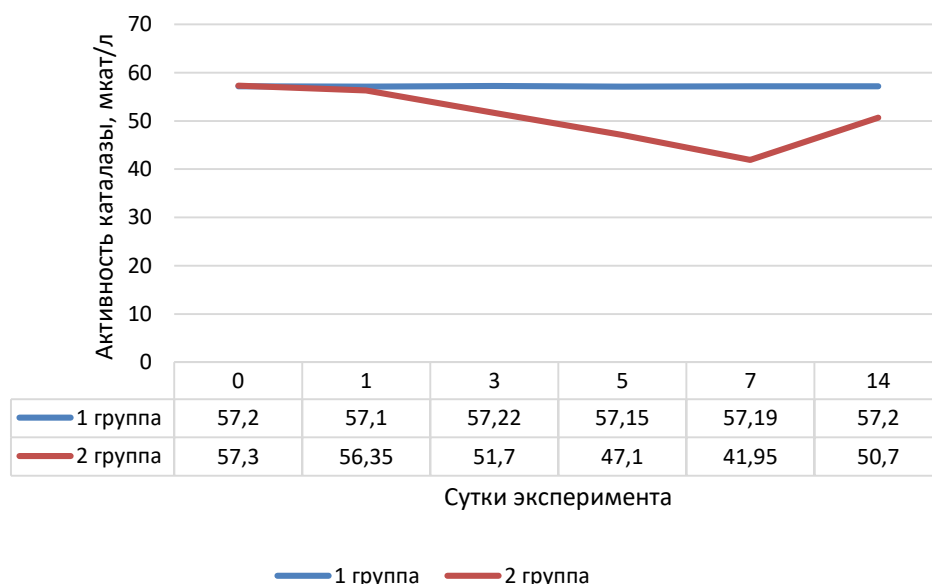


Рис. 1 – Динамика активности каталазы в печени крыс в норме и на фоне криодеструкции правого предсердия

В ходе опыта было установлено, что криодеструкция миокарда правого предсердия в результате нарушения целостности тканей, стимулирует окислительные процессы в организме и провоцирует снижение активности каталазы, как антиоксидантного фермента, в тканях печени до 7 суток эксперимента, а затем, на фоне запуска репаративных процессов активность фермента стремиться к физиологической норме.

Массив полученных значений активности каталазы в тканях печени крыс экспериментальной группы представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Динамика активности каталазы в тканях крыс экспериментальной группы

Сутки	N	M	Me	Min	Max	25 Per	75 Per	10 Per	90 Per
0 день	30	57,81	57,30	56,20	59,90	56,90	59,00	56,55	59,75
1 сутки	30	56,02	56,35	53,90	57,80	55,10	56,80	54,30	57,45
3 сутки	30	52,41	51,70	50,30	55,10	51,20	53,90	50,45	54,70
5 сутки	30	47,35	47,10	45,30	50,40	46,30	48,40	45,95	49,75
7 сутки	30	41,37	41,95	38,10	42,80	39,90	42,40	39,40	42,55
14 сутки	30	50,78	50,70	48,40	54,60	49,10	51,60	48,50	53,60

Полученный массив числовых данных был подвергнут непараметрическому статистическому анализу.

Установлено, что активность каталазы в тканях печени у животных 2 группы начиная с первых суток опыта достоверно отличалась от показателей интактных крыс:

- 1 сутки – критерий Манна-Уитни $U=424,5000$, $Z=0,369611$ при $p=0,711673$; критерий Колмогорова-Смирнова $\text{Max Neg Differnc} = -0,33333$, $\text{Max Pos Differnc} = 0,300000$, при $p < 0,010$; критерий Вальда-Вольфовица $Z = -3,38540$ при $p\text{-level}=0,000711$, $Z \text{ adjstd} = 3,255190$ при $p\text{-level} = 0,001133$;

- 2 сутки – критерий Манна-Уитни $U=85,50000$, $Z=6,381531$ при $p=0,000000$; критерий Колмогорова-Смирнова $\text{Max Neg Differnc} = 0,00$, $\text{Max Pos Differnc} = 0,766667$, при $p < 0,001$; критерий Вальда-Вольфовица $Z = -4,94786$ при $p\text{-level}=0,000001$, $Z \text{ adjstd} = 4,817682$ при $p\text{-level} = 0,000001$;

- 3, 5, 7 и 14 сутки – критерий Манна-Уитни $U=0,00$, $Z=6,645599$ при $p=0,000000$; критерий Колмогорова-Смирнова $\text{Max Neg Differnc} = 0,0000$, $\text{Max Pos Differnc} = 1,0000$, при $p < 0,001$; критерий Вальда-Вольфовица $Z = -7,5520$ при $p\text{-level}=0,000000$, $Z \text{ adjstd} = 7,4218$ при $p\text{-level} = 0,000000$.

Обсуждение

Криодеструкция правого предсердия приводит к повреждению секреторных кардиомиоцитов и сопровождается воспалительным процессом и высвобождением в окружающие ткани предсердного натрийуретического фактора, что провоцирует ишемию миокарда. Снижение поступления кислорода в область ишемии миокарда способствует дальнейшему снижению функциональной активности антиоксидантной системы при активизации процессов продукции радикальных кислородных форм. Все эти события индуцируют системную воспалительную реакцию и являются причиной или важным звеном в патогенезе многих серьезных патологий. Полученные данные согласуются с результатами других исследований, освещенных в специализированной литературе [10], [11], [12].

Заключение

Окислительный стресс, возникший при криодеструкции правого предсердия до 7 суток опыта, провоцирует снижение активности каталазы в тканях печени крыс, но запуск репаративных процессов способствует восстановлению нарушенного окислительно-восстановительного равновесия в организме и нормализации уровня фермента.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Голиков А.П. Свободно-радикальное окисление и сердечно-сосудистая патология: коррекция антиоксидантами / А.П. Голиков, С.А. Бойцов, В.П. Михин и соавт. // Лечащий врач. – 2003. – №4. – С. 70–74.
2. Меньщикова Е.Б. Окислительный стресс. Проксиданты и антиоксиданты / Меньщикова Е.Б., Ланкин В.З., Зенков Н.К. и соавт. – М.: Слово. 2006. – 553 с.
3. Бабак О.Я. Окислительный стресс, воспаление и эндотелиальная дисфункция ключевые звенья патогенеза сердечно-сосудистой патологии при прогрессирующих заболеваниях почек. / О.Я. Бабак, И.И. Топчий // Украинский терапевтический журнал. – 2004. – №4. – С. 10-16.
4. Ланкин В.З. Свободнорадикальные процессы при заболеваниях сердечно-сосудистой системы. / В.З. Ланкин, А.К. Тихазе, Ю.Н. Беленков // Кардиология. – 2000. – № 40(7). – С. 48-61.
5. Ляхович В.В. Активная защита при окислительном стрессе. Антиоксидант-реактивный элемент / В.В. Ляхович, В.А. Вавилин, Н.К. Зенков и соавт. // Биохимия. – 2006. – Т. 71, Вып. 9. – С. 1183–1197.
6. Interaction between dyslipidaemia, oxidative stress and inflammatory response in patients with angiographically proven coronary artery disease / Tayal D., Goswami B., Tyagi S. et al. // Cardiovasc. J. Afr. – 2012. – Vol. 23, №1. – P. 23–27.
7. Борискин П.В. Адаптационные изменения активности каталазы в тканях сердца и сыворотке крови крыс при воздействии на секреторные кардиомиоциты / П.В. Борискин, О.Н. Гуленко, О.Н. Павлова // Международный научно-исследовательский журнал. – 2020. – № 12 (102), часть II, декабрь. – С. 56-62.
8. Арутюнян А.В. Методы оценки свободнорадикального окисления и антиоксидантной системы организма / А.В. Арутюнян, Е.Е. Дубинина, Н.Н. Зыбина // Методические рекомендации. – СПб: ИКФ Фолиант, – 2000. – 102 с.

9. Руководство по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ. /Под общ. ред. Р.У. Хабриева. 2-изд., перераб. и доп. – М.: Медицина. – 2005. – С. 832.
10. Droge W. Free radicals in physiological control of cell function. / W. Droge //Physiol Rev. – 2002. – № 82. – P. 47.
11. Higashi Y. Endothelial function and oxidative stress in renovascular hypertension. / Y. Higashi, S. Sasaki, K. Nakagawa, et al. // N Engl J Med. – 2002. – № 346. – P. 1954-62.
12. Bandyopadhyay D. Oxidative stress-induced ischemic heart disease: protection by antioxidants / D. Bandyopadhyay, A. Chattopadhyay, G. Ghosh, A.G. Datta // Curr. Med. Chem. – 2004. – Vol. 11, N 3. – P. 369-387.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Golikov A.P. Svobodno-radikal'noe okislenie i serdechno-sosudistaja patologija: korrekcija antioksidantami [Free-radical oxidation and cardiovascular pathology: correction with antioxidants] / A.P. Golikov, S.A. Bojcov, V.P. Mihin i soavt. // Lechashhij vrach [Treating Physician]. – 2003. – №4. – P. 70–74. [in Russian]
2. Menyikova E.B. Okislitel'nyj stress. Prooksidanty i antioksidanty [Oxidative stress. Prooxidants and antioxidants] / Menyikova E.B., Lankin V.Z., Zenkov N.K. i soavt. – M.: Slovo. 2006. – 553 p. [in Russian]
3. Babak O.Ja. Okislitel'nyj stress, vospalenie i jendotelial'naja disfunkcija ključevye zven'ja patogeneza serdechno-sosudistoj patologii pri progressirujushhij zabolevanijah poček [Oxidative stress, inflammation and endothelial dysfunction are key links in the pathogenesis of cardiovascular pathology in advanced renal disease] / O.Ja. Babak, I.I. Topchij // Ukrainskij terapevtičeskij žurnal [Ukrainian Therapeutic Journal]. – 2004. – №4. – P. 10-16. [in Russian]
4. Lankin V.Z. Svobodnoradikal'nye processy pri zabolevanijah serdechno-sosudistoj sistemy [Free-radical processes in diseases of cardiovascular system] / V.Z. Lankin, A.K. Tihaze, Ju.N. Belenkov //Kardiologija [Cardiology]. – 2000. – № 40(7). – P. 48-61. [in Russian]
5. Ljahovich V.V. Aktivnaja zashhita pri okislitel'nom stresse. Antioksidantresponsivnyj jelement [Active protection under oxidative stress. Antioxidant-reactive element] / V.V. Ljahovich, V.A. Vavilin, N.K. Zenkov i soavt. // Biohimija [Biochemistry]. – 2006. – Vol. 71, Issue. 9. – P. 1183–1197. [in Russian]
6. Interaction between dyslipidaemia, oxidative stress and inflammatory response in patients with angiographically proven coronary artery disease / Tayal D., Goswami B., Tyagi S. et al. // Cardiovasc. J. Afr. – 2012. – Vol. 23, №1. – P. 23–27.
7. Boriskin P.V. Adaptacionnye izmenenija aktivnosti katalazy v tkanjah serdca i syvorotke krovi krys pri vozdeystvii na sekretornye kardiomiocity [Adaptation changes of catalase activity in heart tissue and serum of rats under exposure to secretory cardiomyocytes] / P.V. Boriskin, O.N. Gulenko, O.N. Pavlova // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij žurnal [International Journal of Scientific Research]. – 2020. – № 12 (102), part II, dekabr'. – P. 56-62. [in Russian]
8. Arutjunjan A.V., Dubinina E.E., Zybina N.N. Metody ocenki svobodnoradikal'nogo okislenija i antioksidantnoj sistemy organizma [Methods for evaluation of free-radical oxidation and antioxidant system of organism] / A.V. Arutjunjan, E.E. Dubinina, N.N. Zybina // Metodicheskie rekomendacii [Methodological recommendations]. – SPb: IKF Foliant, – 2000. – 102 p. [in Russian]
9. Rukovodstvo po jeksperimental'nomu (dokliničeskomu) izucheniju novyh farmakologičeskij veshhestv [Guidelines for experimental (preclinical) study of new pharmacological substances] /pod obshh. red. R.U. Habrieva. 2-nd ed.- M.: Medicina. – 2005. – P. 832. [in Russian]
10. Droge W. Free radicals in physiological control of cell function. / W. Droge //Physiol Rev. – 2002. – № 82. – P. 47.
11. Higashi Y. Endothelial function and oxidative stress in renovascular hypertension. / Y. Higashi, S. Sasaki, K. Nakagawa, et al. // N Engl J Med. – 2002. – № 346. – P. 1954-62.
12. Bandyopadhyay D. Oxidative stress-induced ischemic heart disease: protection by antioxidants / D. Bandyopadhyay, A. Chattopadhyay, G. Ghosh, A.G. Datta // Curr. Med. Chem. – 2004. – Vol. 11, N 3. – P. 369-387.

ФАУНОГЕНЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЛЕКОПИТАЮЩИХ ВОСТОЧНОГО САЯНА

Научная статья

Данилов Ф.А.^{1,*}, Преловский В.А.²¹ ORCID: 0000-0002-8023-7977;² ORCID: 0000-0003-1200-7560;^{1,2} Институт географии имени В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, Россия

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

Аннотация

Для выявления закономерностей исторических процессов формирования териофауны Восточного Саяна требуются подробные знания о процессах расселения слагающих ее видов. Накопленные сведения о распространении и экологии млекопитающих позволяют выявить особенности смешения географо-генетических элементов данной территории. Согласно проведенному фауногенетическому анализу выявлено 17 типов фауна, численность которых варьирует от 1 до 12 видов. Высокое видовое разнообразие млекопитающих нагорья связано с его географическим положением, разнообразием природных условий и длительностью процессов его заселения млекопитающими. Находясь на стыке степной и таежной зон, Восточный Саян представляет собой важный зоогеографический барьер на юге Сибири, поэтому многие виды здесь находятся на периферии ареалов, а их численность довольно низкая.

Ключевые слова: млекопитающие, Восточный Саян, фауногенетический метод, видовое разнообразие.

FAUNAL-GENETIC ANALYSIS OF MAMMALS IN THE EASTERN SAYAN MOUNTAINS

Research article

Danilov F.A.^{1,*}, Prelovsky V.A.²¹ ORCID: 0000-0002-8023-7977;² ORCID: 0000-0003-1200-7560;^{1,2} V.B. Sochava Institute of Geography of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia

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

Abstract

Identifying the patterns of historical processes of formation of the theriofauna of the Eastern Sayan mountains requires detailed knowledge of the dispersion processes of its constituent species. The accumulated data on the distribution and ecology of mammals allows to pin down the peculiarities of mixing the geographical and genetic elements of this territory. According to the conducted faunal-genetic analysis, the study has identified 17 types of faunulae, where the number of species varies from 1 to 12. The high diversity of the mammals of the highlands is associated with its geographical location as well as the variety of natural conditions and the duration of the processes of its population by mammals. Located at the junction of the steppe and taiga zones, the Eastern Sayan mountains are an important zoogeographic barrier of southern Siberia. For this reason, many species in this area are located on the periphery of their ranges and their numbers are quite low.

Keywords: mammals of the Eastern Sayan mountains, faunal-genetic method, species diversity.

Введение

Восточный Саян представляет собой горную систему, расположенную на юге Сибири и протянувшуюся более чем на 1000 км с северо-запада на юго-восток. Современный горный облик территории сформировался в неогене – начале антропогена в результате поднятия, сопровождавшегося дифференцированными блоковыми движениями, а в восточной части еще и обильными излияниями базальтов [9]. Климат территории резко континентальный с продолжительной суровой зимой и коротким прохладным летом. Выделяется пять высотных поясов: лесостепной, лесной (горно-таежный), подгольцовый, гольцовый и нивальный [5]. Териофауна нагорья изучена фрагментарно и требует зоогеографического анализа.

Обсуждение

В настоящее время на территории нагорья обитает 77 видов млекопитающих, относящихся к 6 отрядам: насекомоядные – 10, рукокрылые – 12, зайцеобразные – 4, грызуны – 26, хищные – 17, парнокопытные – 8. Из 77 отмеченных видов 71 относятся к аборигенам Сибири, три вида акклиматизированы (обыкновенный бобр, ондатра, американская норка) и три вида (домовая мышь, серая и черная крысы) проникли благодаря хозяйственной деятельности человека.

Для выявления общих закономерностей формирования териофауны Восточного Саяна был использован метод фауногенетической классификации, основанный на объединении близких по происхождению, экологическими связями и современному распространению группы. Под фауной понимается нечто относительно цельное и автономное в исторических процессах развития фауны, обладающее единым центром развития, общей для всех членов, но специфичной относительно других фаун реакцией на вековые изменения природных условий, особыми путями и характером расселения [6]. Согласно нашим данным, современная фауна млекопитающих Восточного Саяна представлена 17 фаунами.

Группа арктобореальных видов относится к наиболее молодому «слою» современной териофауны региона, чье происхождение связывается со средними широтами Палеарктики, преимущественно с лесными и полукрытыми ландшафтами [4], [6] представлена 10 видами: плоскочерепная бурозубка, красная полевка, полевка-экономка, лесной

лемминг, заяц-беляк, бурый медведь, россомаха, горностай, рысь и лось. Практически все эти они широко распространены по территории нагорья и довольно обычны, а некоторые даже многочисленны. Следует отметить, что ранее Е.Н. Матюшкин относил плоскочерепную бурозубку к палеарктическим элементам темнохвойной тайги, но в последующем была доказана ее тесная взаимосвязь с палеарктическими бореальными элементами [7], [10].

Трансголарктические элементы полуоткрытых и открытых ландшафтов напротив представлены всего тремя видами: волк, обыкновенная лисица и ласка. По своему происхождению они относятся к представителям аридных и семиаридных областей Евразии и их появление связано с формированием мамонтового комплекса в верхнем плейстоцене [6]. Голарктические тундровые и гольцовые элементы представляют собой неоднородную группу с явными различиями по происхождению, а исходная бедность видового состава – всего четыре вида (алтайская и северная пищухи, большеухая полевка, северный олень) объясняет невысокую значимость ее представителей в формировании териофауны нагорья. В то же время в условиях развитого горно-тундрового ландшафта в Восточном Саяне некоторые виды относятся к фоновым группам населения млекопитающих. Западнопалеарктические таежные (сибирский крот, малая и обыкновенная бурозубки, лесная мышовка и темная полевка) связаны своим происхождением с лесными ландшафтами европейской части континента, почти все они имеют невысокую численность и мозаично распространены, предпочитая узкий набор биотопов. К этой группе плотно примыкают фауны западнопалеарктических влажнолуговых и луговых видов (водяная и обыкновенная полевки) и западнопалеарктическая лиственных лесов (рыжая полевка). Палеарктические элементы темнохвойной тайги наиболее широко представлены на территории Восточного Саяна и наиболее генетически однородные, что связано с их общей историей формирования и развития с древней темнохвойной тайгой [2], [3], [10]. Большинство из них относятся к фоновым видам таежной зоны нагорья. Группа представлена 9 видами: средняя, равнозубая, крошечная бурозубка, красно-серая полевка, летяга, обыкновенная белка, азиатский бурундук и соболь.

Фауны североазиатско-южнопалеарктических полуводных и трансевразийских полуводных элементов тропического происхождения представлены по одному виду: куторой обыкновенной и речной выдрой соответственно. Также всего одним видом представлена фауна центрально- и восточноазиатских горно-таежных элементов (кабарга). Восточноазиатские и южнопалеарктические элементы широколиственных и хвойно-широколиственных лесов (восточноазиатская мышь, азиатский барсук, колонок, благородный олень) широко распространены в Евразии и имеют относительно сходные контуры ареалов и единый центр происхождения.

Фауна южноазиатских тропических лесных, горнолесных и тугайных элементов представлена двумя видами южного происхождения – красный волк и кабан. Фауна восточноазиатских и южнопалеарктических лесостепных и влажно-луговых элементов (белозубка сибирская, мышь-малютка, полевая мышь, косуля сибирская) представляет собой группу видов, происходящую из юго-восточной Азии широко распространенную в Восточном Саяне. Наличие контакта с монгольскими степями на юге горной области привело к проникновению степных южнопалеарктических и центральноазиатских элементов (заяц-толай, длиннохвостый суслик, монгольский сурок, барабинский хомячок, узкочерепная и тувинская полевки, солонгой, степной хорь и манул). Многие из них находятся на периферии своих ареалов и распространены фрагментарно. Фауну тундрово-степных элементов представляет тундряная бурозубка – единственный палеарктический вид, широко освоивший тундровые и лесостепные ландшафты [7], [8].

Наибольшая по числу видов является фауна восточноазиатских и южнопалеарктических элементов, обладающих способностью к полету (ночницы: амурская, длиннохвостая, водяная, степная, сибирская, прудовая и Иконникова, сибирский ушан, двуцветный кожан, северный кожанок, большой трубконос и рыжая вечерница) неоднородна по своему составу и распространению. Большинство видов довольно малочисленны и приурочены к пещерам, а некоторые ее представители встречены всего один-два раза за длительный срок наблюдений [1]. Центральноазиатские горно-альпийские элементы насчитывают три вида (снежный барс, козел сибирский и горный баран), чье обитание связано с наиболее экстремальными условиями.

Заключение

Выявленные фауногенетические особенности формирования териофауны нагорья говорят об ее уникальности и самобытности. Основу фаунистических комплексов составляют представители четырех фаун: голарктические арктобореальные элементы; палеарктические элементы темнохвойной тайги; южнопалеарктические и центральноазиатские степные элементы; восточноазиатские и южнопалеарктические элементы, обладающие способностью к полету. Группы географо-генетических элементов териофауны Восточного Саяна хоть и заметно различаются по своему экологическому облику (жизненным форм), но в то же время выступают как достаточно естественные объединения в разнообразных ландшафтах данной территории.

Финансирование

Исследование выполнено за счет средств государственного задания (№АААА-А17-117041910172-4).

Funding

The study was carried out at the expense of the state task (№АААА-А17-117041910172-4).

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Данилов Ф. А. Проблемы сохранения видового разнообразия млекопитающих Восточного Саяна / Ф. А. Данилов, В. А. Преловский // Географические основы и экологические принципы региональной политики природопользования: Мат-лы научно-практич. конф. – Иркутск: ИГ СО РАН, 2019. – С 423-425.
2. Кулик И. Л. Особенности распространения таёжных млекопитающих Евразии / И. Л. Кулик // Бюллетень МОИП. отд. Биологический. – 1973. – № 2. – С. 38-46.
3. Кулик И. Л. Таёжный фаунистический комплекс млекопитающих Евразии / И. Л. Кулик // Бюллетень МОИП. отд. Биологический. – 1972. – № 4. – С. 11-24.
4. Лямкин В. Ф. Экология и зоогеография млекопитающих межгорных котловин байкальской рифтовой зоны / В. Ф. Лямкин. – Иркутск: ИГ СО РАН, 2002. – 133 с.
5. Малышев Л. И. Высокогорная флора Восточного Саяна / Л. И. Малышев. – М.: Л: Наука, 1965. – 367 с.
6. Матюшкин Е. Н. Смешанность териофауны Уссурийского края: ее общие черты, исторические корни и современные проявления в сообществах среднего Сихотэ-Алиня / Е. Н. Матюшкин // Исследования по фауне Советского Союза (млекопитающие). – Т. 13. – М.: МГУ, 1972. – С. 86-144.
7. Нестеренко В. А. Насекомоядные юга Дальнего Востока / В. А. Нестеренко. – Владивосток: Дальнаука, 1999. – 172 с.
8. Ревин Ю. В. Млекопитающие Южной Якутии / Ю. В. Ревин. – Новосибирск: Наука, 1989. – 320 с.
9. Саяны // Горная Энциклопедия. – Т. 4. – Ортин-Социосфера. – М. Изд-во Советская энциклопедия, 1989. – С. 459-462.
10. Шварц Е. А. Формирование фауны мелких грызунов и насекомоядных таежной Евразии / Е. А. Шварц // Фауна и экология грызунов. – 1989. – Вып. 17. – С. 115-143.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Danilov F. A. Problemy sokhraneniya vidovogo raznoobraziya mlekopitayushchikh Vostochnogo Sayana [Problems of preserving the species diversity of mammals in the Eastern Sayan] / F. A. Danilov, V. A. Prelovsky // Geograficheskiye osnovy i ekologicheskiye printsipy regional'noy politiki prirodopol'zovaniya: Materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Geographic bases and ecological principles of regional policy of nature management: Materials of scientific-practical conference] – Irkutsk, 2019. – Pp. 423–425. [in Russian]
2. Kulik I. L. Osobennosti rasprostraneniya tayozhnykh mlekopitayushchikh Yevrazii [Peculiarities of distribution of taiga mammals in Eurasia] / I. L. Kulik // Byulleten' MOIP. otd. Biologicheskij. [Bulletin MOIP. dep. Biological]. – 1973. – № 2. – Pp. 38–46. [in Russian]
3. Kulik I. L. Tayozhnyy faunisticheskiy kompleks mlekopitayushchikh Yevrazii [Taiga faunistic complex of mammals of Eurasia] / I. L. Kulik // Byulleten' MOIP. otd. Biologicheskij. [Bulletin MOIP. dep. Biological]. – 1972. – № 4. – Pp. 11–24. [in Russian]
4. Lyamkin V. F. Jekologiya i zoogeografija mlekopitajushhih mezhgornyh kotlovin bajkal'skoj riftovoj zony [Ecology and zoogeography of mammals in the intermountain basins of the Baikal rift zone] / V. F. Lyamkin. – Irkutsk: IG SO RAN, 2002. – 133 p. [in Russian]
5. Malyshev L. I. Vysokogornaja flora Vostochnogo Sajana [High-Mountain flora of the Eastern Sayan] / L. I. Malyshev. – M.; L: Nauka, 1965. – 367 p. [in Russian]
6. Matyushkin E. N. Smeshannost' teriofauny Ussurijskogo kraja: ee obshhie cherty, istoricheskie korni i sovremennyye proyavleniya v soobshhestvakh srednego Sihote-Alinja [Mixed teriofauna of the Ussuri region: its General features, historical roots and modern manifestations in the communities of the middle Sikhote-Alin] / E. N. Matyushkin // Issledovaniya po faune Sovetskogo Sojuza (mlekopitajushhie) [Research on the fauna of the Soviet Union (mammals)]. – Vol. 13. – M.: MGU, 1972. – Pp. 86-144. [in Russian]
7. Nesterenko V. A. Nasekomoyadnyye yuga Dal'nego Vostoka [Insectivores of the South of the Far East] / V. A. . Nesterenko–Vladivostok: Dalnauka, 1999. – 172 p. [in Russian]
8. Revin Yu. V. Mlekopitayushchiye Yuzhnoy Yakutii [Mammals of South Yakutia] / Yu. V. Revin. – Novosibirsk: Nauka, 1989. – 320 p. [in Russian]
9. Sajany [Sayany] // Gornaja Jenciklopediya [The Mountain Encyclopedia]. – Vol. 4. – Oртin-Sociosfera [Ortin-Sociosphere]. – M. Publishing house Sovetskaja jenciklopediya, 1989. – Pp. 459-462. [in Russian]
10. Shvarts E. A. Formirovaniye fauny melkikh gryzunov i nasekomoyadnykh tayezhnoy Yevrazii [Formation of the fauna of small rodents and insectivores in taiga Eurasia] / E. A. Shvarts // Fauna i ekologiya gryzunov [Fauna and ecology of rodents]. – 1989. – Vol. 17. – Pp. 115–143. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.103.2.020>**НОВЫЕ ДАННЫЕ U-PB ДАТИРОВАНИЯ ЦИРКОНОВ МАГМАТИЧЕСКИХ И МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПОРОД КУРАЙСКОГО ХРЕБТА (ГОРНЫЙ АЛТАЙ)**

Научная статья

Фидлер М.А.^{1,*}, Семенова Д.В.²¹ ORCID: 0000-0002-2608-683X;^{1,2} Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия;^{1,2} Казанский федеральный университет, Казань, Россия

* Корреспондирующий автор (fidler.marina[at]gmail.com)

Аннотация

В осевой части Курайского хребта широко распространены метаморфические породы курайского комплекса, которые залегают в форме тектонических пластин, разделенных зонами метаморфических сланцев и милонитов. Гранитоиды, встречающиеся в поле распространения пород курайского комплекса, традиционно интерпретировались как продукты ультраметаморфизма – анатектического плавления, приуроченные к центральным частям гранито-гнейсовых куполов. Нами датированы U-Pb LA-ICP-MS методом цирконы из образцов граносиенита, кварцевого диорита и из двух образцов гранито-гнейсов курайского комплекса. Результаты показали, что граносиениты и диориты одновозрастны (440.3 ± 7.3 и 449.1 ± 1.4 млн л.) и, предположительно, являются разными фазами позднеордовикского магматического комплекса. Цирконы из гранито-гнейсов курайского комплекса имеют аналогичные возрасты 445.0 ± 13.0 и 444.6 ± 9.9 млн лет по ядрам, а также метаморфические каймы 367.8 ± 2.3 млн лет. Вероятно, позднеордовикские интрузии в результате позднедевонского метаморфизма превратились в гранито-гнейсы.

Ключевые слова: геохронология, метаморфический комплекс, гранито-гнейсы, Горный Алтай, цирконы.**NEW DATA ON THE U-PB DATING OF ZIRCONS OF IGNEOUS AND METAMORPHIC ROCKS OF THE KURAY MOUNTAINS IN THE ALTAI REPUBLIC**

Research article

Fidler M.A.^{1,*}, Semenova D.V.²¹ ORCID: 0000-0002-2608-683X,^{1,2} V. S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia;^{1,2} Kazan Federal University, Kazan, Russia

* Corresponding author (fidler.marina[at]gmail.com)

Abstract

In the axial region of the Kuray mountain range, metamorphic rocks of the Kuray assemblage are widely common. They rest in the form of tectonic plates separated by zones of metamorphic shale rocks and mylonites. The granitoids found in the field of distribution of rocks of the Kuray assemblage were traditionally interpreted as products of ultrametamorphism, an anatectic melting confined to the central parts of granite-gneiss domes. The authors of the study have dated zircons from the samples of granosyenite, quartz diorite, and from two samples of granite-gneisses of the Kuray assemblage using the U-Pb LA-ICP-MS method. The results demonstrate that granosyenites and diorites are of the same age (440.3 ± 7.3 and 449.1 ± 1.4 Ma) and are presumably different phases of the Late Ordovician igneous complex. The zircons from the granite-gneisses of the Kuray assemblage have similar ages of 445.0 ± 13.0 and 444.6 ± 9.9 Ma based on the cores, as well as the metamorphic rims of 367.8 ± 2.3 Ma. Presumably, the Late Ordovician intrusions have turned into granite-gneisses as a result of the Late Devonian metamorphism.

Keywords: geochronology, metamorphic complex of granite-gneiss, the Altai mountains, zircons.**Краткая геологическая характеристика**

Курайский хребет расположен на юго-востоке Горного Алтая. В пределах его сложная сдвигово-надвиговая зона, сформированная в результате многофазной тектонической активности, включает крупные тектонические пластины, чешуйчатые структуры, милонитовые и меланжевые зоны [1], [2]. Значительную часть структуры составляют метаморфические породы курайского комплекса, представленные биотитовыми и гранат-биотитовыми гнейсами и сланцами, гранито-гнейсами, в меньшей степени амфибол-биотитовыми сланцами и амфиболитами.

Первоначально породы курайского комплекса в силу высокой степени метаморфизма были отнесены к докембрию. В 1952 г. В.А. Кузнецов опубликовал вывод о том, что сланцы и гнейсы Курайского хребта являются продуктом метаморфизма песчано-сланцевых толщ нижнего палеозоя, и соотнес этот метаморфизм с раннекаледонским этапом тектогенеза. К таким же выводам пришли А.Н. Кононов (1961) и А.Б. Дергунов (1965) [3]. Однако в работе А.Б. Дергунова курайский комплекс снова рассматривается как наиболее древние породы Горного Алтая и описывается в составе трех свит (тонгулакская, ильдугемская и корумбы-айринская).

В последние два десятилетия исследования на основе геохронологических данных показали средне- и позднепалеозойский возраст метаморфизма пород Курайского комплекса [1], [2], [7].

В работах [5], [7] выделяется первый этап метаморфизма на рубеже ордовика и силура (444 млн. лет) на основе U-Pb датирования цирконов из гранито-гнейсов курайского комплекса. Однако обоснование метаморфизма на этом возрастном уровне в данных работах отсутствует, к тому же во второй работе датировка получена по восьми магматическим зернам циркона [7].

В этой же статье также приведены U-Pb возраста (SHRIMP-II) единичных метаморфогенных цирконов из биотитового гнейса курайского комплекса: $443,8 \pm 9,5$ (одно зерно), $422,9 \pm 9,1$ (еще одно зерно) и $380,1 \pm 7,4$ млн. лет (4 зерна) [7]. Ag-Ag возраста амфиболов и слюды из гнейсов, метаморфических сланцев и амфиболитов формируют широкий интервал 425–322 млн лет [2], [4], [6].

Согласно геохимическим данным, курайский метаморфический комплекс представляет собой продукт преобразования пород различной природы и состава (океанические базальты, глиноземистые и вулканомиктовые осадки), которые рассматриваются как «фрагмент среднекембрийско–раннеордовикского турбидитового бассейна и его океанического основания» [8]. В ходе нашего исследования было установлено, что одним из протолитов пород курайского метаморфического комплекса выступили позднеордовикские интрузии.

В Казанском Федеральном Университете нами были датированы цирконы из четырех образцов: кварцевых диоритов (обр. К-19-03), граносиенитов (обр. К-19-08) и гранито-гнейсов курайского комплекса (обр. Б-18-32 и Б-19-622).

Образец кварцевого диорита К-19-03 и граносиенита К-19-08 отобраны из скальных обнажений левого борта р. Нижний Ильдугем и водораздельной части Курайского хребта, соответственно. Изучаемые магматические породы залегают в форме небольших (порядка ста метров) тектонических пластин, разделенных сланцевыми зонами. Вероятно, они представляют собой фрагменты тел, сохранившие в центральных частях пластин магматический облик, в то время как в краевых частях породы деформированы и рассланцованы. Окружающие породы представлены преимущественно биотитовыми и амфиболовыми сланцами и бластомилонитами курайского комплекса.

На ГГК–1000 [9] гранитные тела относятся к кубадринскому комплексу, возраст которого был принят как нижне-средне девонский на основе сходства состава и геологической позиции массивов с джойским комплексом Западного Саяна. Кроме того, по цирконам петротипического Кубадринского массива был получен U-Pb возраст по навескам циркона (ID TIMS) $373,3 \pm 6,5$ млн. лет [9]. Для кварцевых диоритов из долины р. Нижний Ильдугем Ag-Ag методом получен возраст $381,3 \pm 4,4$ (амфибол) и $341,9 \pm 3,9$ (биотит) млн лет [4].

Гранито-гнейсы слагают протяженные тектонические пластины в осевой части Курайского хребта. Другие тектонические пластины сложены преимущественно биотитовыми, гранат-биотитовыми сланцами, амфиболитами курайского комплекса. Образец Б-18-32 отобран в верховьях р. Курайка, образец Б-19-622 в верховьях руч. Карасубажи.

Степень обнаженности в районе исследований разная. Осевая часть хребта, представляющая собой пенеплен, лишена растительности, но покрыта крупноглыбовым курумником. Коренные обнажения обычно приурочены к бровкам и бортам долин. В верховьях рек заросли карликовой березы, альпийские луга и степная растительность. Лесная зона начинается ниже 2300 м н.у.м. В некоторых долинах моренные отложения. Сильно расчлененный рельеф и скальный характер обнажений затрудняют прослеживание геологических тел по латерали.

Методика датирования

Выделение мономинеральной фракции цирконов проводилось стандартными методами с использованием магнитной сепарации и тяжелых жидкостей в Центре многоэлементных и изотопных исследований СО РАН (Институт геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск). Отдельные зерна цирконов выделялись из тяжелой фракции с помощью бинокуляра ZEISS Stemi DV4. Катодолюминесцентные изображения (CL) минералов получены с помощью сканирующего электронного микроскопа с системой катодолюминесценции LEO-1430 в ИГМ СО РАН.

U-Pb датирование цирконов выполнено в Центре Геотермохронологии Института геологии и нефтегазовых технологий Казанского (Приволжского) федерального университета на квадрупольном масс-спектрометре с ионизацией в индуктивно-связанной плазме ThermoScientific iCAP Q, соединенным с системой лазерной абляции NWR213 (ESI). Параметры измерения масс-спектрометра оптимизировали для получения максимальной интенсивности сигнала ^{208}Pb при минимальном значении $^{248}\text{ThO}^+ / ^{232}\text{Th}^+$ (менее 1%), используя стандарт NIST SRM612. Все измерения выполняли по массам ^{202}Hg , $^{204}(\text{Pb}+\text{Hg})$, ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb , ^{232}Th , ^{238}U . Диаметр лазерного луча составлял 30 мкм, частота повторения импульсов 5 Hz и плотность энергии лазерного излучения 3.0–3.5 Дж/см². В качестве стандартных образцов цирконов использовались международные эталонные образцы цирконов: 91500 – внешний стандарт (1064 млн лет, [11]) и Plešovice – контрольный образец (337 млн лет, [12]).

Данные масс-спектрометрических измерений обрабатывали с помощью программы Iolite 3.65 встроенной в Igor Pro [13]. Погрешности вычисленных возрастов приведены на уровне 2σ. Расчет средневзвешенных значений возраста по изотопным отношениям, построение диаграммы с конкордией выполнялось в Microsoft Excel со встроенным пакетом Isoplot [14].

Характеристика цирконов и результаты датирования

В кварцевых диоритах (обр. К-19-03) многочисленные цирконы не окатанные, крупные, однотипные, внутренняя структура на катодолюминесцентных снимках полосчатая и секториальная, ядра отсутствуют. Th/U соотношение лежит в интервале 0.47–0.85. Безусловно, описанные характеристики присущи цирконам магматического генеза. Конкордантный возраст по 50 зернам составляет 449.1 ± 1.4 (2σ) млн лет (СКВО = 0.024), что соответствует возрасту кристаллизации магматической породы.

Большинство зерен цирконов из граносиенитов (образец К-19-08) характеризуются осцилляторной зональностью и темным (в CL) свечением. Несколько зерен (6 шт.) подобны цирконам из диорита – крупные, на CL снимках яркие, с полосчатой или секториальной зональностью. Оба типа цирконов по внутреннему строению магматического генезиса, Th/U соотношение лежит в интервале 0.31–0.86. Было проанализировано 74 зерна, из них по 71 зерну получен возраст 440.3 ± 7.3 млн лет (2σ, СКВО = 5,5, пересечение с дискордией).

В гранито-гнейсах курайского метаморфического комплекса обнаружены цирконы с магматическими ядрами также позднеордовикского возраста. Образец Б-18-32 отобран в долине р. Курайка из гранито-гнейсовой тектонической пластины, претерпевшей по краям раннекарбоновые деформации и метаморфизм регрессивной стадии, с

формированием слюдистых милонитов и бластомилонитов [15]. Цирконы в гранито-гнейсах представлены в виде неокатанных, часто трещиноватых кристаллов, характеризующихся выраженной зональностью, метамиктными участками. Для некоторых зерен характерно наличие метаморфической каймы, темной в CL. Датировано 47 точек, из которых по 42 точкам получен возраст магматических ядер 445.0 ± 13.0 млн. лет (2σ , СКВО = 2,3, пересечение с дискордией. Th/U 0.26 ± 1.02). Метаморфические каймы не удалось датировать вследствие их малых размеров по сравнению с диаметром лазерного пятна.

Для цирконов из тектонической пластины гранито-гнейсов в долине реки Карасубажи также характерно наличие магматических ядер и метаморфической каймы, для которых Th/U соотношение лежит в интервалах 0.26–0.80 и 0.02–0.05 соответственно. Из образца Б-19-622 выделено 70 цирконов, датировано 57 точек. Получены дискордантные значения возраста 444.6 ± 9.9 для магматических ядер (23 точки абляции, СКВО = 2.3) и 367.8 ± 2.3 млн лет для метаморфических кайм (14 точек абляции, СКВО = 2.7).

Обсуждение и выводы

Датирование цирконов из кварцевых диоритов и граносиенитов, залегающих в тектонических пластинах среди пород курайского метаморфического комплекса, дало значения возраста границы ордовика и силура, 449.1 ± 1.4 и 440.3 ± 7.3 млн лет соответственно. Th/U соотношение, внутреннее строение цирконов и отсутствие окатанности свидетельствует об их магматическом генезисе.

Аналогичные возрасты 445.0 ± 13.0 и 444.6 ± 9.9 млн лет были получены по ядрам цирконов из двух образцов гранито-гнейсов. Возраст метаморфизма определен по каймам в цирконах как позднедевонский (367.8 ± 2.3 млн лет), что согласуется с Ar-Ar датировками метаморфических пород [2], [6]. Также позднедевонское метаморфическое событие зафиксировано по каймам четырех зерен циркона из гнейсов [7].

В первом разделе статьи упоминались две уран-свинцовые датировки рубежа ордовика и силура, полученные ранее по цирконам из гранито-гнейсов Куркуреского массива: 444 ± 17 млн лет по навескам [5] и 444 ± 10 млн лет методом SHRIMP-II по восьми магматическим зернам [7]. Авторы этих двух статей считают полученную дату возрастом метаморфизма, поскольку поддерживают точку зрения, что гранито-гнейсы образовались в результате ультраметаморфизма. Однако оснований у такой точки зрения, на наш взгляд, недостаточно. Наличие метаморфических образований такого возраста мы считаем дискуссионным вопросом.

Мы предполагаем, что датированные магматические породы могут являться разными фазами позднеордовикского магматического комплекса, ранее не выделявшегося в районе исследований. В результате позднедевонского метаморфизма эти породы были превращены в гранито-гнейсы курайского метаморфического комплекса.

Заметим, что в случае палингенного генезиса магматических пород отнесение их к курайскому метаморфическому комплексу выглядит логичным. Однако с учётом данных о позднеордовикском возрасте кристаллизации и позднедевонском возрасте метаморфизма этих пород логичнее рассматривать их в качестве протолитов курайского комплекса.

В статье [16] гранитоиды возрастной группы 470–450 млн лет, распространенные в уймонской и телецкой зонах, относятся к единой окраине Алтае-Монгольского террейна, разобщённой в результате позднепалеозойской коллизионной тектоники. Данные интрузии формировались в окраинно-континентальных условиях при амальгамации Палео-Казахстанского континента. Датированные нами гранитоиды Курайского хребта по геодинамической позиции, вероятно, также относятся к Алтае-Монгольскому террейну.

Финансирование

Исследование выполнено в рамках планов НИР ИГМ СО РАН, при поддержке гранта РФФИ ГФЕН_a № 19-55-53011 и правительства РФ (проект № 14.Y26.31.0029).

Funding

The study was carried out within the framework of the research plans of the IGM SB RAS, with the support of the RFBR GFEN_a grant No. 19-55-53011 and the Government of the Russian Federation (project No. 14.Y26.31.0029).

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Буслов М.М. Тектонические покровы Горного Алтая / М.М. Буслов. Тр. ОИГТМ СО РАН .Наука. Сиб. отд-ние, Новосибирск, 1992. – 96с.
2. Буслов М.М. Тектоника и геодинамика Горного Алтая и сопредельных структур Алтае-Саянской складчатой области / М.М. Буслов, Х. Джен, А.В. Травин и др. // Геология и геофизика – 2013. – 54 (10). – С. 1600–1628.
3. Родыгин А.И. Докембрий Горного Алтая (Курайский метаморфический комплекс) / А.И. Родыгин – Томск: ТГУ, 1968. – 238 с.
4. Куйбида Я.В. Основные рубежи тектонической эволюции Курайского блока в раннем-среднем палеозое (Горный Алтай) / Я.В. Куйбида, В.Г. Владимиров, Н.Н. Крук и др. // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): материалы VII совещания 11-14 октября 2009 г., Иркутск / Изд-во Ин-та географии СО РАН – 2009 – вып. 7. – Т. 1. – С. 159–161.
5. Крук Н.Н. Природа метаморфических комплексов Горного Алтая / Н.Н. Крук, Н.И. Волкова, Я.В. Куйбида и др. // Литосфера – 2013. – № 2. – С. 20–44.
6. Буслов М.М. Роль сдвигов в позднепалеозойско-раннемезозойской тектонике и геодинамике Алтае-Саянской и Восточно-Казахстанской складчатых областей / М.М. Буслов, Т. Ватанабе, Л.В. Смирнова и др. // Геология и геофизика – 2003. – Т. 44. – № 1-2. – С. 49–75.

7. Гусев Н.И. Возраст метаморфических комплексов юго-востока Горного Алтая / Н.И. Гусев, С.П. Шокальский // Геология и минеральные ресурсы Горного Алтая – 2010. – № 3. – С. 72–80.
8. Куйбида Я.В. Геохимия метаморфических пород Курайского блока (Горный Алтай) / Я.В. Куйбида, Н.Н. Крук, Н.И. Гусев и др. // Геология и геофизика – 2014. – Т. 55. – № 4. – С. 411–427
9. Федак С. И. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Алтай-Саянская. Лист М-45 – Горно-Алтайск. Объяснительная записка. / С.И. Федак, Ю.А. Туркин, А.И. Гусев и др. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2011. – 567 с.
10. Крук Н.Н. Внутреннее строение, геодинамическая позиция и U-Pb изотопный возраст Кубадринского гранитоидного батолита (Горный Алтай) / Н.Н. Крук, А.Г. Владимиров, С.Н. Руднев и др. // Геология и геофизика, 2004, т. 45 (6), с. 688–702.
11. Wiedenbeck M. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses / M. Wiedenbeck, P. Alle, F. Corfu and others // Geostandards Newslett. – 1995. – V. 19. – № 1. – Pp. 1–23.
12. Slama J. Plesovice zircon - a new natural reference material for U-Pb and Hf isotopic microanalysis. / J. Slama, J. Kosler, D.J. Condon and others // Chemical Geology. – 2008. – V. 249. – Pp. 1–35. DOI:10.1016/j.chemgeo.2007.11.005
13. Paton C. Improved laser ablation U-Pb zircon geochronology through robust down-hole fractionation correction / C. Paton, J. Woodhead, J. Hellstrom and others // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. – 2010, 11(3). – pp. 1–36. DOI:10.1029/2009GC002618
14. Ludwing K.R. User's Manual for Isoplot 3.00. A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel / K.R. Ludwing, vol. 4, Berkeley Geochronology Center, Berkeley, CA, 2003 – 75 p.
15. Абилдаева М.А. Позднепалеозойские деформации пород Курайского блока: структурно-кинематический анализ (верховья реки Курайка, Горный Алтай) / М.А. Абилдаева, С.В. Зиновьев, М.М. Буслов // Геодинамика и тектонофизика. – 2019. – Т. 10. – № 4. – С. 937–943. DOI: 10.5800/GT-2019-10-4-0450
16. Glorie S. Formation and Palaeozoic evolution of the Gorny-Altai—Altai-Mongolia suture zone (Siberia): zircon U/Pb constraints on its igneous record / S. Glorie, J. De Grave, M.M. Buslov and others // Gondwana Research – 2011. – V. 20. – P. 465–484. DOI: 10.1016/j.gr.2011.03.003

Список литературы на английском языке / References in English

1. Buslov M.M. Tektonicheskiye pokrovy Gornogo Altaya [Tectonic covers of Gorny Altai] / M.M. Buslov- IGGM SB RAS. Science. Sib. branch, Novosibirsk, 1992.- 96p. [in Russian].
2. Buslov M.M. Tektonika i geodinamika Gornogo Altaja i sopredel'nyh struktur Altaj-Sajanskoy skladchatoy oblasti [Tectonics and geodynamics of Gorny Altai and adjacent structures of the Altai-Sayan folded area] / Buslov M.M., Geng H., Travin A.V. and others // Geologiya i geofizika [Russian Geology and Geophysics]. – 2013. – V.54. – №10. – pp. 1250–1271. [in Russian]
3. Rodygin A.I. Dokembrij Gornogo Altaja (Kurajskij metamorficheskij kompleks) [The Precambrian of Gorny Altai (Kuraj Metamorphic Complex)] / A.I. Rodygin – Tomsk: Tomsk State University, 1968. – 238 p. [in Russian].
4. Kuibida Ya.V. Osnovnye rubezhi tektonicheskoy evolyutsii Kurayskogo bloka v rannem – srednem paleozoe (Gornyy Altay) The main stages of the tectonic evolution of the Kurai block in the Early – Middle Paleozoic (Gorny Altai)] / Y.V. Kuibida, V.G. Vladimirov, N.N. Kruk and others // Geodinamicheskaya evolyutsiya litosfery Tsentral'no-Aziatskogo podvizhnogo poyasa (ot okeana k kontinentu). [Geodynamic evolution of the lithosphere of the Central Asian orogenic belt: from ocean to continent] Issue 7. Irkutsk: «IZK SO RAN», 2009. V. 1. – pp. 159–161. [in Russian]
5. Kruk N.N. Priroda metamorficheskikh kompleksov Gornogo Altaya [Nature of metamorphic complexes of the Gorny Altai] / N.N. Kruk, N.I. Volkova, Y.V. Kuibida and others // Litosfera [Lithosphere]. – 2013. – №2. – Pp. 20–44. [in Russian]
6. Buslov M.M. Rol' sdvigo v pozdnepaleozojsko-rannemezozojской tektonike i geodinamike Altaj-Sajanskoy i Vostochno-Kazhastanskoy skladchatykh oblastej [Role of strike-slip faulting in Late Paleozoic-Early Mesozoic tectonics and geodynamics of the Altai-Sayan and East Kazakhstan regions] / M.M. Buslov, T. Watanabe, L.V. Smirnova and others // Geologiya i Geofizika. – 2003. – V.44. – №1–2. – pp. 49–75. [in Russian]
7. Gusev N.I. Vozrast metamorficheskikh kompleksov yugo-vostoka Gornogo Altaya [The age of metamorphic complexes in southeastern Gorny Altai] / N.I. Gusev, S.P. Shokalsky // Geologiya i mineral'nye resursy Gornogo Altaya. 2010. № 3. pp. 72–80. [in Russian]
8. Kuibida Y.V. Geohimija metamorficheskikh porod Kurajskogo bloka (Gornyy Altaj) [Geochemistry of metamorphic rocks of the Kurai block (Gorny Altai)] / Y.V. Kuibida, N.N. Kruk, N.I. Gusev and others // Geologiya i geofizika [Russian Geology and Geophysics]. – 2014. – V. 55. – №4. – Pp. 411–427. [in Russian]
9. Fedak S. I. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1 : 1 000 000 (tret'e pokolenie). Seriya Altaj-Sajanskaja. List M45 – Gorno-Altajsk. Objasnitel'naja zapiska [State geological map of the Russian Federation. Scale 1: 1,000,000 (third generation). Altai-Sayan series. Sheet M45 – Gorno-Altaysk. Explanatory note] / S.I. Fedak, Ju.A. Turkin, A.I. Gusev and others. – SPb.: Kartograficheskaja fabrika VSEGEI [VSEGEI Cartographic Factory], 2011. – 567 p. [in Russian]
10. Kruk N.N. Vnutrennee stroenie, geodinamicheskaja pozicija i U-Pb izotopnyj vozrast Kubadrinskogo granitoidnogo batolita (Gornyy Altaj) [Internal structure, geodynamic position and U-Pb isotopic age of the Kubadrinsky granitoid batholith (Gorny Altai)] / N.N. Kruk, A.G. Vladimirov, S.N. Rudnev and others // Geologiya i Geofizika. – 2004. – V. 45. – №6 – pp. 688–702. [in Russian]
11. Wiedenbeck M. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses / M. Wiedenbeck, P. Alle, F. Corfu and others // Geostandards Newslett. – 1995. – V. 19. – № 1. – Pp. 1–23.
12. Slama J. Plesovice zircon - a new natural reference material for U-Pb and Hf isotopic microanalysis. / J. Slama, J. Kosler, D.J. Condon and others // Chemical Geology. – 2008. – V. 249. – Pp. 1–35. DOI:10.1016/j.chemgeo.2007.11.005
13. Paton C. Improved laser ablation U-Pb zircon geochronology through robust down-hole fractionation correction / C. Paton, J. Woodhead, J. Hellstrom and others // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. – 2010, 11(3). – pp. 1–36. DOI:10.1029/2009GC002618
14. Ludwing K.R. User's Manual for Isoplot 3.00. A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel, vol. 4, Berkeley Geochronology Center, Berkeley, CA, 2003 – 75 p.
15. Abildaeva M.A. Pozdnepaleozojskie deformacii porod Kurajskogo bloka: strukturno-kinematičeskij analiz (verhov'ja reki Kurajka, Gornyy Altaj) [Late Paleozoic rock deformation of the Kurai block: structural-kinematic analysis (upper Kurajka river, Gorny Altai, Russia)] / M.A. Abildaeva, S.V. Zinoviev, M.M. Buslov // Geodinamika i tektonofizika [Geodynamics & Tectonophysics] – 2019. – V.10. – №4. – P. 937–943. DOI: 10.5800/GT-2019-10-4-0450 [in Russian]
16. Glorie S. Formation and Palaeozoic evolution of the Gorny-Altai—Altai-Mongolia suture zone (Siberia): zircon U/Pb constraints on its igneous record / S. Glorie, J. De Grave, M.M. Buslov and others // Gondwana Research – 2011. – V. 20. – P. 465–484. DOI: 10.1016/j.gr.2011.03.003

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.103.2.022>**ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ОСНОВНЫХ РЕК БАСЕЙНА ТЕРЕК СОЕДИНЕНИЯМИ АЗОТА
ЗА ПЕРИОД С 2017 ПО 2019 ГОД**

Научная статья

Жинжакова Л.З.^{1,*}, Чередник Е.А.²¹ ORCID: 0000-0003-2226-1001;² ORCID: 0000-0003-0432-0653;^{1,2} Высокогорный геофизический институт, Нальчик, Россия

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

Аннотация

В результате мониторинговых исследований получены данные о составе вод основных рек бассейна Терек за 2017-2019 годы. Рассмотрена сезонная динамика концентраций неорганических соединений азота (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+) в водах рек Малка, Баксан, Урух, Терек. В последние годы в связи с изменяющимся климатом происходит изменение состава вод, что становится актуальной задачей современности. При анализе речных вод были использованы потенциометрический метод и метод ионной хроматографии. Изучен состав речных вод бассейна Терек по содержанию неорганических соединений азота в среднем и нижнем течении рек, сформированный под влиянием природных и антропогенных источников поступления NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , сопоставление полученных данных с ранее опубликованными выявило, что за последние годы состав вод изменился. Выполнены статистическая обработка и сравнение данных прошлых лет с данными 2017-2019 годов по содержанию неорганических соединений азота. Выявлены главные компоненты загрязнения рек. Проведена оценка загрязненности нитрит-ионами и ионами аммония вод рек Малка, Баксан, Урух, Терек.

Ключевые слова: экология, мониторинг, загрязнение, речные воды, концентрация, неорганические соединения азота.

**AN ASSESSMENT OF THE POLLUTION OF MAIN RIVERS OF THE TEREK BASIN
WITH NITROGEN COMPOUNDS FROM 2017 TO 2019**

Research article

Zhinzhakova L.Z.^{1,*}, Cherednik E.A.²¹ ORCID: 0000-0003-2226-1001;² ORCID: 0000-0003-0432-0653;^{1,2} High-Mountain Geophysical Institute, Nalchik, Russia

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

Abstract

The current article contains data on the water composition of the main rivers of the Terek basin for 2017-2019 obtained as a result of monitoring studies. The study examines the seasonal dynamics of the concentrations of inorganic nitrogen compounds (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+) in the water of the rivers Malka, Baksan, Uruk, and Terek. In recent years, due to the changing climate, there has been a change in the composition of water, which is becoming an urgent issue of the present time. In the analysis of river waters, the study utilizes the potentiometric method and the ion chromatography method. The study examines the composition of river waters of the Terek basin on the content of inorganic nitrogen compounds in the middle and lower reaches of rivers formed under the influence of natural and anthropogenic sources of NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ . A comparison with previously published data reveals that in recent years the composition of the water has changed. The research conducts statistical processing and comparison of the data on the content of inorganic nitrogen compounds from previous years with the data from 2017-2019. and identifies the main components of river pollution. The assessment of contamination with nitrite-ions and ammonium ions in the waters of the Malka, Baksan, Uruk, and Terek rivers was carried out.

Keywords: Ecology, monitoring, pollution, river water, concentration, inorganic nitrogen compounds.

Введение

Изменение климата за счет резких колебаний температуры вызывает изменение в частоте и количестве выпадающих осадков, усиливает таяние ледников и сезонного снега, из которых формируются основные водные артерии Центрального Кавказа, оказывая совместное влияние на общий сток рек [1], [3].

На территории Кабардино-Балкарской республики наблюдаются сильные половодья, наводнения, сход лавин, сброс в русла рек недостаточно очищенных сточных вод предприятиями. Загрязнение русел и пойм рек бытовыми отходами и отходами сельскохозяйственных предприятий может привести к разнообразным экологическим последствиям, связанным с эрозийно-аккумулятивными процессами, влияющими на изменение химического состава и ухудшение качества речных вод, используемых в различных целях.

Сохранение водных экосистем и наблюдение за возникающими экологическими проблемами является одной из важных задач XXI века, когда вода становится одним из ценных и дорогих продуктов для всего живого на нашей Земле. На основании многолетних наблюдений за содержанием соединений азота в речной воде установлен состав и уровень загрязнения основных рек бассейна реки Терек [4].

Целью исследования является продолжение мониторинга за содержанием соединений азота и их соотношением в водах рек Малка, Баксан, Урух и Терек с разным уровнем антропогенной нагрузки в условиях изменяющегося климата, когда наиболее вероятным источником поступления минеральных форм азота в воду рек являются смывы бытовых

свалок, промышленные стоки с предприятий пищевой промышленности, АЗС и фермерских хозяйств, поскольку биогенные соединения являются показателем эвтрофирования вод. Содержание нитратов, нитритов и аммония является важным показателем химического состава вод рек, вода которых используются при проведении экологической оценки и нормировании качества природных вод [5]. Выполненная работа является продолжением многолетнего мониторинга рек Центрального Кавказа.

Методы и принципы исследования

Определение загрязняющих компонентов проводится сотрудниками аккредитованной лаборатории аналитической химии в Высокогорном геофизическом институте более 15 лет [4]. Результаты уровней загрязнения речных вод отображены в опубликованных работах [6], [7], [9].

Отбор проб речных вод проводили в зимнюю межень и летнее половодье по руководству для поверхностных вод суши (РД 52.24.353-2012). Пункты отбора располагались в предгорной и равнинной территории республики. Для определения нитратов была применена прямая потенциометрия с использованием свойств нитратных ион-селективных электродов с твердой мембраной. В качестве электрода сравнения использовался хлоридсеребряный электрод (РД 52.24.367-2010). Ионы нитритов и аммония определялись методом ионной хроматографии (ФР.1.31.2005.01724, ФР.1.31.2005.01738). Дана оценка загрязненности основных рек бассейна Терека по содержанию ионов нитратов, нитритов и аммония в основные фазы гидрологического режима с использованием аттестованных методик, представлены результаты измерений за трехлетний период исследований. Отмечена межгодовая и межсезонная изменчивость их содержания.

Основные результаты

Об уровнях концентраций NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ свидетельствуют данные, представленные в [10]. Концентрация NO_2^- в водах рек в зимнюю межень и летнее половодье изменялась в пределах 0,001-0,360 и 0,002-0,110 мг/дм³, по NO_3^- – 2,60-24,80 и 1,91-9,70 мг/дм³, по NH_4^+ – 0,04-1,56 и 0,10-0,86 мг/дм³ соответственно. Воды рек Малка, Баксан и Терек постоянно загрязнены токсикологическими нитритами и аммонием. В зимнюю межень концентрация NO_2^- превышала ПДК [11] в 11 пробах воды, что составило 46% случаев, при этом в 2017 году 5 случаев (1-4,5 ПДК), в 2018 году – 4 случая (1,6-2,4 ПДК), а в 2019 году зафиксировано 2 случая (2,4-3,9 ПДК). В водах летнего половодья отмечался единичный случай превышения норматива, составляя 1,4 ПДК. Высокие концентрации NH_4^+ отмечались в 12 пробах воды (50% случаев), при этом зимой от 1,3 до 3 ПДК, летом 1,2-1,7 ПДК. Концентрация NO_3^- находилась в пределах нормы, повышаясь в зимний период и убывая в период активной вегетации. Максимальная концентрация достигала 24,8 мг/дм³ при норме 40 мг/дм³.

Отметим, что воды реки Урух наиболее свободны от загрязняющих компонентов. Наблюдались лишь 2 случая превышения концентрации NH_4^+ в среднем и нижнем течении в 2017 году и составили 1,7 и 1,4 ПДК соответственно. Рост концентрации NH_4^+ может быть вызван поступлением в русло реки хозяйственно-бытовых сточных вод.

При исследовании воды рек выявлено, что загрязняющими компонентами вод рек Малка, Баксан и Терек являются NO_2^- и NH_4^+ в обе фазы гидрологического режима. По классам качества поверхностных вод суши относятся к «грязным» и «очень грязным» водам.

В 2019 году в большинстве водных объектов наблюдалась тенденция к понижению значений концентраций соединений азота в обе фазы гидрологического режима.

Используя базу данных по мониторингу рек Центрального Кавказа за период 2005-2016 годы, а также данные за период 2017-2019 годы, был проведен сравнительный анализ показателей загрязнения каждой реки в предгорной и равнинной части территории в зимнюю межень и летние дождевые паводки, поскольку он должен наглядно отражать уровень загрязнения рек региона. В таблице представлены значения средних, медианных концентраций неорганических соединений азота и их диапазоны в ледниковых реках Центрального Кавказа соответственно в обе фазы водного режима рек. Здесь в первой строке каждого ингредиента представлены данные за 2005-2016, во второй для сравнения – за 2017-2019 годы.

Таблица 1 – Среднемноголетние данные об уровнях содержания неорганических соединений азота в воде исследуемых рек в основные фазы водного режима

Элемент	Зимняя межень			Дождевой паводок		
	$X_{\text{ср}}$, мг/дм ³	X_{50} , мг/дм ³	$X_{\text{мин}}-X_{\text{макс}}$, мг/дм ³	$X_{\text{ср}}$, мг/дм ³	X_{50} , мг/дм ³	$X_{\text{мин}}-X_{\text{макс}}$, мг/дм ³
р. Малка						
NO_2^-	0,078	0,041	0,001-0,450	0,140	0,082	0,001-0,360
	0,034	0,038	0,005-0,089	0,030	0,024	0,010-0,053
NO_3^-	12,16	9,92	4,65-28,55	9,64	9,36	0,21-18,0
	7,33	5,21	2,17-21,70	1,97	2,67	0,10-3,29
NH_4^+	0,32	0,17	0,01-2,10	0,23	0,13	0,01-0,63
	0,38	0,42	0,01-0,95	0,32	0,25	0,10-0,82

Окончание таблицы 1 – Среднемноголетние данные об уровнях содержания неорганических соединений азота в воде исследуемых рек в основные фазы водного режима

Элемент	Зимняя межень			Дождевой паводок		
	X_{cp} , мг/дм ³	X_{50} , мг/дм ³	$X_{мин}-X_{макс}$, мг/дм ³	X_{cp} , мг/дм ³	X_{50} , мг/дм ³	$X_{мин}-X_{макс}$, мг/дм ³
р. Баксан						
NO ₂ ⁻	0,070	0,041	0,001-0,350	0,100	0,105	0,001-0,190
	0,026	0,020	0,001-0,092	0,026	0,014	0,005-0,066
NO ₃ ⁻	11,84	9,30	4,65-24,80	9,90	9,05	5,41-18,0
	6,56	4,64	2,48-18,60	2,95	2,41	2,18-4,30
NH ₄ ⁺	0,22	0,15	0,01-0,82	0,44	0,35	0,01-1,0
	0,31	0,17	0,01-1,30	0,33	0,21	0,13-0,62
р. Урух						
NO ₂ ⁻	0,013	0,008	0,001-0,043	0,005	0,004	0,001-0,010
	0,013	0,013	0,001-0,034	0,025	0,023	0,003-0,054
NO ₃ ⁻	6,59	5,58	0,01-18,60	10,18	7,40	2,60-24,80
	6,96	3,88	1,70-35,65	3,26	2,73	1,91-5,41
NH ₄ ⁺	0,15	0,10	0,01-0,75	0,12	0,13	0,01-0,22
	0,26	0,22	0,03-0,67	0,40	0,26	0,11-0,86
р. Терек						
NO ₂ ⁻	0,162	0,130	0,020-0,710	0,136	0,165	0,005-0,260
	0,089	0,064	0,024-0,266	0,053	0,049	0,002-0,110
NO ₃ ⁻	10,05	6,67	4,34-24,80	11,70	10,96	9,20-15,0
	6,54	4,46	2,48-24,80	4,64	4,01	2,49-9,70
NH ₄ ⁺	0,74	0,71	0,17-1,62	0,45	0,14	0,01-1,56
	0,42	0,24	0,01-2,13	0,85	0,50	0,28-0,85

Примечание: X_{cp} – средняя арифметическая концентрация загрязняющего вещества за период наблюдения; X_{50} – медиана (варианта), которая делит набор информации на две равные части, ею является такое значение X , которому соответствует вероятность 50%; $X_{мин}$; $X_{макс}$ – самая низкая и самая высокая концентрация загрязняющего ингредиента на водном объекте за период наблюдения.

В результате сравнительного анализа выявлены особенности загрязнения ледниковых рек неорганическими соединениями азота, проведена оценка экологического состояния рек. С 2005 по 2016 годы отмечалась незначительная вариабельность концентраций неорганических соединений азота (NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺). Сезонная динамика соединений азота за 2017-2019 годы носит сложный и нерегулярный характер. Распределение концентраций ионов аммония изменчиво как в зимнюю межень, так и в дождевые паводки. Как видно из представленных данных, концентрации нитрит-ионов и ионов аммония достигали ПДК в обе фазы водного режима. По превышению ПДК однозначно выявляются характерные загрязнители – нитрит-ионы и ионы аммония.

Заключение

Полученные результаты показывают, что для воды рек бассейна Терек в зимнюю межень значения загрязняющих компонентов выше, чем в период максимального таяния ледников и сезонного снега. С изменением климата увеличивается интенсивность таяния ледников и снежников, что приводит к подъему уровня водотоков, вызывающих эрозию почв, оказывая влияние на химический состав поверхностных вод и экологическое состояние речных вод. Определенный вклад вносят атмосферные осадки, которые являются источником загрязнения снегового и почвенного покрова. Реки республики, берущие начало из-под ледников Главного Кавказского хребта, являются важным «сырьем» для поддержания экологического равновесия и питания воды рек равнинной зоны. Для выявления фактического загрязнения необходимо продолжать наблюдения за составом и качеством речных вод, используемых в различных целях. Исследование содержания вредных веществ в водных объектах, в том числе и опасных соединений азота важной составляющей, является одной из важных задач, решению которых способствует дальнейшее проведение мониторинга ледниковых рек Центрального Кавказа.

Не указан.

None declared.

Список литературы / References

1. Аджиева А.А. Изменение климата и гидрометеорологические явления в горных районах Кавказа / А.А. Аджиева, Н.В. Кондратьева // Устойчивое развитие горных территорий. – Владикавказ, 2009. – № 1. – С. 68-72.
2. Ефремов Ю.В. Орография, оледенение, климат Большого Кавказа: опыт комплексной характеристики и взаимосвязей / Ю.В.Ефремов, В.Д.Панов, П.М. Лурье и др. – Краснодар, 2007. – 338 с.
3. Разумов В.В. Экосистемы гор Центрального Кавказа и здоровье человека / В.В. Разумов, Х.А. Курданов, Л.А. Разумова и др. – М.: Илекса, 2003. – 448 с.
4. Чередник Е.А. Многолетние данные состава основных водных артерий и малых рек Центрального Кавказа по физическим и химическим параметрам / Е.А. Чередник, Л.З. Жинжакова, А.С. Отарова. Свидетельство о государственной регистрации базы данных RUS 2019620642 18.04.2019.
5. СанПиН 2.1.4.1175-02. Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников. – Введ. 2003-03-01. – М., 2002. – 20 с.
6. Реутова Т.В. Оценка уровня загрязнения рек Центрального Кавказа по результатам 10-летнего мониторинга / Т.В. Реутова, Т.И. Воробьева, Л.П. Гущина и др. // Бассейн реки Терек: проблемы регулирования, восстановления и реабилитации водных объектов: труды Всерос. науч.-практ. конф. / Западно-Каспийское бассейновое водное управление. Открытое акционерное общество «Севкавгипроводхоз». – Пятигорск, 2015. – С. 232-237.
7. Воробьева Т.И. Оценка загрязненности рек Центрального Кавказа / Т.И. Воробьева, Т.В. Реутова, Л.П. Гущина и др. // Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод: материалы науч. конф. с междунар. участием / Федер. служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Федер. гос. бюджет. учреждение «Гидрохимический институт». – Ростов-на-Дону, 2015. – С. 200-204.
8. Воробьева Т.И. Исследование содержания токсичных загрязняющих веществ в водах рек Центрального Кавказа / Т.И. Воробьева, Л.П. Гущина, Л.З. Жинжакова и др. // Труды Высокогорного геофизического института. – Нальчик, 2013. – № 97. – С. 103-115.
9. Воробьева Т.И. Оценка фоновое уровня содержания микропримесей в речных водах на территории Центрального Кавказа / Т.И. Воробьева, Л.З. Жинжакова, Е.А. Чередник и др. // Геолого-геофизические исследования глубинного строения Кавказа: Геология и геофизика Кавказа: современные вызовы и методы исследований. Коллективная монография: междунар. науч.-практ. конф. / Рос. академия наук Владикавказский науч. центр «Геофизический институт». – Владикавказ, 2017. – С. 535-542.
10. Жинжакова Л.З. Превышение экологических норм содержания неорганических соединений азота в водах ледниковых рек Центрального Кавказа за период 2017-2019 гг. / Л.З. Жинжакова // Экологическая химия. Том 29. – 2020. – № 3. – С. 136-142.
11. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. Приказ. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения (с изменениями на 10 марта 2020 года) : офиц. текст. – М., 2020.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Adzhiyeva A.A. Izmeneniye klimata i gidrometeorologicheskiye yavleniya v gornyykh rayonakh Kavkaza [Climate change and hydrometeorological phenomena in the mountainous regions of the Caucasus] / A.A. Adzhiyeva, N.V. Kondrat'yeva // Ustoychivoye razvitiye gornyykh territoriy. – Vladikavkaz, 2009. – № 1. – P. 68-72. [in Russian]
2. Yefremov Yu.V. Orografiya, oledneniye, klimat Bol'shogo Kavkaza: opyt kompleksnoy kharakteristiki i vzaimosvyazey [Orography, glaciation, climate of the Greater Caucasus: experience of complex characteristics and relationships] / Yu.V. Yefremov, V.D. Panov, P.M. Lur'yev and others. – Krasnodar, 2007. – 338 p. [in Russian]
3. Razumov V.V. Ekosistemy gor Tsentral'nogo Kavkaza i zdorov'ye cheloveka [Ecosystems of the Central Caucasus Mountains and human health] / V.V. Razumov, Kh.A. Kurdanov, L.A. Razumova and others. – M.: Ilekse, 2003. – 448 p. [in Russian]
4. Cherednik E.A. Mnogoletniye dannyye sostava osnovnykh vodnykh arteriy i malykh rek Tsentral'nogo Kavkaza po fizicheskim i khimicheskim parametram [Long-term data on the composition of the main waterways and small rivers of the Central Caucasus in terms of physical and chemical parameters] / E.A. Cherednik, L.Z. Zhinzhakova, A.S. Otarova // Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii bazy dannyykh RUS 2019620642 18.04.2019. [in Russian]
5. SanPiN 2.1.4.1175-02. Gigiyenicheskiye trebovaniya k kachestvu vody netsentralizovannogo vodosnabzheniya. Sanitarnaya okhrana istochnikov [Hygienic Requirements for Water Quality in Decentralized Water Supply. Sanitary protection of sources] – Effective 2003-03-01. – M., 2002. – 20 p. [in Russian]
6. Reutova T.V. Ocenka urovnya zagryazneniya rek Central'nogo Kavkaza po rezul'tatam 10-letnego monitoring [Assessment of the pollution level of the rivers of the Central Caucasus based on the results of 10-year monitoring] / Reutova T.V., Vorob'yeva T.I., Gushchina L.P. and others // Basseyn reki Terek: problemy regulirovaniya, vosstanovleniya i reabilitatsii vodnykh ob'yektov : trudy Vseros. nauch.-prakt. konf. [Terek river basin: problems of regulation, restoration and rehabilitation of water bodies: works of the All-Russian. scientific-practical conf.] / Zapadno-Kaspiyskoye basseynovoye vodnoye upravleniye. Otkrytoye aktsionernoye obshchestvo «Sevkavgiptovodkhoz». – Pyatigorsk, 2015. – pp. 232-237. [in Russian]
7. Vorob'yeva T.I. Otsenka zagryaznennosti rek Tsentral'nogo Kavkaza [Assessment of pollution of the rivers of the Central Caucasus] / Vorob'yeva T.I., Reutova T.V., Gushchina L.P. and others // Sovremennyye problemy gidrokhimii i monitoringa kachestva poverkhnostnykh vod : materialy nauch. konf. s mezhdunar. uchastiyem [Modern problems of hydrochemistry and monitoring of surface water quality: materials of scientific. conf. with int. participation] / Feder. sluzhba po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchey sredy Feder. gos. byudzh. uchrezhdeniye «Gidrokhimicheskiy institut». – Rostov-na-Donu, 2015. – pp. 200-204. [in Russian]

8. Vorob'yeva T.I. Issledovaniye sodержaniya toksichnykh zagryaznyayushchikh veshchestv v vodakh rek Tsentral'nogo Kavkaza [Study of the content of toxic pollutants in the waters of the rivers of the Central Caucasus] / T.I. Vorob'yeva, L.P.Gushchina, L.Z. Zhinzhakova and others // Trudy Vysokogornogo geofizicheskogo institute [Proceedings of the High Mountain Geophysical Institute]. – 2013. – № 97. – P. 103-115. [in Russian]
9. Vorob'yeva T.I. Otsenka fonovogo urovnya sodержaniya mikroprimesei v rechnykh vodakh na territorii Tsentral'nogo Kavkaza [Evaluation of the background level of trace impurities in river waters in the Central Caucasus] / Vorob'yeva T.I., Zhinzhakova L.Z., Cherednik E.A. and others // Geologo-geofizicheskiye issledovaniya glubinnogo stroyeniya Kavkaza: Geologiya i geofizika Kavkaza: sovremennyye vyzovy i metody issledovaniy. Kollektivnaya monografiya: mezhdunar. nauch.-prakt. konf. [Geological and geophysical studies of the deep structure of the Caucasus: Geology and geophysics of the Caucasus: modern challenges and research methods. Collective monograph: international scientific and practical conference] / Ros. akademiya nauk Vladikavkazskiy nauch. tsentr «Geofizicheskiy institut». – Vladikavkaz, 2017. – pp. 535-542. [in Russian]
10. Zhinzhakova L.Z. Prevysheniye ekologicheskikh norm sodержaniya neorganicheskikh soyedineniy azota v vodakh lednikovyykh rek Tsentral'nogo Kavkaza za period 2017-2019 gg [Exceeding the environmental standards for the content of inorganic nitrogen compounds in the waters of the glacial rivers of the Central Caucasus for the period 2017-2019] / L.Z. Zhinzhakova // Ekologicheskaya khimiya [Ecological chemistry]. Vol. 29. – 2020. – № 3. – P. 136-142. [in Russian]
11. Ministerstvo sel'skogo khozyaystva Rossiyskoy Federatsii. Prikaz. Ob utverzhdenii normativov kachestva vody vodnykh ob'yektov rybokhozyaystvennogo znacheniya, v tom chisle normativov predel'no dopustimyykh kontsentratsiy vrednykh veshchestv v vodakh vodnykh ob'yektov rybokhozyaystvennogo znacheniya (s izmeneniyami na 10 marta 2020 goda) [Ministry of Agriculture of the Russian Federation. Order. On the approval of water quality standards for fishery water bodies, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of fishery water bodies (as amended on March 10, 2020)]. - M., 2020. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.103.2.023>**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СЕЗОННО-ДЕЙСТВУЮЩИХ ОХЛАЖДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ НА КОЛИЧЕСТВО ИСПАРЕНИЙ ПОДЗЕМНОГО РЕЗЕРВУАРА СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА**

Научная статья

Карякина Е.Д.^{1,*}, Ахмеров Э.В.², Воронов В.А.³, Шаммазов И.А.⁴¹ ORCID: 0000-0001-9702-7768;² ORCID: 0000-0003-1692-4745;³ ORCID: 0000-0002-4105-0739;^{1, 2, 4} Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия;³ Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия

* Корреспондирующий автор (s195079[at]stud.spmi.ru)

Аннотация

В данной статье рассматривается возможность осуществления подземного изотермического хранения сжиженного природного газа (СПГ) в толще вечномёрзлой породы. На сегодняшний день в строительной практике широко используются сезонно-действующие охлаждающие устройства (СОУ) для минимизации теплообмена между грунтом и сооружениями на нем. В работе анализируется применение таких устройств для условий подземного хранения сжиженного природного газа. Авторами предложена новая конструкция СОУ, а также выполнено моделирование взаимодействия грунта и подземного хранилища с различными вариантами расположения СОУ в течение двух лет. Проведена оценка влияния их действия на количество суточных испарений СПГ и сделаны выводы об их эффективности.

Ключевые слова: изотермическое хранилище, подземное хранение, сжиженный природный газ, резервуар, вечномёрзлый грунт, boil-off rate, моделирование.

ANALYSIS OF THE EFFECT OF SEASONAL GROUND COOLING DEVICES ON THE AMOUNT OF EVAPORATION OF AN UNDERGROUND RESERVOIR OF LIQUEFIED NATURAL GAS

Research article

Karyakina E.D.^{1,*}, Akhmerov E.V.², Voronov V.A.³, Shammazov I.A.⁴¹ ORCID: 0000-0001-9702-7768;² ORCID: 0000-0003-1692-4745;³ ORCID: 0000-0002-4105-0739;^{1, 2, 4} Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russia;³ ITMO University, Saint Petersburg, Russia

* Corresponding author (s195079[at]stud.spmi.ru)

Abstract

The current article discusses the possibility of underground isothermal storage of liquefied natural gas (LNG) in the permafrost layer. In today's construction operations, seasonal ground cooling devices are widely used to minimize heat exchange between the ground and structures on it. The study analyzes the use of such devices for underground storage of liquefied natural gas. The authors propose a new design for a seasonal ground cooling device and perform a simulation of the interaction of the ground and underground storage with various options for the location of the SOW for two years. The study evaluates their influence on the number of daily LNG evaporations as well as draws conclusions on their effectiveness.

Keywords: isothermal storage, underground storage, liquefied natural gas, reservoir, permafrost, boil-off rate, modeling.

Введение

Основная проблема, связанная с хранением сжиженного природного газа (СПГ) в низкотемпературных резервуарах, заключается в испарениях продукта в результате теплопритоков из окружающей среды. Давление внутри резервуара повышается, сокращая полезный объем конструкции и способствуя возникновению дополнительных напряжений материала.

Одним из способов снижения объема суточных испарений СПГ и, как следствие, затрат на повторное сжижение отпарного газа, является сооружение подземных резервуаров. Изменение температуры грунта в течение года будет значительно меньше, чем для аналогичных наземных конструкций. С целью сокращения теплообмена между СПГ и грунтом предлагается сооружение изотермического хранилища СПГ в вечномёрзлых породах. [1]. Для дополнительного охлаждения хранилища предлагается использовать сезонно-действующие охлаждающие устройства (СОУ) [2], [3], [4]. Их основная цель состоит в поддержании температуры мерзлого состояния грунта, тем самым обеспечивая повышенную устойчивость сооружений, расположенных на нем. Это происходит за счет поглощения тепла и последующей передачи его в окружающую среду. Принцип работы состоит в следующем: при снижении температуры окружающей среды относительно температуры грунта пары хладагента начинают конденсироваться в верхней части. В результате чего понижается давление и хладагент в нижней части начинает вскипать и испаряться. Этот процесс сопровождается переносом тепла из испарительной части в радиаторную. Таким образом, достигается проектное значение температур.

В данной статье рассматривается совместная работу СОУ с подземным хранилищем СПГ, что позволит добиться уменьшения показателя суточной нормы испарений.

Методы и принципы исследования

Хранилище (см. рисунок 1) представляет собой вертикальный цилиндрический резервуар с внутренним радиусом 3,5 м и высотой 10 м, полностью погруженный в вечномёрзлый грунт, ниже глубины сезонного оттаивания, значение которой принимается равным 1,5 – 2 м. Резервуар заполнен на 85 %.

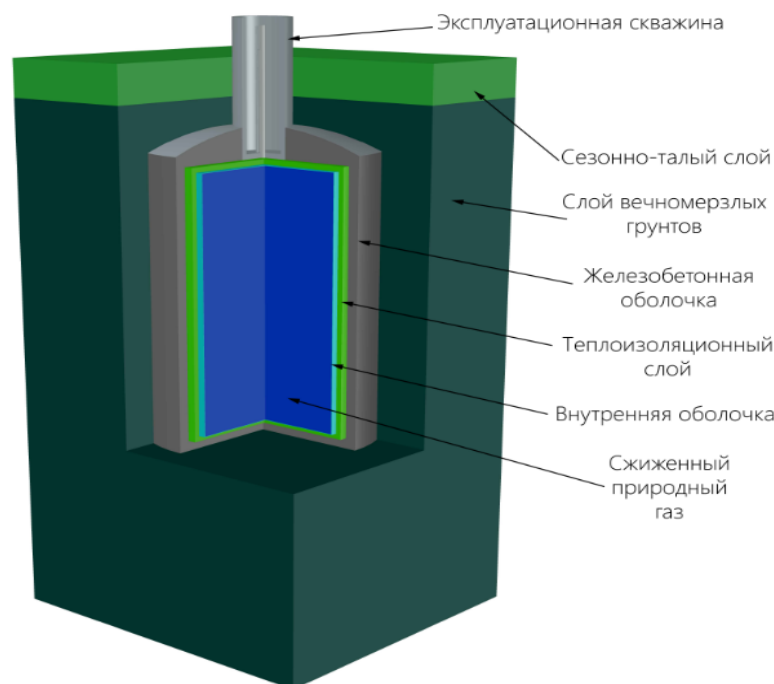


Рис. 1 – Схематическое изображение подземного резервуара

В таблице 1 представлены основные параметры материалов подземного резервуара, используемых в дальнейших расчетах [5], [6].

Таблица 1 – Характеристики материалов подземного резервуара

Элемент конструкции	Материал	Толщина, мм	Коэффициент теплопроводности, Вт/м·К	Плотность, кг/м³
Внутренняя оболочка	12X18H10T	2	9,2	$7,9 \cdot 10^3$
Теплоизоляция	Пенополиуретан	200	0,028	50
Внешняя оболочка	Железобетон	400	1,7	$2,4 \cdot 10^3$

Хранение СПГ предполагается обеспечивать при температуре -162°C и постоянном давлении на уровне 0,2 МПа. При помощи ПО Refprop 7 были определены основные термодинамические параметры СПГ. Состав СПГ в молярных процентах: $\text{CH}_4 - 99,8\%$, $\text{N}_2 - 0,13\%$, $\text{C}_2\text{H}_6 - 0,07\%$ [7].

Процесс теплопередачи характеризуется показателем теплового потока, показывающим какое количество теплоты, перенеслось в сторону убывания температур за единицу времени, определяющийся по формуле [8], [9], [11]:

$$Q_1 = K \cdot \Delta T \quad (1)$$

где K – параметр теплопередачи, величина, обратная сумме термических сопротивлений в системе, учитывающая особенности теплообмена через многослойную стенку, Вт/К; ΔT – разность температур между средами, К.

$$K = \frac{2\pi \cdot L}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot r_1} + \frac{1}{\lambda_{мет}} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) + \frac{1}{\lambda_{из}} \ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right) + \frac{1}{\lambda_{жб}} \ln\left(\frac{r_4}{r_3}\right) + \frac{1}{\alpha_2 \cdot r_4}} \quad (2)$$

Величина теплового потока, приходящегося на поверхность дна резервуара, по формуле:

$$Q_2 = \frac{\pi r_4^2 \cdot \Delta T}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{мет}}{\lambda_{мет}} + \frac{\delta_{из}}{\lambda_{из}} + \frac{\delta_{жб}}{\lambda_{жб}} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (3)$$

α_1 – внутренний коэффициент теплоотдачи, характеризующий теплоперенос от внутренней поверхности стенки к хранимому продукту, Вт/м²·К; α_2 – внешний коэффициент теплоотдачи, характеризующий теплоперенос от грунта к внешней поверхности изоляции, Вт/м²·К; $\lambda_{мет}$, $\lambda_{из}$, $\lambda_{ЖБ}$ – коэффициенты теплопроводности металлической, изоляционной и железобетонной оболочки, Вт/м·К; r_1 , r_2 , r_3 , r_4 – значения внутреннего радиуса, радиуса металлической, изоляционной и железобетонной оболочки соответственно, м; $\delta_{мет}$, $\delta_{из}$, $\delta_{ЖБ}$ – толщины стенки металлической, изоляционной и железобетонной оболочки соответственно, м;

Величина теплопритока к верхней части резервуара:

$$Q_3 = \frac{4\pi \cdot \Delta T \cdot \alpha}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot R_1^2} + \frac{1}{\lambda_{мет}} \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_3} \right) + \frac{1}{\lambda_{ЖБ}} \left(\frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_4} \right) + \frac{1}{\alpha_2 \cdot R_4^2}} \quad (4)$$

R_n – условные радиусы сферических оболочек сосуда, м; α – коэффициент учитывающий процент, который составляет поверхность крыши от поверхности сферы.

Величина суточных потерь СПГ (BOR):

$$BOR = \frac{Q \cdot 24 \cdot 3600}{V_{СПГ} \cdot \rho_{СПГ} \cdot H_{вар}} \cdot 100\% \quad (5)$$

где $H_{вар}$ – скрытая теплота парообразования Дж/кг; $V_{СПГ}$ – объем хранимого СПГ, м³.

Обсуждение

Моделирование распространения, возникшего во время хранения СПГ, кольца холода было осуществлено при помощи программного обеспечения Frost 3D Universal, разработанного компанией ООО «Симмэйкерс» [1]. В основе работы программы лежит численное решение уравнения теплопроводности в трехмерной постановке при помощи явного метода конечных разностей. Конечно-разностный метод является сеточным методом, расчётная область дискретизируется гексаэдрической сеткой, а решение происходит непосредственно в узлах сетки, для каждой из которых составляется разностное уравнение в соответствии с используемым шаблоном разностной схемы. Получается система линейных уравнений, решение которой позволяет получить необходимый результат в рассматриваемой расчётной области.

Для последующего анализа применения СОУ для создания кольца холода было рассмотрено изменение температуры на внешней поверхности железобетонной оболочки. Для упрощения модели принимается, что каждый месяц резервуар заполняется до проектного уровня в 85%.

Относительно значений этих температур были определены теплопритоки (формулы 1-4), приходящиеся на соответствующие участки конструкции резервуара, и получены величины BOR (формула 5). На рисунке 2 представлены графики изменения величины суточных испарений СПГ в наземном и подземном резервуарах.

Можно отметить, что сразу после начала эксплуатации резервуара наблюдается постепенное снижение уровня BOR, которое за счет климатических показателей, продолжает снижаться до начала июля, самого теплого месяца. После сентября и до мая следующего года наблюдается снижение параметра до самых низких значений, после чего возникает рост, но за счет сформировавшегося кольца холода амплитуда уменьшается.

В результате за первый год испарилось 531 м³, в среднем за месяц уровень испарений составлял 44,251 м³ (13,53 % от объема хранимого продукта). За второй год в общем количестве испарилось на 3,01% меньше объема (515 м³), что в среднем за месяц составляло 42,918 м³.

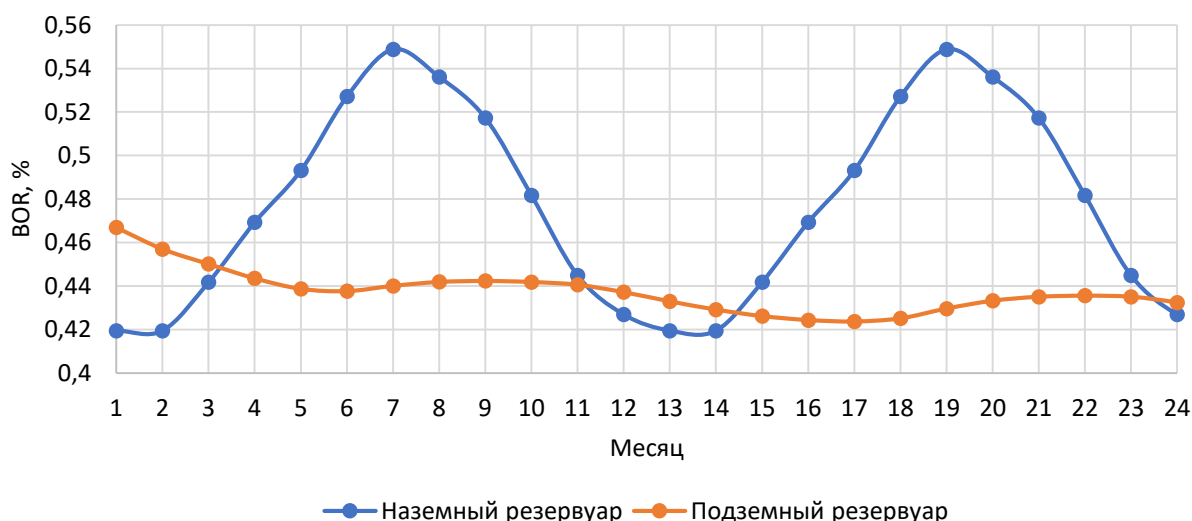


Рис. 2 – Величины BOR для наземного и подземного хранения СПГ

СОУ должны выполнять функцию создания и поддержания кольца холода вокруг подземного резервуара, тем самым снижая разность температур между хранимым продуктом и окружающим грунтом. В связи с тем, что стандартные СОУ не обладают возможностью перекрывать днище и крышу подземного резервуара, обеспечивая дополнительный приток холода – следует рассмотреть другие разновидности термостабилизирующих устройств. Предлагается модификация существующих моделей системы термостабилизации грунта, представляющая собой закрытый контур, по которому будет циркулировать реагент вокруг хранилища, выполненный аналогично технологии систем горизонтальных и вертикальных естественнодействующих трубчатых систем (ГЕТ или ВЕТ) [2]. Предполагаемая схема СОУ (см. рисунок 3).

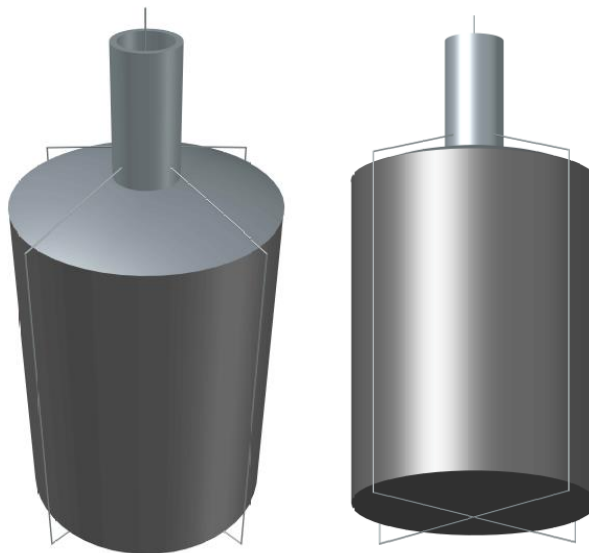


Рис. 3 – Модель экспериментального СОУ

В ходе выполнения моделирования было рассмотрено несколько вариантов исполнения таких систем: с 4-мя, 10-ю и 36-ю витками, а также выполнен сравнительный анализ с использованием 4-х и 10-ти стандартных СОУ. На рисунке 4 представлены графики изменения величины среднесуточных значений BOR для каждого месяца в течение 2 лет для указанных выше вариантов.

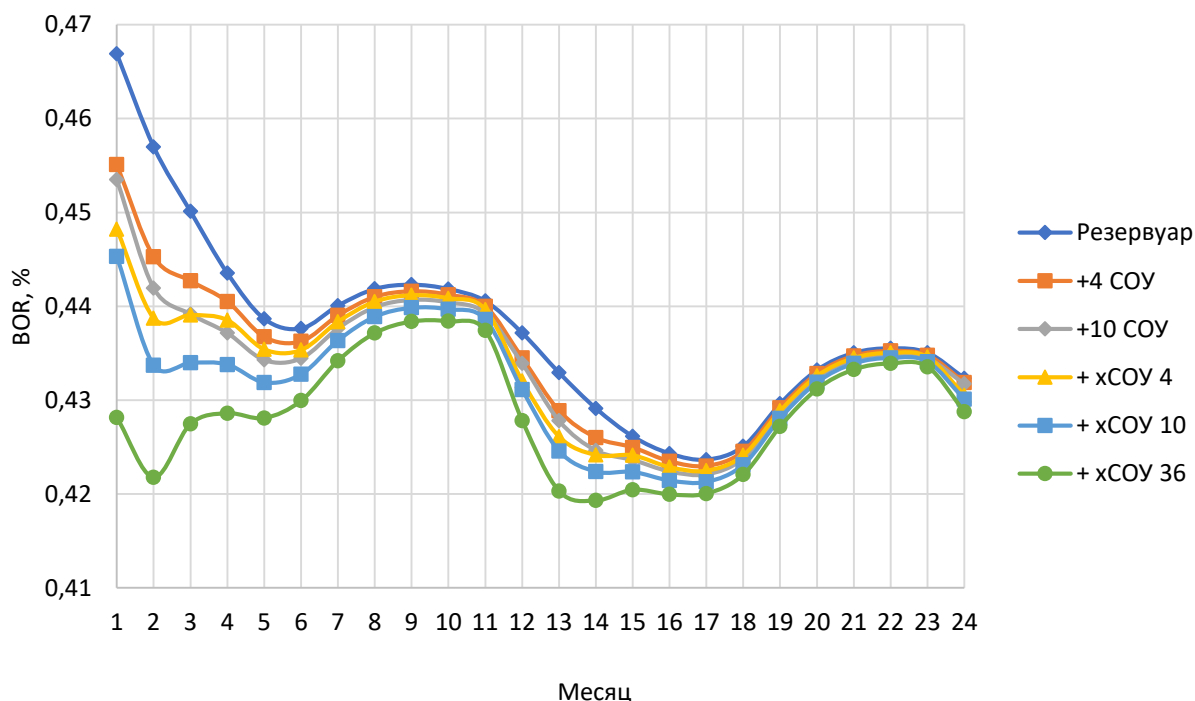


Рис. 4 – Сравнение показателей BOR для различных вариантов установки СОУ

Как видно из графика (см. рисунок 4) в первые полгода величина среднесуточных испарений изменяется в значительных пределах (с 0,467 % до 0,438 % для конструкции резервуара без СОУ). В то время как применение конструкции СОУ с 36-ю витками помогает значительно снизить и поддерживать в среднем на уровне 0,43 % величину BOR на протяжении всего начального периода формирования кольца холода. Далее происходит прирост BOR в связи с наступлением самых теплых месяцев в году. Таким образом, за первый год эксплуатации для варианта с 36-ю витками, величина среднесуточных потерь СПГ (BOR) сократилась с 0,445 % до 0,43 % относительно варианта резервуара без СОУ.

По результатам моделирования был выполнен расчет потерь от испарения СПГ (формулы 1-5) в первый год эксплуатации. При внедрении четырех стандартных СОУ удалось достигнуть суммарного сокращения потерь СПГ от испарения с 531 м³ до 526,71 м³, или на 0,8%; для 10 - до 524,58 м³ (1,22 %) относительно варианта конструкции резервуара без СОУ. Столь небольшой результат может объясняться малой мощностью стандартных СОУ, а также их небольшим радиусом действия, который не способен охлаждать всю поверхность стенки равномерно. Эффективность использования предложенной конструкции из четырех витков, перекрывающих дно и крышу резервуара относительно конструкции без СОУ, возросла на 1,29 % (с 531 м³ до 524,15 м³). Применение 10 витков сократило потери на 1,89 % относительно первоначального варианта без СОУ (с 531 м³ до 521 м³). Конструкция с 36-ю витками, перекрывающими дно и крышу резервуара, позволила сократить испарения СПГ на 2,97 % относительно первоначального варианта без использования СОУ (с 531 м³ до 515,2 м³). Добиться большего понижения значения данного показателя возможно за счет увеличения толщины изоляционного слоя или увеличения мощности используемого термостабилизирующего устройства. Ко второму году эксплуатации эффективность работы СОУ снижается, так как система близится к равновесию, поэтому процесс формирования кольца холода заканчивается.

Заключение

В данной статье рассмотрено применение СОУ для поддержания температуры в подземном криогенном резервуаре. На основании проведенного анализа стандартных конструкций СОУ предложен был вариант их исполнения с перекрытием днища и крыши резервуара. Было выполнено моделирование процесса теплопередачи от грунта к хранящемуся продукту и выполнен расчет суточных потерь от испарения СПГ.

На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что внедрение СОУ оказывает значительное влияние на количество испарений в резервуаре только в первые полгода после начала эксплуатации хранилища. Данное техническое решение помогает сократить температурные деформации грунта и материала резервуара в начальный момент формирования кольца холода, что потенциально способствует повышению безопасности эксплуатации таких систем.

Благодарности

Коллектив авторов выражает благодарность компании ООО «Симмэйкерс» за предоставленный доступ к ПО Frost 3D Universal.

Acknowledgement

The authors express gratitude to the company Simmakers LLC for providing access to Frost 3D Universal software.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Воронов В.А. Анализ технических решений в области транспорта и хранения сжиженного природного газа / В.А. Воронов, Е.Д. Карякина, Э.В. Ахмеров // Вестник Международной академии холода. - 2019. - № 3. - С. 15–22. DOI: 10.17586/1606-4313-2019-18-3-15-22
2. Технология термостабилизации грунтов [Электронный ресурс]. // Официальный сайт компании программного комплекса Frost 3D Universal. – 2020. – URL: <https://frost3d.ru/termostabilizatsiya-gruntov/> (дата обращения: 22.11.2020).
3. Системы температурной стабилизации вечномёрзлых грунтов. Журнал технических решений [Электронный ресурс] // Официальный сайт компании ООО НПО «Фундаментстройаркос». – 2020. – URL: https://www.npro-fsa.ru/sites/default/files/sistemy_temperaturnoy_stabilizacii_vechnomerzlyh.pdf (дата обращения: 22.11.2020).
4. Лазарев А.Н. Обоснование перспективности и анализ условий строительства заглубленных хранилищ сжиженного природного газа в условиях вечной мерзлоты / А.Н. Лазарев, Н.Г. Кириллов, С.В. Ивановский // «Метро и тоннели». – 2015. - №6. - С. 16 – 20.
5. Ханухов Х.М. Конструкционные методы снижения риска при эксплуатации изотермических резервуаров для хранения СПГ / Х.М. Ханухов, А.В. Алипов, Н.В. Четвертухин, А.В. Коломыцев и др. // Вести газовой науки. – 2017. - № 1(29). – С. 249 – 258.
6. ГОСТ Р 58027-2017/EN 14620-1:2006. Проектирование и производство на месте вертикальных цилиндрических стальных емкостей с плоским дном для хранения охлажденных сжиженных газов с рабочей температурой от 0 °С до -165 °С. Часть 1. Общие положения. - Введ. 2022-01-01. - М.: Стандартинформ, 2018. - 30 с.
7. ГОСТ Р 57431— 2017. Газ природный сжиженный. – Введ. 2018-01-01. – М.: Стандартинформ, 2018. - 30 с.
8. Михеев М. А. Основы теплопередачи. / М. А. Михеев, И. М. Михеева - Изд. 2-е, стереотип. - М., «Энергия», 1977 - 344 с.
9. Коршак А.А. Проектирование и эксплуатация газонефтепроводов: учебное издание / А. А. Коршак - СПб.: «Недра», 2008. – 488 с.
10. Павлов К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Учебное пособие для вузов. / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков - Л.: Химия, 1987.- 576 с.
11. РД 39-30-139-79. Методика теплового и гидравлического расчета магистральных трубопроводов при стационарных и нестационарных режимах перекачки ньютоновских и неньютоновских нефтей в различных климатических условиях. - Введ. 1979-04-25. – Уфа, 1979 г. - 57 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Voronov V.A. Analiz tehnikeskikh reshenij v oblasti transporta i hranenija szhizhennogo prirodnogo gaza [Analysis of technical solutions in transport and storage of liquefied natural gas] / V.A. Voronov, E.D. Karjakina, Je.V. Ahmerov // Vestnik Mezhdunarodnoj akademii holoda [Journal of International Academy of Refrigeration]. - 2019. - № 3. - P. 15–22. DOI: 10.17586/1606-4313-2019-18-3-15-22. [in Russian]

2. Tehnologija termostabilizacii gruntov [Soil thermal stabilization technology] [Electronic resource]. // Oficial'nyj sajt kompanii programmnogo kompleksa Frost 3D Universal [Official website of the Frost 3D Universal software package company]. – 2020. – URL: <https://frost3d.ru/termostabilizatsiya-gruntov/> (accessed: 22.11.2020). [in Russian]
3. Sistemy temperaturnoj stabilizacii vechnomerzlyh gruntov. Zhurnal tehniceskikh reshenij [Temperature stabilization systems for permafrost. Journal of technical solutions.] [Electronic resource]. // Oficial'nyj sajt kompanii OOO NPO «Fundamentstroyarkos» [Official website of the company LLC NPO "Fundamentstroyarkos"]. – 2020. – URL: <https://clck.ru/TD5PJ> (accessed: 22.11.2020). [in Russian]
4. Lazarev A.N. Obosnovanie perspektivnosti i analiz uslovij stroitel'stva zaglublennyh hranilishh szhizhennogo prirodnogo gaza v uslovijah vечноj merzloty [Substantiation of the prospects and analysis of the conditions for the construction of buried storage facilities of liquefied natural gas in permafrost conditions] / A.N. Lazarev, N.G. Kirillov, S.V. Ivanovskij // Metro i tonneli. [Metro and Tunnels]. – 2015. - №6. - P. 16 – 20. [in Russian]
5. Hanuhov H.M. Konstrukcionnye metody snizheniya riska pri jekspluatacii izotermicheskikh rezervuarov dlja hranenija SPG [Constructional methods of risk reduction at operation of isothermal reservoirs for storage of liquefied natural gas] / H.M. Hanuhov, A.V. Alipov, N.V. Chetvertuhin, A.V. Kolomycev and others // Vesti gazovoj nauki [Lead Gas Science] – 2017. - № 1(29). – P. 249 – 258. [in Russian]
6. GOST R 57431— 2017. Gaz prirodnyj szhizhennyj [Liquefied natural gas. General characteristics] – Effective 2018-01-01. – M.: Standartinform, 2018. - 30 p. [in Russian]
7. GOST R 58027-2017/EN 14620-1:2006. Proektirovanie i proizvodstvo na meste vertikal'nyh cilindricheskikh stal'nyh emkostej s ploskim dnom dlja hranenija ohlazhdennyh szhizhennyh gazov s rabochej temperaturaj ot 0 °C do -165 °C. Chast' 1. Obshhie polozenija [Design and manufacture of site built, vertical, cylindrical, flat-bottomed steel tanks for the storage of refrigerated, liquefied gases with operating temperatures between 0°C and -165°C. Part 1. General] - Effective 2022-01-01. - M.: Standartinform, 2018. - 30 p. [in Russian]
8. Miheev M. A. Osnovy teploperedachi. [Heat Transfer Basics.] / M. A. Miheev, I. M. Miheeva – 2nd edition, reprint. - M., «Jenergija», 1977 - 344 p. [in Russian]
9. Korshak A.A. Proektirovanie i jekspluatacija gazonefteprovodov: uchebnoe izdanie [Design and operation of gas and oil pipelines: educational publication] / A. A. Korshak - SPb.: «Nedra», 2008. – 488 p. [in Russian]
10. Pavlov K. F. Primery i zadachi po kursu processov i apparatov himicheskoj tehnologii. Uchebnoe posobie dlja vuzov [Examples and tasks for the course of processes and devices of chemical technology. Manual for universities.] / K. F. Pavlov, P. G. Romankov, A. A. Noskov - L.: Himija, 1987.- 576 p. [in Russian]
11. RD 39-30-139-79. Metodika teplovogo i gidravlicheskogo rascheta magistral'nyh truboprovodov pri stacionarnyx i nestacionarnyx rezhimah perekachki n'jutonovskix i nen'jutonovskix neftej v razlichnyx klimaticheskix uslovijah [The method of thermal and hydraulic calculation of main pipelines in stationary and non-stationary modes of pumping Newtonian and non-Newtonian oils in various climatic conditions.] - Effective 1979-04-25. – Ufa, 1979 g. - 57 p. [in Russian].

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.103.2.024>**ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
БОЛЬШЕЗЕМЕЛЬСКОЙ ТУНДРЫ**

Научная статья

Осадчая Г.Г.^{1,*}, Шполянская Н.А.²^{1,2} Ухтинский государственный технический университет, Ухта, Россия

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

Аннотация

Приводятся обобщенные геокриологические характеристики криолитозоны Большеземельской тундры. Отмечается, что их параметры в значительной степени определяются географической (природной) зональностью. Зональны распространение многолетнемерзлых пород (ММП) по площади, их мощность. В меньшей степени зонален температурный режим. Глубины сезонного протаивания и промерзания практически не коррелируются с ландшафтной зональностью, но четко связаны с характеристиками урочищ, в первую очередь с составом пород, напочвенными покровами и мезорельефом. Криогенные процессы и криогенное строение отчасти соответствуют ландшафтной зональности, но в значительной степени зависят от региональных ландшафтных категорий. Для территории характерна разнонаправленная реакция ММП на климатический тренд потепления.

Ключевые слова: криолитозона, геокриологические характеристики, зональная приуроченность.

**GEOGRAPHICAL ASPECTS OF VARIABILITY OF GEOCRYOLOGICAL CHARACTERISTICS
OF THE BOLSHHEZEMELSKAYA TUNDRA**

Research article

Osadchaya G.G.^{1,*}, Shpolyanskaya N.A.²^{1,2} Ukhta State Technical University, Ukhta, Russia

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

Abstract

The current study presents generalized geocryological characteristics of the cryolithozone of the Bolshezemelskaya tundra. It is noted that their parameters are largely determined by geographical (natural) zoning. The distribution of permafrost rocks (MMP) by area and their thickness are zonal. The temperature regime is zonal to a lesser extent. The depth of seasonal thawing and freezing is almost not correlated with the landscape zoning, but is clearly related to the characteristics of the tracts, primarily with the composition of rocks, ground cover and mesorelief. Cryogenic processes and cryogenic structure partly correspond to landscape zoning, but largely depend on regional landscape categories. The territory is characterized by a multidirectional reaction of the permafrost to the warming climate trend.

Keywords: permafrost, permafrost characteristics, zonal distribution.

Введение

Долгосрочные планы развития криолитозоны Северного макрорегиона России связывают в первую очередь с освоением горючих полезных ископаемых, а всю эту территорию определяют как геостратегическую для страны [1]. Большая часть криолитозоны географически относится к Большеземельской тундре (БЗТ), последняя административно приурочена к Ненецкому автономному округу (НАО) и северной части Республики Коми (РК). БЗТ представляет собой обширную равнинную территорию с мало контрастными климатическими условиями и рельефом. Так, разница в среднегодовых температурах воздуха здесь всего порядка 3 °С. Тем не менее, в БЗТ есть все зональные типы мерзлоты, которые характеризуются определенными мерзлотными параметрами, в значительной степени. В последнее время повысился интерес к освоению криолитозоны, при этом одновременно резко сократился объем средств на проведение предварительного изучения природных параметров территории (за исключением инженерно-геологических изысканий на этапе проектирования), редко в работах участвуют профессиональные мерзлотоведы. В связи с этим, крайне актуальными являются работы, в которых обобщены и проанализированы результаты многолетних геокриологических исследований БЗТ в «привязке» к географической (зональной) приуроченности того или иного участка этого пространства.

Обобщенная информация может быть использована для того, чтобы, с одной стороны, до начала работ представлять степень неоднородности геокриологических условий участка намечаемой деятельности, отразить это в техническом задании, с другой стороны, грамотно интерпретировать материалы полевых исследований.

Целью данной работы является представить базовые геокриологические характеристики БЗТ в их привязке к природным подзонам криолитозоны.

Объектом исследования является криолитозона Большеземельской тундры. Предмет исследований – территориальные взаимосвязи в системе «ландшафты региона – параметры криолитозоны».

Материалы и методы проведения исследований

Широко применяется определение криолитозоны как территории распространения многолетнемерзлых горных пород (ММП), в пределах которой осуществляется своеобразный тип литогенеза – криолитогенез [2].

Традиционно рассматриваются следующие основные параметры криолитозоны:

- сомкнутость ММП, то есть доля площади, которую они занимают в данной местности;
- характер распространения ММП по разрезу (сливающиеся и нессливающиеся толщи);
- глубина залегания верхней и нижней границ мерзлых пород (соответственно кровли и подошвы), то есть вертикальная мощность толщи ММП;

- среднегодовая температура пород;
- мощность сезонноталого-сезонномерзлого слоя (СТС-СМС);
- криогенное строение и криогенные процессы.

Существуют несколько подходов к зонированию криолитозоны, причем всегда за основу берется принцип сомкнутости многолетнемерзлых пород. В представленной работе вся криолитозона подразделяется на северную, где преобладают ММП, и южную, где доминируют участки без ММП. В северной криолитозоне выделяются подзоны сплошного и прерывистого распространения ММП. В первом случае сквозные талики занимают не более 10 % площади подзоны, во втором – 10-50 %. В южной криолитозоне выделяются подзоны массивно-островного и островного распространения ММП, для которых развитие современной мерзлоты фиксируется соответственно на 10-50 и менее чем на 10 % площади подзоны. Между подзонами можно провести условные границы [3].

Работа базируется на результатах преимущественно собственных многолетних исследований геофизиологических условий региона. Также использованы материалы других авторов.

Информационной основой геофизиологических исследований традиционно считаются результаты мерзлотно-инженерно-геологических съёмок преимущественно М 1:25000 (27 ключевых участков), проводимых по общепринятым методикам [4], которые захватывают площади, приуроченные с различным природным зонам/подзонам.

Использованы материалы полевых исследований, в процессе которых проводились следующие основные виды работ: бурение скважин, шурфовка, зондирование глубин протаивания, температурные замеры, маршрутные исследования. Последние включали комплексные ландшафтные описания (растительность, почвы, геоморфологические характеристики, в том числе криогенные процессы, глубина протаивания и т. п.). На основе комплекса материалов на камеральном этапе составлялся комплект карт (геоморфологическая, растительности, почвенная, ландшафтная, мерзлотно-инженерно-геологическая, СТС-СМС).

Также привлекались данные по отдельным площадным и линейным инфраструктурным объектам (инженерно-геологические изыскания). На короткое время (2-3 года) в подзонах островного, массивно-островного, прерывистого распространения ММП организовывались стационарные температурные наблюдения, включающие изучение температурного режима талых пород и ММП, СТС-СМС, мохового и снежного покровов.

При проведении ландшафтно-мерзлотных исследований широко использовались дистанционные методы. Разновременные дистанционные исследования проводились с использованием материалов аэрофото- и космосъёмки. Дистанционные исследования криолитозоны БЗТ проводилось как для всей криолитозоны в целом (обзорный масштаб), так и для отдельных участков в её пределах (средний и крупный масштаб).

Результаты исследования и их обсуждение

Исследуемая территория в природном отношении относится к зоне тундры (южной кустарниковой и типичной), подзонам северной и южной лесотундры, северной части подзоны крайнесеверной тайги. На севере сравнительно узкой полосой развит аazonальный приморский ландшафт, по долинам рек выделяются интразональные ландшафты [5].

Абсолютные отметки поверхности достигают 250 м, хотя преобладающие высоты 100-160 м. К различным абсолютным отметкам приурочены геолого-генетические разновозрастные ландшафты.

По характеру растительного покрова присутствуют следующие группы урочищ зонального типа: лесные, тундровые, болот и торфяников, а также аazonальные луговые и поемные; в сумме выделяются порядка 30 видов репрезентативных урочищ.

Особенность ландшафтной дифференциации БЗТ заключается в том, что определенный вид урочища может встречаться в нескольких природных подзонах [6].

Нами доказано, что геоботаническая зональность территории четко коррелируется с геофизиологической (рис. 1, табл. 1) [5]. Следует отметить, что в БЗТ геофизиологические характеристики определенного вида урочища различны при переходе из одной природной/геофизиологической подзоны в другую.

При сравнении площадей, занимаемых различными зональными типами ММП в БЗТ и в целом в криолитозоне России, выявлено, что в последнем случае наблюдается значительно больше контрастность площадей. Во всей российской криолитозоне северная её часть занимает 71 %, а южная – 29 % площади [7], а в БЗТ эти площади «уравновешены». Из этого следует, что в формировании мерзлотных условий ведущая роль принадлежит климатической и геоботанической зональностям на фоне общей равнинности территории.

Мощность ММП с юга на север растёт от первых метров в подзоне IV, до 50 в подзоне III, 150-200 м в подзоне II и до 400 м в подзоне I. При этом участки с маломощными многолетнемерзлыми толщами (до 6 м) можно встретить во всех подзонах, кроме I [8].



Рис. 1 – Схема геоэкологической зональности Большеземельской тундры

Верхняя часть грунтового разреза ММП преимущественно представлена суглинками в ряде случаев подстилаемыми глинами. В редких случаях (преимущественно в северной части криолитозоны) в разрезе присутствуют пески, в том числе с поверхности. Такие типы разрезов характерны для лесных и тундровых урочищ. Песком также преимущественно сложены с поверхности урочища интразонального типа: пойм и лугов. Для ММП характерен эпигенетический тип промерзания со средними и низкими значениями льдистости.

Урочища болот и торфяников сверху сложены торфами, которые могут подстилаться суглинками и глинами, реже песками. Для многолетнемерзлых торфов характерен сингенетический тип промерзания с высокими значениями льдистости (влажности).

Локально урочища тундр и лесов в верхней части разреза (до гл 0,2-0,3 м) представлены маломощной торфяной прослойкой или же оторфованными суглинками и супесями.

Таблица 1 – Соответствие природной и геоэкологической зональности

Природные зоны и подзоны	Геоэкологическая подзона (% от общей площади криолитозоны)	Площадь мерзлых пород (%)	Геоэкологическая зона (% от общей площади криолитозоны)
зона тундр	I – сплошного распространения ММП (43)	> 90	северная криолитозона (58)
подзона северной лесотундры	II – прерывистого распространения ММП (15)	50-90	
подзона южной лесотундры	III – массивно-островного распространения ММП (17)	10-50	южная криолитозона (42)
северная часть подзоны крайнесеверной тайги	IV – островного распространения ММП (25)	< 10	

Температуры ММП меняются в небольшом диапазоне: как правило, от -0 до -3,5 °C [5]. Температуры, близкие к 0 °C, формируются во всех геоэкологических подзонах, что связано с широким развитием блочных и бугристых форм мезорельефа. При этом общий температурный фон с юга на север закономерно понижается.

Глубины сезонноталого и сезонномёрзлого слоёв (СТС-СМС) относятся в суглинках преимущественно к среднему типу – 0,7-1,5 м, в торфах и оторфованных грунтах – к мелкому – 0,2-0,7 м, в песках – среднему и глубокому – 1,5-2,0 м (по классификации Н. В. Тумель [9], [10]). Таким образом, не наблюдается их закономерного изменения с юга на север. Формирование глубин СТС-СМС в южной криолитозоне определяется в основном региональными факторами, в северной – сочетанием региональных и зональных [11].

Для территории характерно развитие следующих криогенных процессов: пучение, морозобойное растрескивание (на торфяных грунтах – с формированием полигонально-жильных льдов – ПЖЛ), термокарст, термоэрозия и термоабразия, пятнообразование, реже солифлюкция. Кроме этого, развиваются экзогенные процессы немерзлотной

группы: эрозия, дефляция, оползни и оплывины, заболачивание и др. География и стадия (интенсивность) развития большинства процессов зависит от их зональной приуроченности.

Традиционно считается, что при общем потеплении климата основными рельефообразующими процессами становятся процессы «летнего» ряда: термокарста, солифлюкции и т. п. Однако, для БЗТ таким процессом можно считать пучение, то есть процесс «зимнего» ряда [12].

Обращает на себя внимание разнонаправленная реакция ММП на климатический тренд потепления. С одной стороны, вполне объяснимы явления, когда на талых минеральных породах идет увеличение площади лесных и лесотундровых участков за счет зарастания урочищ с тундровым типом растительности, а в северной криолитозоне формируются новые участки с несливающейся мерзлотой, повышаются температуры ММП [13], в зоне тундры затухает морозобойное растрескивание на торфяниках. С другой стороны, в зоне тундры появляются новые массивы сливающейся мерзлоты, в лесотундре и крайнесеверной тайге увеличивается площадь ММП за счет формирования выпуклобугристых торфяников на площадях, ранее занятых болотами, в северной лесотундре активизируется локальное морозобойное растрескивание, в южной криолитозоне температуры ММП практически не меняются, в лесотундре ультрамаломощные ММП, а также ММП в лесных урочищах стабильны.

Основными причинами активного формирования ММП в южной криолитозоне можно считать уменьшение степени обводненности болот (природного происхождения), учащение случаев благоприятного сочетания погодных условий (ранние морозы до установления устойчивого снежного покрова со следующим за ними летом со среднестатистическими метеопараметрами, а также современный более интенсивный «прирост» торфяного горизонта и мхов из-за более теплой температурной обстановки). Как следствие – формирование перелетков, переходящих со временем в разряд ММП [14]. Главным образом характер погодных условий при потеплении климата активизирует охлаждающие теплообменные процессы, свойственные торфяникам, и это приводит к охлаждению грунтов.

На рисунке 2 показан участок активного современного пучения на болоте с формированием массива выпуклобугристого торфяника.



Рис. 2 – Трансформация участка болота в выпуклобугристый торфяник (подзона островного распространения ММП)

Зональные особенности изменения основных геоэкологических характеристик представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Зональная изменчивость основных геоэкологических характеристик Большеземельской тундры

Преобладающий состав верхней части грунтового разреза	Зональный тип распространения ММП			
	Островное	Массивно-островное	Прерывистое	Сплошное
Ландшафтная приуроченность ММП (распространение ММП, %); особенности вертикального строения верхней части разреза ММП (сливающиеся и несливающиеся толщи)				
-на суглинках	-	1. Пологоволнистые тундры (10-20); ММП преимущественно сливающегося типа 2. Елово-березовые леса (≤ 5); ММП преимущественно сливающегося типа	1. Нечеткоблочные тундры (50-70); 10 % ММП сливающегося типа 2. Пологоволнистые тундры (10-20); ММП преимущественно сливающегося типа 3. Крупноивняковые тундры (≤ 5); ММП сливающегося типа 4. Крупно-, среднеблочные тундры (80-90); 30-40 % ММП сливающегося типа 5. Блоково-грядовые тундры (60-80); ММП сливающегося типа 6. Елово-березовые леса (≤ 5); ММП преимущественно сливающегося типа	1. Нечетко-, средне- и крупноблочные тундры (100); до 20 % ММП несливающегося типа 2. Блоково-грядовые тундры (100); 20-40 % ММП несливающегося типа 3. Крупноивняковые тундры (100); 95 % ММП несливающегося типа
- на песках	-	-	1. Мелкополигональные тундры (100); 70 % ММП сливающегося типа 2. Придолинные тундры (80-90); 50-80 % ММП сливающегося типа	1. Мелкополигональные тундры (100); ММП сливающегося типа 2. Холмистые тундры (100); ММП сливающегося типа 3. Придолинные тундры (100); 90 % ММП сливающегося типа 4. Поймы рек и ручьев (50); 20 % ММП сливающегося типа
-на торфах	1. Выпукло бугристые торфяники (50-60); ММП сливающегося типа 2. Грядово-мочажинные болота (до 30); ММП сливающегося типа	1. Плоскобугристые торфяники (70-80); ММП сливающегося типа 2. Выпуклобугристые торфяники (60-70); ММП сливающегося типа 3. Грядово-мочажинные болота (до 30); ММП сливающегося типа	1. Плоскобугристые торфяники (80-90); ММП преимущественно сливающегося типа 2. Выпуклобугристые торфяники (50-70); ММП сливающегося типа 3. Термокарстовые понижения (до 50); ММП сливающегося и несливающегося типов 4. Котловины спущенных озер (хасырей) (до 50 в зависимости от стадии развития); ММП сливающегося типа	1. Плоскобугристые торфяники (100); ММП сливающегося типа 2. Полигональные торфяники (100); ММП сливающегося типа 3. Полигонально-валиковые торфяники (100); ММП сливающегося типа 4. Термокарстовые понижения (100); ММП сливающегося и несливающегося типов 5. Приморские болота (100); ММП сливающегося и несливающегося типов 6. Котловины спущенных озер (хасырей) (до 100 в зависимости от стадии развития); ММП слоистые

Окончание таблицы 2 – Зональная изменчивость основных геоэкологических характеристик Большеземельской тундры

Преобладающий состав верхней части грунтового разреза	Зональный тип распространения ММП			
	Островное	Массивно-островное	Прерывистое	Сплошное
Тип промерзания				
-на суглинках и песках	-	Эпигенетический (суглинки)	Эпигенетический	Эпигенетический
-на торфах	Сингенетический	Сингенетический	Сингенетический	Сингенетический
Температура ММП, °С				
-на суглинках	-	-0...-0,5	-0...-1,5	-0...-3,5
- на песках	-		-0...-1,0	-0...-3,0
-на торфах	-0...-0,5	-0...-1,5	-0...-2,5	-0,5...-3,5
Тип СТС/СМС по глубине				
-на суглинках	-	Мелкий и средний	Средний	Мелкий и средний
- на песках	-	-	Глубокий и средний	Глубокий и средний
-на торфах	Мелкий	Мелкий	Мелкий	Мелкий
Современные криогенные процессы, особенности их развития				
-на суглинках	-	-	Морозобойное растрескивание в тундрах в СТС Пятнообразование	Морозобойное растрескивание в тундрах в СТС Солифлюкция на склоновых участках Пятнообразование
- на песках	-	-	Морозобойное растрескивание в мелкополигональных тундрах в СТС	Морозобойное растрескивание в мелкополигональных тундрах с формированием грунтовых жил
-на торфах	Многолетнее пучение на выпуклобугристых торфяниках и болотах с площадными новообразованиями ММП	Многолетнее пучение на выпуклобугристых торфяниках и болотах с площадными новообразованиями ММП Пятнообразование	Локальное многолетнее пучение на выпуклобугристых торфяниках с площадными новообразованиями ММП Локальное морозобойное растрескивание на плоскобугристых торфяниках с формированием ПЖЛ. Пятнообразование	Морозобойное растрескивание на плоскобугристых и полигональных торфяниках с формированием ПЖЛ Термокарст Термоэрозия на торфяниках Термоабразия Многолетнее пучение с площадными новообразованиями ММП в котловинах спущенных озер (хасыреях) Пятнообразование
Урочища без ММП				
-на суглинках	Лесные, тундровые	Крупноивняковые тундры	-	-
- на песках	Лесные, луговые, поемные	Луговые, поемные,	Луговые, поемные, холмистые тундры	-
-на торфах	Болота за исключением грядово-мочажинных	Болота за исключением грядово-мочажинных	Хасыреи (на ранней стадии развития)	-

Выводы

Географические особенности изменчивости геокриологических характеристик Большеземельской тундры в значительной степени зональны. Для территории характерно соответствие геокриологических подзон природным (ландшафтным). Внутри подзон мозаичность ландшафтных и, соответственно, геокриологических условий очень высока.

Таким образом, выявлены следующие закономерности изменчивости основных геокриологических характеристик региона:

- геокриологическая зональность соответствует природной (ландшафтной) и проявляется в увеличении распространения по площади ММП;
 - с юга на север мощность ММП увеличивается, но прямой корреляции с конкретными ландшафтными условиями не выявлено;
 - температуры ММП в целом с юга на север понижаются, но характеризуются температурным диапазоном всего в 3,5 °С, причем даже в сплошной мерзлоте температура пород поднимается до -0 °С;
 - прямой корреляции глубин СТС-СМС с геокриологической зональностью не выявлено; в первую очередь эти глубины определяются характеристиками урочищ, главным образом с составом пород, напочвенными покровами и мезорельефом;
 - криогенные процессы и криогенное строение отчасти соответствуют ландшафтной зональности, но в значительной степени зависят от региональных ландшафтных категорий.
- Также следует отметить две особенности развития ММП региона:
- разнонаправленная реакция ММП на климатический тренд потепления (северная криолитозона – больше фиксируются деградационные тенденции изменения параметров ММП, а именно понижение кровли мерзлоты, увеличение температуры ММП; южная криолитозона – аградационная тенденция с увеличением площади ММП);
 - реакция основных мерзлотных параметров на смену условий внешнего теплообмена различна: температуры ММП достаточно быстро реагируют на глобальные температурные тренды (потепление), а распространение ММП в большей степени отражает историческое прошлое, являясь очень инерционным.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Стратегия пространственного развития РФ на период до 2025 года / Утверждена распоряжением Правительства РФ от 13.02.19 № 207-р // Система КонсультантПлюс. [Электронный ресурс]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_318094/ (дата обращения: 18.03.2019).
2. Попов А. И. Мерзлотные явления в земной коре (криолитология) / А. И. Попов. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1967. – 303 с.
3. Общее мерзлотоведение (геокриология), изд. 2 : учебник / Под ред. В. А. Кудрявцева. М. : Изд-во МГУ, 1978. 464 с. (Высшая школа).
4. Кудрявцев В. А. Методика мерзлотной съёмки / В. А. Кудрявцев, К. А. Гарагуля, К. С. Кондратьева, др. – М. : Изд-во МГУ, 1979. – 358 с.
5. Осадчая Г. Г. Локальные ландшафты как индикаторы геокриологической зональности (на примере Европейского Северо-Востока) / Г. Г. Осадчая, Н. В. Тумель // Криосфера Земли. – Том XVI. – № 3. – 2012. – С.62-71.
6. Осадчая Г. Г. Морфологическая структура криогенных ландшафтов Большеземельской / Г. Г. Осадчая, Н. В. Тумель, А. М. Королёва // Криосфера Земли. – Т. XX. – № 3. – 2016. – С. 14-23.
7. Тумель Н. В. Мерзлотно-ландшафтная дифференциация криолитозоны России как основа эколого-геологических исследований / Н. В. Тумель, Н. В. Королёва // Инженерная геология. – 2008. – № 2. – С.11-14.
8. Геокриология СССР. Европейская территория СССР / Под ред. Э. Д. Ершова. – М. : «Недра», 1988. – 354 с.
9. Тумель Н. В. Температурный режим и криогенное строение мёрзлых пород восточной части Большеземельской тундры : автореф. дисс..... канд. геогр. наук / Тумель Нелли Вацлавовна. – М, 1975. –16 с.
10. Маслов А. Д. Основы геокриологии: учебное пособие / А. Д. Маслов, Г. Г. Осадчая, Н. В. Тумель, Н. А. Шполянская. – Ухта : Изд-во Института управления, информации и бизнеса, 2005. – 176 с.
11. Осадчая Г. Г. Создание обзорной геокриологической карты Большеземельской тундры на основе ландшафтного метода / Г. Г. Осадчая, Н. В. Тумель, Т. Ю. Зенгина, Е. М. Лаптева // Арктика, Субарктика: мозаичность, контрастность, вариативность криосферы: Труды международной конференции / Под редакцией В. П. Мельникова и Д. С. Дроздова. – Тюмень : Изд-во Эпоха, 2015. – С. 287-290.
12. Осадчая Г. Г. Криогенные процессы на органогенных грунтах как индикатор инженерно-геологических ограничений к природопользованию (на примере Большеземельской тундры) / Г. Г. Осадчая, Н. В. Тумель, А. М. Королёва // Проблемы региональной экологии. – 2015. – № 2. – С. 89-94.
13. Малкова Г. В. Оценка устойчивости мёрзлых толщ при современных изменениях климата / Г. В. Малкова, А. В. Павлов, Ю. Б. Скачков // Криосфера Земли. – 2011. – Т. XV. – № 4. – С. 33-36.
14. Осадчий В. В. Современная мерзлота южной криолитозоны Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции / В. В. Осадчий, Г. Г. Осадчая // Материалы международной конференции «Криогенные ресурсы полярных и горных регионов. Состояние и перспективы инженерного мерзлотоведения». Тюмень, 21-24 апреля 2008 г. – Тюмень : Изд-во ТюмГНГУ, 2008. – С. 258-261.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Strategiya prostranstvennogo razvitiya RF na period do 2020 goda / Utverzhdena rasporyazheniem Pravitelstva RF ot 13.02.19 № 207-p // Sistema Konsultantplus. [The strategy of spatial development of the Russian Federation until 2025/Approved by the order of the Government of the Russian Federation from 13.02.19 No. 207-r [Electronic resource] // System KonsultantPlus]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_318094/ (accessed: 18.03.2019) [in Russian].
2. Popov A. I. Merzlotnye yavleniya v zemnoy kore (kriolitologiya) [Permafrost features in crust (cryolithology)] / A. I. Popov. – M.: publishing house of Moscow university, 1967. – 303 p. [in Russian].
3. Obchzhee merzlotovedenie (geokriologiya) [General permafrost study (geocryology)], edition 2: the textbook / Under the editorship of V. A. Kudryavtsev. – M.: MSU publishing house, 1978. – 464 p. (Higher school) [in Russian].
4. Kudryavtsev V. A. Metodika merzlotnoy semki [Technique of geocryological survey] / V. A. Kudryavtsev, K. A. Garagulya, K. S. Kondrateva, etc. – M.: MSU publishing house, 1979. – 358 p. [in Russian].
5. Osadchaya G. G. Localnye landshapty kak indikator geokriologicheskoy zonalnosti (na primere Evropeyskogo Severo-Vostoka) / G. G. Osadchaya, N. V. Tumel. – Tom XVI [Osadchaya G. G. Local landscapes as indicators of geocryologic zonality (on the example of the European Northeast) / G. G. Osadchaya, N. V. Tumel // Kriosfera Zemli [Earth Cryosphere]. – Volume XVI. – No. 3. – 2012. – P. 62-71. [in Russian].
6. Osadchaya G. G. Morfologicheskaya structura kriogennykh landshaphtov Bolshezemelskoy [Osadchaya G. G. Morphological structure of Bolshezemelskaya cryogenic landscape / G. G. Osadchaya, N. V. Tumel, A. M. Koroleva // Earth Cryosphere. – Volume XX]. – No. 3. – 2016. – P. 14-23. [in Russian].
7. Tumel N. V. Merzlotno-landshaptnaya differentsiatsiya kriolitozony Rossii kak osnova ekologo-geologicheskikh issledovaniy [Tumel N. V. Permafrost landscape differentiation of cryolithic zone of Russia as the basis of ecological and geological researches] / N. V. Tumel, N. V. Koroleva // Inzhenernaya geologiya [Engineering geology]. – 2008. – No. 2. – P. 11- 14. [in Russian].
8. Geokriologiya SSSR. Evropeyskaya territoriya SSSR [Geocryology of the USSR. The European territory of the USSR] / Under the editorship of E. D. Yerшов. –M.: "Subsoil", 1988. – 354 p. [in Russian].
9. Tumel N. V. Temperaturny rezhim i kriogennoe stroenie merzlykh porod vostochnoy chasti Bolshezemelskoy tundry [Temperature condition and cryogenic structure of frozen breeds of the east part of Bolshezemelskaya Tundra] / N. V. Tumel : The thesis for dis. of PhD in Geography – M, 1975. –16 p. [in Russian].
10. Maslov A. D. Osnovy geokriologii: [Fundamentals of geocryology]: manual / A. D. Maslov., G. G. Osadchaya, N. V. Tumel, N. A. Shpolyanskaya. – Ukhta: Publishing house of Institute of Management, Information and Business, 2005. – 176 p. [in Russian].
11. Osadchaya G. G. Sozдание obzornoy geokriologicheskoy karty Bolshezemelskoy tundry na osnove landshaptnogo metoda [Creation of the geocryologic map of Bolshezemelskaya Tundra on the basis of the landscape method] / G. G. Osadchaya, N. V. Tumel, T. Yu. Zengina, E. M. Lapteva // Arktika, Subarktika: mozaichnost, kontrastnost, variativnost kriosfery: Trudy mezhdunarodnoy konferentsii [The Arctic, Subarctic region: mosaicity, contrast and variability of the cryosphere: Works of the international conference] / Under the editorship of V. P. Melnikov and D. S. Drozdov. – Tyumen: Publishing house Epokha, 2015 – P. 287-290. [in Russian].
12. Osadchaya G. G. Kriogennye protsessy na organogennykh gruntakh kak indikator inzhenerno-geologicheskikh ogranicheniy k prirodopolzovaniyu (na primere Bolshezemelskoy tundry) [Cryogenic processes on organogenic soil as the indicator of engineering-geological restrictions to environmental management (on the example of Bolshezemelskaya Tundra)] / G. G. Osadchaya, N. V. Tumel, A. M. Koroleva // Problemy regionalnoy ekologii [Problems of regional ecology]. – 2015. – No. 2. – P. 89-94. [in Russian].
13. Malkova G. V. Otsenka ustoychivosti merzlykh tolshzh pri sovremennykh izmeneniyakh klimata [Study of frozen thicknesses stability during climate changes] / G. V. Malkova, A. V. Pavlov, Yu. B. Skachkov // Kriosfera Zemli [Earth Cryosphere]. – 2011. – T. XV. – No. 4. – P. 33-36. [in Russian].
14. Osadchiy V. V. Sovremennaya merzlota yuzhnoy kriolitozony Timano-Pechorskoy neftegazonosnoy provintsii. [Modern permafrost of the southern cryolithic zone of the Timano-Pechorsky oil-and-gas province] / V. V. Osadchiy, G. G. Osadchaya // Materialy mezhdunarodnoy konferentsii "Kriogennye resursy polyarnykh i gornyykh regionov. Sostoyanie i perspektivy inzhenernogo merzlotovedeniya" [Materials of the international conference "Cryogenic resources of polar and mountain regions. State and prospects of engineering permafrost study"]. Tyumen, April 21-24, 2008 – Tyumen: TSOGU publishing house, 2008. – P. 258-261. [in Russian].

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.103.2.025>

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК
ОТАПЛИВАЕМЫХ ТЕПЛИЦ ИЗ ПОЛИКАРБОНАТА**

Научная статья

Ильичев В.Ю.*

ORCID: 0000-0003-1017-5544,

Калужский филиал Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

* Корреспондирующий автор (patrol8[at]yandex.ru)

Аннотация

Целью работы является разработка практического метода проектирования теплиц, позволяющего исследовать характеристики их режимов эксплуатации.

На основе уравнений теплового и баланса, составленных для ограждений теплицы и для почвы при стационарном режиме тепломассообмена, разработана расчётная программа на языке Python. Данный язык выбран по причине наличия специальной библиотеки для вычисления теплофизических параметров влажного воздуха.

В качестве примера рассчитана теплица с инфракрасными обогревателями и ограждениями из поликарбоната разных марок. Анализ результатов позволил выбрать для данной теплицы оптимальное сочетание типа поликарбоната и способа вентиляции.

Намечены цели будущих разработок при решении задач проектирования систем обогрева и оптимизации ограждений теплиц.

Ключевые слова: расчёт теплиц, поликарбонат, тепломассообмен, язык Python, модуль CoolProp.

**DEVELOPMENT OF PROCEDURE FOR DETERMINATION OF CHARACTERISTICS
OF HEATED POLYCARBONATE GREENHOUSES**

Research article

Ilichev V.Yu. *

ORCID: 0000-0003-1017-5544,

Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University, Kaluga, Russia

* Corresponding author (patrol8[at]yandex.ru)

Abstract

The purpose of the work is to develop a practical method for designing greenhouses, which allows to investigate the characteristics of their operating modes.

Based on equations of thermal and humidity balance, compiled for greenhouse fences and for soil in a stationary heat and mass exchange mode, a calculation program in the Python language was developed. This language is selected due to the presence of a special library for calculating thermophysical parameters of wet air.

As an example, a greenhouse with infrared heaters and polycarbonate fences of various grades is designed. Analysis of the results made it possible to choose for this greenhouse the optimal combination of type of polycarbonate and ventilation method.

The goals of future developments in solving problems of designing heating systems and optimizing greenhouse fences are outlined.

Keywords: greenhouse calculation, polycarbonate, heat and mass exchange, Python language, CoolProp module.

Introduction

Solving the problem of providing the population with agricultural products in the cold season is possible due to the construction of industrial greenhouses. When designing them, it is necessary to use modern accurate calculation methods and materials of fences (the most promising of which is polycarbonate).

Currently, infrared heaters [1] are most often used to heat greenhouses in cold times of year, which are located in upper part of greenhouses, while soil heating is due to thermal radiant energy. After that, the soil gives part of the thermal energy to the air, and part goes into its deep layers.

When designing, it is necessary to calculate heat costs, reducing which, it is possible to increase economic efficiency of using greenhouses.

As for any room, the basis of the calculation method should be compilation of thermal and material balances of greenhouse room under known environmental conditions [2].

Methods

The study of processes occurring in greenhouses is based on solution of system of equations for the case of steady-state heat exchange mode [3]:

1. Equation of thermal balance of greenhouse fence, showing that radiant heat flow coming from infrared emitter is spent on losses due to heat transfer through fences and loss with air exiting through the ventilation openings.

2. Equation of thermal balance of soil surface, taking into account the evaporation of moisture from the surface. According to it, heat flow from the emitter goes to thermal radiation of soil surface, convective part of heat exchange between soil and enclosure and to heat flow to evaporate moisture from soil surface.

Solution of the system of the equations allows to find the power of emitters at given temperatures of soil and outdoor air. This solution is most expedient to find by sequential approximation using a computer program. For creation of the program

freely extended and popular Python [4] programming language with module CoolProp [5] for determination of thermophysical parameters of air is used.

Initial parameters for the calculation are [6]: dimensions of greenhouse fence and ventilation openings, surface area of soil, reflection and absorption coefficients of soil and fencing, parameters of external and internal air, temperature of soil surface.

The program algorithm consists of performing the following operations:

1. Import function libraries for Python:
 - Math for calculation of trigonometric functions;
 - Numpy for working with data arrays (calculated at different initial parameters-arguments and later used to plot functions);
 - CoolProp to find thermophysical properties of dry and wet air (enthalpy and moisture content);
 - Matplotlib for constructing graphs based on the results of calculating arrays of arguments and functions.
2. Assigns the values of the specified initial parameters to the variables.
3. Creation of arrays for entering arguments: variable temperature of external and internal air, and calculated values of functions during the program: required power of an infrared emitter and thermal losses of every types.
4. Organization of two nested calculation loops. In the external loop, the value of the first argument - ambient air temperature (for further plotting) changes. In the internal loop, the second argument changes step by step - the temperature of the internal air. The calculation of the internal cycle is considered complete if the equality of heat energy released by the heaters and lost through the fences is achieved.

Results

As an example, heat regime of greenhouse was analyzed (see Figure 1) for the annual outside air temperature range characteristic of middle region of Russia [7].

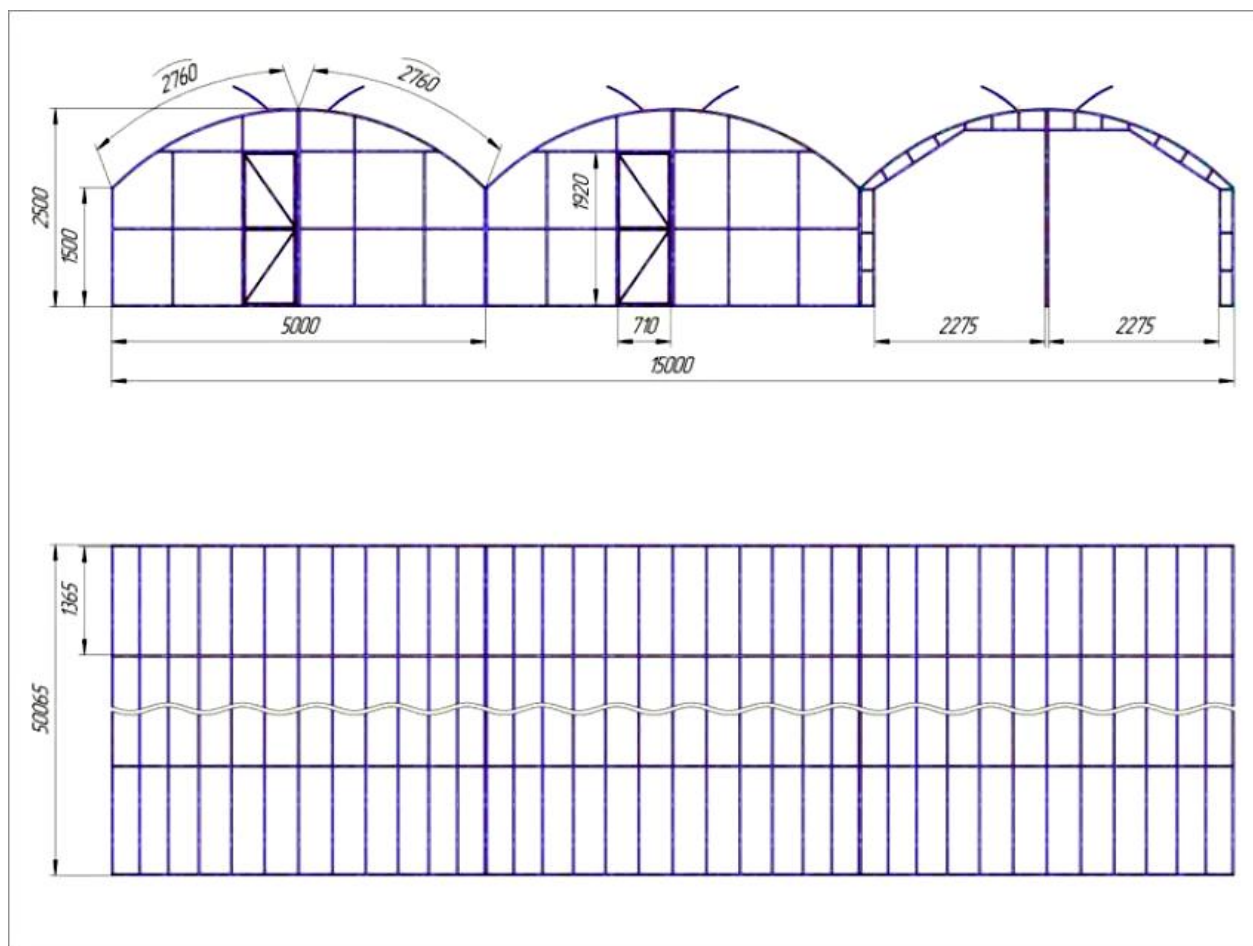


Fig. 1 – Sketch of the industrial greenhouse to be calculated

The first option under consideration for organizing ventilation of the greenhouse was natural ventilation. Greenhouse fences are made of polycarbonate with a recommended thickness of 10 mm [8]. Two types of polycarbonate cross-section were compared - monolithic Monogal and cellular Polygal, characteristics of which are accepted according to their manufacturer's information.

Figure 2 shows results of calculation of air temperature inside the greenhouse.

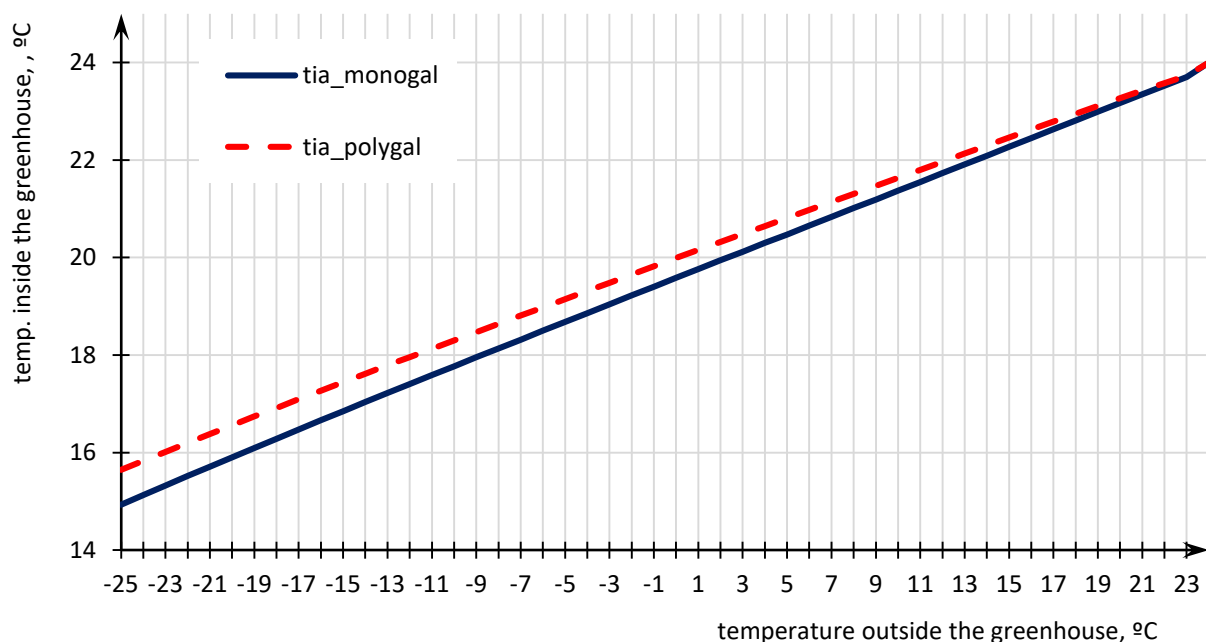


Fig. 2 – Dependence of air temperature inside the greenhouse on outdoor air temperature for fences from monolithic (Monogal) and cellular (Polygal) polycarbonate

We see that outdoor temperature within the given year-round range of its change in the greenhouse, is maintained from 15-16 to 24 °C, which is quite acceptable for growing vegetables, for example.

The dependence of required power of infrared emitters Q_{rad} on the outdoor temperature is also obtained, shown in Figure 3. Heat energy losses through fences Q_{fen} and through vents Q_{vent} are also shown separately.

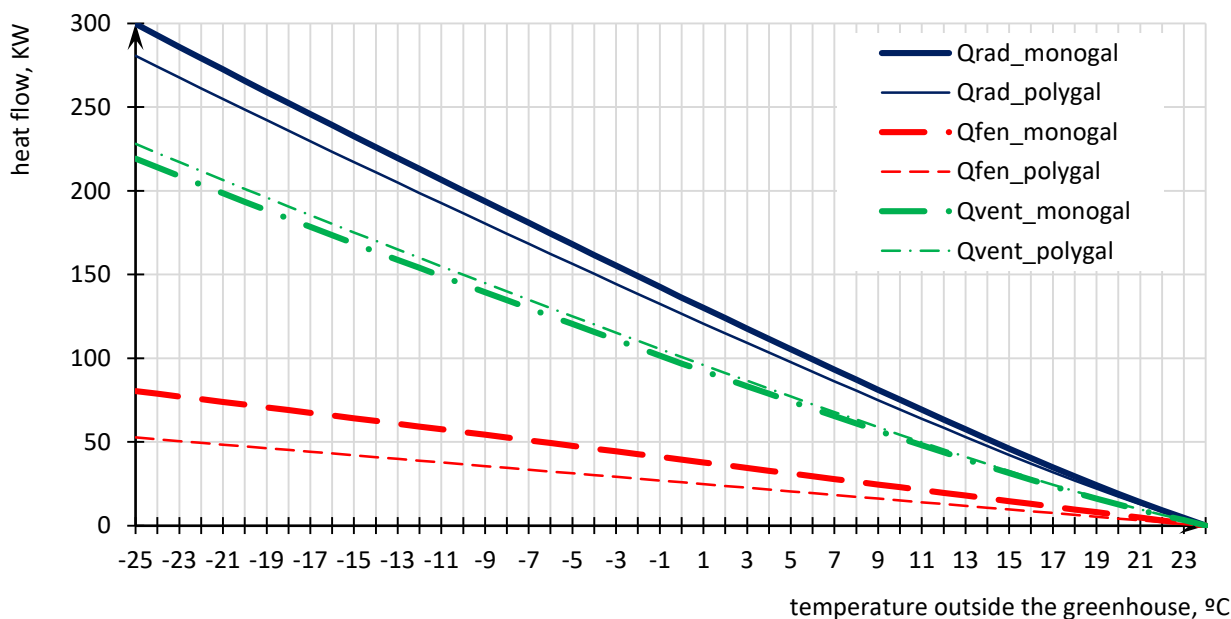


Fig. 3 – Dependence of infrared emitters power, as well as thermal losses through fences and ventilation holes, on the outdoor temperature for fences from monolithic (Monogal) and cellular (Polygal) polycarbonate

It can be seen from the graphs that when enclosures are arranged from both types of polycarbonate, thermal energy loss is approximately the same (for cellular construction a little lower). When using cellular polycarbonate, losses through fences are significantly reduced, but they are several times less than ventilation losses and the total losses are not significantly affected.

Discussion

According to the presented calculation results, it can be concluded that when organizing the greenhouse fencing, monolithic Monogal and cellular Polygal cross sections of polycarbonate are suitable for natural air ventilation, but use of cellular type is somewhat more preferable.

According to the same program, calculation was made when organizing the ventilation of the greenhouse using fans. According to results of the calculation, graphs were drawn showing that for any type of polycarbonate the air temperature in greenhouse ranges from 1 to 24 °C, which is completely unacceptable for growing plants, and total heat flow at -25 °C is more than 2 times higher than heat loss in natural circulation. Therefore, forced ventilation is not applicable to the greenhouse.

Conclusion

The following tasks were achieved:

- greenhouse calculation methodology has been developed;
- an algorithm and a program for calculating temperature characteristics of greenhouses with infrared heaters have been developed;
- obtained temperature characteristics of a large greenhouse from monolithic and cellular polycarbonate, with natural and forced ventilation; based on results of calculations, conclusions were made about admissibility and preference of using considered technical solutions.

The calculation program can be used to design any greenhouses type using infrared radiation heaters. The program allows you to choose the optimal way to organize ventilation, correct size and type of fences, size of ventilation openings, vary heat reflecting properties of soil and many other parameters.

Based on the results of calculating the maximum thermal losses, someone can select necessary source of infrared radiation.

Further improvement of temperature regime of greenhouses is possible by using combined heating systems [9] and new research methods [10].

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Kim D. Comparative Study on the Reduction Effect in Greenhouse Gas Emissions between the Combined Heat and Power Plant and Boiler / D. Kim, T. Kim, Y. A Park // Sustainability. - 2020. - №12. - P. 44-55.
2. Golub G.A. Modelling the work of closed system of heating and ventilation of greenhouses / G.A. Golub, O.I. Kepko // INMATEH - Agricultural Engineering. - 2017. - Vol. 52.- № 2. - P. 85-90.
3. Irineo Lopez-Cruz Development and analysis of dynamical mathematical models of greenhouse climate: A review / Irineo Lopez-Cruz, Efrén Fitz-Rodríguez, Salazar Moreno Raquel. // European Journal of Horticultural Science - 2018. - №5. - P. 269-279.
4. Hosseini R. Improving engagement in program construction examples for learning Python programming. / R. Hosseini, K. Akhuseyinoglu, P. Brusilovsky et al. // International Journal of Artificial Intelligence in Education. - 2020. - №2. - P. 299-336.
5. Abolpour B. AN Empirical correlation relating equilibrium compressibility factors for pure substances / B. Abolpour, M. Rahmanzadeh // International Journal of Thermophysics. - 2019. - Vol. 40.- №10. - P. 91.
6. Uzakov G.N. Technical and economic calculation of combined heating and cooling systems vegetable store-solar greenhouse / G.N. Uzakov // Applied Solar Energy. - 2012. - Vol. 48. - №1. - P. 60-61.
7. Sharafutdinov R. Application of active temperature logging at oilfields of Russia / R. Sharafutdinov, R. Valiullin, A. Ramazanov, V. Fedotov, A. Sadretdinov, M. Zakirov // Society of Petroleum Engineers - SPE Russian Oil and Gas Exploration and Production Technical Conference and Exhibition 2012.- 2012. - P. 1628-1645.
8. O'Connell P.A. Exceptional property changes in ultrathin films of polycarbonate: glass temperature, rubbery stiffening, and flow / O'Connell P.A., Wang J., Ishola T.A., McKenna G.B. // Macromolecules. - 2012. - Vol. 45. - №5. - P. 2453-2459.
9. Pavlov M.V. Winter greenhouse combined heating system / M.V. Pavlov, D.F. Karpov, A.A. Sinitsyn, A.G. Gudkov // Magazine of Civil Engineering. - 2020. - №3(95). - P. 131-139.
10. Kovac M. Using designbuilder to analyse the indoor environment in greenhouse / M. Kovac, K. Kovacova // 16th international multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2016. Sofia, - 2016. - P. 787-794.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.103.2.026>

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ СЕЛЬСКИМ ХОЗЯЙСТВОМ

Научная статья

Буклагин Д.С.*

ORCID: 0000-0001-9471-1513,

Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований
по инженерно-техническому обеспечению АПК, Правдинский, Россия

* Корреспондирующий автор (buklagin[at]rosinformagrotech.ru)

Аннотация

На примере передовых хозяйств показано, что цифровые технологии, лежащие в основе современных систем управления и оптимизации технологических процессов в сельском хозяйстве, позволяют получать агробизнесу необходимую для принятия решения информацию, оптимизировать ресурсы и снижать себестоимость продукции. Для сокращения технологического отставания России от ведущих стран мира по уровню производительности труда в сельском хозяйстве за счет освоения цифровых и интеллектуальных технологий управления, сельское хозяйство нуждается в прямой поддержке аграриев, осваивающих технологии и технику с высокой интеллектуальной составляющей, способной обеспечить конкурентоспособность и инвестиционную привлекательность отрасли.

Ключевые слова: разработка, автоматизация, цифровизация, управление, производительность, конкурентоспособность.

DIGITAL TECHNOLOGIES IN AGRICULTURAL MANAGEMENT

Research article

Buklagin D.S.*

ORCID: 0000-0001-9471-1513,

Russian Research Institute of Information and Technical and Economic Research on Engineering and Technical Support
of the Agro-Industrial Complex, Pravdinsky, Russia

* Corresponding author (buklagin[at]rosinformagrotech.ru)

Abstract

As exemplified by the advanced farms, the use of digital technologies in the foundation of the modern systems of farm management and optimization enables farmers to collect information that informs proficient decision making, optimize resources and lower the prime cost of the goods. In terms of farming efficiency, the Russian Federation falls behind the countries that use digital- and knowledge-intense methods of management. In order to catch up with the current level of farm labor efficiency, Russian farming needs direct support from those farmers that master knowledge-intense technology and equipment. This can make Russian farming competitive and increase its investment attractiveness.

Keywords: development, automation, digitalization, management, productivity, competitiveness.

Введение

Применение современных управленческих технологий, построенных на цифровых моделях организации сельскохозяйственных производств становится неотъемлемой частью современного аграрного сектора России [1, С. 7], [2].

В ведомственном проекте «Цифровое сельское хозяйство», разработанном Минсельхозом России, предусмотрено освоение цифровых технологий и платформенных решений на сельскохозяйственных предприятиях, которые должны обеспечить к 2024 году технологический прорыв в АПК и рост производительности труда в 2 раза [1, С.10].

Цифровизация агробизнеса позволяет получать наиболее полную информацию для оптимизации использования ресурсов и снижения себестоимости продукции. Системы для получения и обработки информации включают датчики, оборудование для коммуникации, хранения и агрегирования информации, различные аналитические блоки для оптимизации управления технологическими процессами [3].

Анализ отечественного и международного опыта показывает, что применение цифровых технологий является одним из важных факторов, обеспечивающих рост производительности труда, ресурсосбережения, стабильности производства сельскохозяйственной продукции и сырья, снижения потерь продукции в производственной цепочки: производство-транспортировка-хранение-реализация.

Цель исследования

Дать анализ основных направлений цифровизации управления в сфере производства, хранения и реализации готовой продукции потребителям.

Материалы и методы

Теоретической базой проведения исследований послужили научно-исследовательские работы [6], [12], [20], посвященные применению цифровых технологий управления в сельском хозяйстве, а также ведомственный проект «Цифровое сельское хозяйство», в рамках которого предполагается проведение научных исследований по направлению «Агрорешения для агробизнеса», а также внедрение цифровых решений: «Умная ферма», «Умное стадо и др. В качестве методологической основы проведения исследований использовались общенаучные методы исследования, информационно-логический анализ научно-технической информации, а также материалы изучения рынка интеллектуальных технологий управления в сельском хозяйстве.

Основные результаты

Цифровизация превращает сельское хозяйство в высокотехнологичный сектор экономики, где обрабатываются массивы больших данных, поступающих от многочисленных сенсоров, установленных в поле, на ферме, сельскохозяйственной технике, от метеостанций, спутников и других систем. Аналитическая обработка этих массивов позволяет получать ранее недоступную информацию, находить закономерности, позволяющие повышать эффективность управления сельскохозяйственным производством, улучшать работу агробизнеса и связь с потребителями.

Основу «цифрового АПК» составляют информация от датчиков, математические модели анализа процессов производства и сбыта продукции, модерирование всей цепочки создания ее стоимости, планирования объема производства, качества продукции и прибыли.

Программное обеспечение направлено на обоснование рекомендаций специалистам по улучшению технологий производства сельскохозяйственных культур по сравнению с достигнутыми показателями в прошедшие годы. В их основе лежат современные методы обработки информации, направленные на определение оптимального времени для посева, внесения удобрений, полива, уборки урожая, а также расчет времени доставки продукции потребителям.

Современные методы обработки информации при разработке обоснованных рекомендаций для принятия управленческих решений специалистами сельского хозяйства базируются на анализе множественных факторов, влияющих на эффективность производства, их интеграции с различными интеллектуальными ИТ-приложениями, осуществляющих обработку данных в режиме реального времени. При этом полезность рекомендаций для специалистов увеличивается с ростом количества пользователей, подключенных в единую сеть и обменивающихся данными через облачные сервисы управления сельскохозяйственными предприятиями [4], [5].

Важно отметить, что наметившийся прорыв в цифровизации аграрного производства обусловлен тем, что технологические аграрные компании, работая совместно с ИТ-специалистами, научились контролировать технологические процессы в растениеводстве и животноводстве за счет применения устройств, которые измеряют, обрабатывают и передают с использованием беспроводных каналов коммуникаций текущие показатели, характеризующие состояние каждого объекта управления (плодородие почвы, развитие растений, характеристики микроклимата, и т.д.).

Это стало возможным благодаря совершенствованию компьютерной техники и программного обеспечения, развитию облачных, сетевых и интернет-технологий, которые лежат в основе автоматизации большинства сельскохозяйственных процессов и создания цифровых моделей функционирования всех взаимосвязанных звеньев, участвующих в цепочке формирования стоимости продукции, планирования работы, принятия управляющих воздействий по снижению потерь, прогнозированию урожайности, оценке себестоимости производства и прибыли [6, С. 250].

Первыми осваивать автоматизированные системы управления могут крупные сельскохозяйственные предприятия, в основе которых-использование технологий интернета вещей, роботов, обработки больших сельскохозяйственных данных с помощью инновационного программного обеспечения, организация трансфера достижений передовых зарубежных практик.

Средние сельскохозяйственные предприятия, активно внедряющие новые технологии, также перспективны для использования АИот-решений в сельскохозяйственном производстве.

В настоящее время 40% менеджеров сельхозпредприятий озабочены необходимостью анализа больших данных, качество обработки которых влияет на обоснованность выводов, на основе которых принимаются решения [7, С. 8]. Поэтому ведущие сельскохозяйственные компании мира стремятся автоматизировать максимальное количество сельскохозяйственных процессов, снижающих риски от человеческого фактора.

Освоение ИТ-технологий и автоматизация аграрного производства позволяет решить многие задачи, постоянно возникающие в длинной цепи производства и реализации продукции, решение которых связано со значительным увеличением объема получаемых и обрабатываемых данных, повышением достоверности выводов, лежащих в основе принятия решений по управлению производством.

Цифровое планирование предполагает рациональное построение системы управления, призванное исключить негативное влияние человеческого фактора, связанного с ограничением знаний, снижением мотивации деятельности и ответственности специалистов на результаты управления производством.

Пример комплексной автоматизированной информационной системы поддержки принятия решений в управлении технологическими процессами растениеводства, базирующейся на комплексе математических моделей, представлен на рис. 1 [6, С. 251].

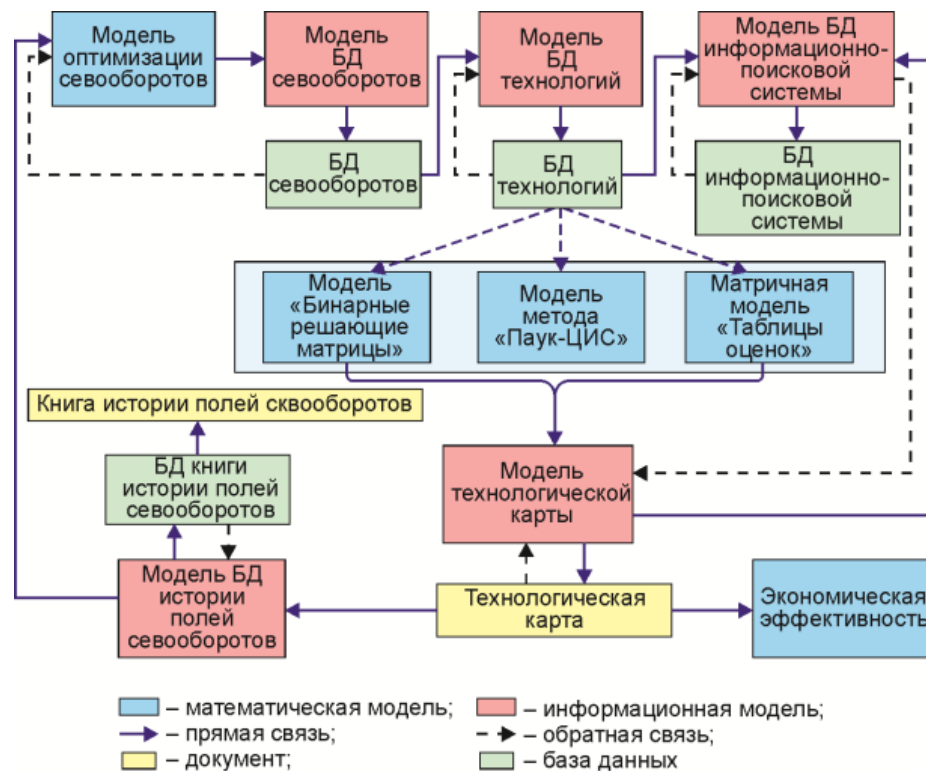


Рис. 1 – Модельное обеспечение комплексной АИС управления

Основой для проведения интеллектуального анализа данных является база данных модуля истории полей, которая создана с использованием технологии «BigData».

Как правило, первыми цифровые технологии начали внедрять крупные предприятия, такие как агрохолдинг «Русагро», который обрабатывает почти 1 % всех сельскохозяйственных земель страны. Начало цифровизации связано с внедрением системы управления ресурсами. Задания для 1,5 тыс. сотрудников формируются в Системе Планирования Ресурсов Предприятия - SAP ERP (Enterprise Resource Planning компании SAP).

В агрохолдинге анализируются данные, поступающие со спутников, с собственных метеостанций и погодных сервисов, датчиков, установленных в полях агрегируются и представляют большие данные, характеризующие динамику развития возделываемых культур, работу сельскохозяйственной техники, характеристику полей, используемые семена, состояние почв, применяемые технологии и погодные условия. Собранные данные используются компанией для анализа и корректировки производственных программ.

Для сельхозтоваропроизводителей особый интерес представляют системы контроля и анализа данных в режиме реального времени. Например, в российском проекте «Агросигнал» на мониторах показывается вся работа техники, поэтому любые отказы можно легко заметить и оперативно устранить. Особое внимание уделяется контролю развития посевов, которым охвачено свыше 150 хозяйств, обрабатывающих более 2 млн га земли. Система контроля планирует производственные процессы, корректирует планы в ходе их выполнения, с помощью подключенных датчиков и приборов автоматически регистрирует сроки выполнения работ. Практическое применение разработанной системы показало, что производительность может быть увеличена в 2 раза, экономия материальных ценностей до 50 %, а урожайность повышается на 10–15 % [7, С. 8].

Другим примером применения цифровых технологий управления является агрохолдинг «Кубань», с числом работающих 5000 человек. Холдинг занимается растениеводством, животноводством, хранением и переработкой зерна, семеноводством и другими направлениями деятельности.

Главная задача управления холдингом – это обеспечение контроля работы всех предприятий, входящих в холдинг: сельскохозяйственные предприятия, животноводческие фермы, комбикормовый и конный заводы, лаборатория контроля качества кормов, сервисные центры и другие предприятия. Для решения задач контроля и управления используются подробные картограммы полей, данные мониторинга их состояния, полученные с использованием спутниковых технологий и данных с беспилотных летательных аппаратов, аналитическая обработка и пакетная передача информации [8].

Цифровой мониторинг работы сельскохозяйственной техники, оптимизация маршрута движения, автоматизация контроля технического состояния машин позволяет снизить до 30% расход топлива, автоматизировать технологические процессы возделывания и уборки сельскохозяйственных культур. Получение и обработка данных диагностики полей с использованием камер высокого разрешения, метеорологических датчиков температуры, влажности, дождя, а также скорости и траектории движения воздушных масс, атмосферного давления, а также информации из базы данных болезней растений фактически приводит к необходимости применения технологии обработки больших данных (big data).

Такая технология позволяет специалистам холдинга более точно прогнозировать погодные условия, получать результаты тестирования плодородия почвы, более оперативно управлять развитием растений и эффективностью производства.

Для автоматизации процессов управления производством, увязки производственных операций с ресурсами предприятия и повышения эффективности растениеводства агрохолдинг «Кубань» одним из первых в аграрном секторе России внедряет отраслевую ERP-систему со специализированным программным комплексом Oracle JD Edwards Enterprise One с приложениями для сельского хозяйства. На площади более 100 тыс. га автоматизируются процессы управления и контроля производства зерновых, зернобобовых, подсолнечника и сахарной свеклы.

Для анализа уровня плодородия почвы используется «посох агронома», с датчиками и системами GPS и ГЛОНАСС. К основным определяемым показателям относятся влажность, содержание органических веществ, гидролитическая кислотность, pH солевой вытяжки, уровни нитратного и аммонийного азота, подвижных форм фосфора и калия.

По отзывам специалистов благодаря цифровизации управления компания смогла стать одним из наиболее эффективных землепользователей и одним из крупнейших животноводческих бизнесов страны.

Разработкой и продвижением цифровых систем управления аграрным производством занимаются и другие отечественные компании. Например, разработанный компанией Eхact Farming онлайн-сервис мониторинга полей и управления сельским хозяйством определяет метеоданные, вегетационный индекс, состояние севооборота за прошлые годы, плодородие почвы, отражает ход полевых работ, информацию о продукции на складах, а также повышает точность прогнозирования рисков, что является более обоснованным получением кредитов.

Компания Алан-ИТ разработала комплекса программных средств для растениеводства, включающего систему учета и встроенную бизнес-аналитику. Комплекс решает задачи учета, оптимизации планирования сельскохозяйственных работ, прогнозировать урожайность, контролировать ход сельскохозяйственных работ в режиме реального времени, оценивать отклонения от плана, определять влияющие на конечные результаты причины. Это делает прозрачным весь процесс производства продукции в растениеводстве, позволяет управляющему персоналу повысить прибыль от применяемых технологий.

Для выработки управленческих решений в сфере сельскохозяйственного производства этой же компанией разработан облачный геоинформационно-аналитический сервис, представляющей специалистам информацию о состоянии каждого поля в определенный период времени и позволяющей спрогнозировать динамику развития растений.

По данным исследований ФГБНУ ФНАЦ ВИМ садоводство одна из наиболее трудоемких подотраслей сельского хозяйства, уровень механизации которой составляет 15-20%, что сдерживает внедрение современных высокоэффективных технологий производства плодово-ягодной продукции, приводит к упрощению агротехнологий, снижению производительности труда и недобору урожая до 40-50%.

Для реализации интеллектуальных технологий возделывания ягодных кустарников в ФГБНУ ФНАЦ ВИМ обоснована структура системы управления производственными процессами в интеллектуальных технологиях возделывания кустарниковых ягодных культур, включающая:

- блок контроля параметров производственного процесса (комплект датчиков для сбора информации о состоянии растений и окружающей среды);
- информационно-аналитический блок для обработки и анализа информации;
- блок реализации управляющих воздействий.

Разработаны требования к АСУ производственными процессами, обеспечивающей контроль и учёт внешних климатических факторов, показателей роста и состояния ягодных кустарников в критические фазы их развития. Графическое представление данных о параметрах окружающей среды размещается в сети Интернет. В процессе работы пользователю предоставляется возможность вводить и корректировать условия производства, тем самым адаптируя систему для формирования оптимизированных управленческих решений [9].

Рассматривая процессы цифровизации управления в животноводстве, которые связаны с живыми организмами, следует отметить, что почти все они интегрируются в системах управления стадом.

Основными требованиями к системе управления стадом являются [10, С. 40]:

- переход от визуального контроля к контролю через измеряемые параметры;
- уменьшение влияния человеческого фактора при выполнении технологических операций;
- переход от реактивного управления к активному;
- минимизация влияния индивидуальных особенностей животных на результаты производственного процесса.

Как правило, интеллектуализация управления в животноводстве предусматривают создание следующих систем (подсистем) [11, С. 110]:

- централизованной системы управления «Умной» фермой;
- подсистем управления отдельными технологическими процессами;
- локальных подсистем управления (доение, кормление, микроклимат, удаление навоза и др.);
- АРМ-ов специалистов (ветврач, зоотехник, инженер).

Кроме того, интеллектуальные системы в животноводстве должны включать информационно-аналитические блоки по оценке качества молока, отслеживанию поставок, взаимодействию с заказчиками и др.

Цифровизация молочного животноводства позволяет объединить, систематизировать и обработать данные, поступающие от: чипированных животных; «умных» систем доения; приборов, анализирующих качество молока; «сканеров упитанности»; датчиков активности животных; кормостанций, кормораздатчиков, кормоцехов; систем микроклимата и поения животных; автоматических цифровых весов и других видов техники и интеллектуальных устройств.

Интеллектуализация процессов производства молока, сбор и обработка информации в режиме «онлайн», формирование баз данных (Big Data), разработка алгоритмов и цифровых моделей для оптимизации технологических процессов обеспечивают объективное и оперативное «цифровое» отображение объектов управления, минимизирует потребность в визуальном наблюдении и контроле, автоматическую корректировку управленческих воздействий.

Например, измерение, сбор, хранение и анализ больших объемов данных электропроводности, других показателей биохимии молока в процессе доения, упитанности и живой массы, температуры различных частей тела животных, их

активности позволяют оперативно корректировать рацион; выявлять и диагностировать на ранних стадиях мастит, кетоз, ацидоз и другие болезни; определять наиболее благоприятное время для осеменения коров. Это обеспечивает рост выхода телят, надоев, улучшается конверсия корма, снижаются расходы на осеменение, убытки от выбраковки коров и затраты на лечение животных [12, С. 110].

Внедрение цифровых, автоматизированных систем управления в свиноводстве и птицеводстве позволило в сложных экономических условиях и при росте ветеринарных рисков динамично увеличивать объемы производства продукции. Хотя в молочном животноводстве темпы использования цифровых технологий существенно ниже, однако уже есть хозяйства, в которых информация, полученная со всех этапов сложных производственных процессов, объединяется на базе единой «цифровой платформы» [13, С. 15].

Примером компьютеризированного управления молочной фермой является система AFIMILK компании S.A.E. AFIKIM (Израиль), позволяющая получать в режиме реального времени точную информацию о каждом животном, о стаде в целом, контролировать работу доильного оборудования, измерять надой, оценивать состояние здоровья животных и многие другие показатели. Применение разработанной системы снижает потери молока и затраты труда на его производство, уменьшает процент выбраковки животных [14].

Для выявления субклинического мастита, из-за несвоевременно обнаружения которого, надой молока могут снижаться на 7-15%, производится измерение электропроводности молока интегрированным молокомером. Это позволяет контролировать весь технологический процесс доения от определения продуктивности каждой коровы до своевременного снятия подвесной части доильного аппарата. Обработка данных, поступающих от всех функциональных модулей системы, которые лежат в основе решений по управлению молочной фермой по воспроизводству стада, технологии кормления, состояния здоровья животных, прогнозирования объемов производства молока и другим вопросам осуществляется специальным программным обеспечением AFIFARM.

Для проведения обследования, лечения или осеменения животных, а также для взвешивания, определения моторной активности и маркировки животных разработаны соответствующие модули. Модульность конструкции Система AFIMILK имеет модульную конструкцию, что позволяет поэтапно расширять возможности системы до полной автоматизации молочного комплекса. Для компьютеризации отдельных процессов (лечение, осеменение животных, взвешивание, определение моторной активности, маркировка животных и др.) разработаны соответствующие модули.

В направлении автоматизация молочного и мясного животноводства активно работают многие зарубежные фирмы. Так, компания Uniform-Agri (Голландия) специализируется на разработке программного обеспечения для управления стадом и поголовьем. Разработки этой фирмой используются фермерами в Нидерландах, Великобритании, Германии, Италии, Испании, России и других странах.

Программа UNIFORM PROFESSIONAL GLOBAL, разработанная компанией Uniform-Agri, представляет аналитический инструмент для повышения продуктивности стада, с помощью которого можно анализировать воспроизводство, молочную продуктивность и здоровье - три самых важных показателя современного молочного хозяйства. Программное обеспечение обладает мощной и мобильной базой данных, в которой может храниться информация о более чем 10000 голов скота [15].

Разработанная программа включает отдельные модули по управлению стадом (общая информация о стаде, управление надоями, воспроизводство стада, лечение, быки, корма, экономика и др.) Важно отметить, что эта программа совместима с системой Селэкс, с программными средствами доильных залов и доильного оборудования различных компаний-производителей, таких как DELAVAL, WESTFALIA, BOUMATIC, SAC, GASCOIGNE MELOTTE, DAIRY PLAN, ALPRO и др.

Одним из наиболее важных аспектов при разработке систем управления на фермах мясного и молочного скотоводства, направленных на совершенствование производства, является автоматизация кормления животных, так как, по данным исследований, стоимость кормов составляет 30-50% от себестоимости продукции. Применение точных систем управления кормлением позволяет экономить 4% ежедневной стоимости корма и уменьшить остатки на 1%.

Примером системы точного управления кормлением скота, которая позволяет полностью контролировать расходы на кормление, повысить эффективность и объем производства животноводческого хозяйства является система TRM Tracker, разработанная компанией Digi-Star [16], [17].

Другая система управления процессом кормления V-DAIRY Feeder компании Bernard van Lengerich Maschinenfabrik GmbH & Co. KG (Германия) работает с кормосмесителями через сеть интернет, позволяет осуществлять эффективный процесс кормления с документальным подтверждением [18].

В отечественных разработках автоматизированной системы управления фермой также принят принцип модульности, так как в таких системах при выходе из строя одного модуля другие продолжают работать.

Разрабатываемая автоматизированная система включает в себя одиннадцать модулей (систем) [19, С. 27]: сортировочных ворот; определения веса каждого животного, измерения температуры животных; учета численности вошедших и вышедших на ферму животных при помощи радиометок; индивидуальной подкормки микроэлементами и витаминами; измерения индивидуального объема надоев молока и др.

Планируется, что с помощью данной системы управления будет достигнута автоматизация производства, увеличение производительности труда, экономия на заработной плате за счет уменьшения количества работников, уменьшение отрицательного влияния человеческого фактора на деятельность предприятия и т. д.

Автоматизация позволяет оптимизировать все технологические процессы и ветеринарные мероприятия при привязном содержании животных. Так, стойла оборудуются автоматизированной привязью, позволяющая сокращать затраты труда работников и повысить их безопасность, обеспечивает свободный выход животных из помещений при возникновении пожаров. Для этого стойловые помещения, кормоприготовительные, молочные и другие отделения и подсобные помещения оснащаются системами автоматической пожарной сигнализации [20, С. 63].

Фирмой ООО «КОНЦЕПТ» (Россия) разработан программный модуль «Оперативный учет на фермах КРС» для «1С: Управление производственным предприятием» на базе «1С: Предприятие 8» [21]. Подсистемы модуля позволяют

решать задачи по количественно-весовому учету КРС; по управлению воспроизводством стада; по учету надоя и расхода молока; по анализу здоровья стада; по учету кормов и рационов кормления животных; расчету оплаты труда сотрудников с учетом производственных показателей предприятия.

С помощью подсистемы "Учет молока" (рис.2) контролируется надой по каждой корове, а также валовый надой молока на ферме и его реализация.

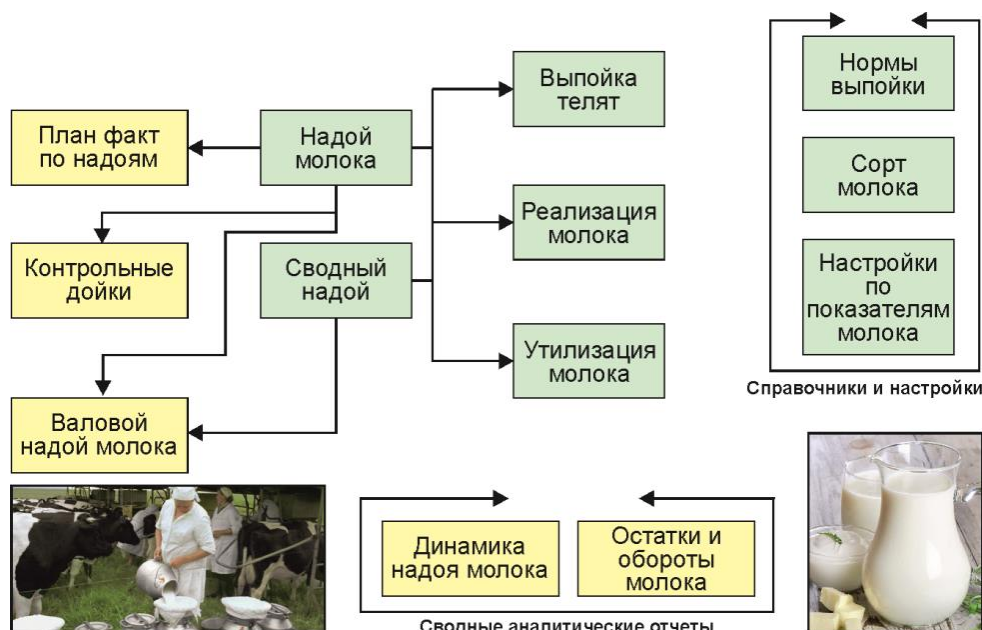


Рис. 2 – Структура подсистемы "Учет молока"

Для решения других задач управления разработаны соответствующие подсистемы. Например, подсистема «Ветеринария» контролирует мероприятия по осмотру животных, их лечению, ветеринарной обработке, профилактическим и другим мероприятиям. Подсистема «Учет кормов» учитывает рационы кормления животных, контролирует движение кормовых ингредиентов, отражает объемы производства и списания кормов, определяет суточную потребность животных в кормах.

Разработанный модуль «Оперативный учет на фермах КРС» интегрирован в комплексную, отраслевую ERP систему - «ЦПС: АгроХолдинг», что позволяет проводить план-фактный анализ, контролировать производственные показатели, переносить данные в подсистему бухгалтерского учета.

Для управления реализацией зерна заслуживает внимания IoT-решение, представленное компанией Cognitive Technologies (Когнитивные технологии), призванное контролировать путь зерна с поля до элеватора и сократить потери зерновых, достигающих при транспортировке и недостаточном учете 1 млн т [4, С. 22-23].

Среди цифровых технологий для этих целей, активно внедряющихся в практику, получила распространение технология радиочастотной идентификации (RFID), содержащая микрочип, который хранит уникальный идентификатор, а также антенну способную передавать эту информацию на специальные радио считыватели.

RFID-технология позволяет эффективно решать задачи точного учета, приема и отгрузки продукции, значительно снижаются затраты и трудоемкость инвентаризации.

Применение RFID технологии в программно-аппаратном комплексе Cognitive Agro Control, позволяет организовать онлайн-обмен основными данными при уборке зерновых, их передачу на сервер центра управления уборкой, проводить статистический анализ.

Применение RFID-технологий в животноводстве позволяет решить многие нестандартные ИТ-решения «Умной фермы». Это комплекс производственных и управленческих задач, начиная от учета поголовья скота и контроля его перемещения до вакцинации и оптимизации селекционной работы. При этом уменьшаются затраты труда на производство продукции, снижается количество ошибок из-за человеческого фактора, растет прибыль сельскохозяйственных предприятий и конкурентоспособность продукции [4].

С помощью цифровых технологий в сельском хозяйстве можно создавать автоматизированные цепочки, включающие розничные сети, оптовые компании, логистику, сельхозтоваропроизводителей и поставщиков продукции в единый процесс с адаптивным управлением.

Наиболее перспективной в этом направлении, по мнению специалистов J'son & Partners Consulting, считается модель прямых продаж, при которой сельхозпроизводители, за счет использования аналитики, «видят» конечного потребителя, необходимый объем поставок и структуру спроса. При этом принципы автоматического обмена информацией между участниками цепочки поставок позволяют минимизировать затраты на складскую и логистическую инфраструктуру всей цепочки.

Решить проблему оперативного планирования в условиях ежедневных корректировок поставок можно переходом на цифровые системы планирования, охватывающие всю цепочку закупки, производства, логистики и продажи. Такая система позволит специалистам в режиме реального времени планировать производство и поставки с учетом математических моделей спроса и реализации продукции.

На рис. 3 представлена примерная схема сквозной автоматизированной производственно-сбытовой цепочки, включающей сбытовые компании, сельхозтоваропроизводителей и поставщиков [4].

Анализ показывает, что все участники цепочки создания стоимости продукции аграрного сектора России все активнее будут вовлекаться в развитие совместного использования технологий интернета вещей и агрегации больших данных. Это связано с тем, что чем больше данных собирается и анализируется в одном месте, тем умнее становится система и тем ценнее информация может быть получена для управления производством и сбытом продукции.

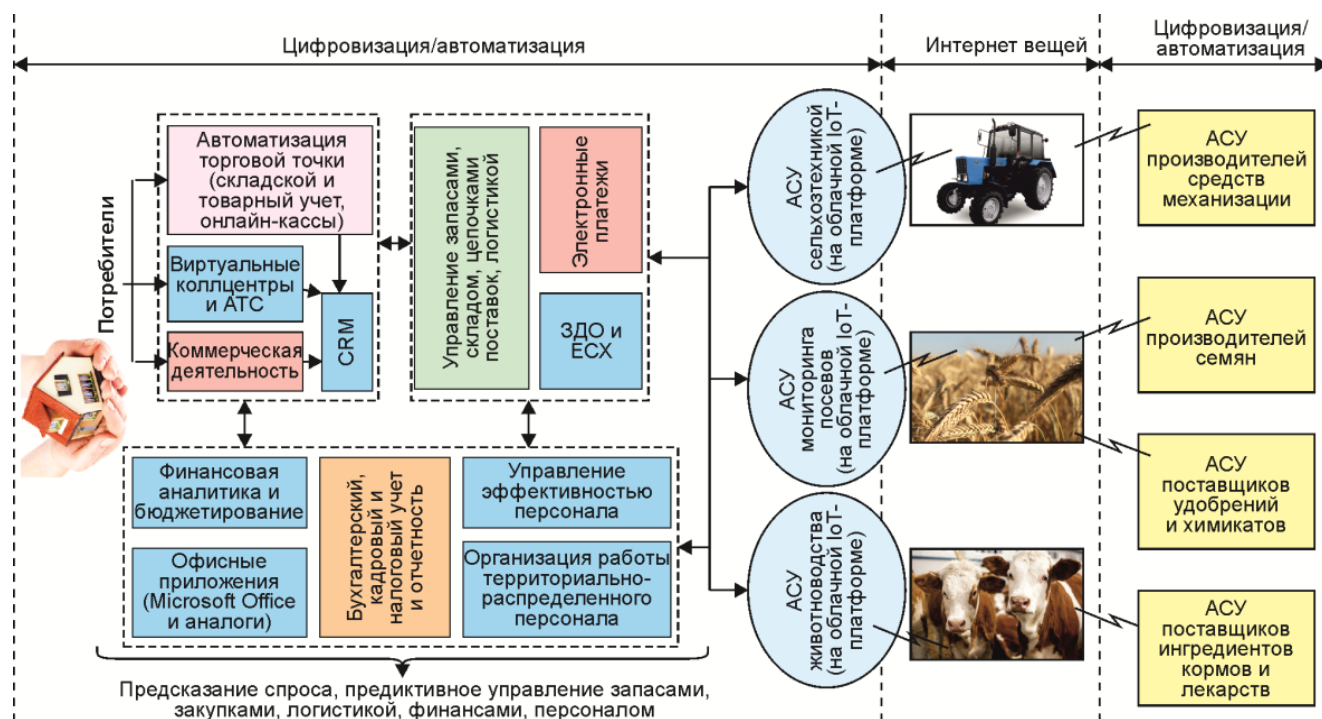


Рис. 3—Схема сквозной автоматизированной производственно-сбытовой цепочки

Примером комплексных решений для умного сельского хозяйства являются разработки компания Pessl Instruments (Австрия), которые помогают фермерам принимать более обоснованные решения по оптимизации распределения ресурсов (семена, вода, удобрения, и др.), сделать поля более устойчивыми к сельскохозяйственным рискам (засуха, избыток воды, мороз, тепловой стресс, повреждение урожая вредителями, грибковыми инфекциями и т.д.). Использование фермерами предлагаемых цифровых инструментов могут обеспечить фермерам лучший конечный результат. Для функционирования цифрового управления сельским хозяйством компанией Pessl Instruments разработано 12 специализированных станций и регистраторов [24].

В соответствии с концепцией научно-технологического развития цифровые технологии управления в АПК включают разработку аналитических инструментов и баз данных: годовой отчетности различных сфер деятельности в отрасли, о состоянии продовольственных и ресурсных рынков, результатов интеллектуальной деятельности НИИ и вузов аграрного профиля и др. [11].

Для выявления проблем, сдерживающих развитие цифровых технологий, определения наиболее приоритетных направлений государственной поддержки цифровизации АПК разработаны специализированные индексы для оценки степени проникновения цифровых технологий в АПК, создается единая информационная система прослеживаемости пищевой продукции с использованием прогнозных математических моделей на базе федеральной государственной информационной системы в области ветеринарии. Компонентом этой системы является система ветеринарной сертификации «Меркурий», функционирующая с 01.07.2018 года на всей территории России [25], [26].

Минсельхозом России разработана государственная информационная система прослеживаемости семенного материала, которая должна сократить «серый» рынок семян, достигающий сегодня 40 %, и за счет усиления контроля повысить качество семян, разрабатывается проект сопровождения сельскохозяйственной продукции на экспорт на основе цифровой платформы «От поля до порта». Прогнозируется, что к 2021 году 100% сельскохозяйственной продукции на экспорт будет сопровождаться безбумажной технологией.

Заключение

Несмотря на то, что темпы освоения инноваций в мире значительно ускорились, сельское хозяйство России находится на ранних этапах использования цифровых технологий, хотя условия для формирования цифровой платформы «Цифровое сельское хозяйство» уже созданы.

Исследования показывают, что решение задачи повышения производительности труда в сельском хозяйстве в 3-5 раз, не решаемые с использованием традиционных моделей, можно решить лишь в рамках моделей, базирующихся на IoT.

Благодаря появлению аналитики "больших данных", "облачных" технологий, дешевых датчиков, широкополосной мобильной связи, развитием искусственного интеллекта и Интернета вещей появляется возможность активно продвигать цифровую трансформацию сельского хозяйства России.

Цифровизация управления в аграрной отрасли России позволит построить оптимальную систему производства, хранения, транспортировки, переработки и реализации продукции, регулировать производственные процессы в оптимальные сроки и наименьшими издержками, использовать машины, совместимые с информационными системами и программным обеспечением, исключая негативное влияние человеческого фактора на результаты производства.

Это потребует прямой поддержки сельскохозяйственных производителей, осваивающих технику и оборудование с высокой интеллектуальной составляющей, ускоренного перехода от разрозненных IT-решений, применимых в пределах одного агрохолдинга или производителя продукции, к интеграции всех бизнес-процессов с элементами прогностического моделирования, а также совершенствования системы подготовки кадров для сельского хозяйства, ориентированную на адаптацию специалистов к требованиям цифровой экономики.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Ведомственный проект «Цифровое сельское хозяйство»: официальное издание.—М.: ФГБНУ «Росинформагротех».-2019.-48 с.
2. Козубенко И.С. Вводим цифровые технологии / И.С. Козубенко // Информационный бюллетень Минсельхоза России. 2018.- №7.-С. 13-19.
3. Цифровизация в сельском хозяйстве: технологические и экономические барьеры в России [Электронный ресурс]. URL: -hozyaystve-tehnologicheskije-i-ekonomicheskie-barery-v-rossii-20170913024550 (дата обращения 14.06.2019).
4. ИТ в агропромышленном комплексе России [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/TD9F4> (дата обращения 14.02.2019).
5. Интернет вещей в сельском хозяйстве (Agriculture IoT / AIoT): мировой опыт, кейсы применения и экономический эффект от внедрения в РФ [Электронный ресурс]. URL: <https://surfingbird.ru/surf/internet-veshchej-v-selskom-hozyajstve-agriculture--2rFtaa478#.XHeZdrhn3cs> (дата обращения 20.06.2019).
6. Ткаченко В.В. Разработка комплексной автоматизированной информационной системы поддержки принятия решений в управлении технологическими процессами растениеводства (на материалах АПК Краснодарского края) / В.В. Ткаченко, Н.Н. Лыгнев // Вестник Академии знаний. - 2018.-№29 (6).-С. 249-253.
7. Вартанова М.Л. Перспективы цифровизации сельского хозяйства как приоритетного направления импортозамещения / М.Л. Вартанова, Е.В. Дробот // Экономические отношения. - 2018 – Том 8 – № 1 – С. 1-18.
8. Кубань (агрохолдинг) [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/TD9Hn> (дата обращения 14.08.2019).
9. Смирнов И.Г. Разработка технологических процессов и технических средств для интеллектуальных технологий возделывания кустарниковых ягодных культур: автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.20.01. М., 2019. 47 с.
10. Бурда А.Г. Целесообразность применения электронной системы управления молочным стадом в условиях цифровизации экономики / А.Г. Бурда, С.А. Бурда // Научный вестник ЮИМ.-2018.-№3.-С. 38-43.
11. Концепция «Научно-технологического развития цифрового сельского хозяйства «Цифровое сельское хозяйство» [Электронный ресурс]. URL: 97d2448548e047b0952c3b9a1b10edde.pdf (документ с сайта mtsas.ru) (дата обращения 18.02.2019).
12. Суровцев В.Н. Освоение цифровых технологий как основа стратегии развития молочного скотоводства [Текст] / Суровцев В.Н. // АПК: Экономика, управление. - 2018. - № 9.-С. 108-117.
13. Козина А.М. Использование цифровых технологий при производстве молока / А.М. Козина, Л.П. Семкив // Вестник Новгородского филиала РАНХиГС.-2018.-Т. 8.-№ 2-1 (10).-С. 13-18.
14. Компьютеризированная система управления молочной фермой [Электронный ресурс]. URL: <https://www.agro-vek.ru/p99-kompyuterizirovannaya-sistema-upravleniya-molochnoy-ferмой/> (дата обращения 20.02.2019).
15. Программа управления стадом -Uniform Professional Global [Электронный ресурс]. -URL: <http://novagrotec.ru/index.php/programma-upravleniya-stadom-uniform-professional-global>
16. TMR Tracker: Строгий контроль кормления КРС [Электронный ресурс].-URL: <http://novagrotec.ru/index.php/tmr-trekery>
17. Система TMR Tracer TM Мониторинг. Измерение. Контроль: проспект: ООО «НОВАГРОТЕК», б/г.-4с.
18. Система контроля процесса кормления CONNET: проспект: Bernard van Lengerich Maschinenfabrik GmbH & Co. KG, б/г.-10 с.
19. Волков Г.А. Автоматизированная система управления фермой / Г.А. Волков, К.Р. Назарова, В.Т. Изиков // Научный форум: Инновационная наука: сб. ст. по материалам ХIV междунар. науч.-практ. конф.— М., Изд. «МЦНО»-2018- № 5(14).-С. 25-29.
20. Манило И.И. Автоматизированная система управления привязным содержанием животных / И.И. Манило, И.Н. Миколайчик, В.П. Воинов // Аграрный вестник Урала.-2017.-№ 12 (166).-С. 58-64.
21. Программный модуль «Оперативный учет на фермах КРС» для «1С: Управление производственным предприятием» на базе «1С: предприятие 8». Руководство пользователя. ООО «Концепт», 2018.-118 с.
22. Радио Частотная Идентификация (РЧИ) [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/M3oVu> (дата обращения 14.02.2019).
23. Cognitive Agro Control — система автоматического контроля уборки зерновых. [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/TD9Pa> (дата обращения 17.02.2019).
24. 30 лет-превращение информации в прибыль: просп. компании Pessl Instruments, б/г.-47 с.
25. Методические рекомендации по разработке регионального индекса цифровизации агропромышленного комплекса: инструктивно-метод. издание.-М.: ФГБНУ «Росинформагротех».-2019.-112 с.
26. Проследить за качеством // Информационный бюллетень Минсельхоза России.-2018, № 12.-С. 1.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Vedomstvennyj proekt «Cifrovoe sel'skoe hoz'jajstvo»: oficial'noe izdanie [Departmental project "Digital agriculture": official publication]. - М.: fgbnu "Rosinformagrotech".-2019. -48 p. [in Russian]
2. Kozubenko I. S. Vvodim cifrovye tehnologii [Introducing digital technologies] / I.S. Kozubenko // Informacionnyj bjulleten' Minsel'hoza Rossii [Information Bulletin of the Ministry of agriculture of Russia].-2018. - №. 7. - Pp. 13-19. [in Russian]

3. Cifrovizacija v sel'skom hozjajstve: tehnologicheskie i jekonomicheskie bar'ery v Rossii [Digitalization in agriculture: technological and economic barriers in Russia] [Electronic resource]. URL: - hozyaystve-tehnologicheskie-i-ekonomicheskie-barery-v-rossii-20170913024550 (accessed 14.06.2019). [in Russian]
4. IT v agropromyshlennom komplekse Rossii [it in the agro-industrial complex of Russia] [Electronic resource]. URL: http://www.tadviser.ru/images/4/44/Agro_IoT.png (accessed 14.02.2019). [in Russian]
5. Internet veshhej v sel'skom hozjajstve (Agriculture IoT / AIoT): mirovoj opyt, kejsy primeneniya i jekonomicheskij jeffekt ot vnedreniya v RF [Internet of things in agriculture(Agriculture IoT / AIoT): world experience, application cases and economic effect of implementation in the Russian Federation] [Electronic resource]. URL: <https://surfingbird.ru/surf/internet-veshchej-v-selskom-hozyajstve-agriculture--2rftaa478#.XHeZdrhn3cs> (accessed 20.06.2019). [in Russian]
6. Tkachenko V. V. Razrabotka kompleksnoj avtomatizirovannoj informacionnoj sistemy podderzhki prinjatija reshenij v upravlenii tehnologicheskimi processami rastenievodstva (na materialah APK Krasnodarskogo kraja) [Developing the unified automated information system for decision support in the management of technological processes in plant growing (on materials of agriculture of Krasnodar territory)] / V.V. Tkachenko, N.N. Lytnov // Vestnik Akademii znaniy [Bulletin of the Academy of knowledge]. - 2018.-№29 (6).-P. 249-253. [in Russian]
7. Vartanova M. L. Perspektivy cifrovizacii sel'skogo hozjajstva kak prioriternogo napravleniya importozameshheniya [Prospects of digitalization of agriculture as a priority direction of import substitution] / M.L. Vartanova, E.V. Drobot // Jekonomicheskie otnosheniya [Economic attitude]. - 2018-Volume 8-No. 1-Pp. 1-18. [in Russian]
8. Kuban' (agroholding) [Kuban (Agroholding)] [Electronic resource]. URL: <https://clck.ru/TD9Hn> (accessed 14.10.2019). [in Russian]
9. Smirnov I. G. Razrabotka tehnologicheskikh processov i tehniceskikh sredstv dlja intellektual'nyh tehnologij vozdeylivaniya kustarnikovyh jagodnyh kul'tur [Development of technological processes and technical means for intelligent technologies of cultivation of shrub berry crops]: author's abstract of dis ... Dr. Techn. Sciences: 05.20.01. M., 2019. 47 p. [in Russian]
10. Burda A. G. Celesoobraznost' primeneniya jelektronnoj sistemy upravleniya molochnym stadom v usloviyah cifrovizacii jekonomiki [Expediency of using an electronic dairy herd management system in the conditions of digitalization of the economy] / A.G. Burda, S.A. Burda // Scientific Bulletin of YUIM. -2018. - no. 3. - P. 38-43. [in Russian]
11. Konceptija «Nauchno-tehnologicheskogo razvitija cifrovogo sel'skogo hozjajstva «Cifrovoe sel'skoe hozjajstvo» [the Concept of "Scientific and technological development of digital agriculture "Digital agriculture"] [Electronic resource]. URL: 97d2448548e047b0952c3b9a1b10edde.pdf (document from the site mxcac.ru) (accessed 18.08.2019). [in Russian]
12. Surovtsev V. N. Osvoenie cifrovych tehnologij kak osnova strategii razvitija molochnogo skotovodstva [Development of digital technologies as a basis for the development strategy of dairy cattle breeding] / Surovtsev V. N. // APK: Jekonomika, upravlenie [agro-industrial complex: Economics, management]. - 2018. - No. 9. - Pp. 108-117. [in Russian]
13. Kozina A.M. Ispol'zovanie cifrovych tehnologij pri proizvodstve moloka [Use of digital technologies in milk production] / A.M. Kozina, L.P. Semkiv // Vestnik Novgorodskogo filiala RANHiGS [Bulletin of the Novgorod branch of Ranepa]. -2018. - Vol. 8.-№ 2-1 (10).- Pp. 13-18.
14. Komp'yuterizirovannaja sistema upravleniya molochnoj fermoj [Computerized dairy farm management system] [Electronic resource]. URL: <https://www.agro-vek.ru/p99-kompyuterizirovannaya-sistema-upravleniya-molochnoy-fermoj/> (accessed 20.08.2019). [in Russian]
15. Programma upravleniya stadom -Uniform Professional Global [herd management Program-Uniform Professional Global] [Electronic resource]. -URL: <http://novagrotec.ru/index.php/programma-upravleniya-stadom-uniform-professional-global> [in Russian]
16. TMR Tracker: Strogij kontrol' kormleniya KRS [TMR Tracker: Strict control of cattle feeding] [Electronic resource]. - URL: <http://novagrotec.ru/index.php/tmr-trekery>[in Russian]
17. Sistema TMR Tracer TM Monitoring. Izmerenie. Kontrol' [TMR Tracer TM Monitoring System. Measurement. Control]: PR: ООО "NOWOGRODEK", b/g-4C. [in Russian]
18. Sistema kontrolja processa kormleniya CONNET [CONNET feeding process control System]: prospect: Bernard van Lengerich Maschinenfabrik GmbH & Co. KG, b/g-10 p. [in Russian]
19. Volkov G. A. Avtomatizirovannaja sistema upravleniya fermoj [Automated farm management system] / G.A. Volkov, K.R. Nazarova, V.T. Izikov // Nauchnyj forum: Innovacionnaja nauka: sb. st. po materialam XIV mezhdunar. nauch.-prakt. konf. [Scientific forum: Innovative science: collection of articles based on the materials of the XIV international conference. scientific-practical Conf]. - M., Ed. "MCNO"-2018- № 5(14).-Pp. 25-29. [in Russian]
20. Manilo I. I. Avtomatizirovannaja sistema upravleniya privjaznym sodержaniem zhivotnyh [Automated control system for tethered animals] / I.I. Manilo, I.N. Micolajchik, V.P. Voinkov // Agrarnyj vestnik Urala [Agrarian Bulletin of the Urals].-2017.-№ 12 (166).-Pp. 58-64. [in Russian]
21. Programmnyj modul' «Operativnyj uchet na fermah KRS» dlja «IS: Upravlenie proizvodstvennym predpriyatijem» na baze «IS: predpriyatije 8». Rukovodstvo pol'zovatelja [Software module "Operational accounting on cattle farms" for "IC: production enterprise Management" based on "IC: enterprise 8". User manual]. Concept LLC, 2018. -118 p. [in Russian]
22. Radio Chastotnaja Identifikacija (RChI) [Radio frequency Identification (RFI)] [Electronic resource]. URL: <https://clck.ru/M3oVy> (accessed 14.02.2019). [in Russian]
23. Cognitive Agro Control — sistema avtomaticheskogo kontrolja uborki zernovyh [Cognitive Agro Control — system of automatic control of the grain harvest.] [Electronic resource]. URL: <https://clck.ru/TD9Pa> (accessed 17.02.2019). [in Russian]
24. 30 let-prevrashhenie informacii v pribyl [30 years-turning information into profit]: pessl Instruments Ave., b/g-47 p.
25. Metodicheskie rekomendacii po razrabotke regional'nogo indeksa cifrovizacii agropromyshlennogo kompleksa [Methodological recommendations for the development of the regional index of digitalization of the agro-industrial complex]: instructive method. edition-M.: FSBSI "of Rosinformagrotekh".-2019. -112 p. [in Russian]
26. Prosledit' za kachestvom [Follow the quality] // Informacionnyj bjulleten' Minsel'hoza Rossii [Information Bulletin of the Ministry of agriculture of Russia].-2018, No. 12. - P. 1. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.103.2.027>**БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО
ПРИ МИНИМАЛИЗАЦИИ ОБРАБОТКИ И ПРЯМОМ ПОСЕВЕ**

Научная статья

Гармашов В.М.^{1,*}, Гармашова Л.В.²¹ ORCID: 0000-0003-1214-9032;^{1,2} Воронежский федеральный аграрный научный центр им. В.В. Докучаева, Каменная Степь, Россия

* Корреспондирующий автор (niish1[at]mail.ru)

Аннотация

В почвенно-климатических условиях юго-востока ЦЧР минимализация обработки чернозема приводит к снижению биологической активности почвы - общей численности микроорганизмов на 1-9%, при нулевой обработке почвы на 9%, групп микроорганизмов, участвующих в минерализации гумуса – на 2,7-9,6%, при прямом посеве на 9,6% по сравнению с классической системой обработки почвы в севообороте – вспашкой на глубину 20-22 см. Снижение глубины обработки чернозема обыкновенного – поверхностная обработка также приводит снижению биологической активности почвы и группы микроорганизмов минерализаторов гумуса, но в меньшей мере, чем отказ от обработки почвы.

Из почв, используемых в сельскохозяйственном производстве, нулевая обработка обеспечивает минимальную активность группы микроорганизмов, участвующей в минерализации гумуса и минимальное нарастание их численности в течение времени ее применения. Минимальная биологическая активность почвы и наименьшая численность минерализаторов гумуса с наиболее стабильным уровнем их развития по годам отмечается в почве косимой залежи.

Ключевые слова: чернозем обыкновенный, минимализация обработки почвы, прямой посев, микробиологическая активность, общая численность микроорганизмов, минерализаторы гумуса.

**BIOLOGICAL ACTIVITY OF ORDINARY CHERNOZEM WITH MINIMIZATION
OF SOIL TREATMENT AND DIRECT SEEDING**

Research article

Garmashov V.M.^{1,*}, Garmashova L.V.²¹ ORCID: 0000-0003-1214-9032;^{1,2} V. V. Dokuchaev Voronezh Federal Agricultural Research Center, Kamennaya Steppe, Russia

* Corresponding author (niish1[at]mail.ru)

Abstract

In the edaphoclimatic conditions of the South-East Central Black Earth Economic Region minimizing the processing of topsoil leads to a decrease in the biological activity of soil: the total number of microorganisms decreases by 1-9%, with zero tillage it can decrease down to 9%, the groups of microorganisms involved in the mineralization of humus decrease down to 2.7-9.6% with direct seeding it decreases down by 9.6% compared to the classical system of tillage in crop rotation, which is plowing with the depth of 20-22 cm Reducing the depth of processing of ordinary chernozem surface treatment also leads to a decrease in the biological activity of the soil and the group of microorganisms that mineralize humus, but to a lesser extent than a complete absence of soil treatment.

Among the soils used in agricultural production, no tillage ensures a minimal activity of the group of microorganisms involved in the mineralization of humus and a minimal increase in their number during the time of using no-till. The study observes the minimal biological activity of the soil and the smallest number of humus mineralizers with the most stable level of their development over the years in the soil of those croplands that remain untreated for long periods of time.

Keywords: common chernozem, minimization of tillage, direct seeding, microbiological activity, total number of microorganisms, humus mineralizers.

Введение

В современных условиях развития земледелия стремление к повышению эффективности производства при постоянном росте цен на энергоносители, и, особенно, на углеводородное топливо, заставляет сельхозтоваропроизводителей искать пути уменьшения энергозатрат, внедряя минимализацию почвообработки, в том числе и систему нулевой обработки – прямой сев. Однако, судя по литературным данным, результаты внедрения таких систем обработки почвы носят разноречивый характер, как по объему выращенной продукции, так и по влиянию на почвенное плодородие [1], [2], [5, С. 104].

Одним из самых чувствительных показателей, отражающих уровень и направленность изменения плодородия почв, является микробный пул почвы, так как микроорганизмы не только активно участвуют в создании плодородия, но и чутко реагируют на изменения, происходящие в почвенной среде [6, С. 423], [9, С. 369], [10, С. 131]. Поэтому мониторинг показателей микробного компонента почвы позволяет на ранних стадиях изучения агротехнических приемов установить направленность почвенных процессов.

В этой связи целью исследований было изучить динамику микробиологических процессов в черноземе обыкновенном при минимизации обработки почвы и прямом посеве.

Условия материалы и методы

Исследования проводились в ФГБНУ «Воронежский ФАНЦ им. В.В. Докучаева» в стационарном опыте по разработке наиболее эффективных приемов и систем почвообработки в севообороте, обеспечивающих сохранение плодородия почвы и высокую продуктивность выращиваемых культур. Почва опытного участка – чернозем

обыкновенный тяжелосуглинистый, с благоприятными физико-химическими показателями 0-30-сантиметрового слоя: гумус – 6,48%, общий азот – 0,36%, общий фосфор – 0,35%, общий калий – 1,85%, pH_{KCl} – 6,99, гидролитическая кислотность – 0,57 мг-экв./100г.

Приемы обработки почвы изучаются в севообороте: горох – озимая пшеница – кукуруза на зерно – ячмень – однолетние травы – озимая пшеница – подсолнечник – ячмень.

Мониторинговые наблюдения за микробиологической активности почвы были проведены в течение семи лет с 2014 по 2020 год с нарастающим сроком использования способов обработки почвы в севообороте на первом поле стационарного опыта, при традиционной обработке почвы – вспашке на глубину 20-22 см (контроль), поверхностной на глубину 6-8 см, прямом посеве и в почве естественной экосистемы – залежь косимая.

Для исследований отбирали репрезентативные смешанные почвенные образцы с каждого изучаемого объекта из слоя почвы 0-20 см. Учет микроорганизмов проводили в свежих образцах методом посева на агаризованные элективные питательные среды различного состава по методике Е.З. Теппер [11, С. 152-154]. Обработку экспериментальных данных осуществляли дисперсионным методом математического анализа (Доспехов, 1985) [12] с использованием программного обеспечения ПК Microsoft Office Excel 2010.

Агрометеорологические условия в годы исследований были различными и контрастными в течение вегетационного периода, а в среднем близкими к типичным для юго-востока ЦЧЗ.

Результаты исследований и их обсуждение

В рамках проводимого исследования была изучена динамика изменения биологической активности чернозема обыкновенного по общей численности микроорганизмов и по группе микроорганизмов, относящихся к минерализаторам гумуса, при традиционной системе обработки почвы в севообороте – ежегодной вспашке на глубину 20-22 см (контроль), поверхностной на глубину 6-8 см, нулевой обработках почвы и многолетней залежи косимой.

Анализ результатов исследований свидетельствует, что на фоне широкоамплитудных колебаний интенсивности развития микробного сообщества почвы по годам, связанных с изменением погодных условий лет проведения опытов и сменой типов агроценозов, в многолетнем ряду наблюдений так же прослеживается влияние обработок на микробиологическую активность чернозема обыкновенного (рис. 1).

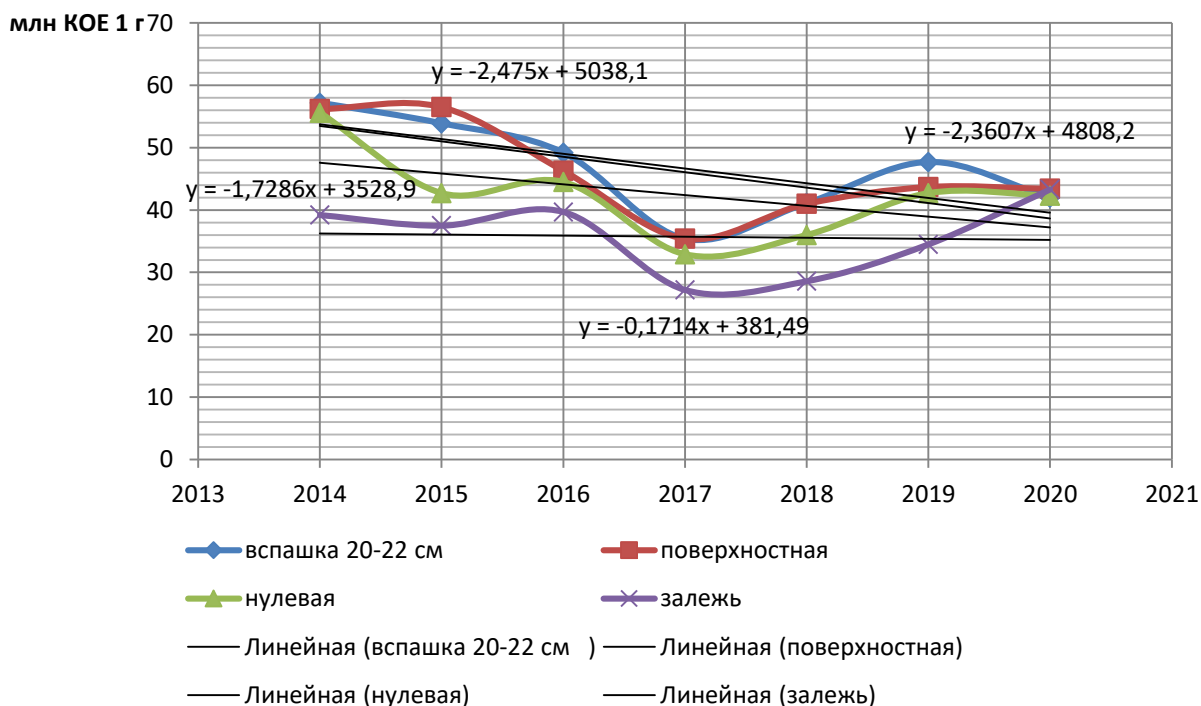


Рис. 1 – Развитие микроорганизмов при различных обработках почвы в севообороте (общая численность)

Статистический анализ результатов исследований выявил, что между интенсивностью микробиологических процессов в почве и гидротермическими условиями вегетационного периода, выражаемые через гидротермический коэффициент (ГТК) периода вегетации культуры, связь прямая и наиболее тесная в условиях обрабатываемой почвы при классической обработке – вспашке на глубину 20-22 см и поверхностной обработке на глубину 6-8 см. Коэффициент корреляции составляет $r = 0,40-0,43$. При нулевой обработке почвы связь намного слабее коэффициент корреляции составляет 0,23, а в условиях залежи $r = 0,29$.

Наиболее тесная корреляционная связь между общей численностью микроорганизмов и гидротермическими условиями вегетационного периода (ГТК) была при поверхностной обработке почвы $r = 0,43$, что вполне логично, так как при этой обработке наиболее плодородный горизонт формируется на поверхности почвы в слое 0-8 см. Здесь же концентрируется и значительная часть корневых систем выращиваемых растений. Сосредоточенный на поверхности почвы плодородный слой в большей степени подвержен воздействию погодных условий.

Менее значимое влияние на развитие микробного пула почвы погодные условия оказывают при формировании гомогенного 0-22 сантиметрового обрабатываемого слоя на глубину 20-22 см – при вспашке на 20-22 см $r = 0,40$. При

нулевой обработке почвы, так же, как и в почве залежи, влияние погодных условий на микробиологическую активность почвы намного слабее или даже практически отсутствует, $r = 0,23$ и $0,29$, чему способствует сформировавшийся мульчирующий слой на поверхности почвы. Отказ от обработки почвы снижает микробный компонент в черноземе обыкновенном на 9,1%, поверхностная обработка почвы – на 1,2% по отношению к классической почвообработке. В почве залежи – уровень микробиологической активности, оцениваемый по общей численности микроорганизмов, ниже на 23,4% в сравнении с обрабатываемой почвой и на 17,6% ниже, чем при нулевой обработке почвы.

Рассматривая интенсивность развития микробного компонента в почве в динамике, с нарастающим эффектом влияния различных обработок почвы прослеживается общая тенденция снижения биологической активности почв пашни при всех изучаемых обработках (рис. 1). Наиболее интенсивно это происходит при поверхностной обработке почвы и вспашке, о чем свидетельствуют тренды изменения микробного компонента в почве и уравнения регрессии (рис. 1). Также это прослеживается и при переходе на прямой посев при No-till, но при меньшем уровне биологической активности чернозема обыкновенного. Наиболее стабильный уровень микробиологической активности почвы сохраняется в почве залежи.

Важным показателем направленности изменения плодородия почвы является интенсивность развития физиологической группы микроорганизмов – минерализаторов гумуса. Статистический анализ результатов развития группы микроорганизмов, относящихся к минерализаторам гумуса, показал практически полное отсутствие влияния ГТК вегетационного периода на интенсивность их развития, коэффициент корреляции $r = -0,1-0,02$, при большей степени изменения их активности по годам при поверхностной и нулевой обработках почвы, где коэффициент вариации развития минерализаторов гумуса составил $V=28,2-22,6\%$, тогда как при классической обработке почвы – вспашке – $V=16,4\%$.

В течение периода наблюдений в динамике развития минерализаторов гумуса прослеживается общий тренд роста их численности, особенно в обрабатываемой почве, о чем свидетельствуют линии тренда и уравнения регрессии (рис. 2).

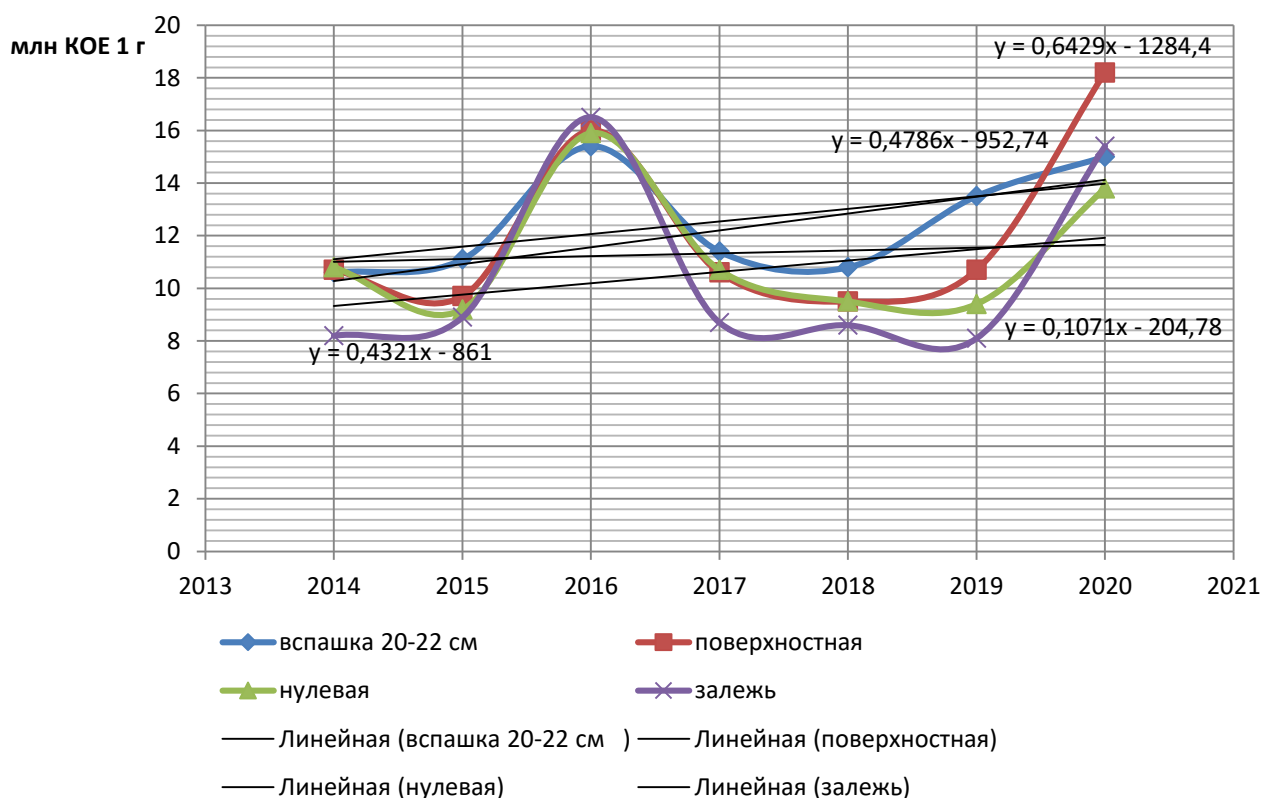


Рис. 2 – Развитие минерализаторов гумуса при различных приемах обработки почвы в севообороте

Наиболее активно развитие минерализаторов гумуса шло в обрабатываемых почвах при вспашке и поверхностной обработке почвы, где их среднегодовое количество находилось в пределах 12,5-12,4 млн. КОЕ в 1 г почвы, при нулевой обработке отмечается уменьшение их численности по сравнению с контролем на 9,6% (рис. 2). Наименьшее среднегодовое количество минерализаторов гумуса отмечено на залежи 10,63 млн. КОЕ в 1 г абс. сухой почвы.

Из почв, используемых в сельскохозяйственном производстве при нулевой обработке, отмечается минимальная численность и минимальное нарастание интенсивности развития минерализаторов гумуса в течение времени ее использования. Поверхностная обработка также приводит к снижению биологической активности почвы и группы микроорганизмов минерализаторов гумуса, но в меньшей мере. Наименьшая активность минерализаторов гумуса с наименьшей интенсивностью нарастания их численности по годам была на залежи.

Заключение

Таким образом, минимализация обработки чернозема обыкновенного в почвенно-климатических условиях юго-востока ЦЧР приводит к снижению биологической активности почвы – общей численности микроорганизмов, на 1-9% и, соответственно, микроорганизмов, участвующих в минерализации гумуса – на 2,7-9,6% в сравнении с традиционной

системой обработки почвы в севообороте – вспашкой на глубину 20-22 см. Из почв, используемых в сельскохозяйственном производстве, нулевая обработка обеспечивает минимальную активность группы микроорганизмов участвующей в минерализации гумуса и минимальное нарастание их численности в течение времени ее применения. Снижение глубины обработки чернозема обыкновенного – поверхностная обработка также приводит к снижению биологической активности почвы и группы микроорганизмов минерализаторов гумуса, но в меньшей мере.

Минимальная биологическая активность почвы и наименьшая численность минерализаторов гумуса с наиболее стабильным уровнем их развития по годам отмечается в почве косимой залежи.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Шарков И.Н. Минимализация обработки и ее влияние на плодородие почвы / И.Н. Шарков // Земледелие. – 2009 – № 3 – С. 24-28.
2. Дорожко Г.Р. Влияние длительного применения прямого сева на основные факторы плодородия почвы и урожайность озимой пшеницы в условиях засушливой зоны / Г.Р. Дорожко, О.И. Власова, О.Г. Шабалдас, Т.Г. Зеленская // Земледелие. – 2017. – № 7. – С. 7-10.
3. Гилев С.Д. Эффективность прямого посева в Зауралье / С.Д. Гилев // Земледелие. – 2014. – № 6. – С. 19-22.
4. Черкасов Г.Н. Возможность применения нулевых и поверхностных способов основной обработки почвы в различных регионах / Г.Н. Черкасов, И.Г. Пыхтин, А.В. Гостев // Земледелие. – 2014. – № 5. – С. 13-16.
5. Lafond G.P. The effect of tillage system and crop rotation on soil water conservation, seedling establishment and crop yield / Lafond G.P., Loeppky H., Dersken D.A. // Can. J. Plant Sci. 1992. № 72. P. 103-105.
6. Звягинцев Д.Г. Биология почв / Д.Г. Звягинцев, И.П. Бабьева, Г.М. Зенова: Учебник – 3-е изд. испр. и доп. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 445 с.
7. Милащенко Н.З. Устойчивое развитие агроландшафтов / Н.З. Милащенко, О.А. Соколов, Т. Брайсон, В.А. Черников. В 2-х тт. Т. 1. Пушкино: ОНТИ ПНЦ РАН, 2000. 316 с.
8. Свистова И.Д. Влияние многолетнего внесения удобрений на почвенно-поглощательный комплекс и микробное сообщество выщелоченного чернозема / И.Д. Свистова и др. // Агрохимия. – 2004. – № 6. – С. 16-23.
9. Джанаев З.Г. Агрохимия и биология почв юга России / З.Г. Джанаев // Под ред. В.Г. Минеева. – М.: изд-во Моск. университета, 2008. – 528 с.
10. Гармашов В.М. Биологическая активность чернозема обыкновенного при освоении технологии No-till / В.М. Гармашов, Л.В. Гармашова // Международный научно-исследовательский журнал. – 2020. – №12 (102) Ч. 1. – С. 131-136.
11. Теппер Е.З. Практикум по микробиологии: учеб. пособие для вузов / Е.З. Теппер, В.К. Шильникова, Г.И. Переверзева. М. Дрофа, 2004. 256 с.
12. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. Изд. 5-е доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

Список литературы на английском языке /References in English

1. Sharkov I. N. Minimalizacija obrabotki i ee vlijanie na plodorodie pochvy [Minimalization of processing and its influence on soil fertility] / I. N. Sharkov // Zemledelie [Agriculture]. – 2009 – No. 3-pp. 24-28. [in Russian]
2. Dorozhko G.R. Vlijanie dlitel'nogo primeneniya prjamoego seva na osnovnye faktory plodorodija pochvy i urozhajnost' ozimoy pshenicy v uslovijah zasushlivoj zony [Influence of long-term application of direct sowing on the main factors of soil fertility and winter wheat yield in the conditions of arid zone] / G.R. Dorozhko, O.I. Vlasova, O.G. Shabaldas, T.G. Zelenskaja // Zemledelie [Agriculture]. – 2017. – №. 7. – pp. 7-10. [in Russian]
3. Gilev S.D. Jefferktivnost' prjamoego poseva v Zaural'e [Efficiency of direct sowing in the Trans-Urals] / S.D. Gilev // Agriculture. – 2014. – №. 6. – pp. 19-22. [in Russian]
4. Cherkasov G.N. Vozmozhnost' primeneniya nulevyh i poverhnostnyh sposobov osnovnoj obrabotki pochvy v razlichnyh regionah [The possibility of using zero and surface methods of basic soil treatment in various regions] / G.N. Cherkasov, I.G. Pyhtin, A.V. Gostev // Zemledelie [Agriculture]. – 2014. – №. 5. – P. 13-16. [in Russian]
5. Lafond G.P. The effect of tillage system and crop rotation on soil water conservation, seedling establishment and crop yield / Lafond G.P., Loeppky H., Dersken D.A. // Can. J. Plant Sci. 1992. № 72. P. 103-105.
6. Zvyagintsev D. G. Biologija pochv [Soil Biology] / D.G. Zvjaginцев, I.P. Bab'eva, G.M. Zenova: Textbook-3rd ed. - M.: MSU Publishing House, 2005. - 445 p. [in Russian]
7. Milashchenko N.Z. Ustojchivoe razvitie agrolandshaftov [Sustainable development of agricultural landscapes] / N.Z. Milashchenko, O.A. Sokolov, T. Brajson, V.A. Chernikov. In 2 vols. 1. Pushchino: ONTI PNC RAS, 2000. 316 p. [in Russian]
8. Svistova I.D. Vlijanie mnogoletnego vneseniya udobrenij na pochvenno-poglotitel'nyj kompleks i mikrobnoe soobshhestvo vyshhelochennogo chernozema [Influence of long-term fertilization on the soil-absorbing complex and microbial community of leached chernozem] / I.D. Svistova et al. // Agrohimiya [Agrochemistry]. – 2004. – № 6. – pp. 16-23. [in Russian]
9. Dzhanayev Z.G. Agrohimiya i biologija pochv juga Rossii [Agrochemistry and biology of soils of the South of Russia] / Z.G. Dzhanayev // Under the editorship of V.G. Mineev. University, 2008. - 528 p. [in Russian]
10. Garmashov V. M. Biologicheskaja aktivnost' chernozema obyknovennogo pri osvoenii tehnologii No-till [Biological activity of ordinary chernozem in the development of No-till technology] / V.M. Garmashov, L.V. Garmashova // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Research Journal]. – 2020. – №12 (102) Part 1. – p. 131-136. [in Russian]
11. Tepper E.Z. Praktikum po mikrobiologii [Practicum on microbiology] / E.Z. Tepper, V.K. Shil'nikova, G.I. Pereverzeva: textbook. manual for universities. M. Drofa, 2004. 256 p. [in Russian]
12. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta [Methodology of field experience] / Ed. 5-th add. – M.: Agropromizdat, 1985. – 351 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.103.2.028>**ЗАРАСТАНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ В ЗОНЕ ХВОЙНО-ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСОВ РЕСПУБЛИКИ УДМУРТΙΑ**

Научная статья

Жижин С.М.¹, Магасумова А.Г.^{2,*}¹ ORCID: 0000-0002-4614-9172;² ORCID: 0000-0002-1727-2008;^{1,2} Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

* Корреспондирующий автор (magasumovaag[at]m.usfeu.ru)

Аннотация

На примере муниципального образования «Алнашский район» Республики Удмуртия проанализировано зарастание сельскохозяйственных угодий древесно-кустарниковой растительностью. Указанный муниципальный район является «ключевым» (типичным) для лесного района хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части Российской Федерации. На основании натурных обследований, съемки с беспилотных летательных аппаратов и анализа ведомственных материалов установлена площадь пашни, сенокосов и пастбищ, исключенная из активного сельскохозяйственного использования за период с 1992 по 2020 гг. Установлено, что за анализируемый период общая площадь используемых сельскохозяйственных угодий сократилось на 3,8%, при этом площадь пашни сократилась на 3,0, пастбищ на 7,4 и сенокосов на 18,2%.

Возвращение большинства заросших древесно-кустарниковой растительностью сельскохозяйственных угодий в исходное состояние проблематично из-за значительных трудовых и финансовых затрат на вырубку и раскорчевку древесной растительности. Большинство зарастающих сельскохозяйственных угодий характеризуется низким плодородием почвы и их целесообразно использовать для создания лесных плантаций по ускоренному выращиванию древесины.

Ключевые слова: Республика Удмуртия, зона хвойно-широколиственных лесов, сельскохозяйственные угодья, древесно-кустарниковая растительность.

COLONIZATION OF AGRICULTURAL LAND BY WOODY VEGETATION IN THE ZONE OF MIXED CONIFEROUS AND BROAD-LEAVED FORESTS OF THE REPUBLIC OF UDMURTIA

Research article

Zhizhin S.M.¹, Magasumova A.G.^{2,*}¹ ORCID: 0000-0002-4614-9172;² ORCID: 0000-0002-1727-2008;^{1,2} Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

* Corresponding author (magasumovaag[at]m.usfeu.ru)

Abstract

The current study conducts an analysis of agricultural land colonization by woody vegetation on the basis of the Alnashsky municipal district of the Republic of Udmurtia. The specified municipal area is key for the forest area of mixed coniferous-broad leaved forests of the European part of the Russian Federation. Based on field surveys, surveys from unmanned aerial vehicles, and an analysis of departmental materials, the study identifies the area of arable land, hayfields and pastures excluded from active agricultural use for the period from 1992 to 2020. The authors of the study establish that during the analyzed period, the total area of used agricultural land decreased by 3.8%, the area of arable land decreased by 3.0, pastures by 7.4 and hayfields by 18.2%.

The process of returning most of the agricultural land colonized by woody vegetation to its original state presents certain challenges due to the significant labor and financial costs of cutting down and uprooting. Most of the colonized agricultural land is characterized by low soil fertility. It is advisable to use this land for creating fast-growing tree plantations.

Keywords: The Republic of Udmurtia, the zone of coniferous-broad-leaved forests, agricultural land, woody vegetation.

В последние три десятилетия наблюдается интенсивное зарастание древесно-кустарниковой растительностью бывших сельскохозяйственных угодий [1], [2]. Последнее объясняется целым рядом объективных и субъективных факторов. Изменение экономического строя в Российской Федерации привело к банкротству большинства колхозов и совхозов, особенно в северных регионах страны с рискованным земледелием. Отток сельского населения в города, сокращение поголовья скота как у сельхозпроизводителей, так и у населения резко сократили необходимость в пастбищах и сенокосах. Особо следует отметить, что разбросанность по территории, мелкоконтурность и низкое плодородие почвы обусловили экономическую нецелесообразность использования пашни по прямому назначению. В результате значительная часть пашни, так же как сенокосы и пастбища, на границах с лесом, стала активно зарастать древесно-кустарниковой растительностью [2], [3].

У сохранившихся сельскохозяйственных предприятий просто не стало хватать средств для покупки минеральных удобрений, а сокращение поголовья скота ограничило возможности применения органических удобрений, что способствовало падению урожайности сельскохозяйственных культур.

Помимо экономических потерь от сокращения площади сельскохозяйственных угодий можно отметить, что зарастание бывших сельскохозяйственных угодий древесно-кустарниковой растительностью резко повысило пожарную опасность [4], [5] и потребовало разработки системы противопожарного устройства для защиты от огня населенных пунктов [6], [7].

Естественно, что сокращение площади сельскохозяйственных угодий зависит от целого ряда факторов. В северных районах страны темпы зарастания бывших сельскохозяйственных угодий древесно-кустарниковой растительностью значительно выше таковых в южных районах.

Целью наших исследований являлся анализ зарастание бывших сельскохозяйственных угодий в лесном районе хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части Российской Федерации на примере муниципального образования «Алнашский район» Республики Удмуртия.

Объекты и методика исследований

Объектом исследований служили сельскохозяйственные угодья муниципального образования «Алнашский район» Республики Удмуртия. Территория указанной республики, несмотря на относительно небольшую площадь, характеризуется существенными различиями лесорастительных условий. Так, лесной фонд республики, согласно Приказа Минприроды России от 18.08.2014 г. № 367 [8] представлен лесами таежной зоны и зоны хвойно-широколиственных лесов. При этом леса таежной зоны вошли в Южно-таежный район европейской части Российской Федерации. В данный лесной район, в свою очередь, вошли леса следующих муниципальных районов: Балеизинский, Воткинский, Глазовский, Дебесский, Игринский, Кезский, Красногорский, Селтинский, Сюмсинский, Увинский, Шарканский, Юкаменский, Якшур-Бодьинский, Ярский.

Леса зоны хвойно-широколиственных лесов, в свою очередь, вошли в лесной район хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части Российской Федерации. В данный лесной район вошел лесной фонд следующих муниципальных районов и иных административно-территориальных образований: Алнашский, Вавожский, Граховский, Завьяловский, Камбарский, Каракулинский, Кизнерский, Киясовский, Малопургинский, Можгинский, Сарапульский и г. Ижевска с подведомственной территорией.

В процессе исследований на основании визуальных обследований, анализа космических снимков высокого пространственного разрешения [9], [10], [11] и ведомственных материалов были проанализированы изменения в площади сельскохозяйственных угодий за период с 1992 по 2020 гг. В разрезе сельских поселений были выделены площади, заросшие древесной растительностью, зарастающие древесной растительностью и выбывшие из сельскохозяйственного оборота по другим причинам (строительство линейных и площадных объектов). К землям, заросшим древесной растительностью, относились участки, которые в соответствии с действующими нормативными документами относятся к покрытым лесной растительностью землям [12]. К зарастающим землям относились участки с количеством древесной растительности недостаточным для перевода их в покрытые лесной растительностью земли.

Результаты и обсуждение

Исследования показали, что в составе МО «Алнашский район» входят 12 сельских поселений: МО «Азаматовское», МО «Алнашское», МО «Асановское», МО «Байтерьяковское», МО «Варзи-Ятгинское», МО «Кузубаевское», МО «Муважинское», МО «Писеевское», МО «Ромашкинское», МО «Староутчанское», МО «Техникумовское» и МО «Удмурт-Тоймобашское».

По данным статотчетности Госкомитета УАССР по продовольствию и закупкам на 01.11.1990 г. общая площадь земель сельскохозяйственного назначения МО «Алнашский район» составляла 65,2 тыс. га. За период до 1992 г. общая площадь земель сельскохозяйственного назначения увеличилась на 2,4 тыс. га и составила 67,6 тыс. га. При этом увеличение площади земель сельскохозяйственного назначения произошло за счет передачи земель других категорий. Данные о распределении земель сельскохозяйственного назначения по видам угодий приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Распределение площади сельскохозяйственных угодий МО «Алнашский район» по видам угодий на 1.01.2020 г.

Сельскохозяйственное угодье	Общая площадь на 1992 г.		Площадь, заросшая древесной растительностью		Площадь, зарастающая древесной растительностью		Площадь, выбывшая в связи со строительством площадных и линейных объектов		Итого площадь, выбывшая из оборота	
	га	%	га	%	га	%	га	%	га	%
Пашня	55888,3	82,7	419,1	0,7	727,6	1,3	510,6	0,9	1657,3	3,0
Пастбища	11148,8	16,5	693,1	6,2	–	–	127,2	1,1	820,3	7,4
Сенокосы	542,0	0,8	97,8	18,0	–	–	0,8	0,1	98,6	18,2
Итого	67579,1	100	1210,0	1,8	727,6	1,1	638,6	0,9	2576,2	3,8

Материалы табл. 1 свидетельствуют, что среди сельскохозяйственных угодий доминируют пашни, на долю которых приходится 82,7% их общей площади. В районе изначально было мало сенокосов – 542,0 га (0,8%). При этом именно сенокосы зарастали древесной растительностью наиболее быстро. Последнее объяснялось двумя факторами. Во-первых, мелкоконтурностью сенокосов, расположенных среди земель, покрытых древесной растительностью. Во-вторых, прекращение использования пашни по прямому назначению позволило производить на ней заготовку сена и выпас скота. В результате древесной растительностью заросло 18,0% площади сенокосов и 6,6% пастбищ, в то время как площадь пашни сократилась лишь на 0,7%. При этом процесс формирования древесной растительности на сенокосах и пастбищах прекратился, то есть оставшиеся данные виды угодий используются по прямому назначению, в то время как процесс зарастания пашни продолжается и на 727,6 га идет формирование древостоев.

Создание инфраструктуры, то есть строительство дорог, полевых лесных полос, зданий и сооружений обусловило сокращение площади сельскохозяйственных угодий на 638,6 га. Изъятие указанных земель можно считать безвозвратными потерями, поскольку их использование в качестве сельскохозяйственных угодий будет невозможно и в будущем.

В целом же за период с 1992 по 2020 гг. площадь земель сельскохозяйственного назначения сократилась на 2576,2 га (3,8%). При этом в абсолютных величинах максимальное сокращение пришлось на пашни – 1657,3 га, а в относительных – на сенокосы 18,2%.

Несмотря на относительно небольшое сокращение площади сельскохозяйственных угодий за анализируемый период 3,8% важно проанализировать целесообразность возврата земель в исходное состояние. Выполненные исследования показали, что на 1210,0 га бывших сельскохозяйственных угодий в настоящее время произрастают насаждения. Возврат данных площадей в исходное состояние, то есть превращение их в пашни, сенокосы и пастбища весьма проблематично, поскольку потребует значительных затрат на валку деревьев, раскорчевку, вычесывание корней, выравнивание поверхности и так далее. Если учесть, что плодородие почвы на заросших древесной растительностью землях было относительно невысоким, вовлечение их обратно в сельскохозяйственный оборот потребует проведения известкования почвы и внесения удобрений.

Таким образом, площади, заросшие древесной растительностью, целесообразно использовать для выращивания древесины, разработав проект ведения в них лесного хозяйства. В проекте должны быть предусмотрены как мероприятия по противопожарному устройству, так и по проведению ухода за лесом. Последнее объясняется тем, что на значительной площади заросших древесно-кустарниковой растительностью сельскохозяйственных угодий произрастают кустарниковые заросли, которые целесообразно заменить древостоями.

Площадь, зарастающих древесной растительностью сельскохозяйственных угодий, составляет 727,6 га. Все они представлены пашнями, которые оставлены под залежь. На данной площади полнота сформировавшихся древостоев не превышает 0,3, а на части из них ведется сенокосение или пастба скота. Однако возврат указанных земель для использования под пашню сдерживается низким плодородием почв. Большинство из них требует известкования, а также внесения органических или минеральных удобрений.

Из 727,6 га пашни, зарастающей древесно-кустарниковой растительностью, химический состав почв позволяет обеспечить урожай зерновых более 21,0 ц/га только на площади 149,8 га. При этом среднее значение урожайности зерновых культур по МО «Алнашский район» за период с 2016 по 2019 гг. составляет 20,5 ц/га.

Другими словами, лишь возврат в пашню 20,6%, зарастающих древесно-кустарниковой растительностью земель, обеспечит получение урожайности зерновых на уровне средней по муниципальному образованию. При отсутствии средств на известкование и внесение удобрений целесообразнее на 577,8 га, зарастающих древесной растительностью землях, выращивать лесные плантации с целью ускоренного получения ценной древесины. Опыты, проведенные по выращиванию хвойных насаждений на бывших пашнях, показали [13], [15], [16], что средний запас древесины в 140-летних искусственных сосняках составил 908–915 м³/га, а запас выращиваемых на пашне лиственничников в 63-летнем возрасте достигает 739 м³/га. Помимо хвойных насаждений в лесорастительных условиях района хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части Российской Федерации можно создавать лесные плантации из быстрорастущих лиственных пород.

Выводы

1. В лесном районе хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части Российской Федерации, где расположено МО «Алнашский район» Республики Удмуртия за период с 1992 по 2020 гг. площадь сельскохозяйственных угодий сократилось на 2,6 тыс. га (3,8%).

2. В абсолютном выражении наибольшее сокращение пришлось на пашни – 1657,3 га, а в относительном на сенокосы – 18,2 %.

3. Резкое сокращение сенокосов и пастбищ объясняется их мелкоконтурностью среди лесных массивов и прекращением использования по прямому назначению из-за сокращения поголовья скота и возможности выпаса скота и сенокосения на заброшенных пашнях.

4. Более 0,6 тыс. га бывших сельскохозяйственных угодий исключено из таковых в связи с передачей их под строительство линейных и площадных объектов.

5. Возврат земель под сельскохозяйственное использование на площади 1210 га, заросших древесной растительностью, нецелесообразен в связи со значительными финансовыми и трудовыми затратами на уборку древостоев, раскорчевку, известкование и внесение удобрений. Данные площади целесообразно передать в лесной фонд для выращивания древесины.

6. Из 727,6 га земель, зарастающих древесной растительностью, плодородие почвы лишь на площади 149,8 га обеспечит выращивание зерновых культур с урожайностью 21,0 ц/га. Оставшиеся 577,8 га целесообразно использовать для создания лесных плантаций по ускоренному выращиванию высокотоварной древесины.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Юровских Е.В. Причины сокращения площади сельскохозяйственных земель из активного использования на примере Свердловской области / Е.В. Юровских, А.Г. Магасумова, С.В. Залесов // Аграрная наука – сельскому хозяйству: Сборник статей: в 3 кн. – Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2016. С. 460-461.
2. Новоселова Н.Н. Формирование древесной растительности на бывших сельскохозяйственных угодьях. / Н.Н. Новоселова, С.В. Залесов, А.Г. Магасумова. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2016. 106 с.

3. Юровских Е.В. Густота и надземная фитомасса подроста сосны на бывших сельскохозяйственных угодьях / Е.В. Юровских, С.В. Залесов, А.Г. Магасумова и др. // Аграрный вестник Урала, 2016. № 11 (153). С. 80-85.
4. Кректунов А.А. Охрана населенных пунктов от природных пожаров / А.А. Кректунов, С.В. Залесов. – Екатеринбург: Урал. Ин-т ГПС МЧС России, 2017. 162 с.
5. Залесов С.В. Защита населенных пунктов от природных пожаров / С.В. Залесов, Г.А. Годовалов, А.А. Кректунов и др. // Аграрный вестник Урала. 2013. № 2 (108). С. 34-36.
6. Залесов С.В. Организация противопожарного устройства насаждений, формирующихся на бывших сельскохозяйственных угодьях / С.В. Залесов, А.Г. Магасумова, Н.Н. Новоселова // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2010. № 4 (66). С. 60-63.
7. Залесов С.В. Рекомендации по совершенствованию охраны лесов от пожаров в ленточных борах Прииртышья / С.В. Залесов, Е.С. Залесова, А.С. Оплетев. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2014. 67 с.
8. Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и Перечня лесных районов Российской Федерации: Утв. Приказом Минприроды России от 18.08.2014 г. № 367 (ред. от 23.12.2014 г.).
9. Фомин В.В. Методика оценки густоты подроста и древостоев при зарастании сельскохозяйственных земель древесной растительностью с использованием космических снимков высокого пространственного разрешения / В.В. Фомин, С.В. Залесов, А.Г. Магасумова // Аграрный вестник Урала. 2015. № 1 (131). С. 25-29.
10. Залесов С.В. Методика дешифрирования аэрофотоснимков в целях экологического мониторинга и аудита нефтегазовых месторождений / С.В. Залесов, Л.И. Аткина, И.Ф. Коростелев и др. – Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 80 с.
11. 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.
12. Об утверждении Правил лесовосстановления, состава проекта лесовосстановления, порядка разработки проекта лесовосстановления и внесения в него изменений: Утв. Приказом Минприроды России от 04.12.2020 г. № 1014.
13. Залесов С.В. Рост лиственных древостоев на бывших пашнях / С.В. Залесов, Е.В. Юровских, Л.А. Белов и др. // Аграрный вестник Урала. 2015. № 5 (135). С. 50-54.
14. Залесов С.В. Старейшие искусственные насаждения сосны обыкновенной на старопахотных землях / С.В. Залесов, Л.А. Белов, А.Г. Магасумова и др. // Интенсификация лесного хозяйства России: проблемы и инновационные пути решения. – Красноярск: ИЛ СО РАН, 2016. С. 86-87.
15. Залесов С.В. Опыт создания лесных культур на солонцах хорошей лесопригодности / С.В. Залесов, О.В. Толкач, И.А. Фрейберг и др. // Экология и промышленность России. 2017. Т. 21. № 9. С. 42-47.
16. Кожевников А.П. Опыт создания коллекции плодовых и декоративных культур / А.П. Кожевников, С.В. Залесов. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2018. 206 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Yurovskih E.V. Prichiny sokrashheniya ploshhadi sel'skhozajstvennyh zemel' iz aktivnogo ispol'zovaniya na primere Sverdlovskoj oblasti [Reasons for reducing the area of agricultural land from active use on the example of the Sverdlovsk region] / E.V. Yurovskih, A.G. Magasumova, S.V. Zalesov // Agrarnaja nauka – sel'skomu hozjajstvu: Sbornik statej [Agrarian science for agriculture: Collection of articles]: in 3 books. - Barnaul: RIO Altai GAU, 2016.P. 460-461. [in Russian]
2. Novoselov N.N. Formirovanie drevesnoj rastitel'nosti na byvshih sel'skhozajstvennyh ugod'jah [Formation of woody vegetation on former agricultural lands]. / N.N. Novoselova, S.V. Zalesov, A.G. Magasumova - Yekaterinburg: Ural. state forestry engineering. un-t, 2016.106 p. [in Russian]
3. Yurovskih E.V. Gustota i nadzemnaja fitomassa podrosta sosny na byvshih sel'skhozajstvennyh ugod'jah [Density and aboveground phytomass of pine undergrowth on former agricultural lands] / E.V. Yurovskih, S.V. Zalesov, A.G. Magasumova et al. // Agrarnyj vestnik Urala [Agrarian Bulletin of the Urals], 2016. No. 11 (153). P. 80-85. [in Russian]
4. Krektunov A.A. Ohrana naselennyh punktov ot prirodnyh pozharov [Protection of settlements from natural fires] / A.A. Krektunov, S.V. Zalesov. - Yekaterinburg: Ural. Institute of State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2017.162 p. [in Russian]
5. Zalesov S.V. Zashhita naselennyh punktov ot prirodnyh pozharov [protection of settlements from natural fires] / S.V. Zalesov, G.A. Godovalov, A.A. Krektunov et al. // Agrarnyj vestnik Urala [Agrarian Bulletin of the Urals]. 2013. No. 2 (108). P. 34-36. [in Russian]
6. Zalesov S.V. Organizacija protivopozharnogo ustrojstva nasazhdenij, formirujushihhsja na byvshih sel'skhozajstvennyh ugod'jah [Organization of a fire-prevention device for plantations formed on former agricultural lands] / S.V. Zalesov, A.G. Magasumova, N.N. Novoselova // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the Altai State Agrarian University], 2010. No. 4 (66). P. 60-63. [in Russian]
7. Zalesov S.V. Rekomendacii po sovershenstvovaniyu ohrany lesov ot pozharov v lentochnyh borah Priirtysh'ja [Recommendations for improving the protection of forests from fires in the belt pine forests of the Irtysh region] / S.V. Zalesov, E.S. Zalesova, A.S. Opletayev. - Yekaterinburg: Ural. state forestry engineering. un-t, 2014.67 p. [in Russian]
8. Ob utverzhdenii Perechnja lesorastitel'nyh zon Rossijskoj Federacii i Perechnja lesnyh rajonov Rossijskoj Federacii [On approval of the List of forest growing zones of the Russian Federation and the List of forest regions of the Russian Federation]: Approved. Order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated 18.08.2014 No. 367 (as amended on 23.12.2014). [in Russian]
9. Fomin V.V. Metodika ocenki gustoty podrosta i drevostoev pri zarastanii sel'skhozajstvennyh zemel' drevesnoj rastitel'nost'ju s ispol'zovaniem kosmicheskikh snimkov vysokogo prostranstvennogo razreshenija [Methodology for assessing the density of undergrowth and forest stands during overgrowth of agricultural lands with woody vegetation using satellite images of high spatial resolution] / V.V. Fomin, S.V. Zalesov, A.G. Magasumova // Agrarnyj vestnik Urala [Agrarian Bulletin of the Urals]. 2015. No. 1 (131). P. 25-29. [in Russian]
10. Zalesov S.V. Metodika deshifirovaniya ajerofotosnimkov v celjah jekologicheskogo monitoringa i audita neftegazovyh mestorozhdenij [Technique for interpreting aerial photographs for the purpose of environmental monitoring and audit of oil and

gas fields] / S.V. Zalesov, L.I. Atkina, I.F. Korostelev et al. - Yekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2003.80 p. [in Russian]

11. Bunkova 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]

12. Ob utverzhdenii Pravil lesovosstanovleniya, sostava proekta lesovosstanovleniya, porjadka razrabotki proekta lesovosstanovleniya i vnesenija v nego izmenenij [On the approval of the Rules for reforestation, the composition of the reforestation project, the procedure for developing the reforestation project and making changes to it]: Approved. By order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated 04.12.2020 No. 1014. [in Russian]

13. Zalesov S.V. Rost listvennichnyh drevostoev na byvshih pashnjah [Growth of deciduous stands on former arable lands] / S.V. Zalesov, E.V. Yurovskikh, L.A. Belov et al. // Agrarnyj vestnik Urala [Agrarian Bulletin of the Urals]. 2015. No. 5 (135). P. 50-54. [in Russian]

14. Zalesov S.V. Starejshie iskusstvennye nasazhdeniya sosny obyknovennoj na staropahotnyh zemljah [Oldest artificial plantations of common pine on old arable lands] / S.V. Zalesov, L.A. Belov, A.G. Magasumov et al. // Intensifikacija lesnogo hozjajstva Rossii: problemy i innovacionnye puti reshenija [Intensification of forestry in Russia: problems and innovative solutions]. - Krasnoyarsk: IL SO RAN, 2016. P. 86-87. [in Russian]

15. Zalesov S.V. Opyt sozdaniya lesnyh kul'tur na soloncah horoshej lesoprigodnosti [Experience of creating forest cultures on salt licks of good forest suitability] / S.V. Zalesov, O. V. Tolkach, I.A. Freiberg et al. // Jekologija i promyshlennost' Rossii [Ecology and Industry of Russia.] 2017. Vol. 21. No. 9. P. 42-47. [in Russian]

16. Kozhevnikov A.P. Opyt sozdaniya kollekcii plodovyh i dekorativnyh kul'tur [Experience in creating a collection of fruit and decorative crops] / A.P. Kozhevnikov, S.V. Zalesov. - Yekaterinburg: Ural. state forestry engineering. un-t, 2018.206 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.103.2.029>**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ИЗВЕСТКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЛЮЦЕРНЫ ИЗМЕНЧИВОЙ**

Научная статья

Иванова Е.П.^{1,*}, Яюк Л.Г.²¹ ORCID: 0000-0003-3428-4235;^{1,2} Сахалинский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Южно-Сахалинск, Россия

* Корреспондирующий автор (kirena2010[at]yandex.ru)

Аннотация

В статье приведены данные по эффективности известкования традиционным и не традиционным (дефекатом) известковыми материалами при возделывании люцерны. При известковании традиционным известковым материалом прибавка урожая зеленой массы люцерны за три года исследований (1996-1998 гг.) составила 78,5 ц/га или 11,3 %, %, сухой массы – 25,3 ц/га или 15,8 %. Эти данные подтверждаются исследованиями, проведенными в 2005-2007 гг. (11,99 % зеленой массы и 17,64 % сухого вещества). Известкование увеличивает сбор кормовых единиц и переваримого протеина с 1 га в 1,2 раза. При использовании в качестве мелиоранта дефеката (2009-2012 гг.) установлено, что его применение увеличивает урожайность люцерны 1-3 годов жизни на 15,73 % зеленой массы и на 22,92 % сухой массы. Сбор кормовых единиц и переваримого протеина повышается в 1,3 и 1,5 раза. Таким образом, нами получены более высокие прибавки урожайности зеленой и сухой массы люцерны, выше сбор кормовых единиц и переваримого протеина с 1 га при использовании дефеката. Кроме того, утилизация отхода способствует защите окружающей среды, реальному и эффективному ресурсосбережению при одновременном повышении плодородия почвы и урожайности сельскохозяйственных культур. Использование дефеката для известкования кислых почв в условиях ограниченных финансовых ресурсов сельскохозяйственных предприятий и достаточно высокой стоимости известкования в дальневосточном регионе (по сравнению со среднероссийскими значениями) будет способствовать малозатратности, экологической безопасности и конкурентоспособности современного сельскохозяйственного производства.

Ключевые слова: известкование, дефекат, люцерна изменчивая, многолетние бобовые травы, урожайность.**EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF VARIOUS LIME MATERIALS IN THE CULTIVATION OF VARIEGATED ALFALFA**

Research article

Ivanova E.P.^{1,*}, Yayuk L.G.²¹ ORCID: 0000-0003-3428-4235;^{1,2} Sakhalin Research Institute of Agriculture, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

* Corresponding author (kirena2010[at]yandex.ru)

Abstract

The current article presents data on the effectiveness of liming with traditional and non-traditional (defecation mud) lime materials in the cultivation of alfalfa. When liming with traditional lime material, the increase in the green matter yield of alfalfa for the research period from 1996 to 1998 was 78.5 c / ha or 11.3 %, % while the dry matter yield amounted to 25.3 c / ha or 15.8 %. These data are confirmed by studies conducted in 2005-2007 (11.99 % of the green matter and 17.64 % of the dry matter). Liming increases the collection of feed units and digestible protein from 1 ha by 1.2 times. When using the defecation mud as an ameliorant (2009-2012), the study found that its use increases the yield of 1-3-year-old alfalfa by 15.73 % of the green matter and by 22.92 % of the dry matter. The collection of feed units and digestible protein increases by 1.3 and 1.5 times. In the course of the study, the authors obtained higher increases in the yield of green and dry matter of alfalfa as well as a higher collection of feed units and digestible protein from 1 ha when using defecation mud. In addition, waste management contributes to the protection of the environment, real and effective resource conservation while increasing soil fertility and crop yields. The use of defecation mud for liming acidic soils with limited financial resources of agricultural enterprises and a sufficiently high cost of liming in the Russian Far East (compared to the average Russian pricing) will contribute to the low cost, environmental safety and competitiveness of modern agricultural production.

Keywords: liming, defecation mud, variegated alfalfa, perennial legumes, yield.**Введение**

По данным Министерства сельского хозяйства, общая площадь пашни с кислой реакцией почвенной среды (рН меньше 5,5) составляет 35,1 млн. га (около 30%). Процесс подкисления почв в РФ нарастает, увеличивается площадь почв, требующих известкования (Национальный доклад о состоянии и использовании земель сельхозназначения). В результате постоянного подкисления и обеднения кальцием и магнием сельскохозяйственных земель (отрицательный баланс кальция) в нашей стране ежегодно не добивают около 20 млн. тонн продукции в пересчете на зерно [1]. Закисление почв сельхозугодий – одна из важнейших проблем аграрного сектора экономики России, поэтому их известкование является первоочередной задачей для повышения плодородия. Для устойчивого и экологически безопасного развития сельского и лесного хозяйства необходимо прогнозировать долгосрочную динамику почвенной реакции, сопутствующих свойств почвы и управлять ею [2]. Известкование кислых почв повышает плодородие почв и обеспечивает оптимизацию почвенных условий для развития растений. Известкованию почв как агрономическому и природоохранному приёму нет альтернативы. Известковые мелиоранты, нейтрализуя избыточную кислотность в почвах, повышают коэффициенты использования минеральных удобрений, уменьшают вынос биогенов в водоемы, обеспечивают геохимический барьер для вымывания подвижных элементов, улучшают экологическую обстановку,

оптимизируют условия для почвенной биоты. Патогенная грибная микрофлора сменяется на бактериальную, растёт число фосфатмобилизирующих бактерий, азотфиксаторов, целлюлозоразлагающих микроорганизмов.

На Дальнем Востоке России интенсивная деградация пахотных почв началась с 1990 года, когда практически прекратились поставки и применение минеральных удобрений и извести. По данным агрохимических обследований наиболее плодородных почв (2005 год) содержание гумуса снизилось на 10%, кислотность почв увеличилась на 20-30% по сравнению с 1990 годом. Существенно выросли площади кислых почв, к которым в Амурской области отнесено, по данным последнего тура обследования 94 %, Приморском 79 % и Хабаровском крае – 76 %. В среднем этот показатель по ДВ составил 83%, а по Российской Федерации только 32% [3].

Кислотность почв ДФО увеличивается. Так, по данным Национального доклада о состоянии и использовании земель сельхозназначения за 2019 год, в Дальневосточном федеральном округе кислые почвы составляют 89,6%. Почвы, имеющие избыточную кислотность, неблагоприятны по физико-химическим свойствам плодородия, препятствуют получению достаточно высоких и стабильных урожаев, снижают качество продукции. Вместе с тем для обеспечения продовольственной безопасности дальневосточного региона необходимо увеличить производство сельскохозяйственной продукции, что невозможно сделать без оптимизации плодородия почв, и в первую очередь – проведения известкования кислых почв.

Среди федеральных округов наибольшие площади пашни, нуждающейся в известковании, расположены в Дальневосточном федеральном округе. В 2018 году в РФ известкование проведено на площади 292 тыс. га, из них в ДФО 0,9 тыс. га, в т.ч. в Приморском крае – 0,8 тыс. га [4]. Проведение работ по химической мелиорации земель – важный фактор сохранения и повышения плодородия почв. Несмотря на это, в последние два десятка лет работы по известкованию кислых почв практически прекратились. Средняя стоимость затрат в 2019 году на проведение известкования почв оценивается в 16 тыс. руб./га, на Дальнем Востоке — в 37,5 тыс. руб./га. Необходима государственная поддержка химической мелиорации почв, которая должна осуществляться полностью за счет государства (об этом свидетельствует мировой опыт ведения сельского хозяйства). Итак, в Приморском крае за последние пять лет средняя площадь земли, на которой проводилось известкование кислых почв, составила всего 555 га, при среднем объеме внесения известняковой муки и других известковых материалов по 3,8 т на га. Более всего проведено работ по химической мелиорации земель в 2019 году (1889 га), менее всего – 16 га в 2017 году (таблица 1) [5].

Таблица 1 – Проведение работ по химической мелиорации земель Приморского края

	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
Произвестковано кислых почв, га	40	35	16	795	1889
Внесено известняковой муки и других известковых материалов - всего, тыс. т	0,2	0,2	0,1	2,9	6,9
Внесено известняковой муки и других известковых материалов - на 1 га, т	5,2	5,6	7,5	3,7	3,7

В среднем за 5 лет произвестковано 0,04 % от площади с/х угодий Приморского края (практически ничего).

Приоритетным направлением в Дальневосточном регионе является развитие животноводства, обширные кормовые естественные угодья способствуют этому. Создание прочной кормовой базы – главнейшее условие развития эффективного и рентабельного животноводства. Для обеспечения животных кормами важно увеличить посевные площади высокобелковых многолетних бобовых трав, в т.ч. люцерны. Корма из люцерны обладают самыми высокими кормовыми качествами, поэтому её возделывание можно рассматривать как реальную возможность снижения себестоимости животноводческой продукции.

Устойчивость бобовых трав в составе сеяных травостоев значительно снижается на кислых почвах, люцерна относится к культурам, наиболее чувствительным к повышенной кислотности. Поэтому первоочередность известкования кислых почв Дальнего Востока не вызывает сомнения.

Одним из резервов увеличения поставок мелиорантов для кислых почв может быть использование дешевого кальцийсодержащего материала – дефеката – отхода производства сахара, получившего наибольшее распространение в мире. Ежегодное применение дефеката составляет более 3 млн. т. По данным ВИУА, дефекат превосходит по эффективности известь при внесении в эквивалентном по CaO количестве. Важным критерием мелиоративной эффективности дефеката является высокая скорость его растворимости в почве. В отличие от известняковой муки, дефекат отличается большей площадью поверхности мелких частиц.

Эффективность дефеката подтверждается и зарубежными исследователями. Оценивая эффект снижения *Arhanomyses cochlione* и рост урожая сахарной свеклы, считается, что он достигается под влиянием кальция, азота, фосфора и других органических и неорганических веществ, содержащихся в дефекате, которые способствуют улучшению водно-физических свойств почвы, снижению pH, увеличению содержания фосфора (Olsen P) и более интенсивной микробиологической активности в ризосфере корня [6]. В западной Испании (Cañamero, Cáceres) на почвах с низким значением pH – 5,07, дефекат в дозе 7,4 т/га в течение 9 лет превышал pH в контроле на 1,24 и в варианте с доломитизированным известняком на 1,12 единиц [7].

Современное состояние исследования проблемы использования дефеката для повышения плодородия почв положительно оценивает удобрительный и мелиоративный его эффект и перспективы утилизации накопленных его запасов. Применение дефеката повышает содержание в почвах легкогидролизуемого азота, подвижного фосфора, обменных катионов кальция, магния и калия, а также способствует стабилизации почвенной среды (pH), снижению содержания тяжелых металлов, уменьшению гидролитической кислотности и улучшению биологической активности

Дефекат обладает длительным последствием, к примеру, в Орловской области его последствие на урожай зерновых культур и сахарной свеклы отмечается на протяжении 10-12 лет [8].

В 2009-2014 гг. в Приморском НИИСХ проведены исследования по определению эффективности дефеката в севообороте. Его применение позволяет в течение вегетации отрегулировать реакцию почвенной среды в соответствии с биологическими требованиями возделываемой культуры, изменив реакцию от кислой до щелочной. Этот экономически выгодный, пролонгированного действия агроприем можно рекомендовать к внедрению в сельскохозяйственное производство [9].

Целью работы явилась оценка эффективности известкования традиционными известковыми материалами (пушонкой) и нетрадиционными (дефекат) при возделывании люцерны изменчивой.

Основные результаты

В разные годы нами оценивалась эффективность известкования традиционным известковым материалом (пушонкой) и нетрадиционным (дефекатом) при возделывании люцерны.

Так, в 1996-1998 г. был заложен полевой опыт на опытном поле УНПК ФГОУ ВПО «ПГСХА» на лугово-бурой оподзоленной почве по изучению влияния известкования традиционным известковым материалом (пушонкой) на продуктивность люцерны изменчивой. Прибавка урожайности люцерны по известковому фону составила 40 ц/га зеленой массы или 12,8 %. На второй год жизни люцерны прибавка составила 23,3 ц/га или 8 %, а на третий год жизни – 15 ц/га или 13,1%. Таким образом, за три года исследований прибавка урожая зеленой массы люцерны от известкования составила 78,5 ц/га или 11,3 %, а сухой массы – 25,3 ц/га или 15,8 %. Известкование положительно влияет и на качество растительной массы люцерны, увеличивая содержание протеина [10], [11]. В 2005-2007 гг. данные исследования были повторены во времени, с этой целью на опытном поле УНПК ФГОУ ВПО «ПГСХА» был заложен полевой опыт по изучению влияния известкования на продуктивность люцерны изменчивой. Эффективность известкования при возделывании люцерны в среднем за три года жизни составила 27,4 ц/га зеленой массы или 11,99 %, что подтверждает исследования, проведенные нами в 1996-1998 гг. Прибавка сухой массы составила 8,8 ц/га или 17,64 %, что несколько выше, чем в 1996-1998 гг. Обеспеченность кормовой единицы переваримым протеином в варианте с известкованием увеличивается на 6,5 %, сбор кормовых единиц с 1 га – на 16,5 %, сбор переваримого протеина с 1 га – на 23,7 % [12]. В результате проведенных исследований (1996-2000, 2004-2006) нами установлено, что известкование значительно увеличивает выход кормовых единиц с 1 га – в среднем за годы исследований 3074,3 к. ед. в варианте без известки; 3585,6 к.ед. – по известки, обменной энергии – 8,92 МДж/кг и 9,17 МДж/кг соответственно [13].

В 2009-2012 гг. в степной зоне Приморского края на территории коллекционного питомника отдела кормопроизводства Приморского научно-исследовательского института сельского хозяйства нами был заложен полевой опыт по изучению влияния дефеката ООО «Приморский сахар» на продуктивность люцерны изменчивой сорта Вега 87. Расчет дозы дефеката произвели по полной гидролитической кислотности. В среднем по трем закладкам опыта (2009-2012 гг.) установлено, что применение дефеката достоверно увеличивает урожайность зеленой массы люцерны первого года жизни на 18,2 %, а выход сена – на 29 %. Статистически достоверное увеличение урожайности люцерны при внесении дефеката сохранялось и в последующие годы. Во второй год жизни люцерны увеличение урожайности произошло на 15,0 % зеленой массы и на 19,9 % сена, в третий год жизни – на 15,61 % и 22,12 % соответственно. Таким образом, эффективность внесения дефеката при возделывании люцерны 1-3 годов жизни выразилась в прибавке урожайности на 15,73 % зеленой массы и на 22,92 % сухой массы. Сбор кормовых единиц и переваримого протеина повышается в 1,3 и 1,5 раза [14].

Положительное влияние дефеката установлено нами и при возделывании другой бобовой культуры – клевера лугового. Выявлено повышение урожайности зеленой массы клевера лугового на 10,2 %, сбора сухого вещества – на 12,9 %, выхода обменной энергии с 1 га – на 13,7 % [15].

Заключение

Таким образом, известкование почв как традиционными, так и не традиционными известковыми материалами способствует повышению продуктивности многолетних бобовых культур. При известковании традиционным известковым материалом (пушонкой) прибавка урожая зеленой массы люцерны за три года исследований (1996-1998 гг.) составила 78,5 ц/га или 11,3 %, %, сухой массы – 25,3 ц/га или 15,8 %. Эти данные подтверждаются исследованиями, проведенными в 2005-2007 гг. (11,99 % зеленой массы и 17,64 % сухого вещества). Известкование увеличивает сбор кормовых единиц и переваримого протеина с 1 га в 1,2 раза. При использовании в качестве мелиоранта дефеката (2009-2012 гг.) установлено, что его применение увеличивает урожайность зеленой массы люцерны первого года жизни на 18,2 %, сухой массы – на 29 % (в среднем по трем закладкам опыта). Статистически достоверное увеличение урожайности люцерны при внесении дефеката сохранялось и в последующие годы. Во второй год жизни люцерны увеличение урожайности произошло на 15,0 % зеленой массы и на 19,9 % сена, в третий год жизни – на 15,61 % и 22,12 % соответственно. Эффективность внесения дефеката при возделывании люцерны 1-3 годов жизни выразилась в прибавке урожайности на 15,73 % зеленой массы и на 22,92 % сухой массы. Сбор кормовых единиц и переваримого протеина повышается в 1,3 и 1,5 раза. Нами получены более высокие прибавки урожайности люцерны, а также больший сбор кормовых единиц и переваримого протеина с 1 га при использовании дефеката по сравнению с традиционным мелиорантом (пушонкой), что подтверждает литературные данные о преимуществе использования дефеката не только как мелиоранта, но и как удобрения. Кроме того, утилизация отхода (которого накоплено значительные объемы) способствует защите окружающей среды, реальному и эффективному ресурсосбережению при одновременном повышении плодородия почвы и урожайности сельскохозяйственных культур. Использование дефеката в качестве мелиоранта в условиях ограниченных финансовых ресурсов сельскохозяйственных предприятий и достаточно высокой стоимости известкования в дальневосточном регионе (по сравнению со среднероссийскими значениями) будет способствовать малозатратности, экологической безопасности и конкурентоспособности современного сельскохозяйственного производства.

Результаты исследований по эффективности использования дефеката послужили основой для создания научного проекта, ставшего победителем во Всероссийском конкурсе «Моя страна – моя Россия» в номинации «Проекты, направленные на развитие инновационной сферы, науки и образования в российских регионах и муниципальных образованиях» (II место – серебряная медаль – Москва, 2012).

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Шильников И.А. Известкование – главный фактор сохранения плодородия почв и повышения продуктивности сельскохозяйственных культур / И.А. Шильников, Н.И. Аканова, Н.А. Зеленев // Достижения науки и техники АПК, 2008. – № 1. – С. 21-23.
2. Осипов А.И. История и практические аспекты известкования кислых почв в России / А.И. Осипов // Агрохимический вестник, 2019. – № 3. – С. 28-36.
3. Костенков Н.М. Почвы и почвенные ресурсы юга Дальнего Востока и их экологическая оценка / Н.М. Костенков, В.И. Оздобихин // Почвоведение, 2006. – № 5. – С. 517-526.
4. Агропромышленный комплекс России в 2018 году / МСХ РФ. – М., 2019. – С. 100.
5. Современное состояние сельского хозяйства Приморского края: Аналитическая записка / М.И. Карпова, В.Ю. Киселева, Л.Н. Кривобород и др. / Приморскстат, 2020. – 46 с.
6. Windels C. E. Longterm effects of a single application of spent lime on sugarbeet, Aphanomyces root rot, rotation crops, and antagonistic microorganisms / C. E. Windels, A. L. Sims, J. R. Brantner, C. A. Bradley // Sugarbeet Res. Ext. Rept., 2008. 38. – P. 251-262.
7. González-Fernández Comparative studies of the efficiency of lime refuse from sugar beet factories as an agricultural liming material / González-Fernández, R. Espejo-Serrano, R. Ordóñez-Fernández, F. Peregrina-Alonso // Proc. of the I lth International Conference of the FTO ESCORENA Network on the Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture Murcia, Spain, 6-9 October 2004. – P. 157-160.
8. Известкование и применение дефеката на кислых почвах Орловской области: методические рекомендации / В.Г. Небытов, В.И. Мазалов, А.В. Николаевым. – Орел: ВНИИЗБК, 2015. – 56 с.
9. Чайка А.К. Аграрная наука в Приморье (XX-XXI вв.) / А.К. Чайка, А.П. Ващенко. – Владивосток: Типография ООО «Рея». – 2017. – 228с.
10. Путинцева Е.П. Влияние известкования и повышенных доз азотных удобрений на урожай люцерны в условиях Приморского края / Е.П. Путинцева // Сборник научных трудов аспирантов / МСХ РФ, Примор. ГСХА. – Уссурийск : ПГСХА, 1998. – Вып. 1. – С. 6-9.
11. Иванова Е.П. Влияние известкования на кормовые достоинства и продуктивность люцерны в чистом виде и в смеси со злаком / Е.П. Иванова // Молодые ученые – агропромышленному комплексу Дальнего Востока : материалы межвузов. науч.-практич. конф. аспирантов, молодых ученых и специалистов, 01-02 ноября 2005г. / МСХ РФ, Примор. ГСХА. – Уссурийск : ПГСХА, 2006. – Вып. 6. – С. 93-98.
12. Емельянов А.Н. Влияние известкования и минеральных удобрений на продуктивность, питательную и энергетическую ценность люцерны в условиях Приморского края / А.Н. Емельянов, Е.П. Иванова // Достижения науки и техники АПК. – 2008. – № 6. – С. 17-20.
13. Иванова Е.П. Экологически безопасные способы повышения продуктивности люцерны в Приморском крае / Е.П. Иванова // Аграрная наука – сельскому хозяйству: материалы VII международной научно-практической конференции, Барнаул, 2-3 февраля 2012 г. / МСХ РФ, Алтайский ГАУ. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2012. – Кн. 2. – С. 335-336.
14. Иванова Е.П. Эффективность использования дефеката и *Synorhizobium meliloty* при возделывании люцерны изменчивой в условиях Приморского края / Е.П. Иванова // Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства: материалы IV Международной научной экологической конференции, Краснодар, 24-25 марта 2015 г. / МСХ РФ, Кубанский ГАУ. – Краснодар: Изд-во КГАУ, 2015. – Ч. 2. – С. 85-89.
15. Иванова Е.П. Влияние дефеката, макро- и микроудобрений на урожайность и кормовые качества клевера лугового в условиях Приморского края / Е.П. Иванова // Вестник АГАУ. – 2018. – № 1 (159). – С. 39-42.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Shilnikov, I.A. Izvestkovanie – glavniy faktor sohraneniya plodorodiya pochv i povisheniya produktivnosti selskohozyaistvennih kultur [Liming is the main factor in preserving soil fertility and increasing the productivity of agricultural crops] / I.A. Shilnikov, N.I. Akanova, N.A. Zelenov // Dostijeniya nauki i tehniki APK [Achievements of science and technology of the agro-industrial complex]. – 2008. – No. 1. – pp. 21-23. [in Russian]
2. Osipov A.I. Istoriya i prakticheskie aspekti izvestkovaniya kislkih pochv v Rossii [History and practical aspects of acid soils liming in Russia] / A.I. Osipov // Agrohimičeskii vestnik [Agrochemical Herald]. – 2019. – No. 3. – pp. 28-36. [in Russian]
3. Kostenkov N.M. Pochvi i pochvennye resursi yuga Dalnego Vostoka i ih ekologičeskaya ocenka [Soils and soil resources in the southern far east and their assessment] / N.M. Kostenkov, V.I. Oznobikhin // Pochvovedenie [Soil Science]. – 2006. – No. 5. – pp. 517-526. [in Russian]
4. Agropromishlennii kompleks Rossii v 2018 godu [Agro-industrial complex of Russia in 2018] / Ministry of Agriculture of the Russian Federation. – M., 2019. – P. 100. [in Russian]
5. Sovremennoe sostoyanie selskogo hozyaistva Primorskogo kraja: analitičeskaya zapiska [The current state of agriculture in Primorsky Krai: Analytical note] / M.I. Karpova, V.Yu. Kiseleva, L.N. Krivoborod and others / [Primorskstat], 2020. – 46 p. [in Russian]

6. Windels C. E. Longterm effects of a single application of spent lime on sugarbeet, *Aphanomyces* root rot, rotation crops, and antagonistic microorganisms / C. E. Windels, A. L. Sims, J. R. Brantner and others // *Sugarbeet Res. Ext. Rept.* – 2008. 38. – pp. 251-262.
7. González-Fernández Comparative studies of the efficiency of lime refuse from sugar beet factories as an agricultural liming material / González-Fernández, R. Espejo-Serrano, R. Ordóñez-Fernández, F. Peregrina-Alonso // *Proc. of the 11th International Conference of the FTO ESCORENA Network on the Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture Murcia, Spain, 6-9 October 2004.* – pp. 157-160.
8. Izvestkovanie i primeneniye defekata na kisl'nykh pochvah Orlovskoy oblasti: metodicheskie rekomendatsii [Liming and application of defecate on acidic soils of the Oryol region: guidelines] / V.G. Nebytov, V.I. Mazalov, A.V. Nikolaev. – Orel: VNIIZBK, 2015. – 56 p. [in Russian]
9. Chaika A.K. Agrarnaya nauka v Primore (XX-XXI vv.) [Agrarian science in Primorye (XX-XXI centuries)] / A.K. Chaika, A.P. Vaschenko. – Vladivostok: Tipografiya OOO «Reya». – 2017. – 228 p. [in Russian]
10. Putintseva E.P. Vliyaniye izvestkovaniya i povyshennih doz azotnykh udobreniy na uroжай lyucerny v usloviyakh Primorskogo kraya [The influence of liming and increased doses of nitrogen fertilizers on the yield of alfalfa in the conditions of Primorsky Krai] / E.P. Putintseva // *Sbornik nauchnykh trudov aspirantov* [Collection of scientific works of graduate students] / MSH RF Primor. GSHA [The Ministry of Agriculture of the Russian Federation, Primor. State Agricultural Academy]. – Ussuriysk: PGSKhA, 1998. – Vip. 1. – pp. 6-9. [in Russian]
11. Ivanova E.P. Vliyaniye izvestkovaniya na kormovye dostoinstva i produktivnost lyucerny v chistom vide i v smesi so zlakom [The influence of liming on fodder merits and productivity of *Medicago* in pure form and mixed with cereal] / E.P. Ivanova // *Molodiy ucheniy – agropromishlennomu kompleksu Dalnego Vostoka: materialy mejvuzov. nauch.-praktich. konf. aspirantov, molodykh uchenykh i spetsialistov 01-02 noyabrya 2005 g.* [Young scientists - to the agro-industrial complex of the Far East: materials of interuniversities. scientific-practical conf. graduate students, young scientists and specialists, November 01-02, 2005] / MSH RF Primor. GSHA [The Ministry of Agriculture of the Russian Federation, Primor. State Agricultural Academy]. – Ussuriysk: PGSKhA, 2006. – Vip. 6. – pp. 93-98. [in Russian]
12. Emelyanov A.N. Vliyaniye izvestkovaniya i mineralnykh udobreniy na produktivnost, pitatelnyuyu i energeticheskuyu cennost lyucerny v usloviyakh Primorskogo kraya [Influence of liming and mineral fertilizers on productivity, nutritional and energy value of *Medicago* in the conditions of Primorsky Krai] / A.N. Emelyanov, E.P. Ivanova // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of science and technology of the agro-industrial complex]. – 2008. – No. 6. – pp. 17-20. [in Russian]
13. Ivanova E.P. Ekologicheski bezopasnyye sposoby povysheniya produktivnosti lyucerny v Primorskom krae [Ecologically safe ways to increase the productivity of alfalfa in the Primorsky Territory] / E.P. Ivanova // *Agrarnaya nauka – sel'skomu hozyaystvu: materialy VII mejdunar. nauch.-prakt. konf. Barnaul, 2-3 fevralya 2012 g.* [Agricultural science - to agriculture: materials of the VII internat. scient.-pract. conf., Barnaul, February 2-3, 2012] / MSH RF Altaiskii GAU [The Ministry of Agriculture of the Russian Federation, Altai State Agrarian University]. – Barnaul: AGAU, 2012. – Vol. 2. – pp. 335-336. [in Russian]
14. Ivanova E.P. Effektivnost ispolzovaniya defekata i *Synorhizobium meliloty* pri vozdelivanii lyucerny izmenchivoi v usloviyakh Primorskogo kraya [Efficiency of using defecate and *Synorhizobium meliloty* in the cultivation of *Medicago* variable in the conditions of Primorsky Krai] / E.P. Ivanova // *Problemy rekultivatsii otkhodov bita, promishlennogo i sel'skohozyaystvennogo proizvodstva: materialy IV Mejdunar. nauchn.-ekol. konf. 24-25 marta 2015 g.* [Problems of reclamation of household waste, industrial and agricultural production: materials of the IV Internat. Scient.-Environm.conf. March 24-25, 2015] Krasnodar [The Ministry of Agriculture of the Russian Federation, Kuban GAU]. – Krasnodar: KGAU, 2015. – Ch. 2. – pp. 85-89. [in Russian]
15. Ivanova E.P. Vliyaniye defekata, makro- i mikroudobreniy na uroжайnost i kormovye kachestva klevyera lugovogo v usloviyakh Primorskogo kraya [Influence of defecate, macro- and micronutrient fertilizers on the yield and fodder qualities of meadow clover in the conditions of Primorsky Krai] / E.P. Ivanova // *Vestnik AGAU* [Bulletin of the AGAU]. – 2018. – No. 1 (159). – pp. 39-42. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.103.2.030>

ФОРМИРОВАНИЕ АГРОПРОМЫШЛЕННЫХ КЛАСТЕРОВ С КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКОЙ ОТХОДОВ

Обзорная статья

Куликова М.А.^{1,*}, Оковитая К.О.², Суржко О.А.³

¹ ORCID: 0000-0003-4000-0040;

³ ORCID: 0000-0003-1944-3816;

^{1, 2, 3} Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, Новочеркасск, Россия

* Корреспондирующий автор (my7risky[at]mail.ru)

Аннотация

В статье проведена оценка эффективности деятельности агропромышленных кластеров Австрии, Италии, Франции и Великобритании. Рассмотрены вопросы формирования агропромышленных кластеров России. Установлено, что переработке сельскохозяйственных отходов в агропромышленных кластерах РФ уделяется недостаточно внимания и эти вопросы не отражены в руководящих документах. Предложена и обоснована структура агропромышленного кластера с комплексной переработкой отходов сельского хозяйства и перерабатывающих предприятий. Реализация предлагаемой интеграционной структуры позволит из отходов получать товарные продукты и уменьшить техногенное воздействие на окружающую среду. Комплексная переработка отходов в агропромышленном кластере с применением наилучших доступных технологий позволит повысить его конкурентоспособность и привлечь дополнительные инвестиции.

Ключевые слова: Агропромышленные кластеры, управление отходами, модельные хозяйства, модели, продукты переработки, получение товарной продукции.

FORMATION OF AGRO-INDUSTRIAL CLUSTERS WITH COMPREHENSIVE WASTE PROCESSING

Review article

Kulikova M.A.^{1,*}, Okovitaya K.O.², Surzhko O.A.³

¹ ORCID: 0000-0003-4000-0040;

³ ORCID: 0000-0003-1944-3816;

^{1, 2, 3} Platov South-Russian State Polytechnic University, Novocherkassk, Russia

* Corresponding author (my7risky[at]mail.ru)

Abstract

The current article evaluates the efficiency of the agroindustrial clusters in Austria, Italy, France, and the United Kingdom. The research examines the issues of formation of agroindustrial clusters in Russia and establishes that the processing of agricultural waste in the agroindustrial clusters of the Russian Federation is not given enough attention and are not reflected in the guidelines. The study proposes and substantiates the structure of the agroindustrial cluster with comprehensive processing of agricultural waste as well as processing enterprises. The implementation of the proposed integration structure will allow for obtaining commodity products from waste and reduce the man-made impact on the environment. With the help of the best available technologies, comprehensive waste processing in the agroindustrial cluster will increase its competitiveness and attract additional investments.

Keywords: Agroindustrial clusters, waste management, model farms, models, processed products, production of marketable products.

Введение

В современных условиях задачи обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации, импортозамещения основных видов сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия, устойчивого развития сельских территорий требуют качественного улучшения сложившейся системы управления. В научной литературе, посвященной данной проблематике, предлагаются различные подходы, имеющие, как правило, узко дисциплинарный характер. В связи с этим, возникает необходимость разработать комплексный теоретический, методологический и практический подход, в основе которого находятся стратегические мероприятия и механизмы их реализации. Этот подход должен учитывать опыт функционирования агропромышленных кластеров экономически развитых стран, накопленный за несколько десятков лет.

С позиции экологии и экономики эффективной интеграционной структурой, позволяющей получить конкурентное преимущество, является территориально-производственные комплексы (ТПК) - кластеры. Такие комплексы создаются только там и тогда, где возникает необходимость и возможность создания взаимосвязанных производств, образующих основу ТПК и их специализацию. Концепция кластеров становится более связанной с так называемой экономикой знаний или, как её иногда называют, новой экономикой. Кластерный подход сосредоточен, в основном, на поддержке и активации инновационной способности локальных групп и фирм.

Для эффективного решения проблемы утилизации сельскохозяйственных отходов необходимо межотраслевое взаимодействие с целью разработки и внедрения пилотных инновационных технологий-наилучших доступных технологий. Именно такие технологии позволят повысить конкурентоспособность интеграционных структур АПК и привлечь инвестиции. Прежде всего, это относится к технологиям уменьшения отрицательного воздействия на окружающую среду перерабатывающих предприятий АПК.

Такая работа может быть осуществлена в агропромышленных кластерах, агропарках и агрохолдингах, но при этом они должны иметь высокую долю (до 50%) малого и среднего бизнеса. Формирование и совершенствование таких

структур в условиях нестабильной экономики необходимо осуществлять с учетом творчески переработанного многолетнего опыта экономически развитых стран.

Целью работы является изучение опыта развития и функционирования агропромышленных кластеров Австрии, Италии, Франции, Великобритании, и анализ формирования подобных структур в России. Основная задача исследований состояла в моделировании структуры агропромышленного кластера с комплексной переработкой отходов.

Основная часть

Страны Европейского содружества являются основным конкурентом РФ на рынках промышленных товаров и особенно продукции АПК.

В связи с этим целесообразно изучить опыт развития современных интеграционных структур в экономически развитых странах.

В качестве примера рассмотрим промышленную политику и кластеры Австрии, Италии, Франции и Великобритании [1]. Полагаем, что приведённая информация, её анализ будут полезны при дальнейшем формировании и повышении эколого-экономической эффективности агропромышленных кластеров РФ.

Правительство Австрии уделяет самое серьезное внимание развитию кластеров, как общенационального масштаба, так и региональных.

Австрия является одним из лидеров стран Евросоюза по всем отраслям производственной деятельности, в том числе и в сельском хозяйстве. Сельское хозяйство Австрии достаточно продуктивно, под агросектор занято 42% земельных площадей. Австрийское правительство поддерживает репутацию высокого качества сельскохозяйственной продукции, поэтому оно не только устанавливает высокие стандарты и проводит проверки, но и инвестирует в аграрный сектор. Отличительной особенностью сельского хозяйства является то, что оно состоит из небольших семейных ферм, соблюдающих вековые традиции качества продукции и экологическую чистоту производства [2].

Особенностью управления экономикой Италии является широкое участие государства в итальянских финансовых группах.

Аграрный сектор Италии удовлетворяет потребности населения страны в продовольствии на 75%. Несмотря на благоприятные климатические условия, агросектор является одним из самых отсталых в ЕС. Причина кроется в раздробленности большинства итальянских земельных наделов и миграции фермеров в города [2].

В последнее десятилетие Правительство Франции активно занимается стимулированием инноваций, проводя политику продвижения технологических платформ. В самом общем виде назначение технологической платформы состоит в том, чтобы объединить усилия наиболее значимых заинтересованных сторон (государства, бизнеса, науки) в определении инновационных вызовов, разработке необходимой стратегической программы исследований, определении путей реализации этой программы и внедрения соответствующих результатов.

Технологическая платформа является коммуникационно-координационным инструментом.

Сельское хозяйство Франции является самой контролируемой государством сферой. По объему аграрной продукции Франция занимает первое место в Западной Европе, её доля в ЕС составляет 25 процентов. Отличительной чертой социально-экономической структуры сельского хозяйства считается наличие развитых мелких фермерских производств и приоритет экспорта над внутренним потреблением. При этом ведущей силой производства выступают крупные хозяйства, производящие около 70% продукции [2].

Правительство Великобритании определяет экономическую и финансовую политику страны, при этом традиционно уделяет минимальное внимание промышленной политике.

Быстрый рост формирования высокотехнологичных фирм был обусловлен прибытием специалистов в области исследований и разработок в основном из США и Японии и либеральной политикой местных органов власти, которая не базируется в сфере государственной политики.

Особенность в управлении кластеров Великобритании заключается в том, что центральное правительство поощряет инициативу региональной власти по развитию инновационных кластеров, но реальной помощи, кроме выполнения представительских функций и морального поощрения, не оказывает.

Сельское хозяйство в Великобритании производит примерно 50% продуктов, потребляемых населением страны. Животноводство и растениеводство дают, соответственно, 65% и 23% стоимости сельскохозяйственной продукции страны. Тормоз в развитии растениеводства - высокая цена земли. Земледелие деградирует, что сопровождается непрерывным сокращением числа мелких хозяйств. Главная отрасль сельского хозяйства — это мясомолочное и молочное животноводство. В Великобритании высокие цены на продукты питания обусловлены импортом из стран ЕС. Важно, что сельское хозяйство не поддерживается государством и уж тем более сейчас европейскими субсидиями [2].

Интересно провести анализ количества действующих кластеров в АПК и других отраслях экономики некоторых стран Европы, выявленных Европейской кластерной обсерваторией.

По общему количеству кластеров-интегрированных структур лидерами являются экономически развитые страны, такие как Германия (314), Италия (234), Великобритания (182) и Франция (165).

Наибольшая доля агропромышленных кластеров в Болгарии и Греции, в которых работает примерно половина населения. Наибольшее количество агропромышленных кластеров в Греции и Испании с долей работников, занятых в отраслевых кластерах, соответственно, 33,6 и 14,37. Эти страны, а также Венгрию, Польшу и Румынию можно отнести к аграрным с большим объемом сельскохозяйственных отходов. Необходимо отметить, что в странах Европейского содружества цены на сельскохозяйственную продукцию стабильны, их регулирует рынок, а не президент.

Следует обратить внимание на Нидерланды, где 12 эффективных агропромышленных кластеров с долей в общем количестве кластеров 14,46 %.

Главный камень преткновения – вопрос об использовании ГМО для выведения более урожайных и устойчивых к вредителям культур. Нидерландские компании занимают лидирующие позиции в мировой торговле семенами – в 2016

году объем экспорта достиг 1,7 миллиарда долларов. При этом они не продают товары с ГМО, поскольку применяют последние достижения молекулярной селекции, в ходе которой в растения не внедряются инородные гены.

Нидерландский пример наглядно показывает, как небольшая страна, достигшая выдающихся успехов в сельскохозяйственном производстве, может накормить весь мир. Этот опыт может служить неистощимым источником вдохновения для российских аграриев [3].

В России накоплен большой опыт формирования эффективных производственных комплексов.

К объединению в крупные производственные структуры предприятия побуждают и такие специфические российские факторы, как необходимость восстановления разрушенных производственно-технологических связей и структурной перестройки производства, что невозможно без координации деятельности всех звеньев технологической цепочки и привлечения крупных финансовых ресурсов, а также рост транзакционных издержек в результате изменения характера взаимоотношений между предприятиями в ходе экономической реформы [4].

Основной же причиной формирования производственных комплексов в процессе слияний и поглощений является стремление получить и усилить синергетический эффект, то есть взаимодополняющее действие активов двух или нескольких хозяйствующих субъектов, совокупный результат которого превышает сумму результатов отдельных действий этих компаний. Синергетический эффект в данном случае может возникнуть благодаря экономии, обусловленной масштабами деятельности, комбинированием взаимодополняющих ресурсов, минимизацией транзакционных издержек, возросшей рыночной мощью (мотив монополии), взаимодополняемостью в области научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

Таким образом, производственный комплекс в институциональном аспекте представляется своеобразным экономическим интегратором, целостным экономическим субъектом, объединяющим во времени и пространстве разнообразные социально-экономические процессы и экономические институты, извлекающие эффект путем использования системных мультипликативных эффектов.

В целом анализ уровня кластеризации показывает, что на данный момент в России нет зрелых агропромышленных кластеров, конкурентоспособных на международном и глобальном уровне. Тем не менее, в ряде регионов страны выявляется уровень локализации сельского хозяйства или пищевой промышленности, необходимый для формирования агропромышленных кластеров. Очевидно, что действующие агропромышленные кластеры можно выделить в Белгородской и Омской областях, Краснодарском крае и ряде других регионов страны. В данный момент для них характерна ориентация в большей степени на внутренний спрос (национальный или межрегиональные рынки). По-видимому, большая часть российских агропромышленных кластеров находится на начальных этапах развития, а не в стадии зрелости. Поэтому можно сказать, что кластер пока является осознанной, но не воплощенной необходимостью [5], [7], [8].

К числу регионов с благоприятными предпосылками для развития кластеров относится и Омская область, на территории которой два кластера сформировано (агробиотехнологический и нефтехимический), ещё два находятся на стадии формирования.

Опыт по формированию кластеров в Омской области позволяет сформулировать следующие преимущества кластерного подхода на региональном уровне.

Региональные инновационные кластеры имеют в своей основе сложившуюся устойчивую систему распространения новых технологий, знаний, продукции, так называемую технологическую сеть, которая опирается на совместную научную базу. Новые производители, приходящие из других отраслей кластера, ускоряют развитие, стимулируя различные подходы к научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам (НИОКР) и обеспечивая необходимые средства для внедрения новых стратегий. Происходит свободный обмен информацией и быстрое распространение новшества по каналам поставщиков или потребителей, имеющих контакты с многочисленными конкурентами.

Предприятия кластера имеют дополнительные конкурентные преимущества за счет возможности осуществлять внутреннюю специализацию и стандартизацию, минимизировать затраты на внедрение инноваций.

Важной особенностью инновационных кластеров (в теоретическом плане) является наличие в их структуре гибких предпринимательских структур - малых предприятий, которые позволяют формировать инновационные точки роста экономики региона.

В условиях становления инновационно-ориентированной экономики кластерный подход признан на государственном уровне одним из приоритетов регионального развития Российской Федерации.

В период становления новых интегрированных структур необходимо правильно оценить их инновационный потенциал, особенно это относится к агропромышленным кластерам.

В настоящее время обостряется проблема нарастания технологической отсталости российской экономики, как и проблема продовольственной безопасности страны. Агропромышленный комплекс характеризуется низким уровнем развития информационно-коммуникационных технологий, а перед ним уже поставлены задачи внедрения прорывных технологий, которые позволят реализовать сценарий «Глобального прорыва». Для его воплощения требуется не только поддержка государства, но и человеческий капитал. Только инновационный человек сможет его реализовать и обеспечить модернизацию агропромышленного комплекса. Необходимо рассмотреть новые технологии, являющиеся результатом информационно-коммуникационной революции и их потенциалы.

Рассмотрим основные принципы формирования инновационного кластера предприятий по утилизации отходов.

При изучении проблемы управления отходами обращают на себя внимание предложения по формированию специального кластера по переработке отходов. Этот вопрос заслуживает отдельного рассмотрения.

Одним из отличительных признаков инноваций в XXI веке станет их экологизация – ориентация на рациональное природопользование и уменьшение загрязнения природных сред. Сила техногенного воздействия человечества на окружающую среду достигла такого уровня, что природные системы в биосфере не могут самовоспроизводиться и поддерживаться без экологических инноваций.

На схеме можно выделить блок по производству кормов для животных, птицы и рыбы, включающий сельскохозяйственные поля и цех приготовления кормов. Основное внимание в этом цикле уделяется переработке отходов консервного завода и использованию их для производства кормов, а очищенную воду предлагается частично возвращать в цех мойки, остальную воду направлять в накопитель для последующего орошения полей и садов.

Времена, когда животноводческие предприятия и птицефабрики закупали большую часть кормов за рубежом в условиях нестабильности рубля и конкуренции прошли.

Необходимо приготовление кормов осуществлять на собственной базе, с использованием переработанных отходов консервных заводов, птицефабрик, мясокомбинатов, молокозаводов.

Рассмотрим более детально обработку жидких отходов свиного комплекса. Авторами разработана технология реагентной обработки с целью осаждения ценных компонентов и получения обогащенной питательными элементами жидкой фракции. Важно, что, используя, при необходимости, в качестве подкисляющего реагента минеральное удобрение, получаем на выходе органоминеральное удобрение. Полученное из жидких отходов органоминеральное удобрение применяют на сельскохозяйственных полях и садах, а осветленную воду частично возвращают для приготовления суспензии реагентов или на гидросмыв, остальное сбрасывают в накопитель.

Твердые и жидкие отходы мясокомбинатов наносят существенный ущерб окружающей среде. Включая мясокомбинат в состав агропромышленного кластера, менеджеры получают возможность реализовать на рынках не сырье, а продукты его переработки с высокой добавленной стоимостью. Важно, что появляется возможность эффективно перерабатывать все отходы и также получать доход.

Очищенные сточные воды содержат повышенные концентрации азота, фосфора и калия, и используются для удобрительных поливов кормовых культур и садов.

Проектируя кормовую базу с использованием отходов, можно включить в состав модельного агропромышленного кластера и рыбоводческие пруды.

Важно отметить, что обязательным элементом кластера является эффективное взаимовыгодное сотрудничество с аграрными, техническими и пищевыми университетами.

Формирование агропромышленных кластеров с такой структурой и производственными цепочками при обязательной переработке отходов, позволяет значительно увеличить их конкурентоспособность и инвестиционную привлекательность.

Выгода такой структуры заключается в комплексной переработке отходов всех структур кластера и уменьшения техногенной нагрузки на окружающую среду, в привлечении одного топового, пусть и дорогого менеджмента в эффективной логистике. Такой кластер будет инвестиционно привлекательным, так как позволит получить за счет продажи переработанных отходов продукцию с пониженной себестоимостью, а, главное, конкурентное преимущество на рынке.

При комплексной переработке отходов возможно использование технологий из других отраслей промышленности, которые ранее не применялись в сельском хозяйстве и перерабатывающей промышленности.

Заключение

Последние пять лет в информационной среде и многочисленных указах, постановлениях и планах развития на ближайшее и отдаленное будущее в РФ указывается на необходимость формирования различных интеграционных структур, кластеров и технологических парков. Но в результате в АПК создаются узкопрофильные агропромышленные кластеры по молоку, мясу, переработке зерна.

Такие кластеры имеют мало общего с зарубежными экологически и экономически эффективными агропромышленными кластерами, особенно в привлечении исследовательских возможностей университетов.

Анализ материала о сельскохозяйственных и промышленных отходах агропромышленных кластеров позволяет сделать вывод, что стратегия, система, проектная инициатива или программа управления такими отходами у нас пока не создана. В многочисленных планах развития АПК, управления развития до 2030 года нет слов «управление отходами», «рециклинг» и других терминов, широко используемых и реализуемых в странах с развитой экономикой.

Следует разработать стратегические программы исследований переработки отходов с участием аграрных, пищевых и технических университетов. Создание исследовательских платформ инноваций в агропромышленных кластерах с государственной поддержкой будет способствовать ускоренному решению проблемы.

По нашему мнению, агропромышленный кластер должен состоять из животноводческих комплексов, сельскохозяйственных полей для обеспечения животных кормами, мясоперерабатывающих предприятий, цехов по обработке отходов и получения товарной продукции. В этом случае, НИОКР, проводимые аграрными и техническими университетами, позволит создать наиболее доступные технологии (НДТ) с наименьшим влиянием экологически опасных предприятий на окружающую среду. Получение органоминеральных удобрений из сточных вод животноводческих комплексов и применение их для выращивания экологически чистых кормов позволит снизить финансовые затраты на производство сельскохозяйственной продукции. Элементом НДТ является также использование очищенной и обеззараженной воды для удобрительных поливов.

Для предприятий, входящих в моделируемый агропромышленный кластер, гораздо легче привлечь инвестиции, которые и обеспечат их инновационное развитие.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Аркин П.А. Развитие инновационных кластеров в странах парламентской демократии: научное издание/ П.А. Аркин, Е.Л. Богданова, В.П. Бордина, Ю.А. Гатчин, А.Ф. Ивлев, П.А. Соловейчик. – СПб.: НИУ ИТМО, 2013.-263 с.

2. Медовый А. Е. Тенденции в развитии агропромышленного сектора экономики Европейского Союза / А. Е. Медовый // Исследовано в России. 2005. №. [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tendentsii-v-razviti-i-agropromyshlennogo-sektora-ekonomiki-evropeyskogo-soyuza>. (дата обращения 11.01.2021)
3. Алейнов Д. Тайны голландских полей / Д. Алейнов // Химия и бизнес. - 2007. - №2. - С.40-44.
4. Бурец Ю.С. Эволюция моделей управления инновационным процессом / Ю.С.Бурец // Вестник Томского государственного университета. Экономика. -2014.- №4.-С.125-139.
5. Красильникова Л.Е. Управление агропромышленными территориально-экономическими системами: теория, методология и практика: монография / Л.Е. Красильникова; М-во сел. х-ва РФ, Пермский ГАТУ им. акад. Д.Н.Прянишникова.- Пермь: Прокрость, 2019.-368с. 23 п.л.
6. Агропромышленные кластеры в контексте прогноза научно-технологического развития АПК//VIII Столыпинская конференция. Барнаул. 2017. -32с. [Электронный ресурс] URL: <http://cluster.hse.ru> (дата обращения 11.01.2021)
7. Хухрин А. С. Агропромышленные кластеры: российская модель / А. С. Хухрин, А. А. Примаков, Е. А. Пехутова // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. — 2008. — № 7. — С. 30–34.
8. Ковалев В.А. Особенности формирования инновационных кластеров в условиях структурной трансформации Российской экономики / В.А. Ковалев, Б.Г. Хаиров, Р.И. Чупин // Вестник Омского университета. Серия «Экономика».- 2017.-№4(60). С.151-161.
9. ГОСТ Р 56828.22-2017 Наилучшие доступные технологии, ресурсосбережение. Стратегии, принципы и методы обработки экологически ориентированного обращения с отходами.
10. Драгунова М.М. Разработка технологии переработки коллагенсодержащих отходов мясоперерабатывающей промышленности в функциональную кормовую добавку / М.М. Драгунова, А.Ю.Просеков, И.С.Милентьева, О.В.Кригер, А.И.Линник//ВестникКрасГАУ. -2014.-№11.-С.203 – 206.
11. Суржко О.А. Экологическая безопасность при переработке и утилизации концентрированных по биогенным элементам жидких отходов промышленных предприятий / О.А. Суржко, М.А. Куликова. Юж. – Рос. гос. техн. ун -т (НПИ).-Новочеркасск. ЮРГТУ(НПИ). 2011-140 с.
12. Козлов М.П. Региональные агропромышленные кластеры: методические аспекты формирования и развития в условиях инновационной экономики / М.П. Козлов // Экономика и социум.-2016.-№2(21).
13. Щеткин Б.Н. Управление отходами производства и потребления как фактор эколого-экономического развития предприятий АПК / Б.Н. Щеткин // Научный электронный архив. [Электронный ресурс] URL: <http://econf.rae.ru/article/5917> (дата обращения 11.01.2021)
14. Ибзухова Р.А. Инновационные кластеры как фактор развития агропромышленного комплекса / Р.А. Ибзухова, Э.Б. Абанокова, Э.Ч. Шадуева [Электронный ресурс] Московский экономический журнал. 2018. №5 (3) С.245-256.
15. Бондаренко А.М. Ресурсный потенциал региона на основе рециклинга органических отходов / А.М.Бондаренко, Л.С.Качанова. Конкурентоспособность в глобальном мире: Экономика, наука, технологии.-2017.-№4(37) – С.49-56.
16. Бондаренко А.М. Эффективность технологизации процессов переработки органических отходов животноводства /Л.С.Качанова, А.М.Бондаренко //АПК: экономика и управление.-2019.-№7-С.54-61.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Arkin P. A. Razvitiye innovatsionnykh klasterov v stranah parlamentskoj demokratii: nauchnoe izdanie [Development of innovative clusters in the countries of parliamentary democracy: scientific edition] / P. A. Arkin, E. L. Bogdanova, V. P. Bordina, Yu. A. Gatchin, A. F. Ivlev, P. A. Soloveitchik. - St. Petersburg: NIU ITMO, 2013. -263 p. [in Russian]
2. Medovy A. E. Tendentsii v razviti-i agropromyshlennogo sektora jekonomiki Evropejskogo Sojuza [Trends in the development of the agro-industrial sector of the European Union economy] / A. E. Medovy // Studied in Russia. 2005. №. [Electronic resource] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tendentsii-v-razviti-i-agropromyshlennogo-sektora-ekonomiki-evropeyskogo-soyuza>. (accessed 11.01.2021) [in Russian]
3. Aleynov D. Tajny gollandskih polej [Secrets of the Dutch fields] / D. Aleynov // Himija i biznes [Chemistry and Business]. - 2007. - no. 2. - p. 40-44. [in Russian]
4. Burets Yu. S. Jevoljucija modelej upravlenija innovacionnym processom [Evolution of models of innovation process management] / Ju.S.Burec // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Jekonomika [Bulletin of Tomsk State University. Economy]. -2014. - No. 4. - p. 125-139. [in Russian]
5. Krasilnikova L. E. Upravlenie agropromyshlennymi territorial'no-jekonomicheskimi sistemami: teorija, metodologija i praktika [Management of agro-industrial territorial-economic systems: theory, methodology and practice]: monograph/ L. E. Krasilnikova; M-vo sel. x-va of the Russian Federation, Perm State Technical University named after D. N. Pryanishnikov. - Perm: Prokrost, 2019. – 368p. 23 p. l [in Russian]
6. Agropromyshlennye klasteri v kontekste prognoza nauchno-tehnologicheskogo razvitija APK [Agro-industrial clusters in the context of the forecast of scientific and technological development of the agro-industrial complex] // VIII Stolypin Conference. Barnaul. 2017.- 32 p. [Electronic resource] URL: <http://cluster.hse.ru> (accessed 11.01.2021) [in Russian]
7. Hohrin S. A. Agropromyshlennye klasteri: rossijskaja model' [Agroindustrial clusters: the Russian model] / A. S. Juhren, A. Primak, E. A. Pechalova // Jekonomika sel'skhozjajstvennyh i pererabatyvajushchih predpriyatij [The economy of agricultural and processing enterprises]. - 2008. - No. 7. - pp. 30-34. [in Russian]
8. Kovalev V. A. Osobennosti formirovaniya innovacionnykh klasterov v uslovijah strukturnoj transformacii Rossijskoj jekonomiki [Features of the formation of innovative clusters in the conditions of structural transformation of the Russian economy] / V.A. Kovalev, B.G. Hairrov, R.I. Chupin // Vestnik Omskogo universiteta. Serija «Jekonomika» [Bulletin of the Omsk University. The "Economy" series].-2017. - No. 4 (60). pp. 151-161. [in Russian]
9. GOST R 56828.22-2017 Nailuchshie dostupnye tehnologii, resursoberezenie. Strategii, principy i metody obrabotki jekologicheski orientirovannogo obrashhenija s othodami [GOST R 56828.22-2017 Best available technologies, resource saving. Strategies, principles and methods of processing environmentally oriented waste management]. [in Russian]

10. Dragunova M. M. Razrabotka tehnologii pererabotki kollagensoderzhashhih othodov mjasopererabatyvajushhej promyshlennosti v funkcional'nuju kormovuju dobavku [Development of technology for processing collagen-containing waste from the meat processing industry into a functional feed additive] / M. M. Dragunova, A. Yu. Prosekov, I. S. Milentyeva, O. V. Krieger, A. I. Linnik // VestnikKrasGAU [VestnikKrasGAU]. -2014. - No. 11. - p. 203-206. [in Russian]
11. Surzhko O. A. Jekologicheskaja bezopasnost' pri pererabotke i utilizacii koncentrirovannyh po biogennym jelementam zhidkih othodov promyshlennyh predpriyatij [Environmental safety in the processing and utilization of liquid waste of industrial enterprises concentrated on biogenic elements] / O.A. Surzhko, M.A. Kulikova. South-Russian State Technical University. un-t (NPI).- Novocherkassk. YURSTU(NPI). 2011-140 p . [in Russian]
12. Kozlov M. P. Regional'nye agropromyshlennye klastery: metodicheskie aspekty formirovanija i razvitija v uslovijah innovacionnoj jekonomiki [Regional agro-industrial clusters: methodological aspects of formation and development in the conditions of innovative economy] / M.P. Kozlov // Jekonomika i socium [Economy and society].-2016.-№2(21). [in Russian]
13. Shchetkin B. N. Upravlenie othodami proizvodstva i potreblenija kak faktor jekologo-jekonomicheskogo razvitija predpriyatij APK [Waste management of production and consumption as a factor of ecological and economic development of agricultural enterprises] / B.N. Shhetkin // Nauchnyj jelektronnyj arhiv [Scientific Electronic Archive]. [Electronic resource] URL: <http://econf.rae.ru/article/5917> (accessed 11.01.2021) [in Russian]
14. Ibzukhova R. A. Innovacionnye klastery kak faktor razvitija agropromyshlennogo kompleksa [Innovative clusters as a factor in the development of the agro-industrial complex] / R.A. Ibzuhova, Je.B. Abanokova, Je.Ch. Shadueva // Moskovskij jekonomicheskij zhurnal [Moscow Economic Journal]. 2018. No. 5 (3) p. 245-256. [in Russian]
15. Bondarenko A.M. Resursnyj potencial regiona na osnove reciklinga organicheskikh othodov [Resource potential of the region on the basis of recycling of organic waste] / A.M. Bondarenko, L. S. Kachanova. Competitiveness in the global world: Economics, Science, technology.-2017. - No. 4(37) - p. 49-56. [in Russian]
16. Bondarenko A.M. Jefferektivnost' tehnologizacii processov pererabotki organicheskikh othodov zhivotnovodstva [Efficiency of technologization of processes of processing of organic waste of animal husbandry] /L. S. Kachanova, A.M. Bondarenko // APK: jekonomika i upravlenie [Agribusiness: economics and Management].-2019. - No. 7-p. 54-61. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.103.2.031>**ОСОБЕННОСТИ ПИТАНИЯ И ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ИЗЮБРА (*CERVUS ELAPHUS XANTHOPYGOS MILNE* - EDWARDS, 1860) В УГОДЬЯХ ЧУГУЕВСКОЙ РООИР (ПРИМОРСКИЙ КРАЙ)**

Научная статья

Цындыжапова С.Д.¹, Розломий Н.Г.^{2,*}^{1,2} Приморская государственная сельскохозяйственная академия, Уссурийск, Россия

* Корреспондирующий автор (boss.shino[at]mail.ru)

Аннотация

В статье представлены данные о современном состоянии и размещении популяции изюбра в угодьях Чугуевской РООИР Приморского края. Представлены данные анализа многолетней динамики численности изюбра, с выявлением причин флуктуаций; проанализировано стаиальное и территориальное распределение изюбра на исследуемой территории; изучены пищевые предпочтения изюбра. Работы по изучению состояния популяции, стаиального распределения и особенностей питания изюбра проводились в период с 2017 по 2020 гг. на 30 учетных площадках площадью 100 м² (10 x 10 м) каждая, а в целом исследованиями была охвачена территория общей площадью около 1000 га в западной части Хозяйства. Древесно - веточные корма в зимний период в рационе изюбра составляют 60 - 80 %, периодически доходя до 90 - 100 % [6], что соответствует нашим данным, полученным в результате троплений и анализа содержимого желудков добытых животных (n = 3), которые также показали, что доля древесно - веточных кормов в рационе в зимний период близка к 100 %. В угодьях Чугуевской РООИР численность изюбра постепенно увеличивается, что свидетельствует о полноценной кормовой базе угодий. В течение года изюбры используют в пищу около 120 видов кормов, продуцируемых 75 - 80 видами растений, кормовая емкость угодий значительно превышает фактическую численность изюбра.

Ключевые слова: Приморский край, травоядные, сукцессия, изюбрь, корма напочвенного покрова, древесно-веточные корма (ДВК), плотность населения копытных.

FEEDING HABITS AND GEOGRAPHICAL DISTRIBUTION OF THE MANCHURIAN WAPITI (*CERVUS ELAPHUS XANTHOPYGOS MILNE* - EDWARDS, 1860) ON THE ACREAGE OF CHUGUYEVSKY SOCIETY OF HUNTERS AND FISHERMEN (PRIMORSKY KRAI)

Research article

Tsyndyzhapova S.D.¹, Rozlomi N.G.^{2,*}^{1,2} Primorskaya State Academy of Agriculture, Ussuriysk, Russia

* Corresponding author (boss.shino[at]mail.ru)

Abstract

The article provides data on the current condition and geographical distribution of the Manchurian wapiti population on the acreage of the Chuguyevsky Society of Hunters and Fishermen in Primorsky Krai. The study provides the results of an analysis of perennial population dynamics of the Manchurian wapiti and finds out the fluctuation reasons; the geographical and stationary distribution of the Manchurian wapiti on the land under study; the feeding preferences of the Manchurian wapiti. The research of the population condition of stationary distribution and feeding habits took place from 2017 to 2020 on 30 areas of 100 m² (10 x 10 m) in size. The research covered the 1000-hectare area of the Western part of the Chuguyevsky land in total. Woody forage plants make up 60-80% of the Manchurian wapiti feeding, occasionally it reaches up to 90-100% [6]. That corresponds with the gathered data on the tracked and obtained animals as well as the analysis of their gastric content (n = 3). The results also show that during winter woody forage plants make up 100% of their feeding. The population of the Manchurian wapiti on the land of Chuguyevsky Society of Hunters and Fishermen is on the increase, which indicates the completeness of their food supply. Throughout the year the Manchurian wapiti feeds on 120 feeding types that are produced by 75-80 plant species, the land food supply volume surpasses the current number of the animals under study.

Keywords: Primorsky Krai, herbivores, succession, the Manchurian wapiti, ground cover feed, woody forage plants, population density of ungulates.

Введение

Изюбрь (*Cervus elaphus xanthopygos* Milne - Edwards, 1860) — это аборигенный подвид благородного оленя, являющийся наиболее обычным представителем фауны хвойно - широколиственных лесов Приморского края. Он наименее прихотлив в выборе пищи, а также более полно использует имеющиеся кормовые ресурсы по сравнению с другими видами копытных, например, пятнистым оленем [1].

Это очень перспективный для ведения интенсивного охотничьего хозяйства вид копытных, в т.ч. в Чугуевском районе, но его численность здесь далека от оптимальной. Многочисленными исследованиями было установлено, что многообразие видов потребляемых изюбром растений зависит от плотности населения и соответственно численности животных, времени нахождения их на определенной территории, физиологического состояния, специфики поведения, а также экологических условий в т.ч. климата, рельефа местности, типа леса и др. [1], [2], [4]. В связи с этим актуально изучение особенностей питания изюбра в совокупности с анализом его территориального размещения, так как главным образом, именно от кормовых ресурсов и экологических особенностей местообитаний зависят плотность населения, общая численность и стаиальное распределение этого вида.

Цель работы – изучение динамики численности популяции изюбра и особенности его рациона питания в угодьях Чугуевской РООИР Приморского края.

Задачи: изучение современного территориального и стациального распределения изюбра на исследуемой территории; изучение видового состава основных кормовых древесно - кустарниковых растений, используемых изюбром в течение года; определение характера пищевой избирательности изюбра в вегетационный период по двум параметрам: видовому разнообразию и поедаемости.

Методы и принципы исследования

Исследования велись в нескольких направлениях: проводился анализ многолетней динамики численности изюбра (ЗМУ (зимние маршрутные учеты), многодневного оклада, «на реву»), с выявлением причин флуктуаций по методике Боголюбова А.С. (2001); анализировались стациальное и территориальное распределение изюбра на исследуемой территории; изучались пищевые предпочтения изюбра маршрутными исследованиями.

Угодья Чугуевской РОООиР расположены между рр. Уссури, Грушевая и ее притоком ключом Правая Грушевая, характеризуются высокой пересеченностью рельефа с наибольшими высотами не более 1300 м н.у.м. При этом, наиболее пересеченная местность отмечена в верховьях р. Грушевая, по ключам Правая Грушевая, Игривый. Ниже рельеф становится более пологим, а долины ключей широкие, сопки в них сглажены. Пойма р. Матвеевка шириной до 2 - х км с заболоченными участками, местами осушена и используется под с/х угодья.

Леса района исследования на 79.0 % представлены хвойными типами леса (кедровые типы леса - 43,0 %, еловые типы - 36.0 %), лиственные типы - 21.0 %, (11.0 % - березовые и 6.0 % дубовые леса). На исследуемой территории произрастает 21 вид деревьев и кустарников, а основными лесобразующими породами являются: ель (34.0 %), кедр (15.0 %), береза белая (12.0 %), береза желтая (11.0 %), пихта (8.0 %), липа (7.0 %) и дуб (7.0 %), на остальные породы приходится от 0.1 % до 1.5 % лесопокрытой площади [3], [5].

Работы по изучению состояния популяции, стациального распределения и особенностей питания изюбра проводились в период с 2017 по 2020 гг. на 30 учетных площадках площадью 100 м² (10 x 10 м) каждая, а в целом исследованиями была охвачена территория общей площадью около 1000 га в западной части Хозяйства, включающей верхние течения ключей Кустов, Петренкин, Веселков, Фадеевка, Таратонов, Агеев (рис. 1).

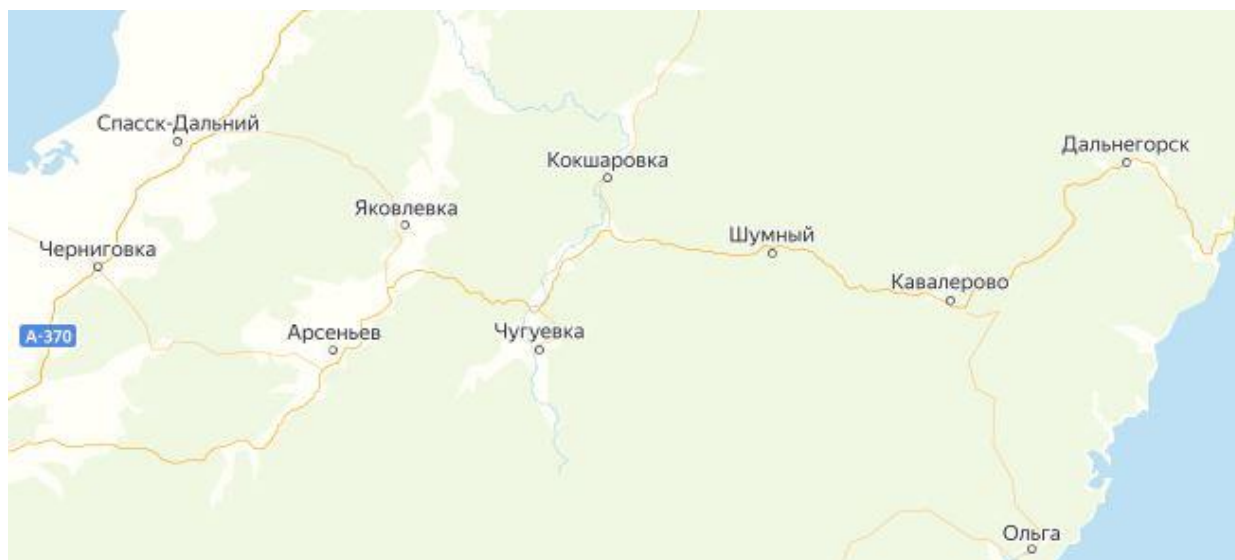


Рис. 1 – Район исследования

Площадь свойственных угодий изюбра определялась по данным лесотаксационного описания. С целью изучения видового разнообразия кормовых растений и стациального распределения изюбра в зимне-весенний период (декабрь - апрель) проводилось также обследование территории путем прокладки 5 км маршрутов (10 шт.)

На всех площадках и маршрутах оценивались такие показатели, как поедаемость растений в баллах (определялось отношение количества кусков веточек и веточек с обглоданной корой к общему количеству побегов на высоте досягаемости изюбром) (по И.В. Ларину (1969) и обилие вида корма (кг/га). Не покрытые напочвенным растительным покровом, или лишившиеся его в результате, например, водной эрозии, площади, исключались путем замены на ближайший сохранивший растительность участок, исключались также участки, расположенные в заболоченных низинах, как «избыточно продуктивные» [6].

Так как, изюбрь - здесь единственный крупный вид копытных, то все встреченные куски побегов древесно - веточных растений больше 0.5 см в диаметре и особенно на высоте более 1.5 м идентифицировались, как принадлежащие этому виду, так как кабарга и косуля, тоже обитающие здесь по данным множества исследователей, практически не употребляют такие грубые древесно - веточные побеги, особенно на такой высоте [7], [8].

Основные результаты

Исследуемая территория, характеризуется очень благоприятными природно - климатическими условиями для обитания изюбра и отсутствием здесь главного врага и очень эффективного хищника волка, поэтому основной отрицательный фактор, воздействующий здесь на популяцию изюбра в т.ч. антропогенный. В связи с малочисленностью изюбра, ежегодно на него выделяется не более 5 лицензий, поэтому браконьерство является главной после глубокого снега и вызываемой им бескормицей причиной низкой численности здесь этого вида. Но в целом для динамики численности изюбра здесь характерен хоть и небольшой, но стабильный рост (см. таблицу 1).

Для исследуемой территории характерно большое количество склонов различной экспозиции, где снеговой покров залегает недолго, а в некоторых местах отсутствует вообще. Также, здесь на склонах южной экспозиции произрастают обширные, предпочитаемые изюбрями, широколиственные леса с дубом, липами, кленами, ясенем, амурским бархатом, маньчжурским орехом, аралией, леспедецей и другими теплолюбивыми растениями [5], [6].

Таблица 1 – Динамика численности диких копытных животных

Виды животных	2015 г., ос.	2016 г., ос.	2017 г., ос.	2018 г., ос.	2019 г., ос.	Изменения в % (+,-) (2015 г. к 2019 г.), ос.
Изюбрь	88	80	60	44	103	+ 14,56
Косуля	293	474	390	369	478	+ 38,7
Кабан	281	216	252	200	574	+ 51,0

В теплый период года звери поднимаются в высокогорные угодья:

- (притоки р. Грушевой): Юбилейный, Маленный, Мирный, Маловодный, Медовый, Игривый, Иванчиков, Трехбалаганный, Каменистый, Малый Широкий;

- (притоки р. Матвеевка): Прокопенкин Первый и Второй, Лазовый, Кислый, Кустов, Петренкин, Гродненский, Веселков, Маленный Второй, Темный, Фадеевка, Вангов, Чертов, Торотонов, Агеев, Осинový.

В результате многолетних исследований экологии изюбра, было установлено, что изюбрь относительно неприхотлив в пище, и как указывает ряд авторов (Кучеренко, 1970; Гапонов, 1991 и др.), в годовой ассортимент его кормов входят листья, сухие ветки, кора, хвоя деревьев и кустарников, стебли трав, водоросли, мхи, и лишайники. По данным В.В. Гапонова, А.С. Богачева (1989) и Б.А. Михайловского (1975), в августе - сентябре листья деревьев, кустарников и лианы становятся одним из основных кормов, а состав кормов изюбра, интенсивность поедания и значение отдельных видов растений изменяются в рационе в зависимости от типа угодий, в которых звери обитают.

Исследования Б.А. Михайловского (1975) показали, что из 364 видов растений Приморья 209 видов (55 %) являются кормовыми объектами пастбищного корма изюбра. А в кедрово - широколиственных лесах, к которым относится исследуемая территория, звери используют в пищу около 120 видов кормов, продуцируемых 75 - 80 видами растений. В ходе наших исследований были выявлены следующие вид наиболее предпочитаемых кормовых растений изюбра и определена степень их поедаемости (см. таблицу 2).

Таблица 2 – Характеристика поедаемости основных кормовых объектов изюбра в урочищах Чугуевской РОООиР (2017 - 2020 гг.)

Названия растений	Сезон поедания	Названия растений	Сезон поедания
Отлично поедаемые (5 б.)			
Дуб монгольский	Круглый год	Липа маньчжур.	Круглый год
Хорошо поедаемые (4 б.)			
Ива козья	Круглый год	Клен мелколистн.	Круглый год
Леспедеца двухцветковая	Лето	Вика уссурийская	Весна, лето
Бересклет священный	Круглый год	Вика японская	Весна, лето
		Полынь побегоно	Лето, осень
Удовлетворительно поедаемые (3 б.)			
Береза маньчжурская	Круглый год	Роза даурская	Весна, лето
Ильм горный	Круглый год	Чина	Весна, лето
Осока	Весна, лето	Кровохлебка	Весна, лето
Вика мышиная	Весна, лето	Тысячелистник	Лето, осень
Слабо поедаемые (2 б.)			
Береза даурская	Круглый год	Габ сердцелистный	Круглый год
Кедр корейский (кора молодого дерева)	Круглый год	Лещина маньчжурская	Круглый год
Вейник	Весна, лето	Хвощ лесной	Весна, лето
		Подорожник	Весна, лето
Плохо поедаемые (1 б.)			
Лещина разнолистная	Круглый год	Борец	Лето, осень
Случайно поедаемые			
Папоротник орляк	Весна, лето		
Не поедаемые (0 б.)			
Копытень Зибольда		Волчник	

В годовом рационе изюбра выделяют 5 периодов: зима (декабрь - февраль), ранняя весна (март), весна (апрель - май), лето (июнь - август) и осень (сентябрь - ноябрь). Древесно - веточные корма в зимний период в рационе изюбра составляют 60 - 80 %, периодически доходя до 90 - 100 %, что соответствует нашим данным, полученным в результате троплений и анализа содержимого желудков добытых животных (n = 3), которые также показали, что доля древесно - веточных кормов в рационе в зимний период близка к 100 %.

Тропление взрослого самца изюбра в бассейне кл. Петренкина 23 и 24 декабря 2019 г. показало, что зверь за сутки прошел около 2 км и за это время произвел около 6000 укусов побегов 20 видов растений, общей массой около 7.0 кг, а по количеству и массе корма распределялись следующим образом (%): лещина - 2191 г. (31.0 %); клен - 1778 г. (24.0 %).

%; ива – 1008.0 г. (14.0 %); актинидия – 315.0 г. (4.0 %); липа – 567.0 г. (8.1 %); бересклет – 42.4 г. (0.6 %); лимонник – 84.0 г. (1.2 %); бузина – 413.0 г. (5.9 %); аралия – 322.0 г. (4.6 %); осина – 280.0 г. (2.8 %); ясень – 77.0 г. (1.1 %); береза – 7.0 г. (0.1 %); тополь – 56.0 г. (0.8 %).

Анализ содержимого желудка взрослого самца, добытого 5 февраля 2020 г в пойме р. Матвеевка показал, что его содержимое массой 18.0 кг имело следующую структуру (%): тополь – 65.0 %; ива – 12.0 %; лещина – 4.8 %; актинидия – 4.0 %; аралия – 3.7 %; осина – 2.5 %; береза – 3.2 %; ива – 4.8 %.

В этом же урочище 30 сентября 2020 г. был добыт самец изюбря, содержимое желудка которого ($m = 41.5$ кг) на 92.0 % состояло из листьев и зеленых побегов клена в т.ч.: 75.0 % клен зеленокорый более 20.0 % клен желтый. Несмотря на то, что в текущем сезоне был хороший урожай желудей, а зимой при обильных урожаях желудей изюбри, как правило, охотнее всего питаются им, отыскивая и извлекая даже из - под рыхлым снежным покровом в 20 см, в исследованных нами желудках их обнаружено не было.

На исследуемой территории в числе хорошо поедаемых зимних кормов нами были отмечены тонкие (до 2.5 мм) ветви монгольского дуба, ясеня носолистного, лещины, кленов зеленокорого, желтого и бородчатого, актинидии коломикты, аралии маньчжурской, липы амурской и маньчжурской, бархата, ореха маньчжурского, элеутерококка, черемухи азиатской и др.

В числе хорошо поедаемых изюбром в текущем сезоне видов растений также можно отметить бересклет священный, калину Саржента, лимонник китайский, а на участках, лишенных снега, изюбри использовали грубую ветошь высоких трав, ветви низких кустарников, таких как леспедеца, малина боярышниковолистная, яблоня, шиповники и др., иногда делая погрёба в снегу.

В периоды, когда снежный покров здесь превышал 60 см (январь - февраль 2020 г) и животные не могли своевременно перейти на другой участок, они в редких случаях начинали глотать кору аралии, липы, боярышника, ольхи, барбариса, лещины и даже обкусывали концы хвои кедра корейского, пихты и тиса, что является признаком серьезного недостатка высокопитательных кормов.

Начиная с ноября, с первыми значительными заморозками и появлением снежного постоянного покрова, когда из рациона изюбрей исчезла большая часть видов травянистых растений, животные начинали активно использовать остатки висящих на деревьях и кустарниках листьев, и на протяжении всей зимы (2019 - 2020 гг.) поедали почки и тонкие ветки, вплоть до марта. Ранней весной, начиная с марта, на освободившихся от снега солнечных склонах, животные начинали активно использовать наряду с зимним веточным кормом, освобождающиеся из - под снега осоки, всходы молодых трав и остатки прочей грубой ветоши, объедая ее до самой дерновины и одновременно обгрызая слабо набухшие почки древесных и кустарниковых пород.

Результаты исследований подтвердили, что некоторые растения использовались изюбром редко: зимой — это пихта, кедр корейский, можжевельник и тис остроконечный, у которых олени обгладывали только концы хвоинок; весной — это ковыль развесистый, ландыш Кейске, лапчатка земляниковидная; летом - акантопанакс овальный, диаррена маньчжурская, диоскорея ниппонская, дремлик сосочковый, репяшок волосистый; осенью - кипрей и череда трехраздельная. У перечисленных видов травянистых растений изюбри в редких случаях и в малых количествах использовали листья, нежные соцветия и тонкие стебли.

В сентябре и, особенно в октябре разнообразие поедаемой все более грубеющей травянистой растительности заметно снижалось и одновременно возрастало использование листьев деревьев, кустарников и особенно желудей в годы их хорошего урожая, а при неурожае желудей животные полностью переключались на грубый древесно - кустарниковый корм.

Заключение

Изюбрь - наиболее перспективный вид охотничьей фауны Приморья, не только как объект охоты и получения дичи, но и как объект - жертва, играющая стратегическую роль, наряду с кабаном, в сохранении в естественных условиях занесенного в первую категорию Красных книг МСОП РФ - амурского тигра. В угодьях Чугуевской РООиР Приморского края численность изюбря постепенно увеличивается, что свидетельствует о полноценной кормовой базе угодий. В течение года изюбры используют в пищу около 120 видов кормов, продуцируемых 75 - 80 видами растений, кормовая емкость угодий значительно превышает фактическую численность изюбря.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы/ References

1. Блюдник Л. В. Анализ забракованного материала зимнего маршрутного учета 2011 г. на примере Республики Карелия и Мурманской области / Л. В. Блюдник, Б. В. Новиков // Вестник охотоведения. 2012. Т. 9. № 1. С. 83–89.
2. Гапонов В.В. Древесно - веточные корма изюбря в зоне кедрово - широколиственных лесов юга Дальнего Востока / В.В. Гапонов, А.С. Богачев // Экология, морфология, использование и охрана диких копытных: Тез. Всесоюзного совещания. М., 1989 - С.92 - 97.
3. Гапонов В.В. Оптимальная численность изюбря в Уссурийских лесах / В.В. Гапонов // Лесное хозяйство, 1991 - С.41 - 42
4. Гапонов В.В. Экология, охрана и использование изюбря (*Gervus elaphus xanthopygos* Miln - Edwards, 1860) в Приморском крае / В.В. Гапонов: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Москва, 1991 - 22 с.
5. Смирнов К.А. Методы оценки запаса древесно-веточных кормов лесных копытных / К.А. Смирнов, К.О. Ларионов // Лесоведение. 2012. № 4. С. 56-60.

6. Дунишенко Ю.М. Возрастная и половая структура популяции изюбря на западных склонах Сихотэ - Алиня / Ю.М. Дунишенко // Копытные фауны СССР. Экология, морфология, использование, охрана. М.: Наука, 1975 - С. 90 – 91.
7. Иванюков К.А. Многолетняя динамика численности копытных животных и результаты ежедневного мониторинга / К.А. Иванюков // Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка «Куршская коса»: сб. науч. ст. Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2014. Вып. 10. С. 140—150.
8. Степанова В. В. Пространственно-временная динамика ареалов благородного оленя (*Cervus elaphus*, Cervidae) и сибирской косули (*Capreolus pygargus*, Cervidae) на Дальнем Востоке / В. В. Степанова, А. В. Аргунов // Экология. 2016. № 1. С. 51–55.
9. Шереметьев И.С. Определитель вместимости среды обитания копытных животных Дальнего Востока // И.С. Шереметьев, А.А. Воронков, Е.В. Жабыко, С.В. Прокопенко, Е.А. Пименова, В.П. Верхолат, Л.А. Федина; Биолого - почвенный институт, Владивосток. - 2012 г.
10. Telepnev V.G. Description of population cycles of wood grouse (*Tetraoergallus* L., 1758) through long-term monitoring / V.G. Telepnev, L.N. Erdakov // Contemporary Problems of Ecology September 2014. vol. 7. Issue 5. pp. 530-536.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Bljudnik L. V. Analiz zabrakovannogo materiala zimnego marshrutnogo ucheta 2011 g. na primere Respubliki Karelija i Murmanskoy oblasti [Analysis of the Rejected Material of the Winter Route Accounting of 2011 on the Example of the Republic of Karelia and the Murmansk Region] / L. V. Bljudnik, B. V. Novikov // Vestnik okhotovedeniya [Hunting Bulletin]. 2012. Vol. 9. No. 1, pp. 83–89 [in Russian]
2. Gaponov V.V. Drevesno - vetochnye korma izyubrya v zone kedrovo - shirokolistvennykh lesov juga Dal'nego Vostoka [Wood-Branch Feed of Raisins in the Zone of Cedar-Broad-Leaved Forests of the South of the Far East] / V.V. Gaponov, A.S. Bogachev // Ehkologiya, morfologiya, ispol'zovanie i okhrana dikikh kopytnykh: Tez. Vsesojuznogo soveshhanija [Ecology, Morphology, Use and Protection of Wild Ungulates: Thesis of the All-Union Conference]. M., 1989 - pp. 92-97. [in Russian]
3. Gaponov V.V., 1991. Optimal'naja chislennost' izyubrya v Ussurijskikh lesakh [The Optimal Number of Deer in the Forests of the Ussuri] / V.V. Gaponov // Lesnoe khozajstvo [Forestry], 1991 - pp. 41-42 [in Russian]
4. Gaponov V.V. Ehkologiya, okhrana i ispol'zovanie izyubrya (*Cervus elaphus xanthopygus* Milne-Edwards, 1860) v Primorskom krae [Ecology, Protection and Use of the Raising (*Cervus elaphus xanthopygus* Milne-Edwards, 1860) in Primorsky Krai]: dissertation abstract ... for the degree of Candidate of Biological Sciences. Moskva, 1991 - p. 22 [in Russian]
5. Smirnov K.A. Metody ocenki zapasa drevesno-vetochnykh kormov lesnykh kopytnykh [Methods for Assessing the Stock of Wood-Branch Forage of Forest Ungulates] / K.A. Smirnov, K.O. Larionov // Lesovedenie [Forest Science]. 2012. No. 4. pp. 56-60 [in Russian]
6. Dunishenko Ju.M. Vozrastnaja i polovaja struktura populjacji izyubrya na zapadnykh sklonakh Sikhoteh - Alinja [Age and Sex Structure of the Raising Population on the Western Slopes of Sikhote-Alin] / Ju.M. Dunishenko // Kopytnye fauny SSSR. Ehkologiya, morfologiya, ispol'zovanie, okhrana [Ungulate Fauna of the USSR. Ecology, Morphology, Use, Protection]. M.: Nauka, 1975 - pp. 90–91 [in Russian]
7. Ivanjukov K.A. Mnogoletnjaja dinamika chislennosti kopytnykh zhivotnykh i rezul'taty ezhdnevno monitoringa [Long-Term Dynamics of the Number of Ungulates and the Results of Daily Monitoring] / K.A. Ivanjukov // Problemy izuchenija i okhrany prirodnogo i kul'turnogo nasledija nacional'nogo parka «Kurshskaja kosa»: sb. nauch. st. [Problems of Studying and Protecting the Natural and Cultural Heritage of the National Park "Kurshskaya Kosa": Collection of Scientific Articles] Kaliningrad: Publishing house BFU im. I. Kanta, 2014. Vol. 10. pp. 140—150 [in Russian]
8. Stepanova V. V. Prostranstvenno-vremennaja dinamika arealov blagorodnogo olenja (*Cervus elaphus*, Cervidae) i sibirskoj kosuli (*Capreolus pygargus*, Cervidae) na Dal'nem Vostoke [Spatial and Temporal Dynamics of Red Deer (*Cervus elaphus*, Cervidae) and Siberian Roe Deer (*Capreolus pygargus*, Cervidae) Ranges in the Far East] / V. V. Stepanova, A. V. Argunov // Ehkologiya [Ecology]. 2016. No. 1. pp. 51–55. [in Russian]
9. Sheremet'ev I.S. Opredelitel' vmestimosti sredy obitanija kopytnykh zhivotnykh Dal'nego Vostoka [Determinant of the Capacity of the Habitat of Ungulate Animals of the Far East] / I.S. Sheremet'ev, A.A. Voronkov, E.V. Zhabyko et al. // Biologo - pochvennyj institut, Vladivostok. - 2012 g. [in Russian]
10. Telepnev V.G. Description of population cycles of wood grouse (*Tetraoergallus* L., 1758) through long-term monitoring / V.G. Telepnev, L.N. Erdakov // Contemporary Problems of Ecology September 2014. vol. 7. Issue 5. pp. 530-536.