

№ 12 (102) ▪ 2020  
Часть 1 ▪ Декабрь

---

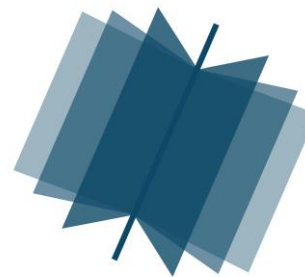
**МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ЖУРНАЛ**

***INTERNATIONAL RESEARCH JOURNAL***

---

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

Екатеринбург  
2020



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](mailto:editors@research-journal.org)  
Сайт: [www.research-journal.org](http://www.research-journal.org)  
16+

**№ 12 (102) 2020  
Часть 1  
Декабрь**

Дата выхода 17.12.2020  
Подписано в печать 11.12.2020  
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);  
*Лукьянова М.И.* д-р пед. наук, Ульяновский государственный педагогический университет им. И.Н. Ульянова (Ульяновск, Россия);  
*Ходакова Н.П.* д-р пед. наук, проф., Московский городской педагогический университет (Москва, Россия).

##### **Психологические науки:**

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

##### **Физико-математические науки:**

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

##### **Географические науки:**

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

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

**Архитектура:**

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

**Ветеринарные науки:**

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

**Медицинские науки:**

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

**Исторические науки:**

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

**Культурология:**

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

**Искусствоведение:**

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

**Философские науки:**

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

**Юридические науки:**

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

**Сельскохозяйственные науки:**

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

**Социологические науки:**

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

**Химические науки:**

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

**Науки о Земле:**

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

**Экономические науки:**

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

**Политические науки:**

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

**Фармацевтические науки:**

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

# ОГЛАВЛЕНИЕ

## ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHYSICS AND MATHEMATICS

Зилитис В.А. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ $4^2P$ - И $4^2D$ -УРОВНЕЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ИОНОВ ИЗОЭЛЕКТРОННОГО РЯДА ГАЛЛИЯ .....	6
---	---

Алыбаев К.С., Нарымбетов Т.К. ПОГРАНИЧНЫЕ ЛИНИИ АНАЛИТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ С ПАРАМЕТРОМ .....	9
---	---

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING

Алексеев А.М., Петрова Л.В., Альков С.П., Сивцева А.И. ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПОРОД КРОВЛИ ВЫРАБОТОК МЕСТОРОЖДЕНИЯ «АЙХАЛ» .....	15
--	----

Бормотов А.Н., Горохова А.А. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ПОМОЩИ ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ .....	22
--	----

Ермаков С.Р., Мордвинов В.А., Рачков А.В. МЕТОДЫ ВИРТУАЛИЗИРОВАНИЯ В МУЛЬТИМЕДИА ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ НА ПРИМЕРЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА .....	29
--	----

Енговатов И.А., Коваленко Ж.А. СПЕЦИФИКА ДЕМОНТАЖА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ВЫВОДИМЫХ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ АЭС .....	33
---	----

Крукович М.Г., Федотова А.Д. ЭМПИРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТВЕРДОСТИ $\alpha$ - ТВЕРДОГО РАСТВОРА АЗОТИРОВАННОГО СЛОЯ.....	38
---	----

Маняшин А.В. ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЦИКЛОВ АВТОМОБИЛЕЙ В ПРОГРАММЕ STAMM 4.1.....	43
--	----

Мяленко Д. М., Михайленко П.Г. ИССЛЕДОВАНИЕ КРАЕВОГО УГЛА СМАЧИВАНИЯ ПОЛИЭТИЛЕНОВОЙ ПЛЕНКИ, МОДИФИЦИРОВАННОЙ ОРГАНИЧЕСКИМИ И НЕОРГАНИЧЕСКИМИ КОМПОНЕНТАМИ.....	49
--	----

Насыбуллин А.Р., Фархутдинов Р.В., Ишкаев Т.М., Самигуллин Р.Р. ПРИМЕНЕНИЕ СВЧ БРЭГГОВСКИХ СТРУКТУР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ.....	54
--	----

Зеленко В.К., Нестеренко А.И. АНАЛИЗ ПРЕИМУЩЕСТВ И НЕДОСТАТКОВ СОВРЕМЕННЫХ НАДУЛЬНЫХ ПРИБОРОВ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ ЗВУКА ВЫСТРЕЛА .....	63
--	----

Рустамов Н.Т., Бабахан Ш.А., Орысбаев С.А. ОДНОСТАДИЙНОЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ НА БАЗЕ ВЭУ .....	71
--	----

Юдин Г.А., Абузин Ю.А., Тюрина С.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ КВАЗИКРИСТАЛЛОВ В ВЫСОКОНАПОЛНЕННОМ КМ СИСТЕМЫ 30%CU -70%КВАЗИКРИСТАЛЛ, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ХОЛОДНОГО ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ .....	76
--	----

Удалова Ю.В. БИБЛИОТЕКА ОБРАБОТКИ СТРОК ДЛЯ ЯЗЫКА ФУНКЦИОНАЛЬНО-ПОТОКОВОГО ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ПИФАГОР.....	83
--	----

Федоров С.А., Хромченко А.В. ПРИМЕНЕНИЕ КОСОУГОЛЬНОГО ПРОЕКЦИРОВАНИЯ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ НЕРОВНОСТЕЙ ПОПЕРЕЧНОГО ПРОФИЛЯ ПОКРЫТИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ .....	88
---	----

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ НАНОЧАСТИЦ В ЖИДКОСТИ В ПРОЦЕССЕ ИХ ОСАЖДЕНИЯ .....	94
---	----

Хуссейн С.М.Р.Х. <sup>1</sup> *, Морозов О.Г. <sup>2</sup> , Данилаев М.П. <sup>3</sup> , Куклин В.А. <sup>4</sup> , Анфиногентов В.И. <sup>5</sup> , Сахабутдинов А.Ж. <sup>6</sup> , Сахабутдинова Г.И. <sup>7</sup> .....	94
---	----

## СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ / AGRICULTURAL SCIENCES

Авдеев И.А., Малых Г.П., Григорьев А.А. ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ И СПОСОБА ПОСАДКИ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ МНОГОЛЕТНИХ ВИНОГРАДНЫХ НАСАЖДЕНИЙ .....	108
--	-----



<b>Алексеева В.И.</b> <b>ИНТЕНСИВНОСТЬ ТРАНСПИРАЦИИ СОРТООБРАЗЦОВ КОСТРЕЦА БЕЗОСТОГО В УСЛОВИЯХ АЛАСНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ ЛЕНО-АМГИНСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ.....</b>	<b>113</b>
<b>Охлопкова П.П., Алексеева В.И., Габышева Н.С., Яковлева Н.С., Неустроев А.Н., Владимирова Е.С.</b> <b>ГЕНЕТИЧЕСКАЯ КОЛЛЕКЦИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ.....</b>	<b>119</b>
<b>Габышева Н.С.</b> <b>СОЗДАНИЕ ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА СМОРОДИНЫ ЧЕРНОЙ (<i>R. NIGRUM L.</i>) НА БАЗЕ МЕЖВИДОВЫХ ГИБРИДОВ В ЯКУТИИ .....</b>	<b>126</b>
<b>Гармашов В.М., Гармашова Л.В.</b> <b>БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО ПРИ ОСВОЕНИИ ТЕХНОЛОГИИ NO-TILL.....</b>	<b>131</b>
<b>Суворова А.В., Маханова О.В.</b> <b>СОЗДАНИЕ УСЛОВИЙ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РОСТА И УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА .....</b>	<b>136</b>
<b>Симоненко С.В., Фелик С.В., Антипова Т.А., Мануйлов Б.М., Симоненко Е.С.</b> <b>РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУР ПРОДУКТОВ, ОБОГАЩЕННЫХ L-АРГИНИНОМ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ПИТАНИЯ ДЕТЕЙ, СТРАДАЮЩИХ ОЖИРЕНИЕМ .....</b>	<b>142</b>
<b>Косенко Т.Г., Турчин В.В., Пугач Е.И.</b> <b>ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОЙ ПРОДУКЦИИ ПОЛЕВОДСТВА.....</b>	<b>148</b>
<b>Кровикова А.Н., Бакай А.В., Бакай Ф.Р.</b> <b>СТРУКТУРНЫЕ АБЕРРАЦИИ ХРОМОСОМ У ТЕЛЯТ ГОЛШТИНСКОЙ ПОРОДЫ .....</b>	<b>152</b>
<b>Неустроев А.Н., Бардеев И.Ф.</b> <b>ИЗУЧЕНИЕ КОЛЛЕКЦИИ СОРТОВ ЗЕРНОБОБОВЫХ КУЛЬТУР В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ.....</b>	<b>156</b>
<b>Петрова И.А., Степкин Ю.А.</b> <b>ПРИМЕНЕНИЕ КАРТОГРАФИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕГРАДАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ЗЕМЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ .....</b>	<b>162</b>
<b>Ревина Г.Б.</b> <b>РЕПРОДУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ КОРОВ САХАЛИНСКОЙ ПОПУЛЯЦИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРОДУКТИВНЫХ И НАСЛЕДСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ .....</b>	<b>167</b>
<b>Сагдеева Г.С., Айсина Р.И.</b> <b>ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПИЩЕВЫХ ВОЛОКОН (ПОРОШКА ЛАМИНАРИИ) НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ХЛЕБА ИЗ ПШЕНИЧНОЙ МУКИ.....</b>	<b>173</b>
<b>Скамарохова А.С.</b> <b>ОЦЕНКА ВОЗДУШНО-СУХОЙ МАССЫ ВИКО-ЗЛАКОВЫХ ТРАВΟΣМЕСЕЙ ПО ОПТИМАЛЬНОСТИ В СООТНОШЕНИИ НЕЙТРАЛЬНО-ДЕТЕРГЕНТНОЙ (НДК/ NDF) И КИСЛОТНО-ДЕТЕРГЕНТНОЙ КЛЕТЧАТКИ (КДК/ ADF). .....</b>	<b>177</b>
<b>Устарханова Э.Г., Мацола Н.А., Черезов Р.Н.</b> <b>РАННЕСПЕЛЫЙ СОРТ СОИ КОРА .....</b>	<b>182</b>
<b>Устарханова Э.Г., Мацола Н.А., Черезов Р.Н.</b> <b>НОВЫЙ СОРТ СОИ ПАРУС .....</b>	<b>187</b>

---

## АРХИТЕКТУРА / ARCHITECTURE

---

<b>Горшкова Г.Ф.</b> <b>ВОПРОСЫ ГУМАНИТАРНОСТИ АРХИТЕКТУРНОГО ПРОСТРАНСТВА.....</b>	<b>191</b>
<b>Балакин В.В., Смоленцева А.А., Зима Е.А., Гаврилова Н.С., Желтоногова А.А., Мартынова Е.В.</b> <b>ЗАЩИТА ДОШКОЛЬНЫХ И ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ В ЖИЛЫХ РАЙОНАХ ОТ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ТРАНСПОРТА.....</b>	<b>197</b>

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.102.12.001>ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ  $4^2P$ - И  $4^2D$ -УРОВНЕЙ ЭНЕРГИИ  
ДЛЯ ИОНОВ ИЗОЭЛЕКТРОННОГО РЯДА ГАЛЛИЯ

Научная статья

Зилитис В.А.\*

ORCID: 0000-0002-1692-9493,

Институт математики и информатики Латвийского университета, Рига, Латвия

\* Корреспондирующий автор (zilitis[at]latnet.lv)

## Аннотация

Исследована тонкая структура  $4s^24p$   $2P$ - и  $4s^24d$   $2D$ -уровней энергии для 50 ионов изоэлектронного ряда галлия, используя для этого вычисленные ранее методом Дирака-Фока значения энергии. Расщепление тонкой структуры для  $4^2P$ -уровней вдоль изоэлектронного ряда изменяется плавно и монотонно, а для  $4^2D$ -уровней – резко и нерегулярно. Это указывает на отсутствие выраженного взаимодействия уровней в случае  $4^2P$ -уровней и на сильное возмущение  $4^2D$ -уровней. Учет наложения  $4s4p^2$ -конфигурации, как правило, приводит к удовлетворительному согласию теории с экспериментом.

**Ключевые слова:** Ga-подобные ионы, тонкая структура, метод Дирака-Фока.

A THEORETICAL INVESTIGATION OF THE FINE STRUCTURE OF THE  $4^2P$  AND  $4^2D$  ENERGY LEVELS  
FOR THE GALLIUM ISOELECTRONIC SEQUENCE

Research article

Zilitis V.A.\*

ORCID: 0000-0002-1692-9493,

Institute of Mathematics and Computer Science of the University of Latvia, Riga, Latvia

\* Corresponding author (zilitis[at]latnet.lv)

## Abstract

The fine structure of the  $4s^24p$   $2P$  and  $4s^24d$   $2D$  energy levels for 50 ions of the gallium isoelectronic sequence has been investigated on the basis of previously calculated Dirac-Fock energies. There is smooth monotonous variation of the fine structure splitting along the isoelectronic sequence in the case of  $4^2P$  levels, but in the case of  $4^2D$  levels the same variation is rapid and irregular. It indicates that there is no substantial interaction of levels in the case of  $4^2P$  levels and that the  $4^2D$  levels are strongly perturbed. The allowance for  $4s4p^2$  configuration superposition leads, as a rule, to a satisfactory agreement between the theoretical and experimental results.

**Keywords:** Ga-like ions, fine structure, Dirac-Fock method.

В работе [1] были рассмотрены результаты расчетов уровней энергии для 50 Ga-подобных ионов (от Ga до  $\text{No}^{71+}$ ), вычисленные методом Дирака-Фока с учетом наложения  $4s4p^2$ -конфигурации с последующей диагонализацией матрицы энергии. В настоящей работе, которая является продолжением работы [1], более подробно рассмотрено расщепление тонкой структуры уровней  $4s^24p$   $2P_{1/2-3/2}$  и  $4s^24d$   $2D_{3/2-5/2}$ . Структура этих уровней для Ga-подобных ионов аналогична структуре  $3s^23p$   $2P$ - и  $3s^23d$   $2D$ -уровней для Al-подобных ионов, которые были исследованы в [2] этим же методом.

Для начальных членов изоэлектронного ряда справедлива схема LS-связи, которая с увеличением заряда иона  $q=Z-31$ , где  $Z$  – заряд ядра, переходит в промежуточную, а далее – в jj-связь. Используемая в работе [1] процедура классификации уровней позволяет проследить рассматриваемый уровень вдоль всего изоэлектронного ряда. Например, уровень, имеющий в схеме LS-связи обозначение  $4s^24p$   $2P_{1/2}$  в конце ряда в схеме jj-связи имеет обозначение  $((s_{1/2})^2p_{1/2})_{1/2}$ . Далее в настоящей статье для простоты обозначения уровней даны только в схеме LS-связи, а соответствующие обозначения в схеме jj-связи – см. в [1].

С ростом заряда иона  $q$  расщепление уровней  $4^2P$  и  $4^2D$  возрастает примерно, как  $\Delta E \sim (q+12)^4$ , поэтому при больших  $q$  это расщепление назвать тонкой структурой можно только весьма условно. Для сравнения в настоящей работе были вычислены значения расщепления для  $4^2P$ - и  $4^2D$ -уровней также в одноконфигурационном приближении, т.е. определяя  $\Delta E$  как разность собственных значений уравнений Дирака-Фока без учета  $4s4p^2$ -конфигурации и без диагонализации матрицы энергии.

Теперь рассмотрим более подробно полученные результаты. На рис.1 вычисленные в настоящей работе значения расщепления тонкой структуры для основных уровней  $4s^24p$   $2P$  Ga-подобных ионов сравниваются с расчетом [3] и с экспериментом. Экспериментальные значения  $\Delta E$  были взяты из следующих работ: [4] (Ga), [5] ( $\text{Ge}^+$ ), [6] ( $\text{As}^{++}$  и  $\text{Se}^{3+}$ ), [7] ( $\text{Br}^{4+}$ ), [8] ( $\text{Kr}^{5+}$ ), [9] ( $\text{Rb}^{6+}$  –  $\text{In}^{18+}$ ) и [11] ( $\text{Mo}^{11+}$ ,  $\text{Cs}^{24+}$ ,  $\text{Ba}^{25+}$ ,  $\text{W}^{43+}$ ). Вычисления в [3] были проведены в релятивистском многоконфигурационном приближении, причем дополнительные конфигурации были выбраны с таким расчетом, чтобы согласие с экспериментом было лучше при средних и больших степенях ионизации. Значения  $\Delta E$ , вычисленные в настоящей работе, отличаются от эксперимента примерно на 2%. Можно предположить, что это отличие обусловлено неучтенными в настоящей работе квантово-электродинамическими поправками, однако в таком случае это отличие при больших  $q$  должно было бы возрастать, а наблюдается прямо противоположное – с ростом  $q$  отклонение теоретических данных от эксперимента убывает. Поэтому для лучшего согласия с экспериментом, кроме квантово-электродинамических поправок, следует учесть и наложение дополнительных конфигураций, например,  $4s4p4d$  и  $4p^3$

(конфигурация  $4s4p^2$  имеет другую четность). В [3] используя экспериментальные значения и значения, вычисленные в этой же работе методом Дирака-Фока, получены весьма надежные полуэмпирические значения расщепления тонкой структуры для  $4^2P$ -уровней Ga-подобных ионов, полезные для практического использования.

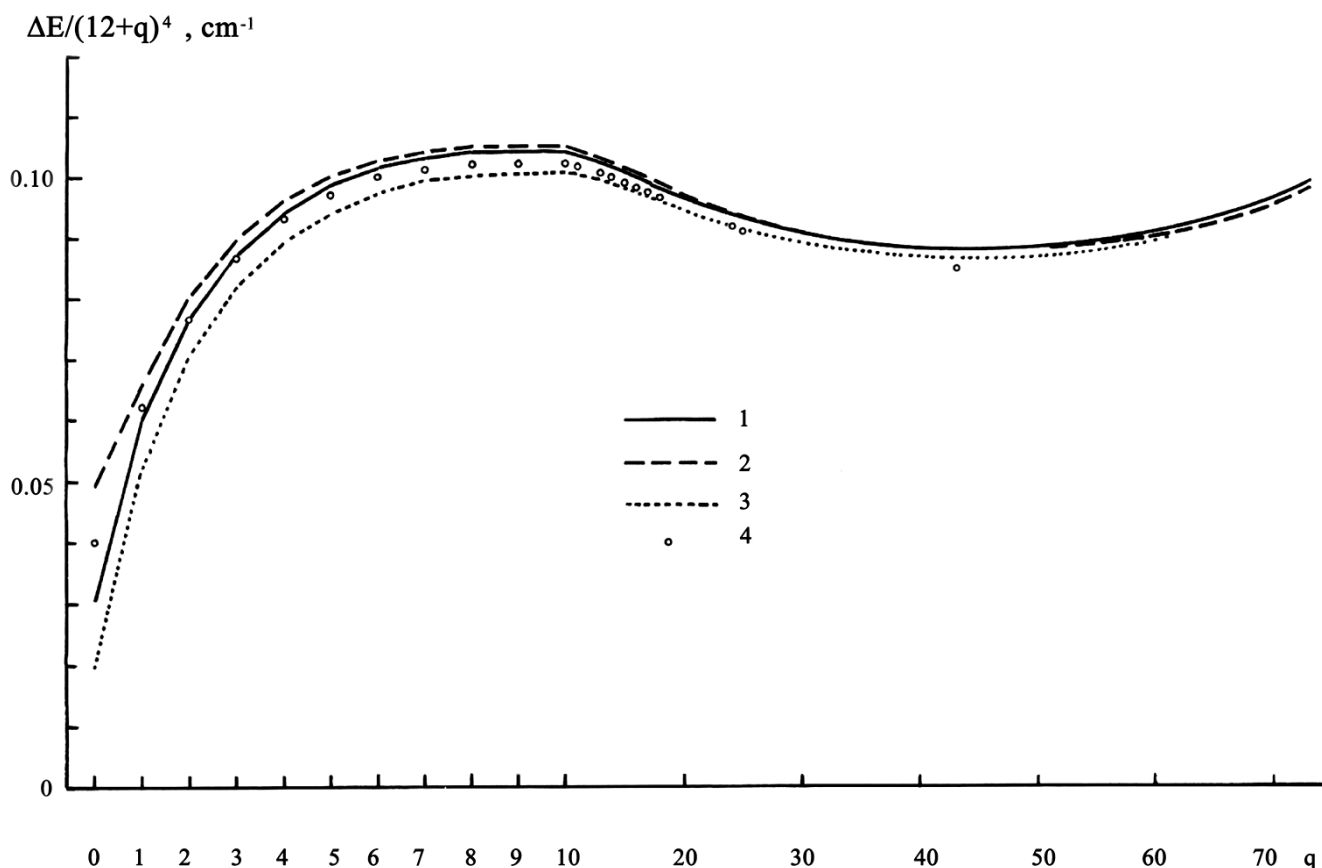


Рис. 1 – Сравнение теоретических и экспериментальных значений расщепления тонкой структуры  $\Delta E$  для  $4s^2 4p^2$  P-уровней Ga-подобных ионов:  $q=Z-31$  – заряд иона; 1 – настоящий расчет с учетом наложения конфигураций; 2 – одноконфигурационный расчет; 3 – расчет [3]; 4 – эксперимент (ссылки см. в тексте)  
Примечание: при  $q=10$ , для удобства изображения на оси абсцисс изменен масштаб

То, что для  $4^2P$ -уровней даже одноконфигурационное приближение удовлетворительно согласуется с экспериментом, указывает на отсутствие сильно выраженного наложения конфигураций для этих уровней. Иная ситуация имеет место в случае  $4s^2 4d^2 D$ -уровней, у которых величина расщепления тонкой структуры вдоль изоэлектронного ряда меняется немонотонно и резко, что свидетельствует о сильном наложении конфигураций. Это видно из рис.2, где значения  $\Delta E/(q+12)^4$  для  $4^2D$ -уровней, вычисленные в настоящей работе как с учетом наложения конфигураций  $4s4p^2$ , так и без учета (одноконфигурационный расчет), сравниваются с экспериментом. Экспериментальные значения  $\Delta E$  для  $4^2D$ -уровней были взяты из следующих работ: [4] (Ga), [5] ( $Ge^+$ ), [6] ( $As^{++}$  и  $Se^{3+}$ ), [7] ( $Br^{4+}$ ), [8] ( $Kr^{5+}$ ), [10] ( $Pt^{28+}$ ,  $Gd^{33+}$  и  $Yb^{39+}$ ) и [11] ( $Rb^{6+}$ ,  $Sr^{7+}$ ,  $Mo^{11+}$ ). В работе [10], к сожалению, точно не указано, являются ли приведенные там на диаграммах значения энергии экспериментальными или расчетными. Вычисленные в настоящей работе значения  $\Delta E$  с учетом наложения конфигураций качественно неплохо воспроизводят максимумы и минимумы изменения экспериментальных  $\Delta E$  вдоль изоэлектронного ряда (за исключением  $As^{++}$  [6]). Одноконфигурационный расчет дает плавное и монотонное изменение значений  $\Delta E/(q+12)^4$ , но существенно отличается от эксперимента. Это указывает на сильное возмущение  $4^2D$ -уровней.

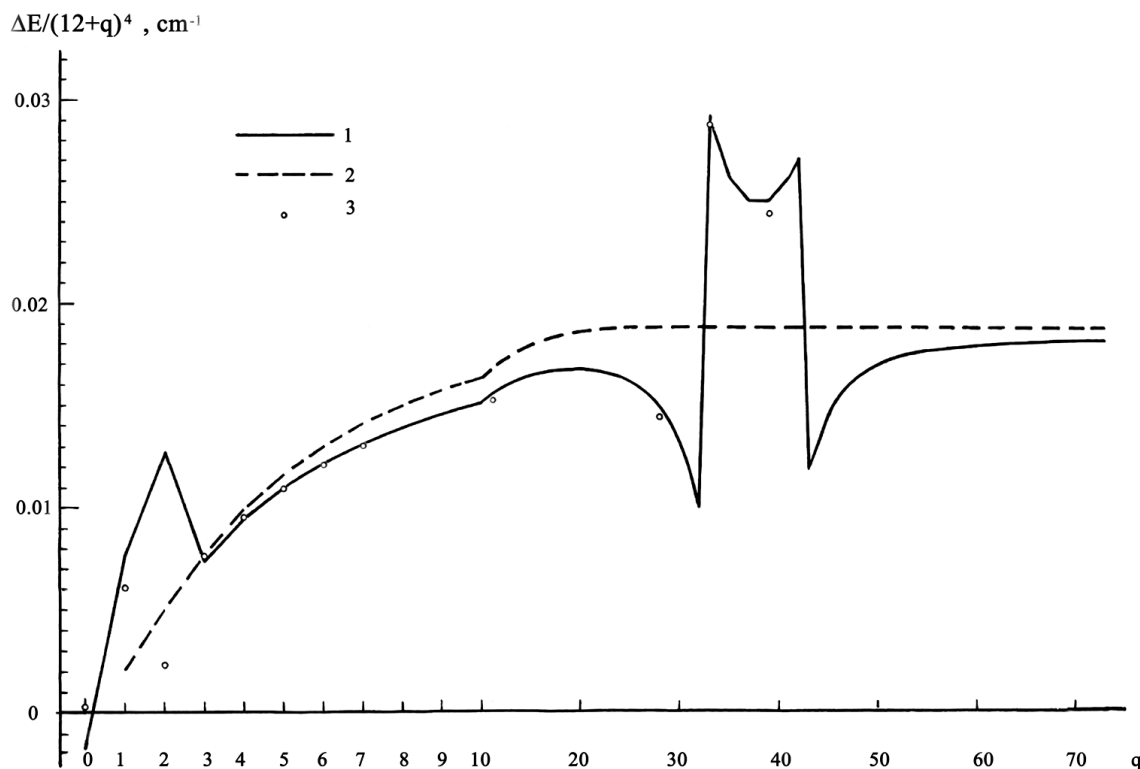


Рис. 2 – Сравнение теоретических и экспериментальных значений расщепления тонкой структуры  $\Delta E$  для  $4s^2 4d \ ^2D$ -уровней Ga-подобных ионов:  $q$  – заряд иона; 1 – настоящий расчет с учетом наложения конфигураций; 2 – одноконфигурационный расчет; 3 – эксперимент (ссылки см. в тексте)

Примечание: при  $q=10$ , для удобства изображения на оси абсцисс изменен масштаб

Согласно расчетам [1], вдоль изоэлектронного ряда уровень  $4s^2 4d \ ^2D_{3/2}$  дважды пересекается с уровнем  $4s 4p^2 \ ^2P_{3/2}$ , который имеет тот же полный момент и четность – первый раз между  $As^{++}$  и  $Se^{3+}$ , а второй раз – между  $Eu^{32+}$  и  $Gd^{33+}$ . Уровень  $4s^2 4d \ ^2D_{5/2}$  пересекается с уровнем  $4s 4p^2 \ ^4P_{5/2}$  между  $Ta^{42+}$  и  $W^{43+}$ . Эти пересечения приводят к возмущению уровней и, как видно из рис.2, к резкому и немонотонному изменению расщепления тонкой структуры для  $4s^2 4d \ ^2D$ -уровней вдоль изоэлектронного ряда галлия. Подобная ситуация имеет место и для соответствующих уровней ( $3s^2 3d \ ^2D$ ) Al-подобных ионов [2].

Как видно из рис.2, с ростом заряда иона  $q$  каждый раз перед пересечением уровней происходит медленное отклонение вычисленных с учетом наложения конфигураций значений  $\Delta E$  от одноконфигурационного расчета. После пересечения, как правило, расхождение с одноконфигурационным расчетом уменьшается. Это имеет место каждый раз при пересечении уровней. Одноконфигурационный расчет как бы остается тем средним значением, около которого колеблются значения, вычисленные с учетом наложения конфигураций. Для получения лучшего количественного согласия с экспериментом необходимо учитывать наложение по возможности большего числа конфигураций, а также квантово-электродинамические поправки.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Zilitis V. A. Theoretical study of the energy level structure of ions of the isoelectronic series of gallium / V. A. Zilitis // Opt. Spectrosc. - 1996. - V. 81. - № 4. - P. 483-486.
2. Zilitis V. A. Theoretical study of the fine structure of  $3^2P$  and  $3^2D$  energy levels for ions of the isoelectronic series of aluminum / V. A. Zilitis // Opt. Spectrosc. - 1995. - V. 78. - № 5. - P. 652-654.
3. Curtis L.J. Fine-structure intervals for the lowest  $P$  terms in the Cu, Zn, Ga, and Br isoelectronic sequences for  $Z \leq 92$  / L. J. Curtis // Phys. Rev. A. - 1987. - V. 35. - No. 5. - P. 2089-2094.
4. Johansson I. Term systems of neutral gallium and indium atoms derived from new measurements in infrared region / I. Johansson, U. Litzen // Arkiv för Fysik. - 1967. - V. 34. - No. 6. - P. 573-587.
5. Wilkinson P.G. Proposed standard wavelengths in the vacuum ultraviolet spectra of Ge, Ne, C, Hg, and N / P. G. Wilkinson, K. L. Andrew // JOSA. - 1963. - V. 53. - No. 6. - P. 710-717.
6. Moore Ch.E. Atomic Energy Levels. / Ch. E. Moore - Washington, - 1952. - V. 2.
7. Budhiraja C.J. Spectrum of BrV / C. J. Budhiraja, Y. N. Joshi // Can. J. Phys. - 1971. - V. 49. - P. 391-393.
8. Trigueiros A.G. Energy levels of the configurations  $4s^2 4p$ ,  $4s 4p^2$ ,  $4s^2 4d$ , and  $4s^2 5p$  in Kr VI, obtained from a pinch light source / A. G. Trigueiros, C. J. B. Pagan, J. G. Reyna Almados // Phys. Rev. A. - 1988. - V. 38. - No. 1. - P. 166-169.
9. Reader J.  $4s^2 4p-4s 4p^2$  and  $4s^2 4p-4s^2 5s$  transitions of galliumlike ions from Rb VII to In XIX / J. Reader, N. Acquista, S. Goldsmith // JOSA. B. - 1986. - V. 3. - P. 874-878.
10. Fournier K.B. Soft x-ray emission of galliumlike rare-earth atoms produced by high-temperature low-density tokamak and high-density laser plasmas / K. B. Fournier, W. H. Goldstein, A. Osterheld, M. Finkenthal, S. Lippmann, L. K. Huang, H. W. Moos, N. Spector // Phys. Rev. A. - 1994. - V. 50. - No. 3. - P. 2248-2256.
11. Kramida A. NIST Atomic Spectra Database (ver. 5.7.1) / A. Kramida, Yu. Ralchenko, J. Reader, and NIST ASD Team. –2019.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.102.12.002>

## ПОГРАНИЧНЫЕ ЛИНИИ АНАЛИТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ С ПАРАМЕТРОМ

Научная статья

Алыбаев К.С.<sup>1</sup>, Нарымбетов Т.К.<sup>2,\*</sup><sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-7962-534X;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0003-0921-4542;<sup>1</sup> Жалал-Абадский государственный университет, Жалал-Абад, Кыргызстан;<sup>2</sup> Научно-исследовательский медико-социальный институт, Жалал-Абад, Кыргызстан

\* Корреспондирующий автор (talant83[at]mail.ru)

## Аннотация

Исследование различных процессов (электрических и магнитных полей, течение воздуха и жидкостей, квантовой физики и т.д.) сводятся к исследованию аналитических функций комплексного переменного. Объектом исследования данной работы являются аналитические функции комплексного переменного с параметром. Для таких классов функций вводятся понятия пограничная, регулярная, сингулярная точки. Далее определены понятия: сингулярная, регулярная и пограничная области. С использованием топологического подхода вводится более широкое понятие пограничной линии. Из множества пограничных линий выделяется главная пограничная линия, и на примерах показаны топология и разнообразные формы главных пограничных линий (замкнутая, паукообразная, с проколотой точкой, счетное количество), структура пограничной области. Как показывают примеры, для общего случая невозможно определить формы главных пограничных линий и каждый случай надо рассмотреть отдельно.

**Ключевые слова:** аналитическая функция, пограничная точка, пограничная линия, главная пограничная линия, пограничная область, регулярные и сингулярные области, гармонические функции, линии уровня.

## BOUNDARY LINES OF ANALYTIC FUNCTIONS WITH A PARAMETER

Research article

Alybaev K.S.<sup>1</sup>, Narymbetov T.K.<sup>2,\*</sup><sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-7962-534X;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0003-0921-4542;<sup>1</sup> Jalal-Abad State University, Jalal-Abad, Kyrgyzstan;<sup>2</sup> Medical and Social Research Institute, Jalal-Abad, Kyrgyzstan

\* Corresponding author (talant83[at]mail.ru)

## Abstract

The study of various processes (electric and magnetic fields, the flow of air and liquids, quantum physics, etc.) comes down to the study of analytical functions of a complex variable. The subject of research is the analytic functions of a complex variable with a parameter. The research introduces the concepts of boundary, regular, and singular points for such classes of functions and defines the following concepts: singular, regular, and boundary regions. Using the topological approach, the study broadens the concept of a boundary line. The study selects the main boundary line from the set of boundary lines. The examples illustrate the topology and various forms of the main boundary lines (closed, spider-like, with a punctured point, a countable amount) as well as the structure of the boundary area. As shown in the examples throughout, it is impossible to determine the shape of the main boundary lines for the general case, therefore each case must be considered separately.

**Keywords:** analytic function, boundary point, boundary line, main boundary line, boundary region, regular and singular domains, harmonic functions, contour line.

## Вводная часть

В работах [1], [4], [7] при исследовании асимптотического поведения решений сингулярно возмущенных обыкновенных дифференциальных уравнений использованы пограничные линии, регулярные и сингулярные области. При этом пограничные линии определены как прообраз прямолинейного отрезка, и они разделяют только регулярные и сингулярные области. При этом в перечисленных работах не исследованы топология пограничных линий их различные формы и структура пограничных областей.

## Необходимые определения

Пусть задана скалярная функция  $z(t, \varepsilon)$ , где  $t$  — комплексная переменная,  $0 < \varepsilon$  — малый вещественный параметр.

Будем предполагать  $z(t, \varepsilon)$  — аналитическая функция [7] по переменной  $t$  в некоторой односвязной области  $D \subset C$ . Пусть  $t_0$  внутренняя точка области  $D$ .

**Определение 1.** Если предел  $\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} z(t_0, \varepsilon)$  не существует, но  $|z(t_0, \varepsilon)|$  ограничена, то будем говорить, точка  $t_0$  является пограничной точкой.

**Определение 2.** Если предел  $\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} z(t_0, \varepsilon)$  существует, то  $t_0$  назовём регулярной точкой.

**Определение 3.** Если предел  $\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} z(t_0, \varepsilon) = \infty$ , то  $t_0$  назовём сингулярной точкой.

**Определение 4.** Множество пограничных точек назовём пограничной областью.

**Определение 5.** Множество регулярных точек назовём регулярной областью, а множество сингулярных точек сингулярной областью.

**Определение 6.** Одномерное связное (по Урысону) и одновременно компактное множество пограничных точек назовём пограничной линией.

### Топология пограничных линий

Далее все рассматриваемые кривые состоят из простых дуг, порожденных гармоническими функциями. Если такие кривые состоят из пограничных точек, то, согласно определению 6, они являются пограничными линиями.

1.  $z(t, \varepsilon) = z^0 e^{\frac{a(t)}{\varepsilon}}$ ,  $t \in D$  и  $t_0$  является простым нулем функции  $a(t)$  т.е.  $a(t_0) = 0$ ,  $a'(t_0) \neq 0$ .

При таком предположении через точку  $t_0$  проходят единственные линии уровня гармонических функций  $Rea(t)$  и  $Ima(t)$ . Эти линии определяются уравнениями  $Rea(t) = 0$  и  $Ima(t) = 0$ , причем они являются взаимно ортогональными [8].

Линия  $\{Rea(t) = 0\}$  некоторую окрестность точки  $t_0$  делить на две части [9]. Рассматриваемую окрестность обозначим  $\Omega(t_0)$ , а части  $\Omega_1(t_0)$ ,  $\Omega_2(t_0)$ , причем линия  $\{Rea(t) = 0\}$  не принадлежит ни  $\Omega_1(t_0)$ , ни  $\Omega_2(t_0)$ .

Функцию  $Rea(t)$  рассмотрим вдоль линии  $\{Ima(t) = 0\}$ . Вдоль этой линии функция  $Rea(t)$  строго монотонна [9]. Поскольку  $Rea(t) = 0$ , то в каждом из частей  $\Omega_1(t_0)$  и  $\Omega_2(t_0)$  функция  $Rea(t)$  принимает либо положительные, либо отрицательные значения. Для определенности возьмём

$\forall t \in \Omega_1(t_0) (Rea(t) < 0), \forall t \in \Omega_2(t_0) (Rea(t) < 0)$ .

Если  $t \in \Omega_1(t_0)$ , то  $z(t, \varepsilon) \rightarrow 0$  по  $\varepsilon$ , если  $t \in \Omega_2(t_0)$ , то  $z(t, \varepsilon) \rightarrow \infty$  по  $\varepsilon$ . Таким образом,  $\Omega_1(t_0)$  – регулярная, а  $\Omega_2(t_0)$  – сингулярные области.

Пусть  $t \in \{Rea(t) = 0\}$ . Тогда  $z(t, \varepsilon) = z^0 e^{\frac{Ima(t)}{\varepsilon}}$ ,  $i = \sqrt{-1}$ . Отсюда вытекает, что предел  $\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} z(t, \varepsilon)$  не существует, но  $|z(t, \varepsilon)| = |z^0|$  – ограничена. Следовательно кривая  $\{Rea(t) = 0\}$  – пограничная линия, согласно определению 6.

1.2. Пусть в точке  $t_0$  функция  $a(t)$  имеет  $n$  кратный нуль. Тогда некоторая окрестность точки  $t_0$  линией  $\{Rea(t) = 0\}$  разделяется на  $2n$  частей, при этом в каждом из частей функция  $Rea(t)$  попеременно принимает положительные и отрицательные значения [9]. Отрицательные части являются регулярными, а положительные части сингулярными областями, а ветви линии  $\{Rea(t) = 0\}$  пограничными линиями.

Следует отметить, в силу аналитичности функции  $a(t)$  существует область содержащий линию  $\{Rea(t) = 0\}$ , где предел  $\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} z(t, \varepsilon)$  не существует.

Рассмотрим случай 1.1. Возьмём линии  $\{Rea(t) = \varepsilon \ln \varepsilon\}$ ,  $\{Rea(t) = -\varepsilon \ln \varepsilon\}$ . Часть линии  $\{Rea(t) = \varepsilon \ln \varepsilon\}$  принадлежит  $\Omega_1(t_0)$ , а часть  $\{Rea(t) = -\varepsilon \ln \varepsilon\}$  принадлежит  $\Omega_2(t_0)$ . Область, ограниченную линиями  $\{Rea(t) = \varepsilon \ln \varepsilon\}$  и  $\{Rea(t) = -\varepsilon \ln \varepsilon\}$ , обозначим  $\Omega_0(t_0)$ , причем будем считать, что эти линии не принадлежат  $\Omega_0(t_0)$ .

Если  $t \in \{Rea(t) = \varepsilon \ln \varepsilon\}$ , то  $\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} z(t, \varepsilon) = 0$ ; если  $t \in \{Rea(t) = -\varepsilon \ln \varepsilon\}$ , то  $\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} z(t, \varepsilon) = \infty$ . Для точек  $\Omega_0(t_0)$  предел  $\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} z(t, \varepsilon)$ , вообще говоря, не существует. Область, ограниченная линиями  $\{Rea(t) = \varepsilon \ln \varepsilon\}$  и  $\{Rea(t) = -\varepsilon \ln \varepsilon\}$ , является пограничной областью. Заметим, пограничная область содержит бесчисленное множество пограничных линий. К примеру, в рассматриваемом примере произвольная линия  $\{Rea(t) = M\varepsilon^n, M - const \neq 0\}$  не зависящая от  $\varepsilon, n \in N$  (которая содержится в пограничной области является пограничной линией). При этом пограничная линия  $\{Rea(t) = 0\}$  разделяет множество пограничных линий. Целесообразно введение следующего определения

**Определение 7.** Пограничную линию  $\{Rea(t) = 0\}$ , разделяющую множество пограничных линий (пограничную область), назовём главной пограничной линией.

### Пусть рассматривается уравнение

$$\varepsilon z'(t, \varepsilon) = z(t, \varepsilon) + z^2(t, \varepsilon) \quad (1)$$

с начальным условием

$$z(t_0, \varepsilon) = z^0 - const, t_0 = t_{01} + it_{02} \quad (2)$$

Решение задачи (1) – (2) можно представить в виде

$$z(t, \varepsilon) = \frac{z^0}{z^0 \left( e^{\frac{t-t_0}{\varepsilon}} - 1 \right) + e^{\frac{t-t_0}{\varepsilon}}}$$

Пусть  $t = t_1 + it_2, t_1, t_2$  – действительные переменные и  $Re(t - t_0) = t_1 - t_{01} = 0$ .

Прямая  $(K) = \{t \in C | t_1 - t_{01} = 0\}$  плоскость  $C$  делит на две открытые полуплоскости

$(C_1) = \{t \in C | Re t < 0\}, (C_2) = \{t \in C | Re t > 0\}$ .

Пусть  $t \in (C_1)$ , тогда  $\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} z(t, \varepsilon) = 0$ .

Если  $t \in (C_2)$ , то  $\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} z(t, \varepsilon) = -1$ .

Если  $t \in (K_0)$ , то  $\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} z(t, \varepsilon)$  не существует. Согласно принятым определениям,  $(K_0)$  – главная пограничная линия;  $(C_1)$  и  $(C_2)$  регулярные области.

3.  $z(t, \varepsilon) = z_1^0 e^{\frac{a(t)}{\varepsilon}} + z_2^0 e^{-\frac{a(t)}{\varepsilon}}, t \in D \subset C$

Пусть  $t_0 \in D$  и её внутренняя точка и  $a(t_0) = 0, a'(t_0) \neq 0$ .

Обозначим  $(K_0) = \{t \in D | Rea(t) = 0\}$ .

Без ограничения общности будем считать, что линия  $(K_0)$  область  $D$  разделяет на части  $D_1$  и  $D_2$  (Всегда существует некоторая окрестность точки  $t_0$ , которая линией  $(K_0)$  разделяется на две части, согласно заданным условиям) [8].

Пусть  $\forall t \in D_1 (Rea(t) < 0), \forall t \in D_2 (Rea(t) > 0)$ .

Тогда:  $\forall t \in (K_0) \left( \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} z(t, \varepsilon) \right)$  – не существует,

$$\forall t \in D_1 \left( \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} z(t, \varepsilon) = \infty \right);$$

$$\forall t \in D_2 \left( \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} z(t, \varepsilon) = \infty \right).$$

Следовательно  $(K_0)$  – главная пограничная линия, а  $D_1$  и  $D_2$  – сингулярные области.

### Различные формы главных пограничных линий

Приведем примеры показывающие различные формы главных пограничных линий.

*Пример 1.* Пусть задана функция

$$z(t, \varepsilon) = M_1 e^{\frac{a(t)-a(t_0)}{\varepsilon}} + M_2 (a(t) - a(t_0))^{\frac{1}{\varepsilon}} \text{ где } M_1, M_2 - \text{const не зависящие от } \varepsilon;$$

$a(t)$  – аналитическая функция в некоторой односвязной области  $D \subset C$ ;  $t_0$  внутренняя точка области  $D$ .

Пусть выполняется условие

U.  $\forall t \in D (a(t) \neq 0)$ .

При выполнении условия U существует такой гомеоморфизм

$(u(t) = a(t) - a(t_0))$  достаточно малой окрестности точки  $t_0$  на круг, при котором  $t_0$  соответствует центру круга.

Таким образом, не ограничивая общности, рассмотрим функцию

$$z(t, \varepsilon) = M_1 e^{\frac{t}{\varepsilon}} + M_2 t^{\frac{1}{\varepsilon}}, \text{ где } M_1 \text{ и } M_2 - \text{const}, t \in C$$

Заданную функцию представим в виде

$$z(t, \varepsilon) = M_1 e^{\frac{t}{\varepsilon}} + M_2 e^{\frac{\ln t}{\varepsilon}}.$$

Полагая  $t = t_1 + it_2$  рассмотрим следующие функции

$$Ret = t_1, Relnt = \frac{1}{2} \ln(t_1^2 + t_2^2) \text{ и кривые} \\ \{t_1 = 0\}, \{\ln(t_1^2 + t_2^2) = 0\}.$$

Данные кривые, по совокупности, плоскость  $C$  разделяют на несколько частей, причем одна часть, ограниченная частями кривых, является регулярной областью для  $z(t, \varepsilon)$ , а оставшиеся части сингулярной областью (рис. 1).  $t_2$

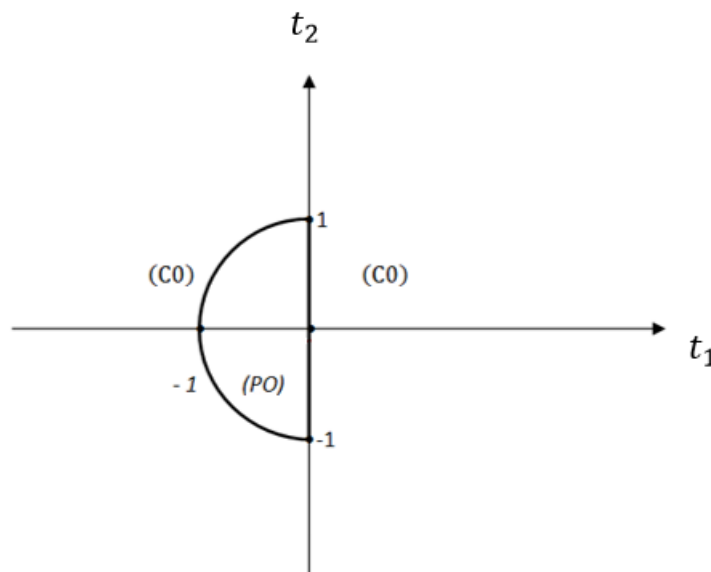


Рис. 1 – Замкнутая главная пограничная линия

Части кривых  $\{t_1 = 0\}, \{\ln(t_1^2 + t_2^2) = 0\}$ , соединяющие точки  $(0; -1), (0; 1)$  (рис.1), являются главной пограничной линией.

*Пример 2.* Пусть  $z(t, \varepsilon) = M_1 e^{\frac{(t+i)^2}{\varepsilon}} + M_2 e^{\frac{t^2}{\varepsilon}}$ , где  $M_1$  и  $M_2 - \text{const}, t \in C$

Полагая  $t = t_1 + it_2$  рассмотрим кривые

$$(K_1) = \{t_1^2 - (t_2 + 1)^2 = 0\} \text{ и } (K_2) = \{t_1^2 - t_2^2 = 0\}.$$

Кривая  $(K_1)$  разветвляется в точке  $(0; -1)$ , а кривая  $(K_2)$  в точке  $(0; 0)$ . Каждая из ветвей являются полупрямыми, исходящими из данных точек (рис. 2).  $t_2$

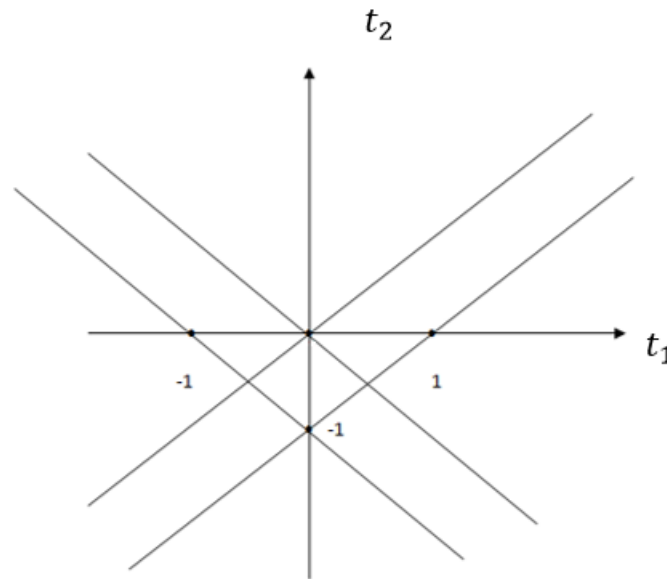


Рис. 2 – Разветвление кривых

Главная пограничная линия, определяемая рассматриваемыми кривыми, изображена на рис. 3.

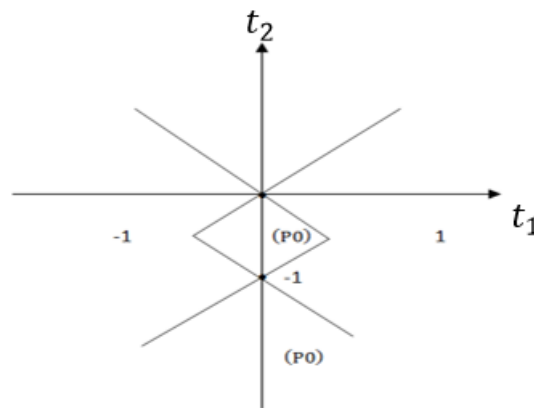


Рис. 3 – Паукообразная главная пограничная линия

*Пример 3.* Пусть  $z(t, \varepsilon) = e^{\frac{1}{\varepsilon} \frac{t+i}{t-i}}$ . Полагая  $t = t_1 + it_2$  рассмотрим функцию  $Re \frac{t+i}{t-i} = \frac{t_1^2 - t_2^2 + 1}{t_1^2 + (t_2 - 1)^2}$ . Главная пограничная линия, согласно определению 7, определяется уравнением  $Re \frac{t+i}{t-i} = 0$  или  $t_1^2 - t_2^2 + 1 = 0$ . Отсюда получаем  $t_2 = \pm \sqrt{t_1^2 + 1}$ . Данная функция определяет гиперболы, проходящие через точки  $(0; -1)$ ,  $(0; 1)$ . Точка  $(0; 1)$  является особой для функции  $Re \frac{t+i}{t-i}$ . Таким образом, главная пограничная линия состоит из гиперболы  $t_2 = -\sqrt{t_1^2 + 1}$  и гиперболы  $t_2 = \sqrt{t_1^2 + 1}$ , проколотой точкой  $(0; 1)$  (рис.4).



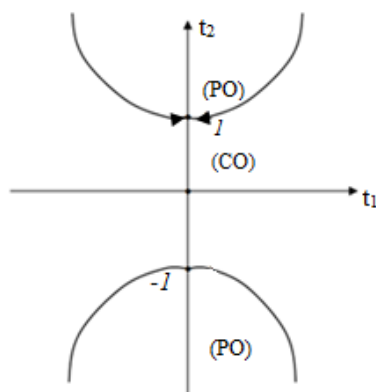


Рис. 4 – Главная пограничная линия, несвязанная с проколотой точкой

*Пример 4.*  $z = e^{\frac{1}{\varepsilon} e^{it}}$ . Рассмотрим функцию  $Re e^{it} = e^{-t_2} \cdot \cos t_1$ . Главная пограничная линия определяется уравнением  $e^{-t_2} \cos t_1 = 0$  или  $t_1 = \frac{\pi}{2} + k\pi, k$  – целое число. Таким образом, прямые  $t_1 = \frac{\pi}{2} + k\pi$  являются главными пограничными линиями (рис.5).

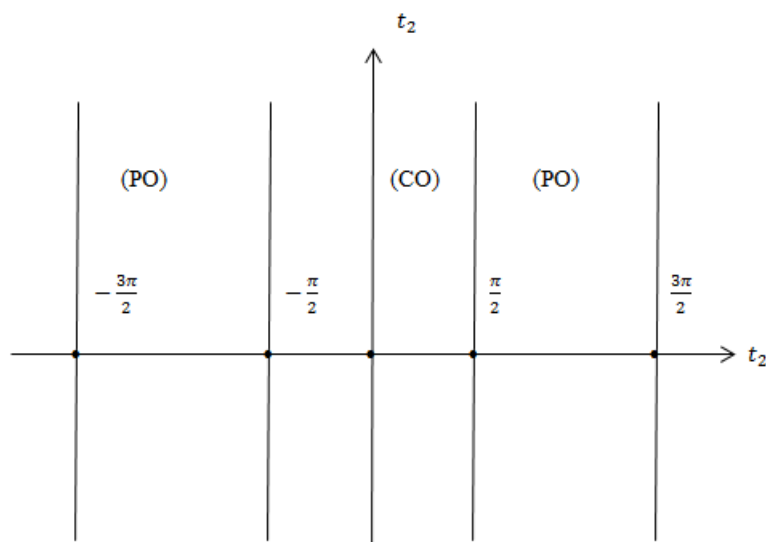


Рис. 5 – Счетное количество главных пограничных линий

### Заключение

Рассматриваемые примеры показывают: главные пограничные линии (если они существуют) разделяют рассматриваемые области на регулярные и сингулярные; регулярные и регулярные; сингулярные и сингулярные, а также они имеют различные формы; существуют пограничные области содержащие пограничные линии.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Conflict of Interest

None declared.

### Список литературы / References

1. Алыбаев К.С. Метод линий уровня исследования сингулярно возмущенных уравнений при нарушении условия устойчивости / К.С. Алыбаев // Вестник КГНУ. – Серия 3, Выпуск 6. – Бишкек, 2001. – С. 190-200.
2. Алыбаев К.С. Метод погранслоевых линий построения регулярно и сингулярных областей для линейных сингулярно возмущенных уравнений с аналитическими функциями / К.С. Алыбаев, К.Б. Тампагаров // Естественные и математические науки в современном мире: сб. статей по материалам XLVII международной научно-практической конференции. № 10 (45). Россия, Новосибирск: СиБАК, 2016. - С.59-66.
3. Алыбаев К.С. Существование погранслоевых линий для линейных сингулярно-возмущенных уравнений с аналитическими функциями / К.С.Алыбаев, К.Б.Тампагаров // Актуальные проблемы, теории управления, топологии и операторных уравнений: Материалы II-й международной конференции, посвященной 20-летию КРСУ и 100-летию профессора Я.В.Быкова. - Бишкек, 2013. - С. 83-88.
4. Алыбаев К.С. Явление погранслоевых линий и асимптотика решений сингулярно возмущенных линейных обыкновенных дифференциальных уравнений с аналитическими функциями / П.С. Панков, К.С. Алыбаев, М.Р. Нарбаев, К.Б.Тампагаров // Вестник ОшГУ, 2013. - № 1 (специальный выпуск). – С. 227-231.

5. Алыбаев К.С. Построение областей притяжения при вырождении сингулярно возмущенных уравнений / К.С. Алыбаев, А.Б. Мурзабаева // Международный научно-исследовательский журнал. № 9 (75). Екатеринбург, 2018. – С. 7-11.
6. Мурзабаева А.Б. Построение размеченных множеств применением гармонических функций / А.Б. Мурзабаева // Международный научно-исследовательский журнал. № 9 (75). Екатеринбург, 2018. – С. 32-36.
7. Евграфов М.А. Аналитические функции / М.А. Евграфов. – Москва: Наука, 1991. – 448 с.
8. Лаврентьев М.А. Методы теории функций комплексного переменного / М.А. Лаврентьев, Б.В. Шабат. – Москва: Наука, 1973. – 739 с.
9. Федорюк М.В. Метод перевала / М.В.Федорюк. – Москва: Наука, 1977. – 368 с.

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Alybaev K.S. Metod linij urovnja issledovaniya singuljarno vozmushhennyh uravnenij pri narushenii usloviya ustojchivosti [Method of level lines of the study of singularly perturbed equations in violation of the conditions of stability] / K.S. Alybaev // Vestnik KNU. - Series 3, Issue 6. - Bishkek, 2001. - Pp. 190-200. [in Russian]
2. Alybaev K.S. Metod pogranslojnyh linij postroenija reguljarno i singuljarnyh oblastej dlja linejnyh singuljarno vozmushhennyh uravnenij s analiticheskimi funkcijami [Method of boundary-layer lines of regular and singular domains construction for linear singularly perturbed equations with analytical functions] / K. S. Alybaev, K. B. Tampagarov // Estestvennye i matematicheskie nauki v sovremennom mire: sb. statej po materialam XLVII mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii [Natural and mathematical Sciences in the modern world: collection of articles based on XLVII international scientific-practical conference]. No. 10 (45). Russia, Novosibirsk: Sibak, 2016. - Pp. 59-66. [in Russian]
3. Alybaev K.S. Sushhestvovanie pogranslojnyh linij dlja linejnyh singuljarno-vozmushhennyh uravnenij s analiticheskimi funkcijami [The existence of boundary layer lines for linear singularly perturbed equations with analytic function] / K.S.Alybaev, K.B. Tampagarov // Aktual'nye problemy, teorii upravlenija, topologii i operatornyh uravnenij: Materialy II-j mezhdunarodnoj konferencii, posvjashhennoj 20-letiju KRSU i 100-letiju professora Ja.V.Bykova [Actual problems, control theory, topology and operator equations: Materials of the II International Conference anniversary of KRSU and the 100th anniversary of Professor Ya.V. Bykov]. - Bishkek, 2013. -- P. 83-88. [in Russian]
4. Alybaev K.S. Javlenie pogranslojnyh linij i asimptotika reshenij singuljarno vozmushhennyh linejnyh obyknovennyh differencial'nyh uravnenij s analiticheskimi funkcijami [Phenomenon of boundary layer lines and the asymptotics of solutions of singularly perturbed linear ordinary differential equations with analytic functions] / P.S. Pankov, K.S. Alybaev, M.R. Narbaev, K.B. Tampagarov // Vestnik OshGU [Bulletin of Osh State University], 2013. - No. 1 (special issue). - P. 227-231. [in Russian]
5. Alybaev K.S. Postroenie oblastej pritjazhenija pri vyrozhdении singuljarno vozmushhennyh uravnenij / K.S. Alybaev, A.B. Murzabaeva [Construction of regions of attraction at degeneration of singularly perturbed equations] / K. S. Alybaev, A. B. Murzabaeva // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International research journal]. No. 9 (75). Ekaterinburg, 2018. - Pp. 7-11. [in Russian]
6. Murzabaeva A.B. Postroenie razmechennyh mnozhestv primeneniem garmonicheskikh funkcij [Construction of marked sets using harmonic functions] / A.B. Murzabaeva // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International research journal]. No. 9 (75). Ekaterinburg, 2018. -- P. 32-36. [in Russian]
7. Evgrafov M. A. Analiticheskie funkcii [Analytical functions] / M. A. Evgrafov. - Moscow: Nauka, 1991. - 448 PP.
8. Lavrentiev M. A. Metody teorii funkcij kompleksnogo peremennogo [Methods of the theory of functions of a complex variable] / M. A. Lavrentiev, B. V. Shabat. - Moscow: Nauka, 1973. – 739 p. [in Russian]
9. Fedoryuk M. V. Metod perevala [The method of the pass] / M. V. Fedoryuk. Moscow: Nauka, 1977. - 368 p. [in Russian]

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.102.12.003>

## ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПОРОД КРОВЛИ ВЫРАБОТОК МЕСТОРОЖДЕНИЯ «АЙХАЛ»

Научная статья

Алексеев А.М.<sup>1,\*</sup>, Петрова Л.В.<sup>2</sup>, Альков С.П.<sup>3</sup>, Сивцева А.И.<sup>4</sup><sup>1, 2, 3, 4</sup> Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия

\* Корреспондирующий автор (am.alekseev[at]s-vfu.ru)

## Аннотация

Статья посвящена вопросам оценки устойчивости пород кровли очистных выработок при подземной разработке россыпного месторождения. Приведена геологическая характеристика алмазоносного месторождения «Айхал», описаны состав и свойства породного массива. В ходе работы были изучены вопросы по предварительной оценке устойчивости пород кровли по методике Д. Лобшира (MRMR – Mining Rock Mass Rating). Произведены расчеты для определения устойчивости кровли очистных выработок месторождения алмазов «Айхал» по рейтинговой классификации Д. Лобшира, которая нашла широкое применение на сегодняшний день в вопросах устойчивости породного массива. Итоги расчетов сведены в итоговую таблицу результатов расчета рейтинга MRMR для условий вмещающих пород, вмещающие породы приконтактной зоны и рудного тела. По результатам расчетов рейтинга породного массива по геомеханической классификации Д. Лобшира для условий алмазоносной трубки «Айхал» сделаны выводы по определению класса устойчивости пород кровли и выбору системы разработки.

**Ключевые слова:** рудное месторождение, устойчивость пород, кровля, класс устойчивости, система разработки, рейтинговая классификация.

## A STABILITY ASSESSMENT OF ROOF ROCKS IN THE WORKINGS OF THE “AIKHAL” MINE

Research article

Alekseev A.M.<sup>1,\*</sup>, Petrova L.V.<sup>2</sup>, Alkov S.P.<sup>3</sup>, Sivtseva A.I.<sup>4</sup><sup>1, 2, 3, 4</sup> M. K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

\* Corresponding author (am.alekseev[at]s-vfu.ru)

## Abstract

The article examines the issues of assessing the stability of the roof rocks during the underground development of a placer accumulation. The study provides geological characteristics of the Aikhal diamond mine and describes the composition and properties of the rock mass. In the course of the study, the authors examine the preliminary assessment of the stability of roof rocks using the method of D. H. Laubscher (MRMR — Mining Rock Mass Rating). The study determines the stability of the roof of stopes of the Aikhal diamond mine according to the rating classification of D. H. Laubscher, which is widely used today in the issues of rock mass stability. The research summarizes the results of the calculations in the final table of the MRMR rating for the conditions of host rocks of the contact zone and the ore body. The study makes conclusions on determining the stability of roof rocks and choosing the system of development based on the results of calculations of the rock mass rating according to the geomechanical classification of D. H. Laubscher for the conditions of the Aikhal kimberlite tube.

**Keywords:** ore deposits, the stability of rocks, roof, the stability of the system development, rating classification.

Месторождение трубка «Айхал» открыто в январе 1960 г., оно расположено в приполярной зоне северо-восточной части Средне-Сибирского плоскогорья, в бассейне верхнего течения реки Марха, в 400 км к северу от г. Мирный, на территории Мирнинского района Якутии.

В 2000 году институтом «Гипроникель» был разработан первый технический проект на строительство подземного рудника «Айхал», предусматривающий отработку подкарьерных запасов до отм.–100 м системами поэтажного обрушения. Всего по учету принято балансовых запасов по месторождению в отметках +150 м/-100 м, – 7,4 млн. т. руды.

В 2003 году (21.05.2003 г. и 27.07.2003 г.) при ведении горных работ на отметке +192 м, из дна карьера произошел прорыв илов в горные выработки. По результатам расследования причин прорыва и на основании протокола по Компании (№ 02-27-03-/87 от 08.07.2003 г.), было принято решение о переходе на отработку подкарьерных запасов слоевой системой с твердеющей закладкой и механической (комбайновой) отбойкой руды, под защитой предохранительного барьерного целика.

В данное время на месторождении алмазов «Айхал» технология горных работ ориентирована на слоевые системы разработки с закладкой и комбайновым способом отбойки кимберлита [1].

В связи с особо сложными гидрогеологическими условиями месторождения необходимо многократно возвращаться к вопросам устойчивости пород, определению степени обрушаемости, обоснованию порядка ведения горных работ и т.д.

В данной работе приводятся расчеты по определению рейтинга массива горных пород с использованием классификации Д. Лобшира для условий месторождения «Айхал».

В настоящее время в мировой практике наиболее multifunctional и практичной является рейтинговая классификация Лобшира (MRMR), которая представляется в виде блок-схемы [2], [3], [6].

Рассмотрим пример использования данной классификации на руднике «Айхал», в результате которого получим проектные решения технологии горных работ.

В районе месторождения выделяются 3 типа подземных вод: над-, меж- и подмерзлотные. Надмерзлотные воды не оказывают практического влияния на обводненность месторождения.

Межмерзлотные воды залегают в приподошвенной части многолетнемерзлых пород на глубине 260-340 м (+240/+160 м абс.), характеризуются низкой водообильностью (до 4,8 м<sup>3</sup>/сут) и отсутствием нефтегазопоявлений. Подмерзлотные воды встречены в интервале абс.отм. от -10 м до -480 м. Межмерзлотные и подмерзлотные воды представлены рассолами с минерализацией от 74,3 г/л до 348,7 г/л. Рассолы агрессивны по отношению к бетону и металлу.

Источником водопритоков в подземные горные выработки являются межмерзлотные воды. При отработке верхних горизонтов водопритоки возникают также от снеготаяния и ливневых дождей. По данным рудника «Айхал» за 1999 г. максимальный приток составил 9100 м<sup>3</sup>/сутки (за 8 часов).

Притоки к гор. +100м, -100м поступают за счет рассолов верхнекембрийского водоносного комплекса в количестве 150-200 м<sup>3</sup>/сутки или 6-8,3 м<sup>3</sup>/ч.

Район месторождения Айхал принадлежит к Тунгусскому криоартезианскому бассейну. На территории района развиты многолетнемерзлые породы, входящие в криолитозону общей мощностью до 720 м. Наиболее низкие температуры этой толщи отмечаются в приповерхностной части (-4.2°C), нулевая изотерма проходит на глубине около 700 м (-200 м).

Слеживаемость и смерзаемость кимберлитовых руд, в силу их естественного переохлаждения и слабой льдистости, минимальные, поэтому дополнительных затрат на их рыхление не требуется.

Подкарьерные запасы представляют собой переохлажденный массив вследствие влияния отрицательных зимних температур, поэтому для установления истинного температурного режима подземного комплекса необходимо специализированное исследование этой части массива в процессе отработки месторождения.

Рудное тело трубки Айхал отвечает диагмме с каналами трещинного типа. В структурном отношении трубка приурочена к рудовмещающей тектонической зоне северо-восточного простирания, оперяющей субмеридиональный глубинный разлом вдоль современной долины реки Сохсолоох. Проведенными работами установлено, что породы нижнего палеозоя вдоль рудовмещающей зоны северо-восточного простирания, в пределах которой расположена трубка Айхал, характеризуются повышенной степенью трещиноватости по сравнению с фоновой. Зоны повышенной трещиноватости вмещающих пород появляются обычно за 4-5 м до контакта с рудным телом и сопровождаются многочисленными зеркалами скольжения (скв. 8 в, 29 и др.) [7].

Тектонические зоны брекчирования карбонатных пород, нередко инъецированные кимберлитовыми дайками, вскрываются многочисленными скважинами в околорудном пространстве на различных расстояниях от рудного тела, в т.ч. и непосредственно вдоль его экзоконтактов. На флангах по простиранию мощность зоны брекчирования уменьшается до выклинивания. Эта зона сложена тектонической карбонатной брекчией, представленной мелко- и среднеобломочным материалом карбонатных пород (доломиты, глинистые доломиты, реже доломитовые конгломераты), сцементированных глинисто-карбонатным и разнозернистым карбонатным цементом. Другая субвертикальная тектоническая зона дробления вмещающих пород приурочена к юго-западному флангу северо-восточного рудного тела. Тектоническая зона сопровождается крутопадающей дайкой кимберлита мощностью 1.5-2 м. Выше по разрезу между отм. +150 и +195 м расстояние зоны брекчирования от северного контакта рудного тела предположительно составит 7-13 м. Тектоническая зона сложена карбонатной брекчией и представлена обломками известковистых и глинистых доломитов, интенсивно трещиноватых и, нередко, с зеркалами скольжения. Блок вмещающих пород, расположенный между зоной брекчирования и рудным телом, также сложен интенсивно трещиноватыми породами с нарушенным первичным их залеганием.

Между северо-восточным и юго-западным рудными телами предполагается наличие зоны дезинтегрированных карбонатных пород, которые могут влиять на их устойчивость при подземной отработке. При подземных горных работах на контактах рудного тела с вмещающими породами (кольцевой штрек, спиральные съезды, орты и др.) следует предусмотреть усиление их крепления [7].

Кимберлиты, слагающие северо-восточное рудное тело, представлены порфировыми кимберлитами (ПК) и кимберлитовыми брекчиями (КБ). Кимберлитовые брекчии составляют основной объем северо-восточного рудного тела (до 99%), порфировые кимберлиты встречаются в нем лишь в виде мелких единичных обособлений.

Прочность кимберлитов на сжатие колеблется от 10–20 МПа до 40–50 МПа со средним объемным весом 2,4 т/м<sup>3</sup>. По вещественному составу и алмазности обе разновидности кимберлитов лишь незначительно отличаются друг от друга и относятся к одному технологическому типу. Кимберлиты характеризуются, в основном, средней степенью трещиноватости. На контакте с вмещающими породами отмечаются участки с пониженной устойчивостью, обусловленной повышенной трещиноватостью кимберлитов, мощностью 3–5 м.

В структурном отношении трубка приурочена к тектонической зоне, оперяющей субмеридиональный глубинный разлом. Основными структурными элементами, определяющими положение рудного тела, являются зоны интенсивной трещиноватости и брекчирования вмещающих пород. Зоны повышенной трещиноватости появляются обычно за 4-5 м до контакта с рудным телом и сопровождаются многочисленными зеркалами скольжения с перетертым рыхлым материалом.

Коэффициент разрыхления изменяется от 1,5-1,6 до 1,8, влажность - от 7 до 4,1%. Кимберлиты относятся к породам довольно мягким и средней крепости, категория которых по буримости не превышает 4-6, реже – 7.

Для характеристики горно-геологических условий месторождения весь массив пород условно разделим на 3 части (рис.1).

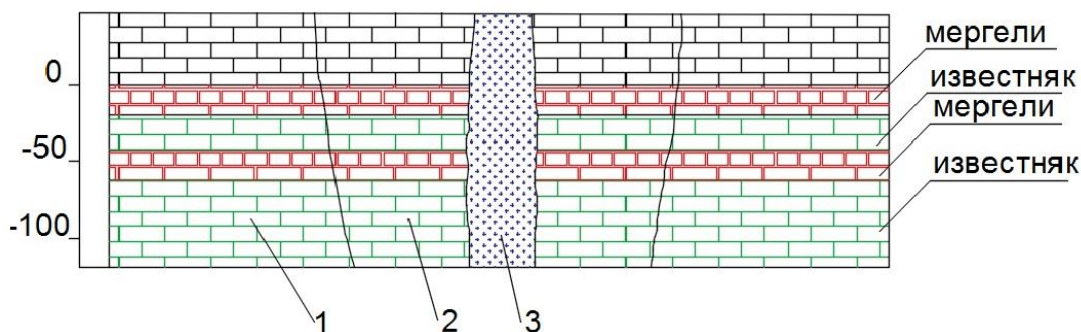


Рис. 1 – Схема геологического разреза в районе месторождения «Айхал»: 1 – вмещающие породы; 2 – вмещающие породы приконтактной зоны (до 4-5 м до контакта с рудой); 3 – рудное тело

Рейтинг MRMR состоит из суммы частных рейтингов (IRMR), которые учитывают прочностные свойства массива, общие характеристики трещиноватости, которую необходимо домножать на поправочные коэффициенты. Эти коэффициенты отображают степени выветрелости пород, ориентации трещин в массиве, параметры напряженного состояния, гидрогеологические условия и др.

Рейтинг MRMR можно выразить формулой:

$$MRMR = RMR \cdot k \quad (1)$$

$$RMR = R_{RBS} + J_S + J_C \quad (2)$$

где  $R_{RBS}$  — прочность породного блока;  $J_S$  — рейтинг по количеству трещин;  $J_C$  — рейтинг условий трещиноватости;  $k$  — коэффициенты, учитывающие выветривание, ориентацию трещин, напряжения в массиве, взрывание, наличие подземных водопритоков [5], [8], [13].

#### Для условий вмещающих пород

Средний предел прочности руды колеблется 32 МПа (данные табл.1.), модуль трещиноватости –1,5 тр/м, среднее расстояние между трещинами – 0,5 – 1 (данные табл.2).

Таблица 1 – Горнотехнические условия отработки

Порода	Крепость по Протодяконову	Плотность, т/м <sup>3</sup>	Предел прочности на сжатие $\delta_{сж}$ , МПа	Коэффициент Пуассона
Вмещающие породы	3.0-4.0	2.64	32	0,2-0,3
Кимберлит	1.2-4.5	2,44	30	0,2-0,3

Таблица 2 – Характеристика трещиноватости

Категория трещиноватости	Степень трещиноватости (блочности) массивов	Среднее расстояние между естественными трещинами всех систем, м	Модуль трещиноватости, м <sup>-1</sup>
I	Чрезвычайно трещиноватые (мелкоблочные)	До 0.1	Более 10
II	Сильнотрещиноватые (среднеблочные)	0.1 - 0.5	2 - 10
III	Среднетрещиноватые (крупноблочные)	0.5 - 1.0	1 - 2
IV	Малотрещиноватые (весьма крупноблочные)	1.0 - 1.5	1 - 0.65
V	Практически монолитные (исключительно крупноблочные)	Свыше 1.5	Менее 0.65

Следовательно, получаем составляющую рейтинга  $RBS_p$ :

$$RBS_p = IRS \cdot 0,8 \cdot k \quad (3)$$

где  $k$  – коэффициент корректировки  $IRS$ . Он вычисляется по номограмме, представленной на рис. 2.

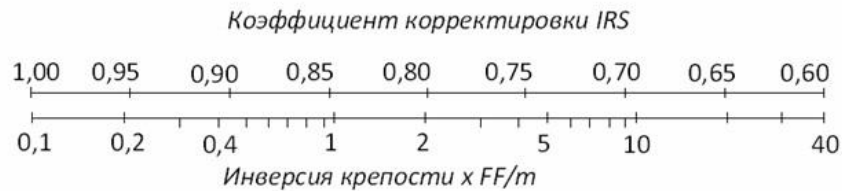


Рис. 2 – Номограмма корректировки прочности нетронутого массива с учетом крепости руды и густоты трещин

Практически все трещины минерализованы. Основной заполнитель трещин – карбонатные породы, крепость по шкале Мооса – 3. Следовательно, инверсия – 0,33.

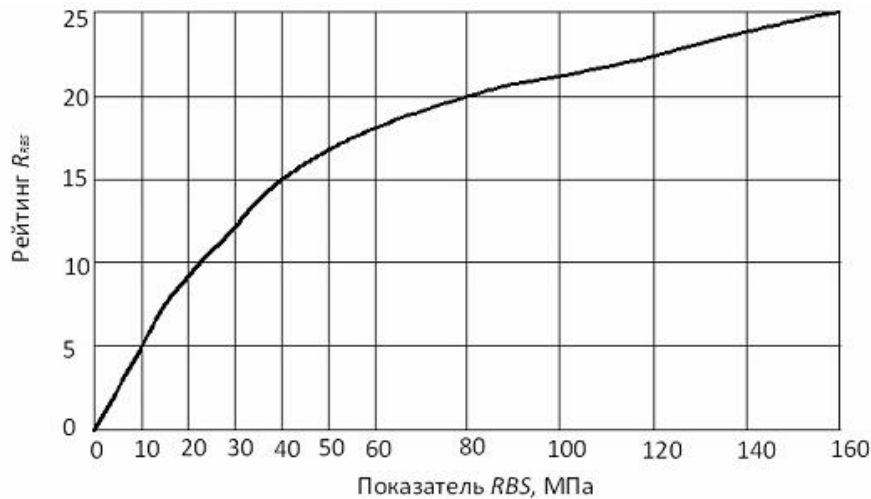
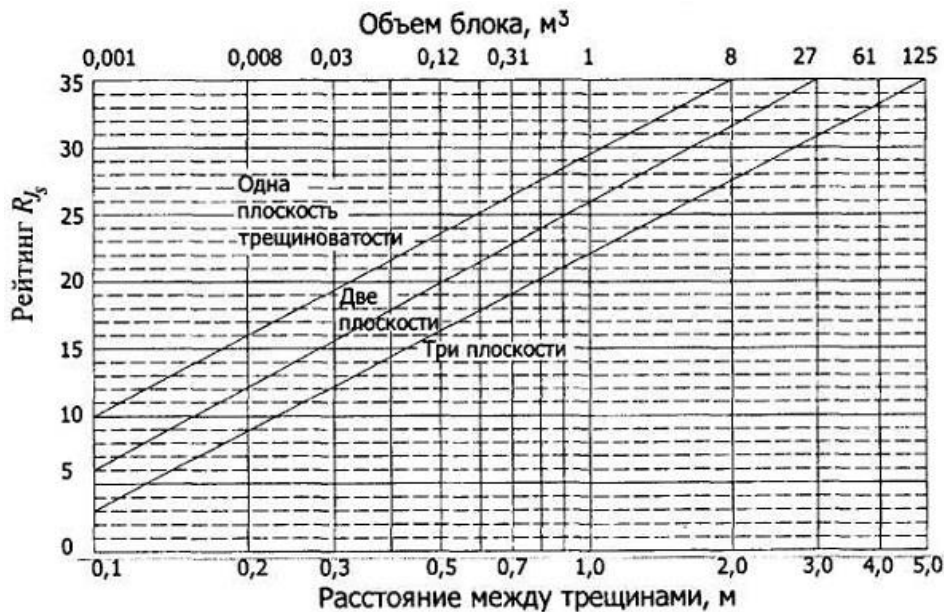
«Инверсия крепости  $X \text{ FF/m}$ » будет равна  $=0,33 \times 1,5 = 0,495$

По номограмме корректировки прочности [3], [5] получаем  $k=0,875$

В итоге

$$RBS_p = 32 \cdot 0,8 \cdot 0,875 = 22,4$$

По графику определения рейтинга  $R_{RBS}$  прочности породного блока (рис.3) и рейтинга трещиноватости массива  $J_s$  (рис.4) рейтинговый показатель  $R_{RBS}=10$ , рейтинг трещиноватости  $J_s=24$ .

Рис. 3 – Определение рейтинга  $R_{RBS}$  прочности породного блокаРис. 4 – Рейтинг трещиноватости массива  $J_s$ 

Трещины одной направленности, волнообразные ( $A=95\%$ ), с гладкими выступами ( $B=85\%$ ), имеются раздувы ( $D=60\%$ ), в разной степени кальцитизированная, крепость заполнителя 3 [7]. Поправочный коэффициент  $k$  показателю  $J_s$ :

$$J_C = 40 \cdot \frac{A}{100} \cdot \frac{B}{100} \cdot \frac{C}{100} \cdot \frac{D}{100} \cdot \frac{E}{100} = 40 \cdot \frac{95}{100} \cdot \frac{85}{100} \cdot \frac{60}{100} \cdot \frac{85}{100} = 16,5$$

Получаем

$$RMR_K = R_{RBS} + J_S + J_C = 10 + 24 + 16,5 = 50,5$$

Далее рейтинг RMR умножается на коэффициенты, которые учитывают выветривание, поправку за ориентацию трещин, напряжения, вызванные горными работами, буровзрывные работы, поправки за обводненность и мерзлоту. В данном случае преимущественное влияние на горный массив оказывает ориентация трещин, так как водоприитоки и буровзрывные работы снижают прочность массива, действуя на трещиноватость. По таблице, определяющей коэффициент ориентации трещин, выводим коэффициент понижения  $k_1=0,85$ .

На территории района развиты многолетнемерзлые породы, входящие в криолитозону общей мощностью до 720 м. Наиболее низкие температуры этой толщи отмечаются в приповерхностной части ( $-4,2^\circ\text{C}$ ), нулевая изотерма проходит на глубине около 700 м ( $-200$  м). Коэффициент смерзаемости пород берется от 1 до 1,2 ( $k_2=1,1$ ).

Получаем

$$MRMR_K = RMR_K \cdot k_1 \cdot k_2 = 50,5 \cdot 0,85 \cdot 1,1 = 47,2$$

#### Для условий вмещающих пород приконтактной зоны (4-5 м до контакта с рудным телом)

В среднем предел прочности руды колеблется 32 МПа, модуль трещиноватости  $-10$  тр/м, расстояние между трещинами – до 0,1, таким образом, с учетом трещиноватости, выводим:

$$RMR_K = R_{RBS} + J_S + J_C = 19,8 + 11 + 12,3 = 43,1$$

Так же, как и для предыдущих условий  $k_1=0,85$  и  $k_2=1,1$ .

Получаем

$$MRMR_K = RMR_K \cdot k_1 \cdot k_2 = 43,1 \cdot 0,85 \cdot 1,1 = 40,3$$

#### Для условий рудной части

В среднем предел прочности руды колеблется 30 МПа, модуль трещиноватости  $-1,5$  тр/м, расстояние между трещинами – 0,5 – 1, таким образом, с учетом трещиноватости, выводим:

$$RMR_K = R_{RBS} + J_S + J_C = 9 + 24 + 16,5 = 49,5$$

Так же, как и для предыдущих условий  $k_1=0,85$  и  $k_2=1,1$ .

Выводим

$$MRMR_K = RMR_K \cdot k_1 \cdot k_2 = 49 \cdot 0,85 \cdot 1,1 = 46,3$$

Результаты расчетов сводим в табл. 3.

Таблица 3 – Итоговая таблица расчетов рейтинга MRMR

	Вмещающие породы	Вмещающие породы приконтактной зоны	Руда
Рейтинг MRMR	47,2	40,3	46,3
Класс пород по Д.Лобширу	3	4	3
Описание пород по устойчивости (обрушаемости)	Средняя (средняя)	Низкая (хорошая)	Средняя (средняя)

Из табл. 3 можно сделать вывод о том, что вмещающие породы и рудное тело относятся к 3 классу и имеют среднюю устойчивость, за исключением вмещающих пород в приконтактной зоне, которые относятся к 4 классу и имеют низкую устойчивость.

Из результатов расчета следует, что возможно применение системы разработки с обрушением [12], [14]. Но в условиях кимберлитовых месторождений в целях повышения качества извлечения и минимизации потерь пород необходимо применять систему разработки с твердеющей закладкой.

Следует отметить, что для достоверной оценки устойчивости горного массива к конкретному блоку или горизонту необходим индивидуальный подход с выбором методики исследования.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

**Список литературы / References**

1. Отчет о НИР «Создание комплексной инновационной экологически безопасной технологии добычи и переработки алмазоносных руд в условиях Крайнего Севера», работа 1.3 «Разработка и внедрение рекомендаций по ведению очистных работ выработками с увеличенными параметрами с использованием комбайновой и буровзрывной отбойки при слоевой системе разработки на руднике «Айхал», -2010, - С.8-11.
2. Beniaowski Z.T. Classification of rock masses for engineering: the RMR system and future trends / Z.T. Beniaowski // Comprehensive rock engineering. Principles, practice and projects. Vol.3 Rock testing and site characterization. Pergamon Press, Imperial College of Science, Technology and Medicine, London, UK. 1993, p.553-572
3. Beniaowski Z.T. Engineering rock mass classification / Z.T. Beniaowski. Wiley, New York, 1989, 251 p.
4. Jacubec J. The MRMR rock mass rating classification system in mining practice / J.Jacubec , D.H.Laubscher. Brisbane, 2000, p.413-421.
5. Laubscher D.H. The MRMR Rock Mass Classification for jointed rock masses /J.Jacubec , D.H.Laubscher // Foundations for Design. Brisbane, 2000, p.475-481.
6. Laubscher D.H. A geomechanics classification system for the rating of rock mass in mine design / D.H.Laubscher // J Sth Afr Inst Min Met, v.90(10), 1990, p. 257-273.
7. Проект «Вскрытие и отработка подкарьерных запасов до отм.-100» Том 2 - Технологические решения. Книга 1. Геологическая часть. Пояснительная записка 69-03-03-000-02.ПЗ., 2000, - С. 10-17.
8. Макаров А.Б. Практическая геомеханика. Пособие для горных инженеров / А.Б. Макаров. –М.: Издательство «Горная книга». – 2006, -С. 391.
9. Губинский Н.О. «Определение рейтинга массива горных пород по геомеханической классификации Д.Лобшира для условий алмазного месторождения» / Н.О. Губинский // Вестник МГТУ, том 12, №4, 2009 г. – С.694-701.
10. Кузьмин Е.В. Рейтинговые классификации массивов скальных пород: предпосылки создания, развитие и область применения / Е.В. Кузьмин, А.Р. Узбекова. ГИАБ, № 4, 2004, -С. 201-202.
11. Кузьмин Е.В. Самообрушение руды при подземной добыче / Е.В. Кузьмин, А.Р. Узбекова. Учебное пособие. М., Изд-во Московского государственного горного университета, 2006, -С. 283 с.
12. Казикаев Д.М. Практический курс геомеханики подземной и комбинированной разработки руд / Д.М. Казикаев, Г.В. Савич // Горная книга, Москва, 2013 г., -С. 224.
13. Петрова Л.В. Исследование устойчивости пород кровли очистных выработок россыпного месторождения Солур / Л.В. Петрова, А.А. Николаева, В.С. Марков // Вестник СВФУ Том 12, No 2, Изд-во: Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, 2015, -С.51-55.
14. Alekseev, A. M. Question of the stability of the roof of stope ores in in the conditions of cryolithozone. / A. M. Alekseev, L. V. Petrova, A. I. Sivtseva, A. A. Nikolaev // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining 2019. Conference proceedings, volume 19. 30 June-6 July Albena, Bulgaria. 2019, - С. 507-513.

**Список литературы на английском языке / References in English**

1. Otchet o NIR «Sozdanie kompleksnoj innovacionnoj jekologicheski bezopasnoj tehnologii dobychi i pererabotki almazonosnyh rud v uslovijah Krajnego Severa», rabota 1.3 «Razrabotka i vnedrenie rekomendacij po vedeniju ochistnyh rabot vyrabotkami s uvelichennymi parametrami s ispol'zovaniem kombajnovoj i burovzryvnoj otbojki pri sloevoj sisteme razrabotki na rudnike «Ajhal»» [Report On Research And Development "Creation Of An Integrated Innovative Environmentally Safe Technology For Mining And Processing Of Diamond-Bearing Ores In The Far North", Work 1.3 "Development And Implementation Of Recommendations For Conducting Cleaning Operations With Increased Parameters Using Combine And Drill - And-Blast Chipping With A Layered Development System At The Aikhal Mine"], -2010, - pp 8-11. [in Russian]
2. Beniaowski Z.T. Classification of rock masses for engineering: the RMR system and future trends / Z.T. Beniaowski // Comprehensive rock engineering. Principles, practice and projects. Vol.3 Rock testing and site characterization. Pergamon Press, Imperial College of Science, Technology and Medicine, London, UK. 1993, p.553-572
3. Beniaowski Z.T. Engineering rock mass classification / Z.T. Beniaowski. Wiley, New York, 1989, 251 p.
4. Jacubec J. The MRMR rock mass rating classification system in mining practice / J.Jacubec , D.H.Laubscher. Brisbane, 2000, p.413-421.
5. Laubscher D.H. The MRMR Rock Mass Classification for jointed rock masses /J.Jacubec , D.H.Laubscher // Foundations for Design. Brisbane, 2000, p.475-481.
6. Laubscher D.H. A geomechanics classification system for the rating of rock mass in mine design / D.H.Laubscher // J Sth Afr Inst Min Met, v.90(10), 1990, p. 257-273.
7. Proekt «Vskrytie i otrabotka podkar'ernyh zaspos do otm. -100» - Tehnologicheskie reshenija. Geologicheskaja chast'. Pojasnitel'naja zapiska 69-03-03-000-02.PZ. [Project "Opening and development of sub-barrier reserves up to OTM. -100" Volume 2-Technological solutions. Book 1. Geological part. Explanatory note 69-03-03-000-02. PZ.], 2000, pp. 10-17 [in Russian]
8. Makarov A. B. Prakticheskaja geomehanika. Posobie dlja gornyh inzhenerov. [Practical Geomechanics. Manual for Mining Engineers.] / A. B. Makarov - M.: Publishing house "Gornaja kniga". - 2006, - p. 391. [in Russian]
9. Gubinsky N. O. «Opredelenie rejtinga massivа gornyh porod po geomehanicheskoj klassifikacii D.Lobshira dlja uslovij almaznogo mestorozhdenija» ["Determination of the Rating of the Rock Mass According to the Geomechanical Classification of D. Lobshir For the Conditions of the Diamond Deposit"] / N. O. Gubinsky // Vestnik MGTU [Bulletin of the Moscow State Technical University], vol. 12, no. 4, 2009, pp. 694-701. [in Russian]
10. Kuzmin E. V. Rejtingovye klassifikacii massivov skal'nyh porod: predposylki sozdanija, razvitie i oblast' primenenija. [Rating Classifications of Rock Massifs: Prerequisites for Creation, Development and Application.] / E. V. Kuzmin, A. R. Uzbekova // GIAB, No. 4, 2004, pp. 201-202. [in Russian]



11. Kuzmin E. V. Samoobrushenie rudy pri podzemnoj dobyche [Self-Destruction of Ore in Underground Mining] / E. V. Kuzmin, A. R. Uzbekova. A Textbook. M., Publishing House of The Moscow State Mining University, 2006, - P. 283 [in Russian]
12. Kazikaev D. M. Prakticheskij kurs geomehaniki podzemnoj i kombinirovannoj razrabotki rud. [Practical Course of Geomechanics of Underground and Combined Mining of Ore Deposits] / D. M. Kazikaev, G. V. Savić // Gornaya kniga, Moscow, 2013, p. 224. [in Russian]
13. Petrova L.V. Issledovanie ustojchivosti porod krovli ochistnyh vyrabotok rossypnogo mestorozhdenija Solur [Investigation of The Stability of Roof Rocks of Treatment Workings of The Solur Placer Deposit] / L. V. Petrova, A. A. Nikolaeva, V. S. Markov // NEFU Bulletin Volume 12, No 2, Publishing house: M. K. Ammosov North-Eastern Federal University, 2015, pp. 51-55. [in Russian]
14. Alekseev, A. M. Question of the stability of the roof of stope ores in in the conditions of cryolithozone. / A. M. Alekseev, L. V. Petrova, A. I. Sivtseva, A. A. Nikolaev // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining 2019. Conference proceedings, volume 19. 30 June-6 July Albena, Bulgaria. 2019, - P. 507-513.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.102.12.004>**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ  
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ПОМОЩИ ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ**

Научная статья

**Бормотов А.Н.<sup>1,\*</sup>, Горохова А.А.<sup>2</sup>**<sup>1</sup>ORCID: 0000-0001-7069-6603;<sup>1</sup> Пензенский государственный технологический университет, Пенза, Россия;<sup>2</sup> Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза, Россия

\* Корреспондирующий автор (aleks21618[at]yandex.ru)

**Аннотация**

Предложен математический метод моделирования процессов структурообразования дисперсных систем и композиционных материалов, в частности, при помощи динамических моделей, учитывающих энергетические, структурные и реологические особенности межчастичного взаимодействия. Рассмотрены условия протекания процессов самопроизвольного образования флоккул и кластеров. Построены математические модели структурообразования кластеров в дисперсных системах, определены параметры кластеров и рецептурно-технологические условия их образования. На основе предложенных моделей и математических методов показана возможность управления процессами структурообразования дисперсных систем с целью получения оптимальных параметров структуры и свойств композиционных материалов.

**Ключевые слова:** композиционные материалы, математическое моделирование, структурообразование, дисперсные системы, оптимизация свойств.

**MATHEMATICAL MODELING OF STRUCTURE FORMATION OF COMPOSITE MATERIALS  
USING DYNAMIC MODELS**

Research article

**Bormotov A.N.<sup>1,\*</sup>, Gorokhova A.A.<sup>2</sup>**

ORCID: 0000-0001-7069-6603;

<sup>1</sup> Penza State Technological University, Penza, Russia;<sup>2</sup> Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russia

\* Corresponding author (aleks21618[at]yandex.ru)

**Abstract**

The study proposes a mathematical method for modeling the processes of structure formation of dispersions and composite materials through the use of dynamic models that take into account the energy, structural and rheological features of interparticle interaction. The article considers the conditions of the spontaneous formation of flocs and clusters. The research includes the construction of mathematical models of cluster structure formation in dispersions as well as defines the cluster parameters, and formulation and technological conditions for their formation. Based on the proposed models and mathematical methods, the study demonstrates the possibility of controlling the processes of structure formation of dispersions in order to obtain optimal parameters of the structure and properties of composite materials.

**Keywords:** composite materials, mathematical modeling, structure formation, dispersed systems, optimization of properties.

**Введение**

Композиционные материалы (КМ) по своей природе относятся к дисперсным системам, которые получают соединением вязкой матрицы (вязущее) и тонкомолотых дисперсных фаз различной природы (наполнители). Данное обстоятельство необходимо учитывать при математическом моделировании процессов структурообразования КМ. Именно такими системами и являются композиционные материалы со специальными или экстремальными свойствами. При использовании оптимальных рецептурно-технологических параметров получение изделий требует небольших энергетических затрат.

Структурообразование композитов, наполненных дисперсными минералами, определяется взаимодействиями между структурообразующими элементами – флокулами и кластерами, а также процессами, происходящими на поверхностях указанных конгломератов и в прослойках вязущего. Толщина прослойки вязущего и размеры дисперсных конгломератов оказывают определяющее влияние на реологические свойства композитов и на структуру и эксплуатационные свойства композиционных материалов [1], [2], [7]. Появление новых системных свойств у композитов как сложных технических систем связано с появлением новообразований – флокул (кластеров), что отличает композиты от механической смеси компонентов и является основным фактором качества моделирования структурообразования композитов [3]. Одной из важнейших научно-технических задач, имеющей большое практическое значение, является разработка методов математического моделирования механизма структурообразования (флокулообразования) с целью получения заданных структуры и свойств КМ.

**Методы и принципы исследования**

Для того чтобы выполнить адекватное математическое моделирование процессов структурообразования композиционных материалов, необходимо иметь адекватное математическое описание физических и технологических параметров формирования структуры композитов в формализованном виде.

Получение математического описания процессов структурообразования композиционных материалов выполнялось аналитическим методом и методом компьютерного моделирования. В качестве аналитических методов применялись методы моделирования динамических и кинематических режимов флокулообразования. Для таких методов характерно

наличие громоздкого математического аппарата. В тоже время данные методы могут использоваться для оценки адекватности результатов численного моделирования. Достоинством аналитических методов является возможность математического и имитационного моделирования процессов флокулообразования, в значительной степени определяющего эксплуатационные свойства композиционного материала [4].

При моделировании структурообразования дисперсных наполненных систем использовались методы системного анализа и теории оптимального управления на основе аналитического, реологического, энергетического, структурного, кибернетического и информационного подходов. Для моделирования множества сочетаний структурообразующих факторов применялась авторская методика совместного решения аналитических зависимостей взаимодействий структурообразующих элементов и численного компьютерного моделирования математического описания условий флокулообразования.

### Основные результаты

Как известно, эволюция структурообразования дисперсных систем определяется межфазными взаимодействиями между структурообразующими элементами [5]. В наполненном дисперсными минералами композите одной из базовых структурных единиц является самопроизвольно возникающий флокулярный или кластерный конгломерат.

В работе предлагается математическое описание наполненных композитов, процессы структурообразования которых можно описать системой уравнений:

$$m_i \frac{d^2 \vec{r}_i(t)}{dt^2} - k_i \cdot \left( \frac{d\vec{r}_i(t)}{dt} - \vartheta_i \right) = -\Delta U_i, \quad i = \overline{1, N} \quad (1)$$

где  $m_i$  – масса  $i$ -й частицы;  $\vec{r}_i = (x_i, y_i, z_i)$  – радиус-вектор координат  $i$ -й частицы;  $N$  – количество частиц наполнителя;  $k$  – коэффициент, определяемый диссипативными свойствами дисперсного наполнителя,  $\vartheta_i$  – скорость дисперсионной среды в точке  $\vec{r}_i$ ;  $U_i$  – энергетический потенциал в точке  $\vec{r}_i$ , в общем случае зависящий от параметров дисперсионной среды и от взаимного расположения всех остальных частиц системы.

Левая часть уравнения (1), являющаяся разностью сил инерции и вязкого трения, неизменна по форме для любой дисперсной системы. Выражение для градиента в правой части (1) оказывается сложным и неоднозначным для каждого отдельного случая.

Потенциал межчастичного взаимодействия в уравнении (1) включает множество слагаемых, однако вклад в общий результат большинства из них на один-два порядка меньше вклада первых двух [6]. Примем бинарный потенциал для системы с единственным положением равновесия в виде:

$$U(\vec{r}_1, \vec{r}_2) = \frac{\alpha}{|\vec{r}_2 - \vec{r}_1|^{12}} - \frac{\beta}{|\vec{r}_2 - \vec{r}_1|^6}, \quad \alpha > 0, \beta > 0, \quad (2)$$

Выражение (2) содержит два независимых параметра, численные значения которых зависят от следующих параметров (рисунок 1):

- расстояния  $r_m = |\vec{r}_2 - \vec{r}_1|$ , соответствующего координате равновесия, для которого характерно  $\nabla U|_{r=r_m} = 0$ ;
- величины потенциальной ямы  $U_m = -U(r_m)$ , отсчитываемой от нулевого уровня энергии.

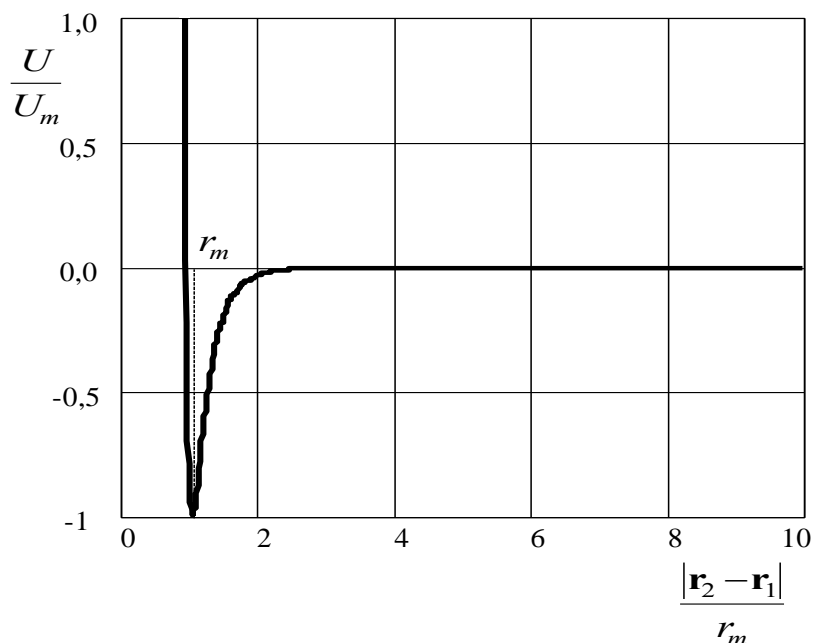


Рис. 1 – Принятый бинарный потенциал взаимодействия частиц

Значения параметров в уравнении (2) связаны с указанными величинами следующими соотношениями:

$$\alpha = U_m r_m^{12}, \quad \beta = 2U_m r_m^6. \quad (3)$$

Физико-механические свойства связующего – матрицы, полученной совмещением минеральных или органических вяжущих веществ с тонкомолотыми наполнителями – зависят от формирования их оптимальной структуры. Повышение макросвойств матрицы вяжущего зависит от параметров структуры вяжущего, от вида и скорости поверхностных явлений на границе раздела фаз, а также от количества наполнителя  $v_f$ , его дисперсности  $S_{уд}$  и физико-химической активности поверхности наполнителей и заполнителей. Для лиофильных систем оптимизация наполнения КМ может осуществляться изменением  $v_f$  и  $S_{уд}$ , соотношение которых позволяет рассчитать усредненную толщину прослойки вяжущего между частицами наполнителя  $h$ . Достижение рассчитанной толщины прослойки вяжущего зависит от длительности процесса диспергирования, а поверхностными явлениями не определяется [7]:

$$h = \frac{6}{\rho_f S_{уд}} \left( 3 \sqrt{\frac{\eta_f}{v_f}} - 1 \right), \quad h = \frac{1 - v_f}{v_f} \frac{1}{S_{уд} \rho_f}, \quad (4)$$

Где  $\rho_f$ ,  $S_{уд}$ ,  $v_f$  – плотность, удельная поверхность, объемная доля материала наполнителя соответственно;  $\eta_f$  – максимальная плотность упаковки частиц.

Как показывают исследования, граничный или сольватный слой вяжущего вещества образуется при совмещении компонентов связующего на границе раздела фаз. Этот слой характеризуется плотным и упорядоченным расположением структурных элементов вяжущего и крупных молекул олигомера. Реологические свойства смесей и физико-механические свойства КМ зависят от толщины сольватного слоя, от строения слоя и прочности сцепления сольватной оболочки с поверхностью частиц дисперсной фазы. Однако граничный слой определяет еще и агрегативную устойчивость дисперсионной системы, от которой зависит возможность образования в структуре композита кластеров. Как показывают исследования авторов, если толщина прослойки вяжущего многократно превосходит толщину сольватной оболочки, то самопроизвольное образование кластеров невозможно из-за ничтожно малого влияния поверхностной энергии частиц дисперсной фазы.

Определение толщины сольватной оболочки предлагается выполнять на основе реологического, энергетического, структурного подходов.

Реологический подход основан на законе Эйнштейна:

$$h_c = 23 \sqrt{\frac{\eta_{уд \infty}}{2,5 v_f}} - \frac{3}{S_{уд} \rho_f}, \quad \text{или} \quad h_c = \frac{1}{\rho_f S_{уд}} \left( \frac{K_1}{K_0} - 1 \right), \quad (5)$$

где  $\eta_{уд \infty} = \frac{\eta_{\infty} - \eta_0}{\eta_0}$  – приведенная вязкость;  $K_1$ ,  $K_0$  – коэффициенты, определяемые по вязкостям дисперсной

системы, в которой среда не образует совсем или образует на поверхности частиц сольватную оболочку бесконечно малой толщины.

Энергетический подход заключается в учете Ван-дер-Ваальсовского взаимодействия молекул:

$$h_c = 3 \sqrt{\frac{\pi \rho_m \chi_m (B_{mf} \rho_f - B_m \rho_m)}{6 C_p}}, \quad \text{и} \quad h_c = C \left( 1 - \frac{T}{T_{kp}} \right)^{\frac{1}{6}}, \quad (6)$$

где  $C_p = \frac{\rho_h - \rho_m}{\rho_m}$ ;  $\rho_m$  – плотность вяжущего вещества;  $\rho_m$  – плотность вяжущего при толщине  $h$ ;  $\chi_m$  –

изотермическая сжимаемость вяжущего;  $B_m$  и  $B_{mf}$  – константы Ван-дер-Ваальсовского взаимодействия молекул, вяжущего между собой и структурными элементами другой фазы соответственно;  $T_{kp}$  – критическая температура структурообразования.

Структурный подход основан на учете процессов, протекающих на границе раздела фаз:

$$h_c = \frac{8\pi^2 \sigma_m}{RT (\rho_f - \rho_m) \ln \left( \frac{\rho_f}{\rho_m} \right)}, \quad \text{и} \quad h_c = \frac{const}{(\rho_f - \rho_m)^2 \ln \left( \frac{\rho_f}{\rho_m} \right)}, \quad (7)$$

где  $\sigma_m$  – поверхностное натяжение вяжущего вещества.

Из (5)...(7) следует, что при заметном удалении от  $T_{кр}$  значения  $h_c$  находятся в интервале  $10^{-7}...10^{-9}$  м. Причем для веществ, состоящих из сложных молекул, толщина  $h_c$  близка к  $10^{-7}...10^{-8}$  м; для веществ, состоящих из простых молекул, – близка к  $10^{-9}$ .

Как показывает практика, использование формул (5)...(7) сопряжено с трудностями инструментального определения величин. Процессы, протекающие на границе раздела фаз, невозможно оценить.

Авторами предлагается способ определения  $h_c$ , лишенный указанных недостатков. Он основан на энергетическом подходе. А именно, при смачивании поверхности твердого тела выделяется энергия, равная:

$$U_{см} = S\sigma_c \cos \theta, \quad (8)$$

где  $\sigma_c$  – поверхностное натяжение;  $\theta$  – краевой угол смачивания поверхности твердого тела;  $S$  – площадь смоченной поверхности. Эта энергия расходуется на образование сольватного слоя с числом молекул  $N = \frac{U_{см}}{RT} N_A$ , где  $N_A$  – постоянная Авогадро;  $RT$  – тепловая энергия 1 моля вязущего.

Толщина и масса сольватного слоя определяются в виде:

$$h_c = \frac{m_c}{\rho_c S}, \quad m_c = \frac{N}{N_A} M, \quad (9)$$

где  $m_c$ ,  $\rho_c$  – масса и плотность слоя соответственно,  $M$  – молекулярная масса вязущего.

Соотношения (8) и (10) определяют коэффициенты в выражении для потенциала. Из (7), (8) и (9), получим:

$$h_c = \frac{\sigma_c \cos \theta}{RT} \frac{M}{\rho_c}. \quad (10)$$

Из (10) получаем, что толщина прослойки вязущего возрастает с увеличением молекулярной массы, размеров молекул, поверхностного натяжения вязущего. Также на увеличение толщины сольватного слоя влияет увеличение смачиваемости поверхности наполнителя вязущим. Уменьшение толщины прослойки вязущего наблюдается при повышении температуры и плотности слоя. Данные положения подтверждаются экспериментальными данными [8], [9].

При предварительных расчетах можно принять  $\rho_c = \rho_m$ . Максимальная толщина сольватного слоя тогда определится по (10):

$$h_{c, \max} = \frac{\sigma_c \cos \theta}{RT} \frac{M}{\rho_m}. \quad (11)$$

Значения толщина сольватного слоя для некоторых вязущих веществ приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Максимальная толщина сольватного слоя  $h_{c, \max}$ , нм [8]

Вид вязущего	Температура, °C				
	25	50	75	125	150
Серное вязущее	–	–	–	2,12	2,02
Эпоксидная фенол-альдегидная смола	14,6	13,4	12,5	–	–
Фенолформальдегидная смола	13,4	12,4	11,5	–	–

Расчетные значения  $h_{c, \max}$  совпадают с экспериментальными данными, и формула (11) может быть использована для исследования процессов структурообразования (флокулообразования) КМ [8], [9].

Для теоретической системы из двух частиц при отсутствии внешних сил, с учетом их значительного удаления друг от друга ( $|r| \gg r_m$ ), в выражении (1) для потенциала значимым является второе слагаемое; первое – может быть отброшено.

Моделирование структурообразования проводили с прямоугольной системой координат. Начало координат располагалось в месте первой частицы, а направление оси абсцисс выбиралось по направлению вектора  $r_{12}$ . При малом трении уравнение (2) запишем в виде:

$$m\ddot{x} = U_m \frac{d}{dx} \left( \frac{x_m^6}{x^6} \right), \quad (12)$$

где  $U_m$  – глубина потенциальной ямы ( $U_m > 0$ ),  $x_m$  – ее положение.

Далее:

$$\frac{m\dot{x}^2}{2} = U_m \left( \frac{x_m}{x} \right)^6 + C. \quad (13)$$

За начало отсчета принимаем момент соприкосновения частиц, направление отсчета меняем на противоположное. Тогда постоянная интегрирования  $\dot{x}|_{x=\infty} = 0$  (целесообразность задания начального условия в такой форме будет обоснована ниже) и

$$\frac{m\dot{x}^2}{2} = U_m \left( \frac{x_m}{x} \right)^6. \quad (14)$$

Как видно, с ростом времени  $t$  обе части (14) возрастают (потенциальная энергия взаимодействия частиц переходит в кинетическую), расстояние  $x$  между частицами – уменьшается.

Из (14) имеем:

$$x^4 = 4x_m^3 \sqrt{\frac{2U_m}{m}} t + C. \quad (15)$$

Следовательно, время «самопроизвольного» образования флоккул в КМ (время перемещения частицы из точки  $x = x_1$  в точку  $x = x_2$  ( $x_1 > x_2$ )) определится в виде:

$$\Delta t = \frac{1}{4x_m^3} \sqrt{\frac{m}{2U_m}} (x_1^4 - x_2^4), \quad (16)$$

которое быстро увеличивается вместе с увеличением начального расстояния между частицами (пропорционально четвертой степени расстояния).

Расчетные значения  $\Delta t$ , полученные в соответствии с (16) для частиц диаметром 1 мкм, приведены в таблице 2. Принималось:  $x_m = h_{c,\max}$ ,  $U_m = N k T$ , где  $h_{c,\max}$  – определяемая по (4) максимальная толщина сольватного слоя,  $N$  – число молекул в сольватном слое,  $k$  – постоянная Больцмана,  $T$  – температура.

Таблица 2 – Оценка времени кластерообразования, лет

Вид вяжущего	Начальное расстояние между частицами, мкм				
	1	5	10	50	100
Серное вяжущее	1	500	10000	$5 \cdot 10^6$	$10^8$
Эпоксидная смола	3 сут.	5	100	$5 \cdot 10^4$	$10^6$

Приведенные значения в таблице 2 являются нижним пределом времени кластерообразования (без учета сил отталкивания и диссипативных свойств системы). Точные экспериментальные значения будут больше, чем приведенные в таблице 2.

Покажем возможность образования линейного кластера за счет захвата частиц в процессе перемешивания композиции. Система координат выбираем так, чтобы в правой части осталось единственное ненулевое слагаемое. Пренебрегая силами инерции, закон движения частицы можно представить в виде:

$$k(\dot{x} - \dot{x}_e) = -\frac{\partial}{\partial x} U, \quad (17)$$

где  $\dot{x}$  и  $\dot{x}_e$  – скорости частицы и дисперсионной среды соответственно.

Точка, соответствующая максимальному значению силы  $|\nabla U|$  будет:

$$\frac{\partial}{\partial x} \nabla U = U_m \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left( \left( \frac{x_m}{x} \right)^{12} - 2 \left( \frac{x_m}{x} \right)^6 \right) = 12 U_m \frac{x_m^6}{x^8} \left( 13 \left( \frac{x_m}{x} \right)^6 - 7 \right). \quad (18)$$

Приравнивая производную к нулю, получим:

$$x_f = x_m \sqrt[6]{13/7}. \quad (19)$$

Значение силы, действующей на частицу в точке  $x = x_f$ :

$$F_{\max} = \nabla U \left( x=x_f = -\frac{72U_m}{13x_m} \sqrt[6]{\frac{7}{13}} \right). \quad (20)$$

Приравнивая силу вязкого трения, действующую на частицу со стороны дисперсионной среды, силе, действующей на частицу со стороны поля другой частицы, получим предельное значение скорости дисперсионной среды, при которой еще возможно кластерообразование:

$$\dot{x}_{e,\max} = \frac{12}{13} \sqrt[6]{\frac{7}{13}} \frac{U_m}{\pi \eta R x_m} \approx 0,27 \frac{U_m}{\eta R x_m}, \quad (21)$$

где  $R$  – радиус частицы,  $\eta$  – вязкость среды.

Значения предельной скорости, рассчитанные в соответствии с (21), приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Оценка предельная скорость дисперсионной среды, мм/с

Вид вяжущего	Диаметр частицы, мкм				
	0,1	0,5	1	5	10
Серное вяжущее	$1,3 \cdot 10^6$	$2,6 \cdot 10^5$	$1,3 \cdot 10^5$	$2,6 \cdot 10^4$	$1,3 \cdot 10^4$
Эпоксидная смола	1,7	0,34	0,17	0,03	0,02

### Заключение

Из представленных результатов следует, что образование кластеров в процессе перемешивания композиции за счет захвата частиц в высоковязких системах не происходит, т.к. силы вязкого трения, действующие на частицу со стороны дисперсионной среды, приводят к разрушению кластеров. Однако, образование кластеров в низковязких наполненных системах возможно при поступлении энергии извне – т.е. при различных способах энергетической накачки системы – интенсивном перемешивании, подогреве, встряхивании, обработке ультразвуком и пр.

Анализ результатов позволяет сделать вывод, что самопроизвольное образование флоккул из макроскопических (более 1 мкм) частиц также невозможно. В системах, состоящих из частиц, линейные размеры которых, а также межчастичное расстояние между которыми, сопоставимы с величиной  $h_{c,\max}$  – возможно образование флоккул и флокулярных конгломератов.

Уравнение (16) является одной из компонент обобщенной модели структурообразования дисперснонаполненных систем [7] и позволяет оценить время «самопроизвольного» образования флоккул в композиционном материале при управляемом многокритериальном синтеза композитов с заданными параметрами структуры.

Разработанный метод имитационного моделирования флокулообразования в дисперсных системах позволяет учесть влияния основных рецептурных и технологических факторов на процесс структурообразования композитов. Адекватность полученных аналитических решений подтверждается численными решениями, полученными для известных композиционных материалов с погрешностью не выше 5% [8], [10].

### Конфликт интересов

Не указан.

### Conflict of Interest

None declared.

### Список литературы / References

1. Эбелинг, В. Физика процессов эволюции / В. Эбелинг, А. Энгель, Р. Файстель. – М. : УРСС, 2001. – 326 с.
2. Бобрышев, А.Н. Синергетика композиционных материалов / А.Н. Бобрышев, В.Н. Козомазов, Л.О. Бабин, В.И. Соломатов – Липецк : НПО ОРИУС, 1994. – 152 с.
3. Бормотов, А.Н. Разработка и управление качеством строительных материалов с регулируемой структурой и свойствами для защиты от радиации / А.Н. Бормотов, А.П. Прошин, Е.В. Королев, А.М. Данилов, И.А. Гарькина // Идентификация систем и задачи управления SICPRO'03: Труды II Международной конференции. – М. : Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2003. – С. 2437-2460.
4. Прошин, А.П. Динамические модели при исследовании кластерообразования в композиционных материалах. Предельные системы / А.П. Прошин, А.М. Данилов, Е.В. Королев, В.А. Смирнов // Известия вузов. Строительство. – №3. – 2003. – С. 32-38.
5. Прошин, А.П. Теоретические аспекты синтеза полимерных композиционных материалов для защиты от радиации / А.П. Прошин, А.М. Данилов, И.А. Гарькина, А.Н. Бормотов, В.И. Соломатов // Известия ВУЗов. Строительство и архитектура. – № 6. – 2001. – С. 7-9.

6. Мелькер, А.И. Самоорганизация и образование геликоидальных структур полимеров / А.И. Мелькер, Т.В. Воробьева // Физика твердого тела. – 1997. – Т. 39. – № 10. – С. 1883-1889.

7. Бормотов А.Н. Математическое моделирование и многокритериальный синтез композиционных материалов специального назначения : дис. ... док. техн. наук : 05.13.18 : защищена 21.12.2011 : утв. 30.08.2012 / Бормотов Алексей Николаевич. – Пенза, Пензенский государственный технологический университет, 2011 – 316 с.

8. Бормотов А.Н. Полимерные композиционные материалы для защиты от радиации : монография. – М., Палеотип, 2012. – 272 с.

9. Proshin A.P. The Extra-Heavy Concrete For Protection From Radiation / A.P. Proshin, E.V. Korolev, A.N. Bormotov, O.L. Figovsky // Proceedings of the International Conference on Role of Concrete in Nuclear Facilities 2005 International Congress – Global Construction: Ultimate Concrete Opportunities. Ser. "Role of Concrete in Nuclear Facilities – Proceedings of the International Conference". – University of Dundee, Concrete Technology Unit. Dundee, Scotland, 2005. – С. 69-76.

10. Бормотов А.Н. Математическое моделирование и многокритериальный синтез композиционных материалов / А.Н. Бормотов, И.А. Прошин, Е.В. Королев. – Пенза, Изд-во ПГТА, 2011. – 352 с.

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Ebeling, V. Fizika processov evolyucii [Physics of evolutionary processes] / V. Ebeling, A. Engel', R. Fajstel'. – М.: URSS, 2001. – 326 p. [in Russian]

2. Bobryshev, A.N. Sinergetika kompozicionnyh materialov [Synergetics of composite materials] / A.N. Bobryshev, V.N. Kozomazov, L.O. Babin, V.I. Solomaton – Lipeck : NPO ORIUS, 1994. – 152 p. [in Russian]

3. Bormotov, A.N. Razrabotka i upravlenie kachestvom stroitel'nyh materialov s reguliruemoj strukturoj i svojstvami dlya zashchity ot radiacii [Development and quality management of building materials with adjustable structure and properties for radiation protection] / A.N. Bormotov, A.P. Proshin, E.V. Korolev, A.M. Danilov, I.A. Gar'kina // Identifikaciya sistem i zadachi upravleniya SICPRO'03: Trudy II Mezhdunarodnoj konferencii [Identification of systems and control tasks SICPRO'03: Proceedings of the II International Conference]. – М. : Institut problem upravleniya im. V.A. Trapeznikova RAN [Institute of Management Problems. V.A. Trapeznikov RAS], 2003. – P. 2437-2460. [in Russian]

4. Proshin, A.P. Dinamicheskie modeli pri issledovanii klasteroobrazovaniya v kompozicionnyh materialah. Predel'nye sistemy [Dynamic models in the study of clustering in composite materials. Limiting systems] / A.P. Proshin, A.M. Danilov, E.V. Korolev, V.A. Smirnov // Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [Izvestiya vuzov. Building]. – №3. – 2003. – P. 32-38. [in Russian]

5. Proshin, A.P. Teoreticheskie aspekty sinteza polimernyh kompozicionnyh materialov dlya zashchity ot radiacii [Theoretical aspects of the synthesis of polymer composite materials for protection from radiation] / A.P. Proshin, A.M. Danilov, I.A. Gar'kina, A.N. Bormotov, V.I. Solomaton // Izvestiya VUZov. Stroitel'stvo i arhitektura [Proceedings of the universities. Construction and architecture]. – № 6. – 2001. – P. 7-9. [in Russian]

6. Mel'ker, A.I. Samoorganizaciya i obrazovanie gelikoidal'nyh struktur polimerov [Self-organization and formation of helicoidal structures of polymers] / A.I. Mel'ker, T.V. Vorob'eva // Fizika tverdogo tela [Solid State Physics]. – 1997. – Vol. 39. – № 10. – P. 1883-1889. [in Russian]

7. Bormotov A.N. Matematicheskoe modelirovanie i mnogokriterial'nyj sintez kompozicionnyh materialov special'nogo naznacheniya [Mathematical modeling and multicriteria synthesis of composite materials for special purposes] : dis. ... of PhD in Engineering : 05.13.18 : defense of the thesis 21.12.2011 : approved 30.08.2012 / Bormotov Aleksej Nikolaevich [Bormotov Alexey Nikolaevich]. – Пенза, Penzenskij gosudarstvennyj tekhnologicheskij universitet [Penza State Technological University], 2011 – 316 p. [in Russian]

8. Bormotov A.N. Polimernye kompozicionnye materialy dlya zashchity ot radiacii : monografiya [Polymeric composite materials for radiation protection: monograph]. – М., Paleotip [Paleotype], 2012. – 272 p. [in Russian]

9. Proshin A.P. The Extra-Heavy Concrete For Protection From Radiation / A.P. Proshin, E.V. Korolev, A.N. Bormotov, O.L. Figovsky // Proceedings of the International Conference on Role of Concrete in Nuclear Facilities 2005 International Congress – Global Construction: Ultimate Concrete Opportunities. Ser. "Role of Concrete in Nuclear Facilities – Proceedings of the International Conference". – University of Dundee, Concrete Technology Unit. Dundee, Scotland, 2005. – С. 69-76. [in English]

10. Bormotov A.N. Matematicheskoe modelirovanie i mnogokriterial'nyj sintez kompozicionnyh materialov [Mathematical modeling and multicriteria synthesis of composite materials] / A.N. Bormotov, I.A. Proshin, E.V. Korolev. – Пенза, Publishing house PSTA, 2011. – 352 p. [in Russian]



DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.102.12.005>

## МЕТОДЫ ВИРТУАЛИЗИРОВАНИЯ В МУЛЬТИМЕДИА ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ НА ПРИМЕРЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА

Научная статья

Ермаков С.Р.<sup>1,\*</sup>, Мордвинов В.А.<sup>2</sup>, Рачков А.В.<sup>3</sup><sup>1, 2, 3</sup> МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, Россия

\* Корреспондирующий автор (sergen355[at]gmail.com)

### Аннотация

Рассматриваются новейшие методы виртуализирования в мультимедиа информационных системах на примере разработанного цифрового двойника. Предложены две основных концепции: виртуализирование путём оценивания и улучшения информационного морфизма и последующего анализа, виртуализирование с использованием конструирования в смешанной реальности (например, в среде голографической графики). В исследовании уделено значительное внимание понятию информационного морфизма и его интерпретации. Проводится анализ взаимодействия цифрового двойника в информационной системе; разбор виртуализирования модели с опорой на признаки информационного морфизма и/или, шире, на анализ межагентного взаимодействия в мультимедиа средах; разбор методов конструирования модели в смешанной реальности.

**Ключевые слова:** виртуализирование, информационная система, мультимедиа, информационный морфизм, цифровой двойник.

## METHODS OF VIRTUALIZATION IN MULTIMEDIA INFORMATION SYSTEMS VIA DIGITAL ALTER-EGO

Research article

Ermakov S.R.<sup>1,\*</sup>, Mordvinov V.A.<sup>2</sup>, Rachkov A.V.<sup>3</sup><sup>1, 2, 3</sup> Russian Technological University (MIREA), Moscow, Russia

\* Corresponding author (sergen355[at]gmail.com)

### Abstract

The article explores the latest methods of virtualization in multimedia information systems as exemplified by the developed digital alter-ego. The study proposes two main concepts: virtualization by evaluating and improving information morphism and subsequent analysis, and virtualization using construction in mixed reality (for example, in a holographic environment). The study pays considerable attention to the concept of information morphism and its interpretation. The study analyzes the interaction of a digital alter-ego in the information system; the model virtualization based on the features of information morphism and/or, more broadly, on the analysis of interagent interaction in multimedia environments; the methods for constructing a model in mixed reality.

**Keywords:** virtualization, information system, multimedia, information morphism, digital alter-ego.

### Введение

Информационный морфизм как представление межагентного взаимодействия в среде информационных систем с опорой на онтологические описания участвовавшего в этом взаимодействии многоагентного контента может являться глобальным обобщающим фактором оценки эффективности и уровня функционирования информационных систем, в том числе и мультимедиа информационных систем. В том числе по таким ведущим показателям как точность, релевантность, пертинентность, мажоритарность и так далее [1].

В исследованиях понятию информационного морфизма и его математической интерпретации уделено значительное внимание в ряде публикаций ведущих разработчиков в сфере информационных технологий, в том числе и ученых в области теоретической информатики, моделирования и конструирования информационных процессов и систем [2].

Таким образом, понятие информационного морфизма позволяет провести концептуальное виртуализирование мультимедиа информационной системы с помощью двух концепций:

- во-первых, непосредственно с опорой на оценку и регулирование информационного морфизма и сопутствующий этому анализ межагентного взаимодействия,
- во-вторых, виртуализирование с использованием конструирования в смешанной реальности (например, в голографической конструкции) [3].

### Цель и задачи исследования

Цель исследования: рассмотреть методы виртуализирования в мультимедиа информационных системах на примере цифрового двойника.

Задачи, с выполнением которых достигается эта цель:

- анализ взаимодействия цифрового двойника в информационной системе;
- разбор виртуализирования модели с опорой на признаки информационного морфизма и/или, шире, на анализ межагентного взаимодействия в мультимедиа средах;
- разбор методов конструирования модели в смешанной реальности.

### Анализ взаимодействия цифрового двойника в информационной системе

Цифровой двойник объединяет все процессы, которые могут обеспечить замкнутый цикл, свойственный любому проекту: дизайн, конструирование, проектирование, производство, использование и обслуживание (техническое или виртуальное).

На этапе проектирования цифровой двойник включает в себя взаимодействие между ожидаемым, интерпретируемым и физическим представлениями. С помощью цифрового двойника создаются виртуальные модели физического продукта в виртуальном представлении. Виртуальные модели отражают как ожидания разработчика, так и ограничения в физическом мире. Цифровой двойник, как следствие, позволяет оптимизировать схемы модели, чтобы их можно было улучшать. Эта возможность позволяет производить конструирование и проектирование на основе циклического и фактически бесконечного жизненного цикла продукта. Кроме того, виртуальная верификация может быстро и легко прогнозировать и проверять функции, поведение, структуру и технологичность продукта. Используя особенности цифрового двойника, можно своевременно обнаружить дефект дизайна в виртуальном мире и быстро внести изменения, которые улучшат дизайн изделия и работоспособность, избегая проверки и тестирования на физическом объекте [4].

Для полного представления взаимодействия цифрового двойника и физического объекта необходимо сконструировать информационно-управляющую систему и модель обмена данными между физическим объектом и цифровой моделью. Данное представление изображено на Рис. 1 [5].

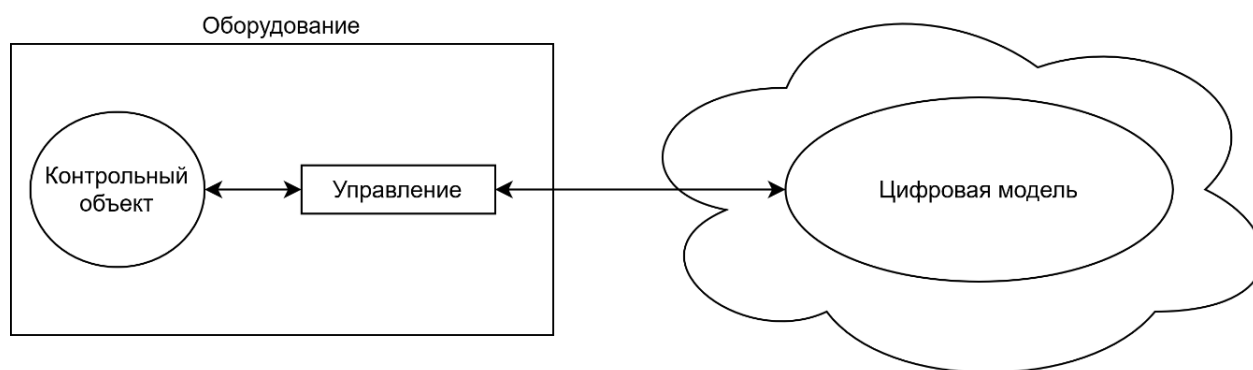


Рис. 1 – Модель обмена данными

На представленной модели конфигурировано несколько взаимодействующих агентов: цифровая модель, контрольный объект и блок управления, которые могут быть виртуализированы с помощью предложенных концепций [6]. Разбор этих концепций представлен далее.

### Разбор виртуализирования модели с помощью информационного морфизма и анализа

За определяющие морфологические признаки здесь взяты те свойства и признаки межагентного и межслойного взаимодействия, которые дают основания продуктивно использовать понятия и положения информационного морфизма (или шире, межагентного взаимодействия в мультимедиа средах), как генерального фактора, описывающего и, по возможности, регулирующего качество указанных взаимодействий (как это показано в анализе взаимодействия цифрового двойника в мультимедиа информационной системе).

Это характерно для той ситуации, когда вся упомянутая совокупность признаков межагентных и других взаимодействий сводится к обобщенному видению, названному здесь информационным морфизмом. Разумеется, возможны и иные альтернативные подходы, не связанные с анализом сущностей и упорядочениями информационного морфизма. То есть вполне возможно представление всех факторов межагентных и других взаимодействий в виде набора (матрицы) вероятностных или детерминированных функций, описывающих всё разнообразие определяющих это взаимодействие факторов [7].

Однако, ценность введенного рядом авторов в теорию информационных процессов и систем понятия информационного морфизма как генерального обобщения всех этих свойств и признаков существенно обобщает и представляет в ясном обозримом виде всю эту совокупность в одном едином показателе – морфизме. Информационный морфизм в данном случае — это обнаружение и межагентная передача информации с последующей возможностью ее обработки в некоем заданном определенном, вероятно замкнутом информационном пространстве.

### Разбор методов конструирования модели в смешанной реальности

Исходя из представленного выше анализа и разбора информационного морфизма для виртуализированных моделей, термином «смешанная реальность» вводится следующее онтологическое толкование: возможность одновременного существования и взаимодействия в едином информационном мультимедиа поле в разнообразных сочетаниях виртуальной реальности, дополненной реальности, этих же средств со встроенной компьютерной графикой и анимацией, средствами тестирования и средствами оценки знаний, причем с возможностью функционирования под разными информационными платформами, с использованием различных языков, приложений и других многообразных различий, свойственных современным мультимедиа средам [8].

Таким образом, последующее конструирование и изложение наукоёмкой составляющей моделей настоящего исследования сводится к следующему:

1. Определение универсального поля виртуальных и иных компонентов и композиций в составе смешанной реальности мультимедиа информационных систем с позиции унифицированного подхода.

2. Анализ указанного поля и разработка для него универсальных многофакторных матриц межагентных взаимодействий в условиях обширного варьирования различных компонентов мультимедиа видео и аудио, виртуальной и дополненной реальности, инженерной графики, средств тестирования и контроля и т.д. с использованием различных языков и приложений и другими многообразными различиями свойственным современным мультимедиа средам. В том числе с применением концептуальных футуристических технологий, таких, как голограммы [9].

3. Составление универсальной матрицы взаимодействий в мультимедиа средах между произвольно взятыми комбинациями составляющих с последующим выделением главенствующих связей и описанием их в виде морфизмов той или иной разновидности.

4. На основании анализа предшествующего подпункта выстраивается ожидание того, что создание универсальной модели математического описания информационного морфизма, обладающей возможностями полноценной унифицированной оценки и регулированной во всей вышеобозначенной совокупности, приведёт к ясному и точному выявлению совокупной эмерджентности, как к результату взаимодействий между предложенными моделями [10].

Предположительно, основой такого описания эмерджентности могут быть полином многофакторного анализа или матрица такого рода полиномов, образующая сущность.

### Заключение

В ходе исследования показано, что путем применения информационного морфизма возможна реализация двух концепций виртуализирования информационных систем: виртуализирование путём оценивания и улучшения информационного морфизма и анализа, виртуализирование с использованием конструирования в смешанной реальности (например, голограммы).

В процессе анализа концепций виртуализирования авторами был сделан ряд практических выводов, во многом подтверждающих теоретические посылы настоящего эссе.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Conflict of Interest

None declared.

### Список литературы / References

1. Мордвинов В.А. Онтология моделирования и проектирования семантических информационных систем и порталов / В.А. Мордвинов // Справочное пособие, 2005 – 273 с.)
2. Болбаков Р.Г. Развитие и применение когнитивно-семантических методов и алгоритмов в мультимедийных образовательных порталных системах / Р.Г. Болбаков: диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук: 05.13.01 – МИРЭА, М. 2013 – 184с.: ил. РГБ ОД, 61 14-5/425.
3. Уит А.В. Трансоанализ / А.В. Уит. Монография: / Книга 1, Москва, 2010 – 223 с.
4. Иванов М. А. Разработка программного обеспечения для системы энергоэффективных мехатронных устройств с интеллектуальной системой управления / М. А. Иванов, А. О. Савельев, В. М. Саклаков // Кибернетика и программирование. – 2017. – № 6. – С. 9–18. [Электронный ресурс] URL: <https://clck.ru/SN6tv> (дата обращения: 10.11.2020)
5. Пономарев К. С. Цифровой двойник производства — средство цифровизации деятельности организации / К. С. Пономарев, А. Н. Феофанов, Т. Г. Гришина // Управление в социальных и экономических системах. – 2019. – С. 11–17.
6. Кокорев Д. С. Применение цифровых двойников в производственных процессах / Д. С. Кокорев, Н. П. Посмаков // Technical Science. — 2019. — N 50. — С. 38–45.
7. Григорьев Э. А. Когнитивная роль интуитивных гипотез и визуального образа моделируемой реальности / Э. А. Григорьев // CASC'2001. С. 5–16.
8. Simon H. A. Foundations of cognitive science / H. A. Simon, C. A. Kaplan // Foundations of Cognitive Science, MIT Press, Cambridge MA, 1989.
9. The Blackwell Dictionary of Cognitive Psychology / ed. by M. W. Eysenk Cambridge. Massachusetts: Basil Blackwell Ltd, 1990.
10. Цветков В. Я. Информатизация: Создание современных информационных технологий. Часть 1 Структуры данных и технические средства / В. Я. Цветков. - М.: ГКНТ, ВНТЦентр, 1990. - 118 с.)

### Список литературы на английском языке / References in English

1. Mordvinov V.A. Ontologija modelirovanija i proektirovanija semanticheskikh informacionnyh sistem i portalov [Ontology of modeling and design of semantic information systems and portals] / V.A. Mordvinov // Spravochnoe posobie [Handbook] - 2005 – 273 p.) [in Russian]
2. Bolbakov R.G. Razvitie i primenenie kognitivno-semanticheskikh metodov i algoritmov v mul'timedijnyh obrazovatel'nyh portal'nyh sistemah: dissertacija na soiskanie uchjonoj stepeni kandidata tehniceskikh nauk [Development and application of cognitive-semantic methods and algorithms in multimedia educational portal systems: dissertation for the degree of candidate of technical sciences] / R.G. Bolbakov: 05.13.01 – MIREA, M. 2013 – 184p.: il. RGB OD, 61 14-5/425. [in Russian]
3. Uit A.V. Transoanaliz. Monografija [Transoanalysis. Monograph] / A.V. Uit: / Kniga 1 [Book 1], Moskva, 2010 – 223 p. [in Russian]
4. Ivanov M. A. Razrabotka programmnoho obespechenija dlja sistemy jenergoeffektivnyh mehatronnyh ustrojstv s intellektual'noj sistemoj upravlenija [Software development for a system of energy-efficient mechatronic devices with intelligent system control] / M. A. Ivanov, A. O. Savel'ev, V. M. Saklakov // Kibernetika i programmirovanie [Cybernetics and programming]. — 2017. — № 6. — P. 9–18. [Electronic resource] URL: <https://clck.ru/SN6tv> (accessed: 10.11.2020) [in Russian]

5. Ponomarev K. S. Cifrovoj dvojn timer proizvodstva — sredstvo cifrovizacii dejatel'nosti organizacii ["Digital Twin" of production - a tool of digitalization of the organization's activities] / K. S. Ponomarev, A. N. Feofanov, T. G. Grishina // *Upravlenie v social'nyh i jekonomicheskikh sistemah* [Management in social and economic systems]. — 2019. — P. 11–17. [in Russian]
6. Kokorev D. S. Primenenie cifrovyh dvojnikov v proizvodstvennyh processah [Application of digital duplicates in production processes] / D. S. Kokorev, N. P. Posmakov // *Technical Science*. — 2019. — N 50. — P. 38–45. [in Russian]
7. Grigor'ev Je. A. Kognitivnaja rol' intuitivnyh gipotez i vizual'nogo obraza modeliruemoj real'nosti [Cognitive role of intuitive hypotheses and visual image of simulated reality] / Je. A. Grigor'ev // *CASC'2001*. P. 5–16. [in Russian]
8. Simon H. A. Foundations of cognitive science / H. A. Simon, C. A. Kaplan // *Foundations of Cognitive Science*, MIT Press, Cambridge MA, 1989.
9. The Blackwell Dictionary of Cognitive Psychology / ed. by M. W. Eysenk Cambridge. Massachusetts: Basil Blackwell Ltd, 1990.
10. Cvetkov V. Ja. Informatizacija: Sozdanie sovremennyh informacionnyh tehnologij. Chast' 1 Struktury dannyh i tehicheskie sredstva [Informatization: Creation of modern information technologies. Part 1 - Data structures and technical tools] / V. Ja. Cvetkov. - M.: GKNT, VNTCentr, 1990. - 118 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.102.12.006>**СПЕЦИФИКА ДЕМОНТАЖА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ, ВЫВОДИМЫХ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ АЭС**

Научная статья

**Енговатов И.А.<sup>1</sup>, Коваленко Ж.А.<sup>2,\*</sup>**<sup>1,2</sup> Национально исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия

\* Корреспондирующий автор (Zhannakovalenko1994[at]yandex.ru)

**Аннотация**

В статье обозначены основные проблемы, возникающие при осуществлении работ по выводу из эксплуатации энергоблоков атомных станций. Представлены методики проведения радиационного обследования, с помощью которых собираются данные для получения комплексной оценки радиационной составляющей в различных конструкциях. Рассмотрены основные особенности осуществления демонтажа конструкций и оборудования энергоблоков АЭС. Предложена классификация помещений по санитарным зонам в зависимости от мощности дозы остаточного излучения. Выделены главные принципы осуществления демонтажных работ при выводе из эксплуатации атомных электростанций, которые позволяют осуществлять данные работы наиболее безопасным путем по отношению к персоналу и окружающей среде.

**Ключевые слова:** АЭС, вывод из эксплуатации, демонтаж конструкций и оборудования, наведенная активность, радиоактивные отходы.

**SPECIFICS OF DISMANTLING DECOMMISSIONED BUILDINGS AND STRUCTURES AT NUCLEAR POWER PLANTS**

Research article

**Engovatov I.A.<sup>1</sup>, Kovalenko Zh.A.<sup>2,\*</sup>**<sup>1,2</sup> Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

\* Corresponding author (Zhannakovalenko1994[at]yandex.ru)

**Abstract**

The article identifies the main problems that arise during the decommissioning of nuclear power plant units. The study presents the methods for conducting radiation safety audits, which are used to collect data with the goal of obtaining a comprehensive assessment of radiation in various structures. The article considers the main features of dismantling structures and equipment of nuclear power plant units, and proposes the classification of premises by sanitary zones depending on the dose rate of residual radiation. The article highlights the main principles of dismantling operations during the decommissioning of nuclear power plants, which allow these operations to be carried out in the safest way both for the personnel and the environment.

**Keywords:** nuclear power plant, decommissioning, dismantling of structures and equipment, induced activity, radioactive waste.

Главными проблемами, возникающими в период осуществления демонтажных работ при выводе из эксплуатации блока атомной станции, являются обеспечение радиационной безопасности работников и населения и обеспечение экологической безопасности окружающей среды.

И первостепенной задачей является осуществление эффективной и безопасной ликвидации каждого конкретного объекта, используя специальные устройства и применяя новейшие технологии.

Вывод из эксплуатации блоков атомных станций принципиально отличается от вывода любого промышленного предприятия тем, что на атомной станции возникает специфическая проблема радиоактивного загрязнения и активации (наведенной активности) строительных защитных конструкций, части оборудования и помещений, так называемая остаточная радиоактивность. Несмотря на то, что такие помещения и конструкции составляют всего 20% от общего количества, именно эти 20% принципиально отличают вывод из эксплуатации атомной станции от любого промышленного предприятия [1].

Наличие наведенной активности и радиоактивного загрязнения приводит к тому, что демонтажные работы будут осуществляться в радиационно-опасных условиях для персонала. Ожидаемая коллективная эффективная доза персонала, выполняющего демонтажные работы блока атомной станции мощностью 1000 МВт, может составить 10 чел.-Зв [2]. Что в 10 раз больше значений, установленных нормами. Принцип минимизации облучения требует, чтобы коллективные годовые эффективные дозы не превышали 1 чел.-Зв [3].

В результате при демонтаже оборудования и зданий образуется большое количество радиоактивных отходов (РАО). Объемы РАО могут достигать десятки тысяч тонн. В среднем при демонтаже одной современной атомной станции количество отходов составляет 100 000 тонн (бетон), 5000 тонн (сталь) и 500 тонн других (несгораемых) РАО. Причем более 90% объема составляют низкоактивные отходы [4].




Существующий опыт вывода из эксплуатации показал, что после демонтажа реактора и внутрикорпусных систем основным источником радиоактивности дозовых нагрузок на персонал и объемов радиоактивных отходов, являются технологическое оборудование и железобетонные защитные конструкции.

Данные конструкции суммарно составляют около 80% от всех радиоактивных отходов [1].

Для принятия решения по применению средств технологического оснащения, используемых при выполнении демонтажных работ, необходимо иметь представление с какими дозовыми нагрузками придется столкнуться.

Исследование помещений блоков АЭС по мощности дозы позволяют классифицировать данные помещения по трем группам (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Классификация помещений по санитарным зонам

Группа классификации помещений	Идентификатор	Мощность дозы гамма-излучений, мкр/сек
I группа	 красный	выше 100
II группа	 желтый	выше 10
III группа	 зеленый	менее 10

К первой группе относятся помещения, где мощность дозы гамма-излучения выше 100 мкр/сек и демонтажные работы должны выполняться при помощи дистанционно управляемых средств.

Вторая группа – помещения, где мощность дозы гамма-излучения выше 10 мкр/сек. Демонтаж оборудования и другие сопутствующие операции выполняются при помощи автоматизированных и механизированных средств, а в случае, когда дозозатраты на проведение работ не превышают 0,017 бэр за смену на человека, при помощи ручных средств технологического оснащения.

И к третьей группе относятся помещения, в которых мощность излучения менее 10 мкр/сек. В данных условиях все демонтажные работы выполняются при помощи ручных технологических средств [5].

При проведении радиационного обследования помещений используются следующие методики:

- методика измерения пространственного распределения мощности дозы гамма-излучения;
- методика измерения плотности потока бета- и альфа-частиц с поверхности загрязненного оборудования и строительных конструкций;
- методики отбора проб (снятие мазка, холодной резки для выделения фрагмента материала, электрохимическая, отбора кернов и т.п.) и их измерений;
- методики определения радионуклидного состава и удельной активности источников гамма-излучения.

Результаты радиологического обследования заносятся в комплексную информационную модель энергоблока, которая содержит единую трехмерную модель, наполнена технической документацией, схемами и привязками оборудования, т.е. содержит актуальную информацию по конфигурации энергоблока. Данные модели позволяют хранить, передавать и, главное, использовать детальную информацию о станции.

Для некоторых станций уже описаны концепты создания имитационных моделей вывода из эксплуатации, основной целью которых является снижение издержек и повышение безопасности осуществления работ по выводу из эксплуатации за счет предварительного компьютерного имитационного моделирования и оптимизации операций, необходимых при выводе. Исходя из анализа данных моделей, существует возможность сформировать оптимальный диапазон времени для вывода из эксплуатации, который как раз и определяется двумя главными факторами – радиоактивным распадом и деградацией элементов конструкций и установок. Такой подход на основе анализа затраты - выгода или вред-польза был предложен в работе [6].

Применение имитационной модели было опробована в рамках работ по выводу из эксплуатации первой очереди Белоярской АЭС [7], [8].

В ходе моделирования процессов работ по демонтажу графитовой кладки был выявлен ряд недостатков изначально выбранной технологии и предложены необходимые модификации данной технологии [9].

Выбор варианта снятия с эксплуатации проводится в несколько этапов. Для того чтобы определиться, какие требования норм будут применяться к работам по выводу из эксплуатации, каковы будут финансовые затраты, применяемые технологии, проводится первоначальная оценка, на основании которой разрабатывается концепция вывода конкретного энергоблока.

Определение времени хранения блока атомной станции до начала работ по ее демонтажу является оптимизационной задачей, которая способствует уменьшению ущерба, связанному с радиационной и экологической безопасностью работающего персонала, населения и окружающей среды. Для того, чтобы решить такую задачу затраты на обращение с радиоактивными отходами –  $S_1(T)$ , уменьшающиеся с увеличением времени выдержки  $T$ , следует сравнить с затратами на хранение объекта под наблюдением до начала демонтажных работ –  $S_2(T)$ , которые естественно увеличиваются со временем. Учитывая снижение уровней мощности наведенной активности и радиоактивного загрязнения в помещениях и от оборудования за счет естественного распада примерно по функции  $A_1(T)$ , можно определить экономически оптимальное время для выполнения демонтажных работ. Исходя из данных рис.1, можно установить, что оптимальный срок выдержки до начала демонтажных работ составляет около 20 лет.

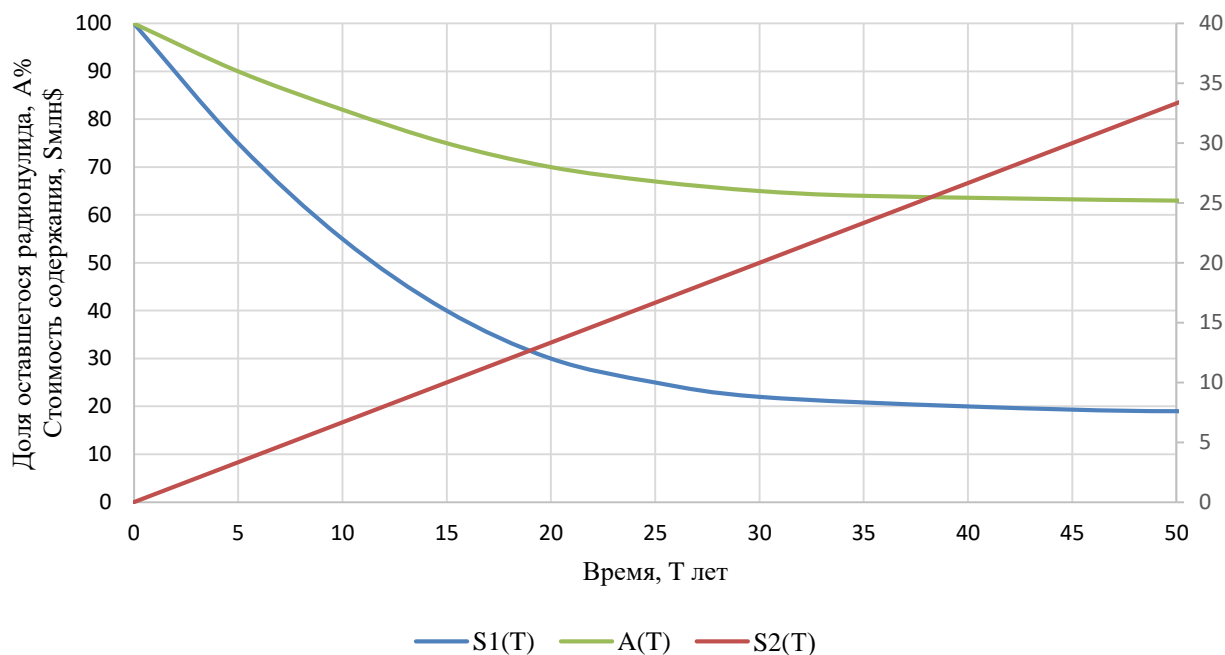


Рис. 1 – График зависимостей функций  $S1(T)$  и  $S2(T)$ , от времени выдержки (T), учитывая  $A(T)$

Концепция снятия с эксплуатации периодически пересматривается с учетом новых факторов, влияющих на вывод из эксплуатации. К примеру, актуализация данных о состоянии установки, развитие техники и технологий снятия с эксплуатации и обращения с РАО, изменение требований нормативных актов, опыт вывода из эксплуатации, социальные аспекты и др.

При выборе конечной стратегии необходимо также учесть такие аспекты, как финансовые ограничения, возможности по захоронению РАО, уровень вовлеченности населения и его социальную активность, необходимость создания новых технологий, а также оценку всевозможных рисков.

Наличие финансовых средств – один из главных факторов, определяющих стратегию вывода. Если выбранный вариант предполагает привлечение более значительных финансовых ресурсов, чем имеется, то необходимо добиться увеличения финансирования либо выбрать другой менее дорогостоящий вариант.

К тому же должна быть рассмотрена возможность захоронения предполагаемых объемов РАО, образующихся при снятии с эксплуатации, если это невозможно, необходимо проектировать и строить специальные хранилища либо использовать вариант захоронения на других площадках.

Таким образом, различные варианты проектов снятия с эксплуатации оцениваются по таким критериям, как стоимость, будущие перспективы использования площадки, безопасность персонала, населения и окружающей среды во время и после завершения работы.

Для минимизации объемов радиоактивных отходов требуется последовательный демонтаж, обработка и переработка радиоактивных отходов и материалов для повторного использования, учитывая спад радиоактивности оборудования и конструкций [10].

Исследовав помещения и определив существующие на данный момент дозы излучения, возможно однозначно определить период времени, когда помещения перейдут из одной санитарной зоны в другую и подобрать соответствующую стратегию осуществления демонтажных работ.

Методы демонтажа выбираются на основании следующих факторов: радиологических критериев, наличия и возможности адаптации подходящего оборудования, знания возможных проблем, имеющегося в наличии времени, рентабельности предложенных решений. Важным моментом с точки зрения радиологии является ограничение воздействия радиации на рабочих в контролируемых зонах. Это может быть достигнуто путем применения следующих мер (отдельных или комплекса): ограничения времени работы, увеличения расстояния от источника, соответствующих защитных средств. Выбранное оборудование должно быть легким в использовании, знакомым, надежным, хорошо смонтированным и испытанным. Это оборудование применяется для работ, проводимых как вручную, так и дистанционно, причем необходимо учесть, что настройка и перемещение систем дистанционного управления требует присутствия рабочих в радиоактивной зоне и может потребовать больше времени, чем демонтаж вручную [11].

Как правило, демонтаж предполагает физическую разборку оборудования на составные части. В отличие от демонтажа, который оставляет части оборудования неповрежденными, применяется сегментация, которая предполагает разделение частей оборудования на меньшие части с использованием резака, взрывчатки или других средств. Демонтажу и сегментации подвергается не только оборудование внутри здания, но и сами строительные конструкции зданий и сооружений.

Все методы демонтажа и сегментации оборудования условно можно сгруппировать в две основные группы: механические и тепловые. В механических методах используются: кусачки и ножницы; механические пилы; циркулярные резки; абразивные резки; алмазная проволока; резка методом взрыва; керновое бурение. К тепловым методам относятся: плазменная резка; кислородная резка; огневая резка; термореактивное копые; дуговая пила.

Перед началом демонтажных работ следует вывести все не загрязнённое радиацией оборудование, конструкции и материалы, подлежащие вторичной переработке, и, самое важное, демонтаж начинается от менее загрязнённых помещений (III группа) к более радиационно-загрязнённым (I группа).

Все высокоактивное оборудование помещается в реакторное отделение на период времени производства работ по демонтажу низкоактивного и слабоактивного оборудования, материалов и конструкций для уменьшения распространения РАО, улучшения фактической радиационной обстановки и защиты персонала.

В каждой санитарной зоне первым действием будет дезактивация оборудования, затем его демонтаж. После чего демонтируются стены и перекрытия. Демонтаж производится сверху вниз. Мостовые краны следует демонтировать в последнюю очередь.

В целях исключения распространения ионизирующего излучения и радиоактивных веществ в атмосферу целесообразно демонтировать крышу и наружные стены зданий в последнюю очередь. Это решение дает возможность проведение демонтажных работ внутреннего оборудования и конструкций без опасения о вредных выбросах в окружающую среду.

Таким образом, можно выделить несколько главных принципов осуществления демонтажных работ при выводе из эксплуатации атомных электростанций, которые позволяют осуществлять данные работы наиболее безопасным путем по отношению к персоналу и окружающей среде:

1. Перед выполнением демонтажных работ проводится анализ радиологического обследования с целью разбиения помещений на санитарные зоны по степени загрязнённости.
2. Перед началом демонтажных работ анализируются все возможные варианты и выбирается самая оптимальная и экономически выгодная стратегия.
3. Демонтаж выполняется с выбором первоочередности помещений: от наименее загрязнённых помещений к более загрязнённым.
4. С целью сокращения твердых радиоактивных отходов определяется количество радиоактивных материалов, которые возможно дезактивировать, переработать и в дальнейшем использовать.
5. Все средства технологического оснащения должны быть подобраны исходя из профессионального, безопасного и своевременного их использования.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Енговатов И.А. Комплексное инженерное и радиационное обследование в проблеме вывода из эксплуатации энергоблоков АЭС / И.А. Енговатов // Вестник МГСУ. – 2012. - №1. – С. 125-132.
2. Берела А.И. О радиационной безопасности демонтажных работ при выводе из эксплуатации блоков АЭС / А.И. Берела, М.Н. Галанова, В.А. Игнаткин // Глобальная ядерная безопасность. – 2014. - №3(12). – С. 11-16.
3. СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)». – Введ. 2009-01-09.
4. Былкин Б.К., Енговатов И.А. Вывод из эксплуатации реакторных установок / Б.К. Былкин, И.А. Енговатов. – М-во образования и науки Росс. Федерации, Моск. гос. строит. ун-т. Москва: МГСУ, 2014. 228 с.
5. Берела А.И. Разработка технологических процессов демонтажа оборудования при выводе из эксплуатации блоков атомных станций / А.И. Берела, А.Г. Федотов, С.А. Томилин, Б.К. Былкин. Инженерный вестник Дона. – 2013. - №2(25). – С. 64.
6. Енговатов И.А. Радиационная безопасность: вывод из эксплуатации реакторных установок гражданского и военного назначения. Монография / И.А. Енговатов, В.П. Машкович, Ю.В. Орлов, Б.Г. Пологих, Н.С. Хлопкин, С.Г. Цыпин. / МНТЦ – 2005. - Т. 4.
7. Былкин Б.К. Создание и применение многомерных информационных моделей блока АЭС при выводе из эксплуатации / Б.К. Былкин, В.Л. Тихоновский, Д.В. Чуйко. // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2012. - №3. С. 91-101.
8. Былкин Б.К. Интерактивная имитационная трехмерная модель как инструмент обеспечения радиационной безопасности персонала при выполнении демонтажных работ / Б.К. Былкин, Д.В. Чуйко, В.Л. Тихоновский. // Ядерная и радиационная безопасность. – 2016. – №1(79). С. 28-32.
9. Былкин Б.К. Опыт применения имитационной модели демонтажа графитовой кладки реактора АМБ-100 Белоярской АЭС / Б.К. Былкин, В.В. Кононов, П.А. Бунто, О.В. Гуляев, Д.В. Свиридов, В. Е. Трифонов, В.Л. Тихоновский, Д.В. Чуйко. // Исследования наукограда. – 2012. - №2(2). – С. 59-64.
10. Абалкина И.Л. Особенности обращения с РАО от вывода из эксплуатации / И.Л. Абалкина, И.И. Линге. // Радиоактивные отходы. – 2018. - №3(4). – С. 6-15.
11. Берела А.И. Технологическое оборудование, применяемое в работах по выводу из эксплуатации блоков АЭС / А.И. Берела, А.Г. Федотов, С.А. Томилин. // Глобальная ядерная безопасность. – 2013. - №1(6). – С. 58-66.

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Engovatov I. A. Kompleksnoe inzhenernoe i radiacionnoe obsledovanie v problem vivoda iz expluatacii energoblokov AES [Comprehensive engineering and radiation surveys in decommissioning of nuclear power plants] / I. A. Engovatov // Vestnik MGSU [Vestnik MGSU]. – 2012. - №1. – P. 125-132. [in Russian]
2. Berela A. I. O radiacionnoy bezopasnosti demontazhnykh rabot pri vivode iz expluatacii blokov AES [Radiation security of dismantling works during the mothballing of NPP's blocks] / A. I. Berela, M. N. Galanova, V.A. Ignatkin // Globalnaya yadernaya bezopasnost [Global Nuclear Safety]. - 2014. - №3(12). – P. 11-16. [in Russian]
3. SanPiN 2.6.1.2523-09 «Normy radiacionnoy bezopasnosti (NRB-99/2009)» [Radiation safety standards (NRB-99/2009)]. – 2009-01-09. [in Russian]



4. Bylkin B. K. Vyvod iz expluatacii reaktornykh ustanovok [Decommissioning of reactor facilities] / B. K. Bylkin, I. A. Engovatov // Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Moscow State University of Civil Engineering, Moscow: MGSU, 2014. – 228 p. [in Russian]
5. Berela A. I. Razrabotka tekhnologicheskikh processov demontazha oborudovaniya pri vyvode iz expluatacii blokov atomnykh stantsiy [Simulation of the design activity diversification of innovative enterprise] / A. I. Berela, A. G. Fedotov, S. A. Tomilin, B. K. Bylkin // Inzhenernyy vestnik Dona [Engineering Journal of Don]. – 2013. - №2(25). – P. 64. [in Russian]
6. Engovatov I. A. Radiatsionnaya bezopasnost: vivod iz expluatacii reaktorniykh ustanovok grazhdanskogo i voennogo naznacheniya. Monografiya [Radiation Safety Assurance: Decommissioning Nuclear Reactors at Civil and Military Installations. Monography] / I.A. Engovatov, V.P. Mashkovich, Y.V. Orlov, B.G. Pologikh, N.S. Khlopkin, S.G. Tsypin. // ISTC Science and Technology Series. – 2005. - Vol. 4. – Arlington. VA 22201. USA. [in Russian]
7. Bylkin B. K. Sozdanie i primeneniye mnogomernykh informatsionnykh modeley bloka AES pri vyvode iz expluatacii [Creation and application of multidimensional information models of NPP unit for decommissioning] / B. K. Bylkin, V. L. Tikhonovsky, D. Y. Chuyko // Izvestiya vuzov. Yadernaya energetika [Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika]. – 2012. - №3. P. 91-101. [in Russian]
8. Bylkin B. K. Interaktivnaya imitatsionnaya trekhmernaya model kak instrument obespecheniya radiatsionnoy bezopasnosti personala pri vypolnenii demontazhnykh rabot [Interactive simulation 3D model as a tool supporting personnel radiation safety at decommissioning activities] / B. K. Bylkin, D. Y. Chuyko, V. L. Tikhonovsky // Yadernaya i radiatsionnaya bezopasnost [Nuclear and Radiation Safety Journal]. - 2016. – №1(79). P. 28-32. [in Russian]
9. Bylkin B. K. Opyt primeneniya imitatsionnoy modeli demontazha grafitovoy kladki reaktor AMB-100 Beloyarskoy AES [Experience of using a simulation model of the dismantling of the reactor graphite stack amb-100 Beloyarsk] / B. K. Bylkin, V. V. Kononov, P. A. Bunto, O.V. Gulyaev, D. V. Sviridov, V. E. Trifonov, V. L. Tikhonovsky, D. Y. Chuyko // Issledovaniya naukoigrada [The Research of the Science City]. – 2012. -№2(2). – P. 59-64. [in Russian]
10. Abalkina I. L. Osobennosti obrasheniya s RAO ot vyvoda iz expluatacii [Peculiarities of decommissioning waste management] / I. L. Abalkina, I. I. Linge // Radioaktivnye othody [Radioactive waste]. -2018. - №3(4). – P. 6-15. [in Russian]
11. Berela A. I. Tekhnologicheskoe oborudovanie, primenyaemoe v rabotakh po vyvodu iz expluatacii blokov AES [Manufacturing equipment for NPP units withdrawal] / A. I. Berela, A. G. Fedotov, S. A. Tomilin // Globalnaya yadernaya bezopasnost [Global Nuclear Safety]. – 2013. - №1(6). – P. 58-66. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.102.12.007>**ЭМПИРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТВЕРДОСТИ  
 $\alpha$  - ТВЕРДОГО РАСТВОРА АЗОТИРОВАННОГО СЛОЯ**

Научная статья

**Крукович М.Г.<sup>1,\*</sup>, Федотова А.Д.<sup>2</sup>**<sup>1</sup>ORCID: 0000-0001-5563-093X;<sup>1, 2</sup> Российский университет транспорта (МИИТ), Москва, Россия

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

**Аннотация**

На основании множества проведенных экспериментов азотирования в газовых, жидких и твердых средах различных конструкционных сталей установлено влияние легирующих элементов на кинетику роста фаз слоя и твердость. Разработана и апробирована эмпирическая модель предиктивного расчета распределения содержания азота и твердости по толщине  $\alpha$  – твердого раствора азотированного слоя. Модель предусматривает применение термодинамического коэффициента активности азота и его зависимости от суммарного влияния легирующих элементов. Представлены сравнительные результаты численных экспериментов расчета максимальной твердости и ее распределения по толщине  $\alpha$  - слоя с реальными экспериментальными данными на различных сталях. Расчет по представленной модели показал более высокое совпадение с экспериментами, чем рекомендуемые в литературных источниках методики расчета.

**Ключевые слова:** азотированный слой, эмпирическая модель, твердость,  $\alpha$  – фаза, легирующие элементы, конструкционная сталь, коэффициент термодинамической активности азота, предиктивный расчет.

**EMPIRICAL SIMULATION OF THE HARDNESS DISTRIBUTION OF AN  $\alpha$ -SOLID SOLUTION  
OF A NITRIDED CASE**

Research article

**Krukovich M.G.<sup>1,\*</sup>, Fedotova A.D.<sup>2</sup>**<sup>1</sup>ORCID: 0000-0001-5563-093X;<sup>1, 2</sup> Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia

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

**Abstract**

The study establishes the influence of alloying elements on the kinetics of layer phase growth and hardness based on numerous nitriding experiments in gas, liquid, and solid media of various types of structural steel. The article develops and tests an empirical model for predictive calculation of the distribution of nitrogen content and hardness over the depth of the  $\alpha$  – solid solution of the nitrided case. The model provides for the application of the thermodynamic coefficient of nitrogen activity and its dependence on the total effect of the content of alloying elements. The research presents comparative results of numerical experiments for calculating the maximum hardness and its distribution over the depth of the  $\alpha$ -layer with real experimental data on various types of steel. The calculation that is based on the presented model shows a higher agreement with the experiments than the calculation methods recommended in the literature.

**Keywords:** nitrided case, empirical model, hardness,  $\alpha$ -phase, alloying elements, structural steel, coefficient of thermodynamic activity of nitrogen, predictive calculation.

**Введение**

Твердость нитридных фаз азотированного слоя, имеющих ограниченную толщину (0,01 – 0,04 мкм) в зависимости от условий обработки и материала подложки изменяется в достаточно узком интервале и составляет 1000 – 1300 HV [1], [3], [4]. В то же время она может значительно уменьшаться в зависимости от пористости поверхностного слоя. Основную часть азотированного слоя на конструкционных сталях составляет  $\alpha$ -твердый раствор с дисперсными включениями нитридов, который и определяет основные эксплуатационные характеристики слоя, сжимающие напряжения на поверхности упрочненных деталей и плавное уменьшение твердости от поверхности к сердцевине детали.

Твердость диффузионной части азотированного слоя представляет собой сумму упрочнения твердого раствора ( $\Delta_{т.р.}$ ) и упрочнения дисперсными частицами ( $\Delta_{д.ч.}$ ). Следовательно, степень упрочнения определяется концентрацией азота в слое и геометрическими параметрами выделяющихся в матрице нитридных фаз. Упрочнение при формировании диффузионной зоны, является результатом торможения дислокаций включениями нитридов, поэтому для расчета целесообразно использовать модели Мотта - Набарро и Орована. Теория Мотта и Набарро применима для случаев когерентного выделения частиц второй фазы. В этом случае при деформации частицы перерезаются движущейся дислокацией. Для матрицы с некогерентными частицами второй фазы различают три механизма дислокационного взаимодействия: для случая тонких выделений – механизм перерезания частиц, механизм огибания частиц (по Оровану) и механизм переползания (по Хиршу) [2], [5], [9].

Проведенные расчеты [10] показали, что максимальное упрочнение азотированного слоя можно получить как за счет когерентных, так и некогерентных выделений путем соответствующей оптимизации структуры при реализации расчетных показателей: диаметра выделений и дистанции между ними. В то же время расчет суммарной твердости азотированных легированных сталей по вышеупомянутой методике приводит к получению результатов с ошибкой ~ 15% [5].

Таким образом, целью данной работы является разработка эмпирической модели расчета твердости  $\alpha$  – фазы азотированного слоя, обеспечивающей получение более достоверных результатов.

### Сущность разработанной модели

Моделирование распределения твердости по толщине слоя  $\alpha$ -твердого раствора конструкционных сталей в данной работе проводилось в два этапа. На первом этапе рассчитывалось влияние легирующих элементов (до 6 % по массе) на твердость  $\alpha$ -твердого раствора в зоне, примыкающей к зоне нитридов на расстоянии  $\sim 0,025$  мм. А на втором этапе находили формулы влияния легирующих элементов на распределение твердости от поверхности вглубь стальной основы с учетом коэффициента термодинамической активности азота.

Твердость азотированного слоя в начале  $\alpha$  - твердого раствора представляется как сумма приращения твердости слоя за счет азота и легирующих элементов, и твердости подложки (термически обработанной упрочняемой стали) [5], [11].

$$HV_{N.СТ} = \Delta HV_{N.СЛОЯ} + HV_{СТ.ТО} \quad (1)$$

На основании проведенных экспериментов и анализа литературных данных были разработанные формулы для расчета приращения твердости ( $\Delta HV_{N.СЛОЯ}$ ) в зависимости от содержания каждого легирующего элемента в материале подложки, которые позволяют предварительно оценить с учетом правила аддитивности возможную суммарную твердость азотированной стали при совокупном влиянии этих элементов. Полученное расчетное значение твердости характеризует твердость в начале  $\alpha$  – слоя. Далее представленная модель предусматривает расчет распределения твердости, исходя из рассчитанной или экспериментально определенной толщины  $\alpha$  – слоя и распределения азота.

### Влияние легирующих элементов в стали на приращение твердости

Исследование влияния содержания легирующих элементов на твердость  $\alpha$  – твердого раствора азотированного слоя проводилось на различных конструкционных сталях, в которых изменялась концентрация только одного из элементов. При этом сделано допущение, что содержание легирующих элементов на всем протяжении слоя соответствует их среднему содержанию в стали. Полученные зависимости влияния каждого элемента были аппроксимированы математическими формулами с высокой степенью достоверности (Таблица 1).

Суммарное значение твердости  $\alpha$  - слоя при воздействии совокупности некоторого количества легирующих элементов определялось по формуле:

$$HV_{N.СТ.} = \sum_{i=1}^n \Delta HV_i + HV_{СТ.ТО.} \quad (2)$$

Таблица 1 – Влияние содержания легирующих элементов на приращение твердости  $\alpha$  - слоя

	Легирующий элемент	Расчетная формула	Достоверность, R <sup>2</sup>
1	Ni	$5,1095x^3 - 54,795x^2 + 192,96x + 92,079$	0,991
2	Si	$47,643x + 150$	0,9967
3	Mn	$72,558x + 153,41$	0,9991
4	V	$387,68x^{0,4038}$	0,9962
5	Cr	$8,1988x^3 - 94,883x^2 + 385,87x + 105,29$	0,9968
6	Al	$4,193x^3 - 65,062x^2 + 375,31x + 101,12$	0,9975
7	Mo	$19,038x^3 - 213,94x^2 + 715,2x - 2,4302$	0,9815
8	W	$3,2338x^3 - 35,937x^2 + 128,76x + 97,625$	0,9909
9	Ti	$8,2836x^3 - 97,2x^2 + 399,83x + 101,85$	0,9968

Примечание:  $x$  – содержание соответствующего легирующего элемента

### Расчет коэффициента термодинамической активности азота

Коэффициент термодинамической активности азота ( $\gamma^N$ ) представляет собой меру отклонения реального раствора от равновесного состояния. Он тесно связан с термодинамической активностью азота и с распределением его по толщине слоя. При этом по мере увеличения расстояния от поверхности наблюдается снижение концентрации азота и, как следствие, повышение коэффициента активности и приближение его к единице. Следовательно, он характеризует способность к поглощению азота конкретной сталью или сплавом и уменьшается от поверхности до сердцевины детали.

$$C_N = \frac{C_0}{\gamma_{Fe}^N}; \text{ или } \gamma_{Li}^N = \frac{C_0}{C_{N_i}} \quad (3)$$

где  $C_N$  – максимальное содержание азота в слое;  $C_0$  – равновесное содержание азота в  $\alpha$  - железе;  $\gamma_{Fe}^N$  – термодинамический коэффициент активности азота в железе;  $\gamma_{Li}^N$  – термодинамический коэффициент активности азота в легированной стали;  $C_{N_i}$  – максимальное содержание азота в легированной стали.

Для расчета распределения твердости по толщине  $\alpha$ -слоя наиболее приемлемым подходом является учет термодинамической активности азота в стали в зависимости от содержания легирующих элементов, которое принимается равным среднему содержанию в стали (Таблица 2).

Например, для содержания хрома в интервале до 5% по массе формула имеет вид [3]:

$$\lg \gamma_{Cr}^N = -0,54 * \sqrt{\%Cr} \quad (4)$$

В этом случае термодинамический коэффициент активности азота от содержания хрома составит:

$$\gamma_{(N,Cr)} = 10^{(-0,54 \cdot (\%Cr)^{0,5})} = 0,116; \text{ при } 3\% \text{ Cr, а концентрация азота в этом случае составит:}$$

$$C_{Cr}^N = \frac{C_{\alpha}^N}{\gamma_{(N,Cr)}} = \frac{0,09}{0,116} = 0,776 \% \text{ (по массе)} \quad (5)$$

Таблица 2 – Влияние легирующих элементов (% по массе) на термодинамический коэффициент активности азота в стали

	Легирующий элемент	Логарифм активности азота: $\lg \gamma_{(N)}$	Концентрационный интервал, %
1	Cr	$-0,54 \cdot (\%Cr)^{0,5}$	0 - 5
		$-0,0067(137 + \%Cr)$	5 - 13
2	Si	$0,5 \cdot (\%Si)$	0 - 3
3	Mo	$-0,29 \cdot (\%Mo)$	0 - 5
4	Mn	$-0,21 \cdot (\%Mn)$	0 - 3
		$-0,28 \cdot (\%Mn)$	0 - 5
5	V	$-0,895 \cdot (\%V)^{0,4}$	0 - 2,5
6	C	$0,41 \cdot (\%C)$	0 - 1,0
7	Al	0	Теоретическое влияние
		$-0,5 \cdot (\%Al)$	Расчетное влияние
8	Ni	$0,019 \cdot (\%Ni)$	0 - 5
9	Ti	$-0,588 \cdot (\%Ti)$	0 - 2
10	Zr	$-0,22 \cdot (\%Zr)$	0 - 0,15
11	Nb	$-0,59 \cdot (\%Nb)$	0 - 0,35
12	W	$-0,118 \cdot (\%W)$	0 - 8,8
13	S	$0,8 \cdot (\%S)$	$S > 0,1$
14	Pb	$0,7 \cdot (\%Pb)^{0,5}$	$Pb > 0,1$

Термодинамический коэффициент активности азота стали от ряда легирующих элементов определяли по формуле:

$$\gamma_{ст}^N = \prod_{i=1}^n \gamma_{л.э.i}^N \quad (6)$$

В соответствии с полученным значением определяется максимальное содержание азота в  $\alpha$  - твердом растворе

$$C_{CT}^N = \frac{C_{\alpha}^N}{\gamma_{CT}^N} \quad (7)$$

Концентрация азота по толщине  $\alpha$  - слоя в конкретной точке ( $y_i$ ) определяется по формуле, полученной из решения уравнений Фика и кинетическим закономерностям роста фаз слоя:

$$C_i^N = C_{min}^N + \frac{C_{CT,max}^N (y_{\alpha} - y_i)^3}{(y_{\alpha} - y_{нитр})^3} \quad (8)$$

где:  $C_{min}^N$  – минимальная концентрация азота в стали, не вызывающая изменение структуры и свойств;

$y_{\alpha}$  – толщина слоя  $\alpha$  – твердого раствора, определенная металлографическим методом;

$y_{нитр}$  – толщина слоя нитридов.

Сравнение рассчитанных значений твердости в начале  $\alpha$  – слоя с экспериментальными данными (Таблица 3), полученными при обработке в расплавах солей, показал хорошее соответствие.

Распределение твердости по сечению слоя коррелирует с распределением азота с соответствующим коэффициентом активности в каждой точке слоя ( $\gamma_{ст}^N$ ). В результате проведенной статистической обработки результатов экспериментальных данных была разработана полуэмпирическая формула для расчета приращения твердости в точке ( $i$ )  $\alpha$ -слоя:

$$\Delta HV_{CT}^i = 1050 \cdot \exp \left( -1,75 \sqrt[3]{\gamma_{CT}^{N,i}} \right); \quad (9)$$

Тогда твердость слоя в точке ( $i$ ) составит:

$$HV_{CT}^i = \Delta HV_{CT}^i + HV_{CT,TO} \quad (10)$$

Таблица 3 – Сравнительные данные экспериментов и расчета твердости

Марка стали	Твердость на расстоянии 25мкм от поверхности, кгс/мм <sup>2</sup>		Погрешность, %
	Эксперимент	Расчет	
10	280	297	6,07
35	375	350	6,9
80	405	438	8,2
35ХГМ	650	660	1,5
30Х2МНЮА	840	821	2,2
22ГФС	610	605	0,8
40Х5МФС	1190	1169	1,9
Х	700	649	7,2
30Х3М	880	865	2,9
35Х2Н4М	685	678	1,2
35ХГН2	630	621	1,2
А45Г2	450	446	0,9
АС15Г	315	318	0,9

Примечание: условия обработки: 570 °С; 1,5 ч; 38 % СНО

Полученные расчетные результаты численного эксперимента (Рис. 1) показывают хорошее совпадение с экспериментальными данными, а представленная эмпирическая методика позволяет легко разработать алгоритм расчета.

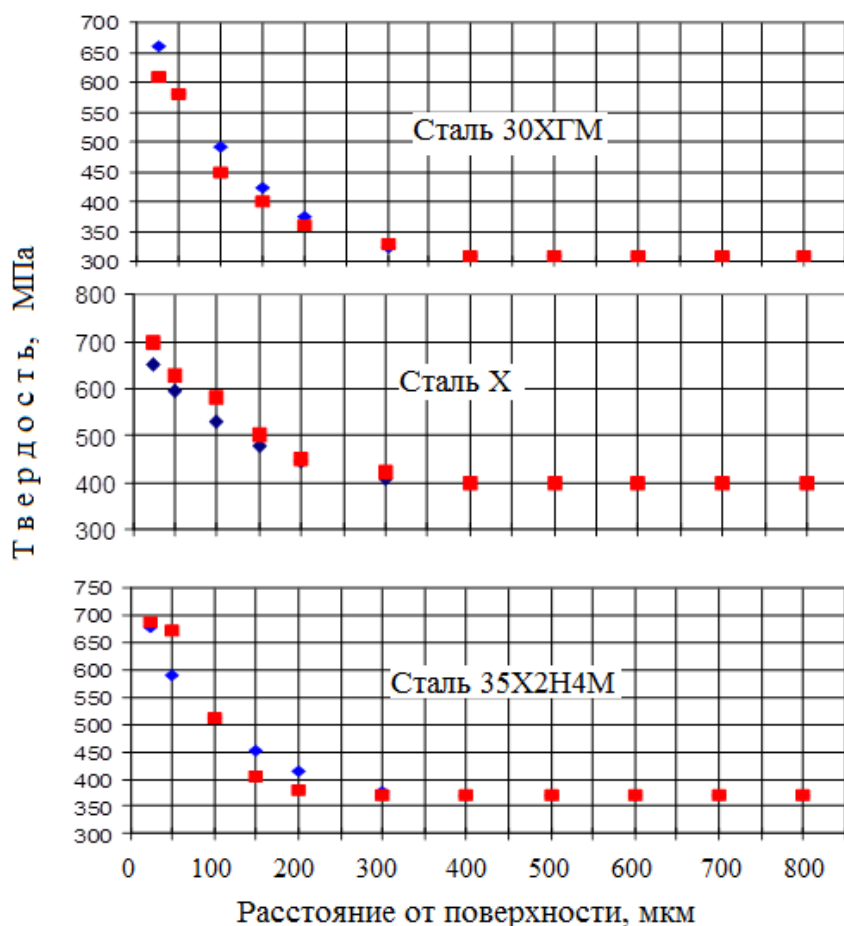


Рис. 1 – Сравнение результатов реальных и численных экспериментов: —◆— Рассчитанные значения; —■— Экспериментальные значения

Примечание: условия обработки: 570 °С; 1,5 ч; 38 % СНО

### Заключение

В работе на основании проведенных обширных экспериментов азотирования в газовых, жидких и твердых средах установлено влияние легирующих элементов обрабатываемых конструкционных сталей на кинетику роста фаз слоя и твердость. Разработана и апробирована методика предиктивного расчета распределения содержания азота и твердости по толщине  $\alpha$  – твердого раствора азотированного слоя. Методика предусматривает применение термодинамического коэффициента активности азота и его зависимости от суммарного влияния содержания легирующих элементов, что и было установлено в данной работе. Численные эксперименты расчета выходных параметров азотированных слоев на различных сталях показали более высокое совпадение с экспериментальными данными, чем рекомендуемые в литературных источниках методики расчета.

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Conflict of Interest**

None declared.

**Список литературы / References**

1. Арзамасов Б.Н. Ионная химико-термическая обработка сплавов / Б.Н. Арзамасов, А.Г. Братухин, Ю.С. Елисеев, Т.А. Панайоти. – М.: Изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана - 1999. – 400 с.
2. Лахтин Ю.М. Химико-термическая обработка металлов / Ю.М. Лахтин, Б.Н. Арзамасов. – М.: Metallurgy, 1985, 256 с.
3. Ratajski J. Model of growth kinetics of nitride layers in the binary Fe – N system/ J. Ratajski // Nitriding technology. Proceedings the 9<sup>th</sup> international seminar. Warsaw, Poland 2003. P. 149-159.
4. Mittemeijer E.J. Thermodynamics, kinetics and process control of nitriding / E.J. Mittemeijer, M.A.J. Somers // Surface Engineering, 1997, Vol. 13, N6, p. 483-497.
5. Лахтин Ю.М. Теория и технология азотирования / Ю.М. Лахтин, Я.Д. Коган, Х.-Й. Шпис, З. Бемер. - М.: Metallurgy, 1991, - 320 с.
6. Герасимов С.А. Структура и износостойкость азотированных конструкционных сталей и сплавов / С.А. Герасимов, Л.И. Куksenova, В.Г. Лаптева. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 518 с.
7. Исламкулов К.М. Моделирование процесса упрочнения малоуглеродистых сталей / К.М. Исламкулов, Ж.Т. Айменов, Д.У. Смагулов // Успехи современного естествознания. – 2014. – № 10. – С. 73-75;
8. Дин Кай Цзянь. Сопоставление твердорастворного и нитридного упрочнения азотированного хромоникелевого сплава на основе разработанной математической модели / Дин Кай Цзянь, М.Ю. Семенов// ВЕСТНИК ПНИП. - Машиностроение, материаловедение, 2016. Т. 18, № 3. – С. 41 – 51.
9. Петрова Л.Г. Моделирование процессов внутреннего азотирования жаропрочных сталей и сплавов / Л.Г. Петрова: дис. ... д-ра техн. наук. – М., 2001. – 402 с.
10. Солодкин Г.А. Расчет влияния легирующих элементов на твердость конструкционных сталей при газовом азотировании / Г.А. Солодкин, А.А. Булгач, Л.А. Глиberman // Применение ЭВМ в металлостроении и металлообработке: Сб. научн. Тр./ МАДИ. – М.: МАДИ. 1986. – С. 32-42.
11. Krukovich M.G. Simulation of the Nitride Process / M.G. Krukovich // Metal Science and Heat Treatment. V.46; Issue 1, 2; P. 25 – 31; 2004.

**Список литературы на английском языке / References in English**

1. Arzamasov B. N. Ionnaia khimiko-termicheskaia obrabotka splavov [Ionic Chemical and Heat Treatment of Alloys] / B. N. arzamasov, A. G. Bratukhin, Yu. S. Eliseev et al. - M.: Publishing House of the Bauman Moscow State Technical University. -1999. - 400 p. [in Russian]
2. Lakhtin Yu. M. Khimiko-termicheskaia obrabotka metallov [Chemical and Heat Treatment of Metals] / Yu. M. Lakhtin, B. N. Arzamasov. - M.: metallurgy, 1985, 256 p. [in Russian]
3. Ratajski J. Model of growth kinetics of nitride layers in the binary Fe – N system / J. Ratajski // Nitriding technology. Proceedings the 9<sup>th</sup> international seminar. Warsaw, Poland 2003. P. 149-159.
4. Mittemeijer E.J. Thermodynamics, kinetics and process control of nitriding / E.J. Mittemeijer, M.A.J. Somers // Surface Engineering, 1997, Vol. 13, N 6, p. 483-497.
5. Lakhtin Yu. M. Teoriia i tekhnologiiia azotirovaniia [Theory and Technology of Nitriding] / Yu. M. Lakhtin, Ya. D. Kogan, Kh. Y. Shpis et al., Moscow: Metallugriya, 1991, 320 p. [in Russian]
6. Gerasimov S. A. Struktura i iznosostoikost' azotirovannykh konstruktсионnykh stalei i splavov [Structure and Wear Resistance of Nitrided Engineering Steel and Alloys] / Gerasimov, L. I. Kuksenova, V. G. Lapteva - M.: Publishing House of the Bauman Moscow State Technical University. , 2014. - 518 p. [in Russian]
7. Islamkulov K. M. Modelirovanie protsessa uprochneniia malouglerodistykh stalei [Simulation of the Hardening Process in Low-Carbon Steel] / K. M. Islamkulov, Zh. T. Aimenov, D. U. Smagulov // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniia [Advances in Modern Natural Science]. - 2014. - No. 10. - pp. 73-75 [in Russian]
8. Ding Kai Tsien. Sopostavlenie tverdorastvornogo i nitridnogo uprochneniia azotirovannogo khromonikelevogo splava na osnove razrabotannoi matematicheskoi modeli [Comparison of Solid Solution and Nitride Hardening of Nitrided Chromium-Nickel Alloy Based on the Developed Mathematical Model] / Ding Kai Tsien, M. Yu. Semenov // [Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University]. - Mechanical engineering, materials science, 2016. Vol. 18, No. 3. - pp. 41-51 [in Russian]
9. Petrova L. G. Modelirovanie protsessov vnutrennego azotirovaniia zharoprochnykh stalei i splavov [Modeling of Internal Nitriding Processes for Heat-Resistant Steel and Alloys]: Candidate's thesis. - Moscow, 2001. - 402 p. [in Russian]
10. Solodkin G. A. Raschet vliianiia legiruiushchikh elementov na tverdst' konstruktсионnykh stalei pri gazovom azotirovanii [Calculation of the Effect of Alloying Elements on the Hardness of Structural Steels During Gas Nitriding]/ G. A. Solodkin, A. A. Bulgach, L. A. Gleberman // Primenenie EVM v metallovedenii i metalloobrabotke: Sb. nauchn. Tr. [The use of computers in physical metallurgy and metal working: A Collection of Studies] / MADI. - M.: MADI. 1986. - pp. 32-42 [in Russian]
11. Krukovich M.G. Simulation of the Nitride Process / M.G. Krukovich. Metal Science and Heat Treatment. V.46; Issue 1, 2; P. 25 – 31; 2004.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.102.12.008>**ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЦИКЛОВ АВТОМОБИЛЕЙ  
В ПРОГРАММЕ STAMM 4.1**

Научная статья

**Маняшин А.В.\***

ORCID: 0000-0001-8637-0755,

Тюменский индустриальный институт, Тюмень, Россия

\* Корреспондирующий автор (awm\_zub[at]mail.ru)

**Аннотация**

Известно, что некоторые параметры автомобиля во время движения изменяются случайным образом, под влиянием большого количества внешних факторов. Например, скорость автомобиля и связанные с ней параметры зависят от дорожной обстановки, состояния дорожного покрытия, погодных условий, стиля вождения и других факторов. С другой стороны, если транспортное средство просто стоит, то большинство процессов являются стационарными, и их параметры изменяются довольно медленно. Поэтому чтобы воспроизвести эксплуатацию автомобиля, например, с целью нормирования расхода топлива или выбросов вредных веществ с отработавшими газами, часто используют типичные ездовые циклы. А сами эти испытания часто проводят с использованием компьютерного моделирования. Однако типичные ездовые циклы для автомобилей, выполняющих специальные функции, как правило, не используются.

Целью настоящей работы является оптимизация имитационных моделей эксплуатации автомобилей за счёт сокращения времени проведения эксперимента при сохранении требуемой точности модели.

Этот результат достигается использованием динамически меняющегося модельного времени. В работе рассмотрены особенности ездовых циклов автомобилей различного назначения. Представлена программа имитационного моделирования Stamm 4.1, реализующая при имитации эксплуатационных циклов автомобилей метод динамического изменения модельного времени, что позволяет существенно сократить продолжительность эксперимента.

**Ключевые слова:** ездовой цикл автомобиля, городские условия движения, имитационное моделирование.

**ASPECTS OF STUDYING VEHICLE OPERATING CYCLES USING STAMM 4.1 SOFTWARE**

Research article

**Manyashin A.V.\***

ORCID: 0000-0001-8637-0755,

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

\* Corresponding author (awm\_zub[at]mail.ru)

**Abstract**

It is a known fact that under the influence of a large number of external factors some parameters of vehicles randomly change during driving. For example, the speed of a car and the parameters associated with it depend on the traffic and road surface condition, weather conditions, driving style, and other factors. On the other hand, if the vehicle is idle, most processes are stationary, and their parameters change rather slowly. Therefore, modal driving cycles are a common way of reproducing the operation of the car for the purposes of setting the rate of fuel consumption or emissions of harmful substances with exhaust gases. The tests are often carried out using computer simulations. However, modal driving cycles are usually not used for vehicles that perform special functions.

The purpose of the study is to optimize the simulation models of vehicle operation by reducing the time of the experiment while maintaining the required accuracy of the model.

This result is achieved using a dynamically changing simulation time. The research explores the features of driving cycles of the vehicles with various purposes. The study presents the simulation software Stamm 4.1, which implements the method of dynamic change of simulation time when simulating vehicle operating cycles, which significantly reduces the duration of the experiment.

**Keywords:** driving cycle of a car, urban traffic conditions, simulation modeling.

**Введение**

Автомобиль является системой, содержащей большое число элементов, имеющих сложные взаимосвязи друг с другом. В тоже время он сам является частью сложной системы водитель-автомобиль-дорога-среда. Поэтому процесс изменения скорости автомобиля при его эксплуатации не является стационарным. Особенно это заметно в городских условиях, где величину скорости в каждый момент времени определяет взаимодействие с другими участниками дорожного движения. Между тем скорость автомобиля является важнейшим фактором, определяющим так называемый режим эксплуатации автомобиля. Поэтому при компьютерном моделировании режимов эксплуатации автомобиля очень важно достоверно воспроизвести его скоростной профиль.

Исходя из сказанного выше, моделирование эксплуатации автомобиля обычно осуществляется в форме имитационного эксперимента. Для воспроизведения скоростного профиля, соответствующего предполагаемым условиям эксплуатации автомобилей в таких моделях, обычно используются типичные ездовые циклы. Обычно выделяют ездовые циклы, соответствующие типу транспортных средств и перспективной области использования автомобиля. Например, городской цикл, внегородской, для автобусов, легковых автомобилей и грузовиков.

Однако не существует большого разнообразия типичных циклов для специальных автомобилей, хотя не сложно предположить, что они будут существенно отличаться от аналогичных профилей для универсальных транспортных средств, за счет необходимости выполнения первыми специальных функций. Кроме того, достаточно часто необходимо

моделировать процессы, которые протекают не только при движении автомобиля, но и в время его простоя или стоянки. Это возможно, если использовать соответствующие эксплуатационные циклы, а при их воспроизведении в имитационной модели учитывать различную интенсивность изменения параметров в разных фазах цикла.

### Теоретическое обоснование использования типичных эксплуатационных циклов

Все известные в мире типичные ездовые циклы представляют собой зависимость скорости от времени или пройденного расстояния, то есть скоростные профили. Главное назначение типичных ездовых циклов – максимально точно соответствовать реальным скоростным профилям, соответствующим тем или иным условиям эксплуатации. Поэтому достаточно очевидно, что вид и содержание такого цикла будет существенно зависеть от того в каких условиях предполагается использовать автомобиль и какие дополнительные функции он должен выполнять, например останавливаться в соответствии с расписанием, если это автобус. Если рассмотреть реальные ездовые циклы универсального (рис. 1) и специального автомобиля (рис. 2), записанные в одно и то же время и на той же улично-дорожной сети, то можно заметить, что они существенно различаются.

Для описания режима эксплуатации автомобиля наиболее часто применяют ездовые или нагрузочные циклы. Как правило, это зависимость скорости от текущего времени или пройденного расстояния. Однако при изучении некоторых процессов или явлений, сопровождающих процесс эксплуатации, одного ездового цикла может быть недостаточно. Это особенно актуально, когда объект исследования рассматривается на достаточно продолжительном временном промежутке.

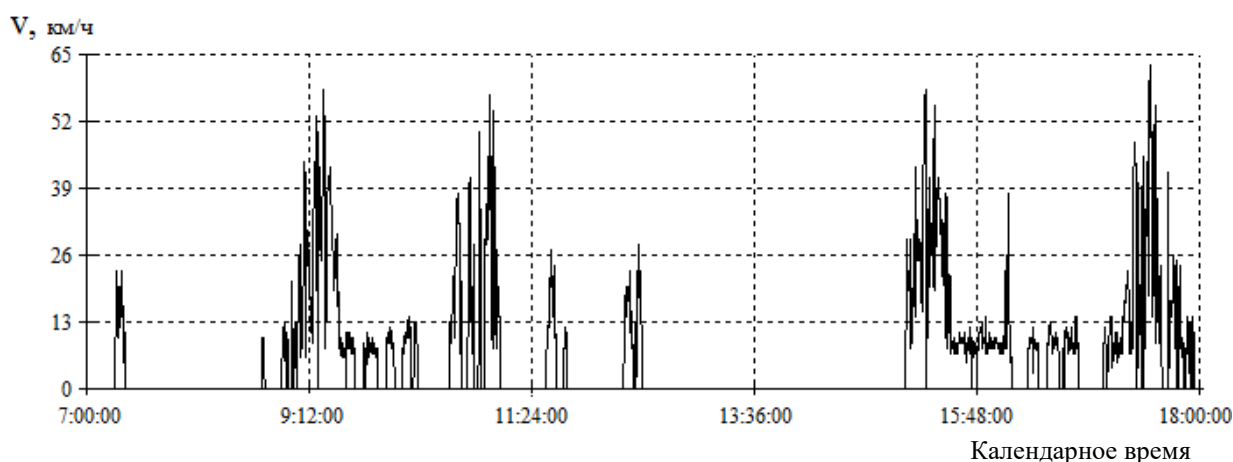


Рис. 1 – Ездовой цикл универсального автомобиля

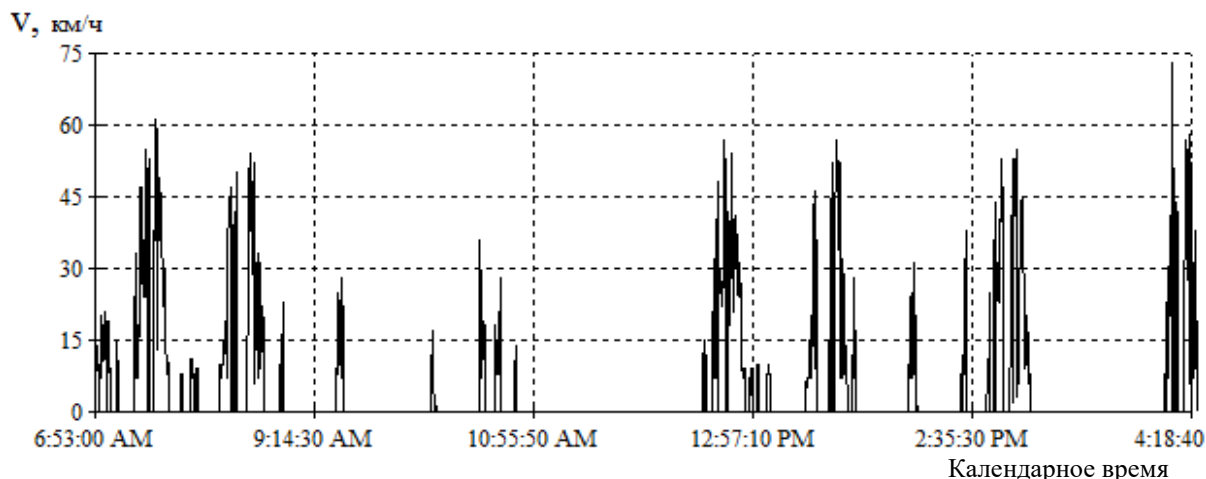


Рис. 2 – Ездовой цикл автомобиля-бетоносмесителя

Анализ соотношения длительности различных операций выполняемых автомобилями разных типов в течение суток показывает существенные различия (рис. 3). Например, автокраны выполняют основную работу во время стоянки, поэтому часть времени, приходящаяся на движение автомобиля, минимальна. Автомобили-бетоносмесители, напротив, выполняют основную работу - перемешивание смеси в процессе движения, поэтому двигатель таких транспортных единиц практически не работает на холостом ходу.



Часов

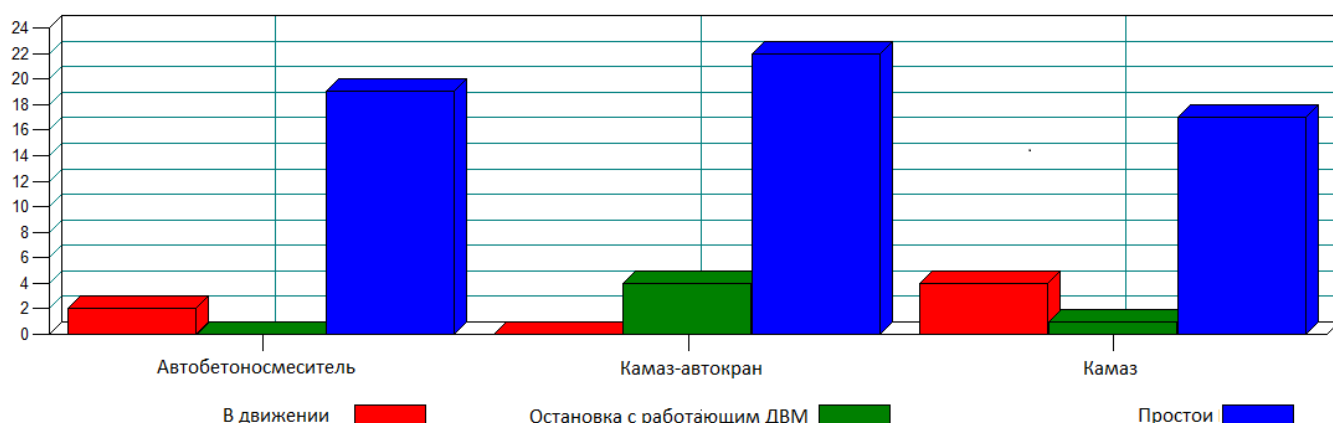


Рис. 3 – Соотношение режимов работы в течение суток для различных типов автомобилей.  
Суточный эксплуатационный цикл автомобиля

Его использование может быть обосновано, если исследуется, например, тепловое состояние двигателя или уровень заряженности аккумуляторной батареи. Ниже представлены графические зависимости изменения скорости в течение календарных суток автомобилей различного назначения (рис. 4, рис. 5). Как видно из рисунков суточный эксплуатационный цикл состоит из двух базовых фаз – рабочей (2) структура, которой зависит от назначения автомобиля и фазы простоя (1 на рис. 4, 5) когда автомобиль хранится в гараже или на открытой стоянке. Примечательно, что рабочая фаза, представляющая собой ездовой цикл, содержит элементы остановки с работающим двигателем (рис. 6).

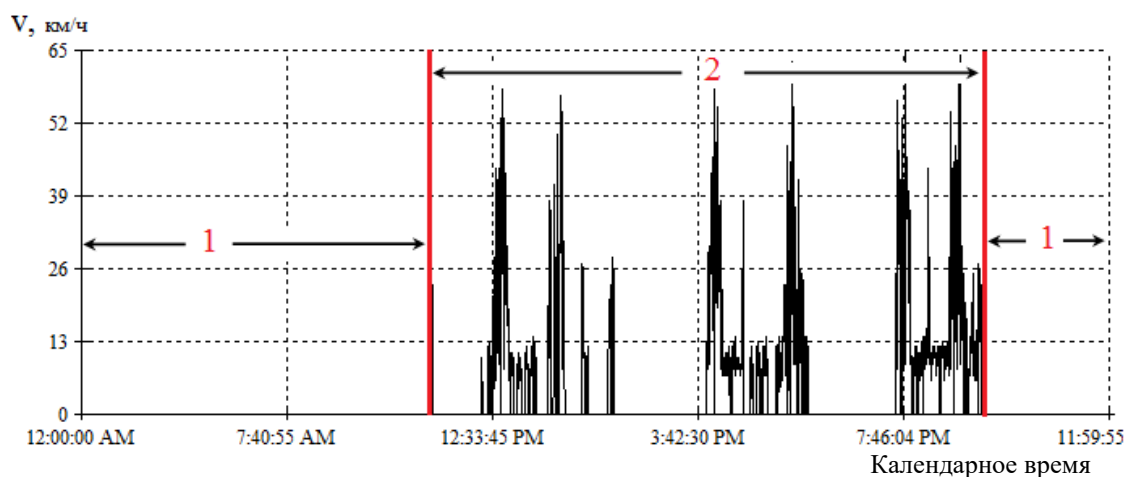


Рис. 4 – Суточный эксплуатационный цикл универсального автомобиля:  
(1) фаза простоя; (2) рабочая фаза

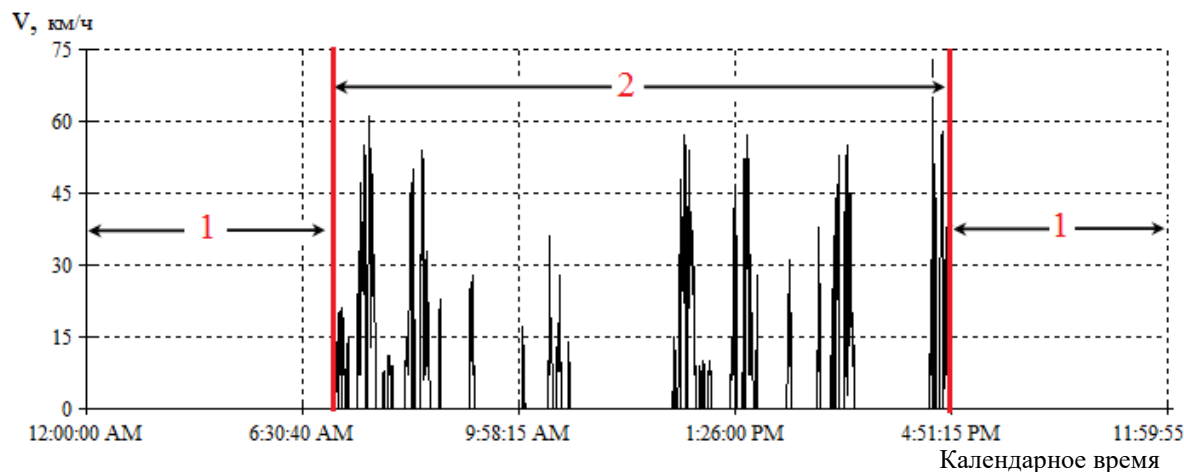


Рис. 5 – Суточный эксплуатационный цикл специализированного автомобиля (автобетоносмеситель):  
(1) фаза простоя; (2) рабочая фаза

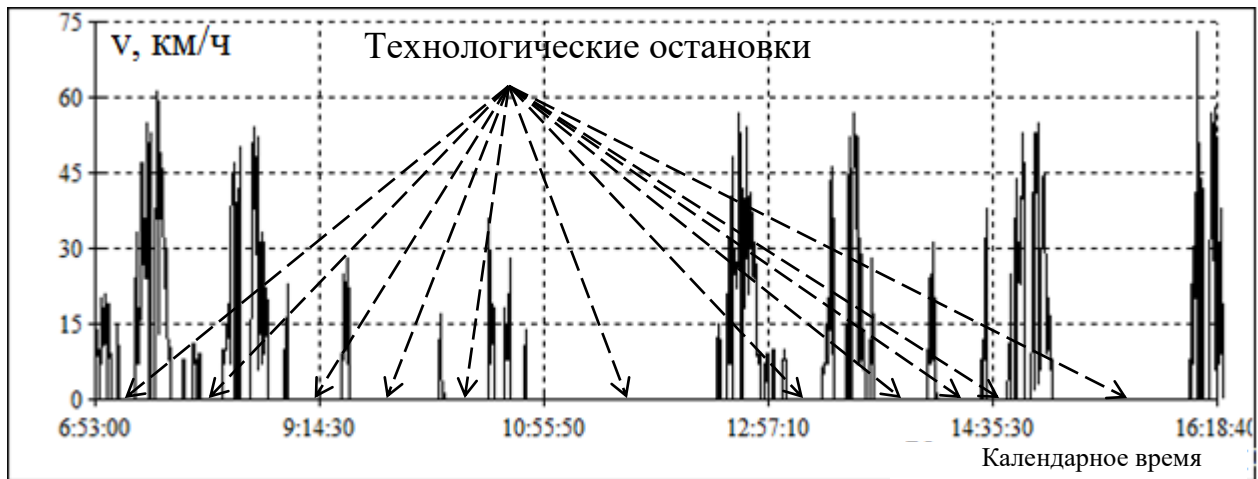


Рис. 6 – Рабочая фаза эксплуатационного цикла автомобиля

### Имитационное моделирование эксплуатационных циклов в системе Stamm

Автором разработана программа Stamm [2], [3], которая предназначена для обработки и интерпретации экспериментальных данных (рис. 11). Одной из важных функций программы является имитационное моделирование. Предусмотрено два типа имитационных моделей – в виде специальной таблицы и объектные визуальные модели. Оба типа поддерживают динамическое изменение шага моделирования в ходе имитационного эксперимента. Такой подход позволяет значительно сократить затраты времени на проведение исследований.

### Использование переменного шага в имитационных моделях табличного типа

При использовании моделей табличного типа (рис. 7) программа Stamm использует специальную внутреннюю переменную «Step», в которой хранится численное значение шага моделирования. В моделях системной динамики представленных в виде таблиц эта переменная используется при переносе в ячейки данных табличной функции или при расчете данных, зависящих от времени. Например, значения шага моделирования может быть изменено в зависимости от текущего календарного времени суток, воспроизводимого в модели, в этом случае можно имитировать фазы суточного эксплуатационного цикла наземных транспортных средств с различным шагом приращения времени. На рис. 8 представлена панель для настройки управления табличными имитационными моделями. В случае, если в поле «Синхронизация по» присутствует адрес ячейки, то шаг времени моделирования динамически меняется в зависимости от значения переменной в этой ячейке.

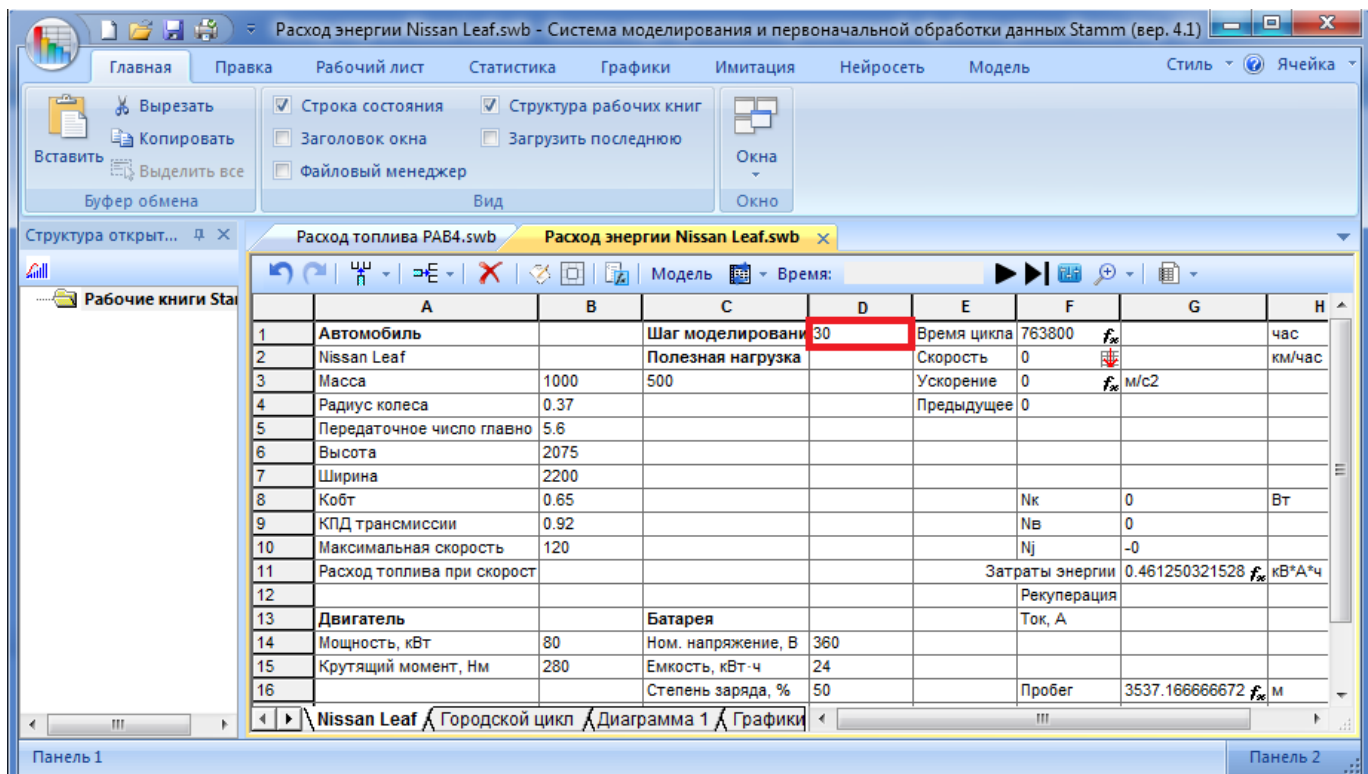


Рис. 7 – Программа имитационного моделирования и первоначальной обработки данных Stamm 4.1

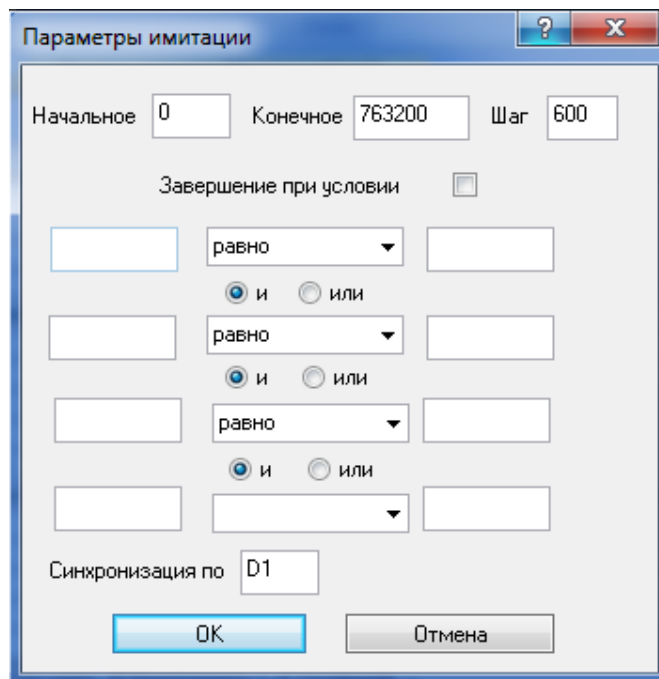


Рис. 8 – Панель настройки параметров модели табличного типа

### Переменный шаг моделирования в объектных моделях

Когда используется объектная визуальная имитационная модель, динамическое изменение шага модельного времени происходит в специальных визуальных компонентах – «Формула» (рис. 9).

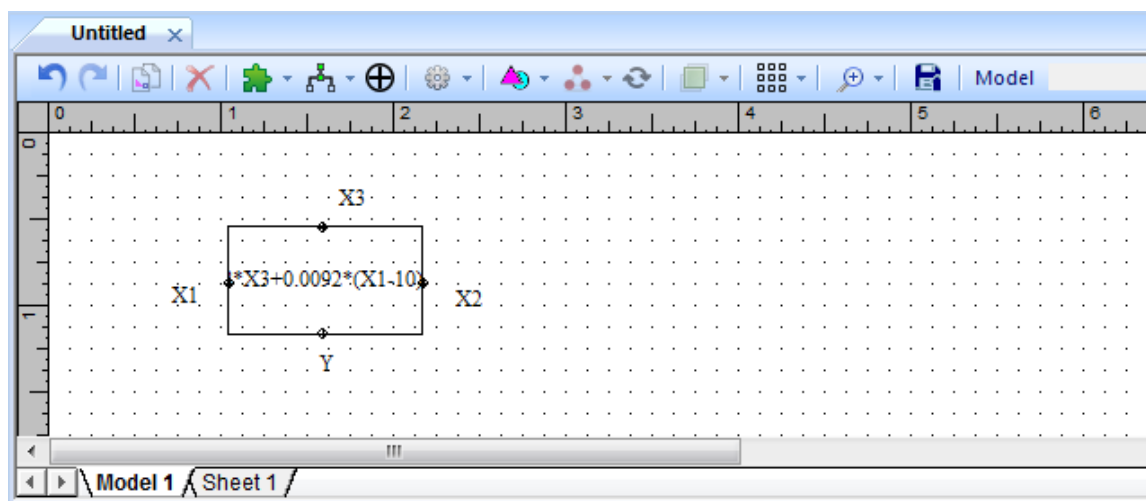


Рис. 9 – Объектная модель. Компонент «Формула»

Для динамического изменения приращения модельного времени нужно поместить в компонент логическое выражение, содержащее эту переменную (рис. 10).

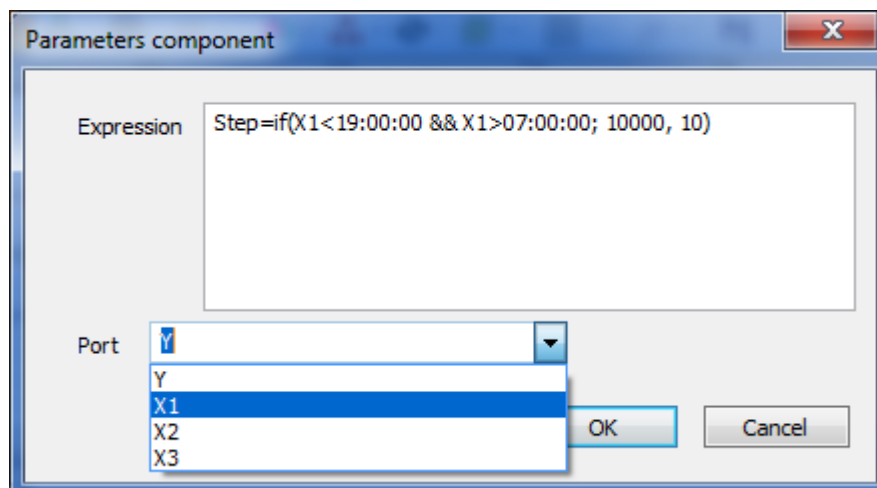


Рис. 10 – Настройка шага модельного времени в параметрах компонента «Формула»

## Заключение

Таким образом, при имитационном моделировании процессов, сопровождающих эксплуатацию автомобилей, необходимо учитывать приведенные ниже условия.

- Шаг моделирования в дискретных имитационных моделях определяется интенсивностью наступления событий в моделируемой системе. В непрерывных моделях адекватного воспроизведения изменения параметров сложных динамических процессов необходимо использовать достаточно малый шаг приращения времени моделирования или его изменение в процессе имитационного эксперимента.

- Переменное приращение времени моделирования реализовано, например, в Симулинк (The Simulation Parameters Dialog Box) и Transient (Variable Time step in Transient simulation, 2019). Иногда используют гибридный подход (Rossmann, 2008), (How to setup the simulation parameters in Xcos (Scilab)), (Solving Modelica Models, 2012). В основе большинства методов определения величины шага лежит метод Рунге-Кутты и значение переменной, найденное на предыдущем шаге моделирования. Это, в свою очередь, сопряжено с затратами ресурсов процессора, величина которых зависит от требуемого порядка точности. В программе Stamm оптимальное значение шага для разных периодов модельного времени вычисляется до начала моделирования с учетом теоремы Найквиста — Шеннона, а его изменение происходит с помощью условной синхронизации, как представлено выше.

- Эксплуатационные циклы автомобилей, содержат две резко отличающиеся по динамике процессов фазы — рабочую и фазу простоя. Причем рабочая фаза, сама содержит циклически повторяющиеся участки. Значительную долю циклов рабочей фазы в городских условиях составляют технологические остановки. Профиль изменения нагрузки на силовую установку во время технологической остановки определяется назначением автомобиля. Технологические остановки

- Для оптимизации модельного эксперимента целесообразно динамически менять шаг модельного времени с учетом динамики моделируемых процессов. Например, в процессе моделирования эксплуатационных циклов автомобилей целесообразно использовать разное численное значение приращения модельного времени в рабочей фазе и в фазе простоя. Кроме того, изменение модельного времени целесообразно применять при моделировании технологических остановок транспортных средств.

- В качестве программы имитационного моделирования эксплуатационных режимов автомобилей, можно использовать программу Stamm, поддерживающую изменение приращения виртуального времени во время.

## Конфликт интересов

Не указан.

## Conflict of Interest

None declared.

## Список литературы / References

1. Маняшин А. В. Моделирование расхода топлива автомобилями на базе типичных ездовых циклов / А. В. Маняшин, С. А. Маняшин. — Тюмень: ТюмГНГУ, 2014 — 124 с.
2. Маняшин А. В. Использование Stamm 3.0 при решении научных и инженерно-технических задач / А. В. Маняшин. — Тюмень: ТИУ, 2017 — 191 с.
3. Маняшин А. В. Статистический анализ данных и имитационное моделирование в системе Stamm 4.0 / А. В. Маняшин. — Тюмень: ТИУ, 2020 — 216 с.
4. The Simulation Parameters Dialog Box. Using Simulink. — [Electronic resource] : URL: <http://www.ece.northwestern.edu/local-apps/matlabhelp/toolbox/simulink/ug/simulation5.html>. (accessed: 12.11.2020)
5. Variable Time step in Transient simulation. Ansys Learning Forum. — [Electronic resource] : URL <https://forum.ansys.com/discussion/7118/variable-time-step-in-transient-simulation>. (accessed: 12.11.2020)
6. The Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure (WLTP). — [Electronic resource] : URL: <https://www.vehicle-certification-agency.gov.uk/fcb/wltp.asp>. (accessed: 12.11.2020)

## Список литературы на английском языке / References in English

1. Manyashin A V. Modelirovanie rashoda topliva avtomobiljami na baze tipichnyh ezdovyh ciklov [Modeling of Vehicle Fuel Consumption Based on Modal Driving Cycles] / A. V. Manyashin, S. A. Manyashin. - Tyumen: TSOGU, 2014 — 124 p. [in Russian]
2. Manyashin A V. Ispol'zovanie Stamm 3.0 pri reshenii nauchnyh i inzhenerno-tehnicheskikh zadach [Using Stamm 3.0 for Solving Scientific and Engineering Problems] / V. Manyashin. — Tyumen: TIU, 2017 — 191 p. [in Russian]
3. Manyashin A V. Statisticheskij analiz dannyh i imitacionnoe modelirovanie v sisteme Stamm 4.0 [Statistical Data Analysis and Simulation in the Stamm 4.0 Software] / V. Manyashin. - Tyumen: TIU, 2020-216 p. [in Russian]
4. The Simulation Parameters Dialog Box. Using Simulink. — [Electronic resource] : URL: <http://www.ece.northwestern.edu/local-apps/matlabhelp/toolbox/simulink/ug/simulation5.html>. (accessed: 12.11.2020)
5. Variable Time step in Transient simulation. Ansys Learning Forum. — [Electronic resource] : URL <https://forum.ansys.com/discussion/7118/variable-time-step-in-transient-simulation>. (accessed: 12.11.2020)
6. The Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure (WLTP). — [Electronic resource] : URL: <https://www.vehicle-certification-agency.gov.uk/fcb/wltp.asp>. (accessed: 12.11.2020)

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.102.12.009>**ИССЛЕДОВАНИЕ КРАЕВОГО УГЛА СМАЧИВАНИЯ ПОЛИЭТИЛЕНОВОЙ ПЛЕНКИ, МОДИФИЦИРОВАННОЙ ОРГАНИЧЕСКИМИ И НЕОРГАНИЧЕСКИМИ КОМПОНЕНТАМИ**

Научная статья

**Мяленко Д.М.<sup>1,\*</sup>, Михайленко П.Г.<sup>2</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-6342-7218;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0002-0085-0801;<sup>1,2</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, Москва, Россия

\* Корреспондирующий автор (d.myalenko[at]vnimi.org)

**Аннотация**

Полимерные материалы на основе полиолефинов активно применяются в пищевой и молочной промышленности в качестве упаковки. Для того чтобы обеспечить максимальную сохранность упакованных продуктов, необходимо учитывать не только физико-механические и физико-химические свойства полимерной упаковки, но и адгезионные свойства поверхности. Исходя из особенностей химической структуры, полиолефины сами по себе инертны и обладают относительной гидрофобностью по отношению к смачиваемым растворам. Степень смачивания поверхности материала оценивается по такому показателю как краевой угол смачивания, который рассчитывается через косинус угла, образованный касательными плоскостями к межфазным поверхностям, ограничивающим смачивающую жидкость, при этом вершина угла находится на линии раздела трех фаз (твердой, жидкой и воздушной). Одним из методов измерения краевого угла смачивания является метод лежащей капли.

В данной работе представлены данные по определению краевого угла смачивания полимерных поверхностей различной структуры, в том числе модифицированных органическими и неорганическими компонентами.

**Ключевые слова:** смачивание, полимерная пленка модификация, неорганические и органические компоненты, краевой угол смачивания.

**STUDY OF THE BORDER ANGLE OF WETTING POLYETHYLENE FILM, MODIFIED WITH ORGANIC AND INORGANIC COMPONENTS**

Research article

**Myalenko D.M.<sup>1,\*</sup>, Mikhailenko P.G.<sup>2</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-6342-7218;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0002-0085-0801;<sup>1,2</sup> All-Russian Research Institute of Dairy Industry Moscow, Russia

\* Corresponding author (d.myalenko[at]vnimi.org)

**Abstract**

Polymer materials based on polyolefins are actively used in the food and dairy industries as packaging. In order to ensure the maximum safety of packaged products, it is necessary to take into account not only the physicochemical and physicochemical properties of the polymer packaging, but the adhesive properties of the surface. Based on the characteristics of the chemical structure, polyolefins are inert in themselves and have relative hydrophobicity with respect to wetted solutions. The degree of wetting of the material surface is estimated by such an indicator as the wetting contact angle, which is calculated through the cosine of the angle formed by the tangent planes to the interphase surfaces bounding the wetting liquid, while the apex of the angle is at the interface of three phases (solid, liquid and air). One of the methods for measuring the contact angle is the lying drop method.

This paper presents data on determining the contact angle of wetting of polymer surfaces of various structures, including those modified with organic and inorganic components.

**Keywords:** wetting, polymer film modification, inorganic and organic components, contact angle.

**Введение**

Одним из направлений в полимерной промышленности и производстве упаковочных материалов, в частности, является создание современных экологических композиций на основе полиэтилена (ПЭ) и полипропилена (ПП) [1]. Значительное изменение имеющихся у материала свойств и придание ему новых характеристик возможно за счет введения так называемых модифицирующих наполнителей, которые наряду с эксплуатационными изменяют и технологические свойства, облегчая переработку материала в изделие при снижении производственных затрат [2], [3].

Обладая необходимым уровнем знаний в области структуры и свойств полимерных и наполненных упаковочных материалов, можно не только обеспечить необходимый уровень безопасности при хранении с молочной продукцией, но и придать упаковке необходимый набор функциональных свойств, которые можно регулировать за счет правильного подбора полимерной матрицы основы, модифицирующих добавок и их концентрации [2], [4].

Органические наполнители [1], [2] (такие как крахмал, растительные отходы переработки сельскохозяйственной продукции и прочие) при введении в качестве модификатора в полиолефиновую основу могут привести к изменению антистатических свойств поверхности [2], [3], [5]. Процессы, происходящие на поверхности материалов, влияют на технологические и эксплуатационные свойства полиолефиновых пленок [6]. К положительным характеристикам полимерных и комбинированных материалов часто относят их относительную химическую инертность к контактирующим средам [1], [5], [8]. В то же время низкий уровень адгезионных свойств и гидрофобность поверхности полиолефинов считается недостатком в тех случаях, когда необходимо нанести на упаковку печатный рисунок, или ее декорировать. Кроме этого, на уровень адгезионных свойств поверхности полимерных материалов также влияют и различные внешние воздействия. Например, в зависимости от интенсивности воздействия ультрафиолетового излучения (УФ) или различных

плазменных методов поверхность полимера может приобретать как гидрофильные, так и гидрофобные свойства [5], [8]. Воздействие УФ излучения на полимерные материалы может приводить к их деструкции, в том числе и поверхностного слоя. Скорость протекания таких процессов фото деструкции так же отражается в изменении краевого угла смачивания. Исходя из вышесказанного, вопросов по изучению изменения краевого угла смачивания полимерных и композиционных материалов являются актуальными.

В данной работе представлены данные по определению краевого угла смачивания полимерных поверхностей различной структуры, в том числе модифицированных органическими и неорганическими компонентами.

В качестве объектов исследования были выбраны полиэтиленовые пленки, модифицированные природными компонентами на основе экстракта коры березы (бетулин) и карбоната кальция ( $\text{CaCO}_3$ ) в концентрации 50% [9], [10].

Экстракт коры березы – бетулин, проявляет ярко выраженные антимикробные свойства и благодаря высокой температуре плавления ( $240\text{--}260^\circ\text{C}$ ) и относительной инертностью легко перерабатывается в полимерные изделия с использованием технологии высокотемпературной экструзии без изменения первоначальных свойств [11], [15].

Для определения краевого угла смачивания был применен метод растекающейся капли, который рассчитывается как угол между касательной, проведенной к поверхности смачивающей жидкости и поверхности твердого тела. Также данный показатель рассчитывается через косинус угла.

Метод относится к статическим способам определения краевого угла смачивания, при полном смачивании поверхности угол равен  $0$  градусов, а при полном несмачивании  $180$  градусов соответственно [16], [17], [18], и является основным при определении гидрофобности или гидрофильности поверхности материала.

При расчете показателя значения краевого угла смачивания значение отсчитывается от касательной в сторону жидкой фазы. Принципиальная схема расчета по данной методике представлена на Рисунке 1.

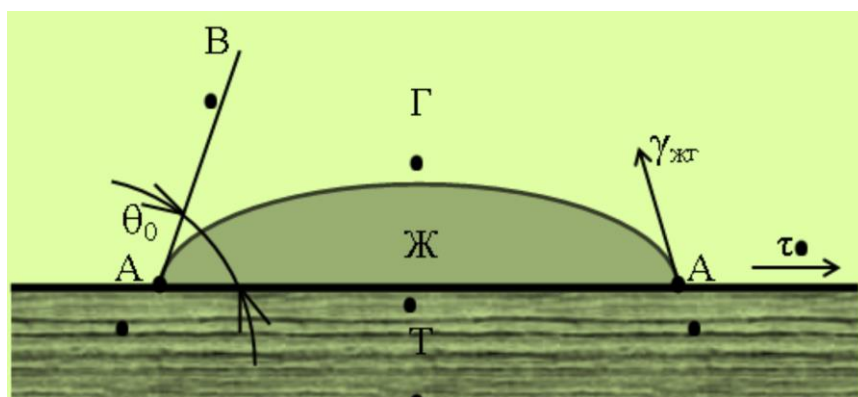


Рис. 1 – Метод лежащей капли: краевой угол смачивания –  $\theta$ ; жидкая фаза – ж; твердая фаза – т; газообразная фаза – г

Из литературных данных известно, что введение органических модификаторов в полимерные материалы приводит к уменьшению краевого угла смачивания, что свидетельствует о повышении гидрофильности поверхности [1], [16], [17].

В качестве жидкости, смачивающей поверхность, использовали дистиллированную воду.

Измерение краевого угла смачивания проводили с применением системы KRUSS серии DSA25S с применением пакета программного обеспечения.

Внешний вид рабочего окна программного обеспечения и живое изображение капли на поверхности полиэтиленовой пленки, наполненной неорганическими компонентами представлен на Рисунке 2.

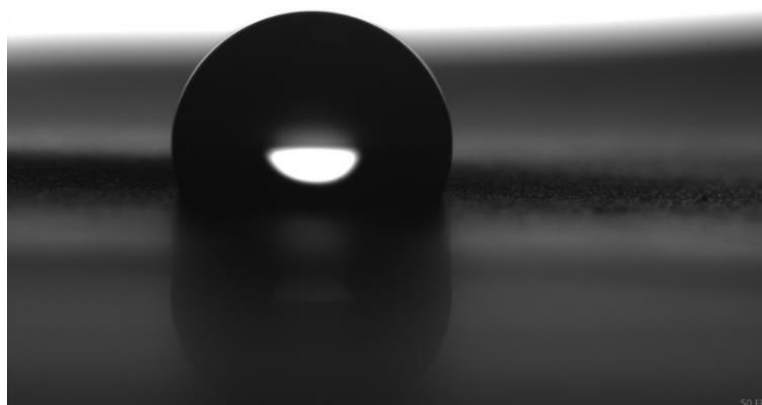


Рис. 2 – Изображение капли дистиллированной воды на поверхности полиэтиленовой пленки, наполненной  $\text{CaCO}_3$  с концентрацией 50,0%



Испытания проводили не менее чем в 10 последовательных измерений в двух параллелях. За расчетное значение краевого угла смачивания принимали среднее значение между левым и правым углом капли. Результаты проведенных исследований представлены в Таблице 1 и на Рисунке 3.

Таблица 1 – Результаты экспериментальных исследований по определению краевого угла смачивания поверхности полиэтиленовой пленки, модифицированной органическими и неорганическими компонентами

Наименование показателя	Фактические результаты измерений			
	Пленка ПЭ	ПЭ пленка с $\text{CaCO}_3$ 50%	Пленка ПЭ с экстрактом коры березы	
			0,5%	2,0%
1	2	3	4	7
Средний КУ (ср) [°]	104,85	89,45	46,27	57,47
Средний КУ (л) [°]	104,83	89,53	46,25	57,47
Средний КУ (п) [°]	104,88	89,38	46,3	57,47
Средняя трехфазная точка (1) [mm]	2,3	1,6	3,2	1,9
Средняя трехфазная точка ® [mm]	4,5	4,2	5	3,9
Средний диаметр [mm]	2,2	2,6	1,8	1,97
Средний объем [μL]	4,055	4,439	0,521	0,908

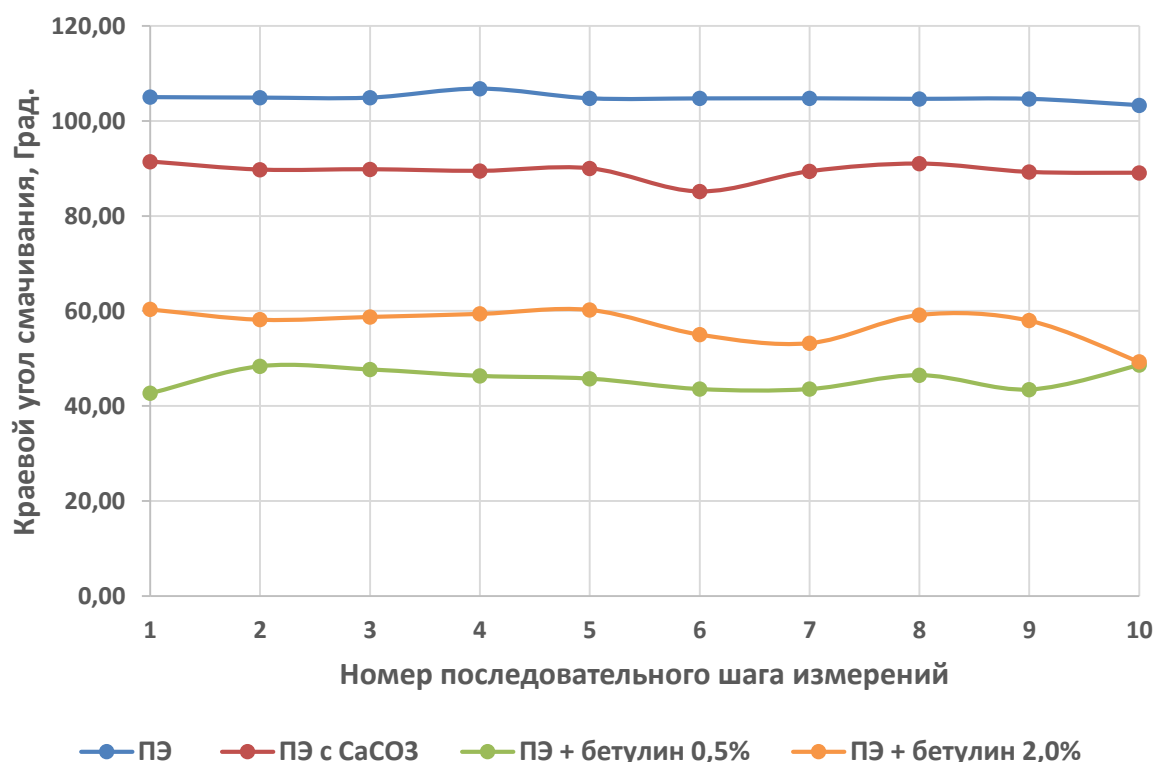


Рис. 3 – Краевой угол смачивания поверхности модифицированной полиэтиленовой пленки

Как видно из полученных результатов присутствие органических модификаторов на основе экстракта коры березы в концентрации в 0,5 % и 2,0% приводит к повышению гидрофильности поверхности, изменению ее адгезионных свойств. Краевой угол смачивания таких материалов по сравнению с полиэтиленовой пленкой без модификаторов уменьшается до 46- 57 град в зависимости от концентрации модификатора. Введение неорганического модификатора на основе  $\text{CaCO}_3$  в концентрации 50,0% практически не влияет на изменение краевого угла смачивания.

На представленном рисунке 3 видно, что значения краевого угла смачивания для пленки полиэтиленовой без наполнителя и с наполнителем  $\text{CaCO}_3$  при 10 повторностях практически не изменяются, отклонения от среднего значения составляет 1,5 градуса, то время как у образцов с модифицирующей добавкой на основе экстракта коры березы с концентрацией 0,5% и 2,0% отклонения от среднего значения составляют 3,5 и 7,5 градусов соответственно. Это может быть связано с особенностями органического наполнителя, а также его равномерностью распределения в полимерной матрице.

### Выводы

В рамках проведения работы показано, что введение органического модификатора на основе экстракта коры березы в диапазоне концентраций 0,5% - 2,0% оказывает влияние на изменение краевого угла смачивания поверхности и свидетельствует о повышении ее гидрофильности. Введение неорганических наполнителей на основе  $\text{CaCO}_3$  с концентрацией 50,0% не приводит к изменению адгезионных свойств поверхности модифицированных полиэтиленовых пленок.

Значение краевого угла смачивания, адгезионные свойства поверхности и гидрофильность полиэтиленовых модифицированных пленок необходимо учитывать при выборе области применения пленок.

Высокая смачиваемость поверхности модифицированных органическими наполнителями полимерных пленок может способствовать более равномерному распределению праймера или лаков и красящих компонентов при нанесении печатного рисунка.

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Conflict of Interest**

None declared.

**Список литературы / References**

1. Базунова М.В. Физико-химические свойства полимерных композитов на основе полиолефинов и их отходов, и лузги подсолнечника / М.В. Базунова, В.В. Чернова, Р.Б. Салихов, Е.И. Кулиш, В.П. Захаров // Вестник Башкирского университета. 2018. Т. 23. № 1. С. 70-74.
2. Федотова О.Б. О биоразлагаемой упаковке и перспективе ее использования / О.Б. Федотова // Молочная промышленность. 2020. № 1. С. 10-12.
3. Федотова О.Б., Безопасность упаковки: новое и хорошо забытое старое / О.Б. Федотова, А.Н. Богатырев // Пищевая промышленность. 2014. № 1. С. 12-14.
4. Федотова О.Б. О показателях качества упаковочного материала, упаковки и их контроле / О.Б. Федотова // Молочная промышленность. 2017. № 1. С. 33-36.
5. Мжачих, Е. И. Модификация полимеров в производстве тароупаковочных материалов / Е. И. Мжачих, В. Н. Иванова, Л. А. Сухарева, В. В. Яковлев, В. С. Яковлев. – М.: DeLi print, 2009. – 496 с.
6. Солодов В.С. Методика определения краевого угла смачивания для веществ с низкой температурой кристаллизации / В.С. Солодов, А.В. Папин, В.И. Косинцев, А.И. Сечин, Е.А. Макаревич // Вестник кузбасского государственного технического университета. 2013. №. 3 (97). С. 106-109.
7. Адамсон А. Физическая химия поверхностей / А. Адамсон. М.: Мир. 1979. 568 с.
8. Моррисон С. Химическая физика поверхности твердого тела / С.Моррисон. М.: Мир. 1980. 488 с.
9. Федотова О.Б. Исследование физико-механических показателей наполненной пищевой сажей полиэтиленовой пленки для молочной и пищевой продукции после воздействия на нее импульсным ультрафиолетовым излучением / О.Б. Федотова, Д.М. Мясенко // Вестник КрасГАУ. 2020. № 7 (160). С. 166-172.
10. Мясенко Д.М. Влияние термического, радиационно-химического и фотометрического воздействия на деструкцию и "старение" полимерных материалов / Д.М. Мясенко // Актуальные вопросы молочной промышленности, межотраслевые технологии и системы управления качеством. 2020. Т. 1. № 1 (1). С. 406-411.
11. Лобанова А.А. Изучение биологически активных флавоноидов в экстрактах из растительного сырья / А.А. Лобанова, В.В. Будаева, Г.В. Сакович // Химия растительного сырья. 2004, №1, С. 47–52.
12. Лупинская С.М. Изучение биологически активных липы, крапивы и душицы и сывороточных экстрактов на их основе / С.М. Лупинская, С.В. Орехова, О.Г. Васильева // Химия растительного сырья. 2010, №3, С. 143–145
13. Базарнова Ю.Г. Исследование флавоноидного состава фитоэкстрактов спектральными методами / Ю.Г. Базарнова // Вопросы питания, 2006, №1, С.12-16.
14. Клабукова И.Н. Обогащение плавленных сыров экстрактом бересты / И.Н. Клабукова, Н.Г. Преснухина, О.В. Константинова, Л.А. Забдалова // Переработка молока. 2008. № 5. С. 24-25
15. Клабукова И.Н. Экстракт бересты для создания функциональных продуктов питания / И.Н. Клабукова Н.Г. Преснухина, О.В. Константинова, Л.И. Тарасова, Т.Г. Тагиева // Масла и жиры 2008 №5(87), С.8-10
16. Матюхин С.И. Поверхностное натяжение и анти-адгезионные свойства тонкопленочных покрытий / С.И. Матюхин, К.Ю. Фроленков, О.Н. Антонов, В.М. Игошин // Труды 6-й Международной конференции «Пленки и покрытия - 2001». Под ред. В.С.Клубника. С.-Петербург: Изд-во СПбГТУ. 2001. С.577-581.
17. Сумм, Б.Д. Гистерезис смачивания / Б.Д. Сумм // Соросовский образовательный журнал. – 1999. - №7. – С.98-102.
18. Маневич Б.В. Смачивание и его роль в процессах санитарной обработки автоматов розлива и фасовки / Б.В. Маневич, Ж.И. Кузина, Н.Н. Гаврилова // Переработка молока. 2019. № 10 (240). С. 68-70.

**Список литературы на английском языке / References in English**

1. Bazunova M.V. Fiziko-himicheskie svojstva polimernyh kompozitov na osnove poliolefinov i ih othodov, i luzgi podsolnechnika [Physicochemical properties of polymer composites based on polyolefins and their wastes, and sunflower husks] / M.V. Bazunova, V.V. Chernova, R.B. Salihov, E.I. Kulish, V.P. Zaharov // Vestnik Bashkirskogo universiteta [Bulletin of the Bashkir University]. 2018. Vol. 23. № 1. P. 70-74. [in Russian]
2. Fedotova O.B. O biorazlagaemoj upakovke i perspektive ee ispol'zovanija [On biodegradable packaging and the prospects for its use] / O.B. Fedotova // Molochnaja promyshlennost' [Dairy industry]. 2020. № 1. P. 10-12. [in Russian]
3. Fedotova O.B. Bezopasnost' upakovki: novoe i horosho zabytoe staroe [Packaging safety: new and well-forgotten old] / O.B. Fedotova, A.N. Bogatyrev // Pishhevaja promyshlennost' [Food industry]. 2014. № 1. P. 12-14. [in Russian]
4. Fedotova O.B. O pokazateljah kachestva upakovochного materiala, upakovki i ih kontrole [On the quality indicators of packaging material, packaging and their control] / O.B. Fedotova // Molochnaja promyshlennost' [Dairy industry]. 2017. № 1. P. 33-36. [in Russian]
5. Mzhachih, E. I. Modifikacija polimerov v proizvodstve taroupakovочnyh materialov [Modification of polymers in the production of packaging materials] / E. I. Mzhachih, V. N. Ivanova, L. A. Suhareva, V. V. Jakovlev, V. S. Jakovlev. – M.: DeLi print, 2009. – 496 P. [in Russian]
6. Solodov V.S. Metodika opredelenija kraevogo ugla smachivaniya dlja veshhestv s nizkoj temperaturoj kristalizacii [Method for determining the contact angle of wetting for substances with low crystallization temperature] / V.S. Solodov, A.V. Papin, V.I. Kosincev, A.I. Sechin, E.A. Makarevich // Vestnik kuzbasskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta [Bulletin of the Kuzbass State Technical University]. 2013. №. 3 (97). P. 106-109. [in Russian]
7. Adamson A. Fizicheskaja himija poverhnostej [Physical chemistry of surfaces]. M.: Mir. 1979. 568 P. [in Russian]



8. Morrison S. Himicheskaja fizika poverhnosti tverdogo tela [Chemical physics of solid surface]. M.: Mir. 1980. 488 P. [in Russian]
9. Fedotova O.B. Issledovanie fiziko-mehaničeskikh pokazatelej napolnennoj pishhevoj sazhej polijetilenovoj plenki dlja molochnoj i pishhevoj produkcii posle vozdejstvija na nee impul'snym ul'trafiol'etovym izlucheniem [Investigation of physical and mechanical parameters of a polyethylene film filled with food soot for dairy and food products after exposure to pulsed ultraviolet radiation] / O.B. Fedotova, D.M. Myalenko // Vestnik KrasGAU [Bulletin of KrasGAU]. 2020. № 7 (160). P. 166-172. [in Russian]
10. Myalenko D.M. Vlijanie termičeskogo, radiacionno-himicheskogo i fotometricheskogo vozdejstvija na destrukciju i "starenie" polimernyh materialov [Influence of thermal, radiation-chemical and photometric impact on the destruction and aging of polymer materials] / D.M. Myalenko // Aktual'nye voprosy molochnoj promyshlennosti, mezhotraslevye tehnologii i sistemy upravlenija kachestvom [Topical issues of the dairy industry, intersectoral technologies and quality management systems]. 2020. Vol. 1. № 1 (1). P. 406-411. [in Russian]
11. Lobanova A.A. Izuchenie biologičeski aktivnyh flavonoidov v jekstraktah iz rastitel'nogo syr'ja [Study of biologically active flavonoids in extracts from plant raw materials] / A.A. Lobanova, V.V. Budaeva, G.V. Sakovich // Himija rastitel'nogo syr'ja [Chemistry of vegetable raw materials]. 2004. №1. P. 47–52. [in Russian]
12. Lupinskaja S.M. Izuchenie biologičeski aktivnyh lipy, krapivy i dushicy i syvorotočnyh jekstraktov na ih osnove [Study of biologically active linden, nettle and oregano and serum extracts based on them] / S.M. Lupinskaja, S.V. Orehova, O.G. Vasil'eva // Himija rastitel'nogo syr'ja [Chemistry of vegetable raw materials]. 2010, №3, P. 143–145 [in Russian]
13. Bazarnova Ju.G. Issledovanie flavonoidnogo sostava fitojekstraktov spektral'nymi metodami [Investigation of the flavonoid composition of phytoextracts by spectral methods] / Ju.G. Bazarnova // Voprosy pitaniya [Questions of nutrition], 2006, №1, P.12-16. [in Russian]
14. Klabukova I.N. Obogashhenie plavlenyh syrov jekstraktom beresty [Enrichment of processed cheeses with birch bark extract] / I.N. Klabukova, N.G. Presnuhina, O.V. Konstantinova, L.A. Zabodalova // Pererabotka moloka [Milk Processing]. 2008 № 5 P 24-25. [in Russian]
15. Klabukova I.N. Jekstrakt beresty dlja sozdaniya funkcional'nyh produktov pitaniya [Birch bark extract for creating functional food products] / I.N. Klabukova N.G. Presnuhina, O.V. Konstantinova, L.I. Tarasova, T.G. Tagieva // Masla i zhiry [Oils and fats]. 2008 №5(87). P. 8-10 [in Russian]
16. Matjuhin S.I. Poverhnostnoe natjazhenie i anti-adgezionnye svojstva tonkoplenochnyh pokrytij [Surface tension and anti-adhesion properties of thin-film coatings] / S.I. Matjuhin, K.Ju. Frolenkov, O.N. Antonov, V.M. Igoshin // Trudy 6-j Mezhdunarodnoj konferencii «Plenki i pokrytija - 2001» [Proceedings of the 6th International Conference "Films and Coatings - 2001"]. Pod red. V.S.Klubnikina. S.-Peterburg: SPbGTU publ. house. 2001. P. 577-581. [in Russian]
17. Summ, B.D. Gisterezis smachivaniya [Hysteresis of wetting] / B.D. Summ // Sorosovskij obrazovatel'nyj zhurnal [Soros Educational Journal]. – 1999. - №7. – P.98-102. [in Russian]
18. Manevich B.V. Smachivanie i ego rol' v processah sanitarnoj obrabotki avtomatov rozliva i fasovki [Wetting and its role in the processes of sanitary processing of automatic filling and packing machines] / B.V. Manevich, Zh.I. Kuzina, N.N. Gavrilova // Pererabotka moloka [Milk Processing]. 2019. № 10 (240). P. 68-70. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.102.12.010>

## ПРИМЕНЕНИЕ СВЧ БРЭГГОВСКИХ СТРУКТУР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ

Научная статья

Насыбуллин А.Р.<sup>1,\*</sup>, Фархутдинов Р.В.<sup>2</sup>, Ишкаев Т.М.<sup>3</sup>, Самигуллин Р.Р.<sup>4</sup><sup>1</sup> ORCID: 0000-0001-7802-8212;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0002-4188-5090;<sup>3</sup> ORCID: 0000-0001-8263-2391;<sup>4</sup> ORCID: 0000-0002-2465-9438;<sup>1, 2, 3, 4</sup> Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, Казань, Россия

\* Корреспондирующий автор (aydar.nasybullin[at]mail.ru)

**Аннотация**

В статье рассматриваются общие принципы измерительного преобразования комплексной диэлектрической проницаемости различных материальных сред на сверхвысоких частотах применительно к новому типу преобразовательных элементов, состоящих из электродинамической структуры с резонансом Брэгга. В СВЧ диапазоне подобные структуры реализуются в отрезках волноводов введением системы периодических неоднородностей или нерегулярностей. Решается модельная задача для оценки чувствительности измерений с целью выявления ключевых особенностей и закономерностей в поведении брэгговской структуры, применяемой в качестве сенсора. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании СВЧ датчиков для диэлектрического контроля материалов и веществ.

**Ключевые слова:** Брэгговский резонанс, комплексная диэлектрическая проницаемость, СВЧ волноводы, периодические структуры.

## MEASURING COMPLEX PERMITTIVITY VIA BRAGG MICROWAVE STRUCTURES

Research article

Nasybullin A.R.<sup>1,\*</sup>, Farkhutdinov R.V.<sup>2</sup>, Ishkaev T.M.<sup>3</sup>, Samigullin R.R.<sup>4</sup><sup>1</sup> ORCID: 0000-0001-7802-8212;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0002-4188-5090;<sup>3</sup> ORCID: 0000-0001-8263-2391;<sup>4</sup> ORCID: 0000-0002-2465-9438;<sup>1, 2, 3, 4</sup> A. N. Tupolev Kazan National Research Technical University KAI, Kazan, Russia

\* Corresponding author (aydar.nasybullin[at]mail.ru)

**Abstract**

The article discusses the general principles of measuring the conversion of the complex permittivity of various material media at ultrahigh frequencies in relation to a new type of conversion elements consisting of an electrodynamic structure with a Bragg resonance. In the microwave range, such structures are implemented in waveguide segments by introducing a system of periodic inhomogeneities or irregularities. The research presents a solution to a model problem with the goal of evaluating the sensitivity of measurements in order to identify key features and patterns in the behavior of the Bragg structure used as a sensor. The obtained results can be used in the design of microwave sensors for dielectric control of materials and substances.

**Keywords:** The Bragg resonance, complex permittivity, microwave waveguides, periodic structures.

**Введение**

Эффект брэгговского отражения явился фундаментальной основой для построения многих элементов оптической техники, таких, например, как многослойные диэлектрические зеркала и волоконно-оптические решетки Брэгга (ВРБ). В подобных элементах оптическое излучение на определенных длинах волн отражается с близким к единице коэффициентом отражения, что дает возможность построить эффективные селективные и отражательные устройства.

Брэгговские структуры являются частным случаем фотонного кристалла (ФК), а именно его одномерным вариантом. Впервые термин «фотонный кристалл» был введен в 1987 г. американским исследователем Илаем Яблоновичем и предназначался для определения оптического материала с одно-, двух- или трехмерной пространственной периодичностью искусственных включений [1], [2 С.1-7]. В ФК вследствие брэгговского отражения, происходит образование фотонных запрещенных зон для некоторых или всех направлений падения оптического луча в зависимости от типа ФК. В своих исследованиях Яблонович предложил для изучения свойств оптических ФК создавать их аналоги в микроволновом или миллиметровом диапазоне электромагнитных колебаний. Внедрение данного подхода привело к упрощению моделирования работы оптических ФК, а также способствовало повышению интереса к микроволновым ФК. В последние 25 лет количество публикаций, посвященных микроволновым ФК, неуклонно возрастало. Многие идеи и принципы, разработанные для оптических ФК, были успешно перенесены в область СВЧ, что позволило получить принципиально новые функциональные элементы для применения в антенной технике [3 С.405-430], высокоскоростных цифровых системах [4 С.61-76], для построения отражателей, высокочастотных резонаторов, фильтров и линий задержки [5 С.86-101].

Микроволновые ФК, как и их оптические прототипы, обладают широкими перспективами применения в измерительной технике. На текущий момент наиболее развиты сенсорные приложения оптических ФК, которые не ограничиваются датчиками на основе ВРБ. В области СВЧ колебаний брэгговские структуры или ФК применительно к сенсорной тематике представлены недостаточно широко. Известны подходы к реализации датчика деформаций для

структурного мониторинга строительных сооружений [6], измерения уровня жидких продуктов [7], многопараметрового измерения полупроводниковых структур [8], измерения диэлектрических пластин [9].

Особое значение указанные структуры могут получить при измерении диэлектрической проницаемости веществ в СВЧ диапазоне. Преимуществом использования брэгговских структур перед традиционными элементами диэлектрического анализа является увеличение чувствительности измерения. Доказательством данного факта может послужить работа [10], посвященная исследованию одномерной периодической структуры в оптическом интегральном исполнении для реализации перестраиваемой линии задержки. В работе показано, что благодаря стремлению к нулю групповой задержки  $v_g$  (производная от дисперсионной кривой  $\omega-k$ ) при приближении к границам запрещенной зоны (полосы заграждения), изменение волнового числа  $\Delta k$  на заданной частоте  $\omega$  при малом приращении показателя преломления  $n$  будет больше, чем для случая отсутствия периодической структуры. Сказанное поясняет (см. рисунок 1).

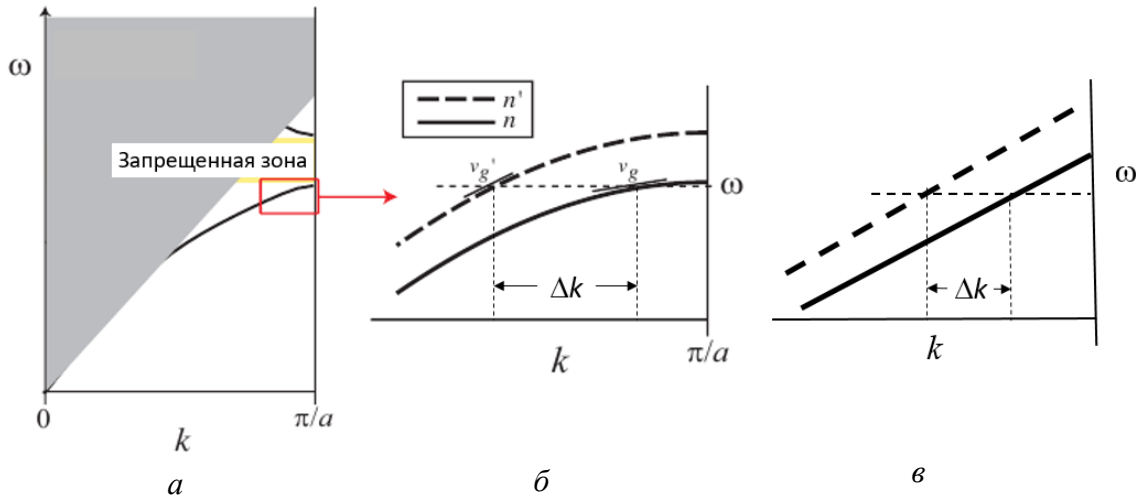


Рис. 1 – Дисперсионная кривая периодической структуры при малом приращении показателя преломления: а) общий вид дисперсионной характеристики периодической структуры; б) возмущение показателя преломления в периодической структуре; в) возмущение показателя преломления без периодической структуры

Изменение показателя преломления оптической интегральной структуры аналогично изменению диэлектрической проницаемости внешней среды для аналогичной периодической структуры в СВЧ диапазоне. Следовательно, фазовый сдвиг  $\Delta kL$ , где  $L$  – длина структуры, окажется наибольшим на границах полосы заграждения и чувствительность к изменению диэлектрической проницаемости будет максимальна. В данной статье производится анализ измерительной задачи определения действительной и мнимой частей относительной комплексной диэлектрической проницаемости (ОКДП):

$$\dot{\epsilon}_r = \epsilon_r' - i\epsilon_r'' \quad (1)$$

#### Математическая модель СВЧ брэгговской структуры

Оценку измерительных возможностей брэгговских СВЧ структур (БСВЧС) проведем на основе математического моделирования эквидистантной брэгговской структуры, представленной в виде кусочно-регулярного волновода с кусочно-однородным заполнением. Под однородностью будем понимать постоянство значений ОКДП диэлектрического материала участка линии, а под регулярностью – неизменность размеров и формы поперечных сечений проводящих элементов вдоль продольной оси линии. В кусочно-однородных и кусочно-регулярных линиях переходы между областями с однородным заполнением и с регулярным сечением имеют скачкообразный характер. Ограничимся случаями, когда переходы между различными диэлектриками и участками волновода с разными сечениями совпадают. Формально модель такой структуры может быть представлена в виде, показанном на рисунке 2. Условие эквидистантности выражается в наличии одинаковых повторяющихся элементарных ячеек длиной  $\Lambda$ , каждая из которых состоит из каскадного соединения двух участков волновода с длинами  $L_1$  и  $L_2$ , заполненные диэлектриками с ОКДП  $\dot{\epsilon}_r^{(1)}$  и  $\dot{\epsilon}_r^{(2)}$  и обладающими множителями волнового сопротивления  $W_0^{(1)}$  и  $W_0^{(2)}$ , смысл которых будет пояснен ниже. Общее количество ячеек обозначим как  $N$ .

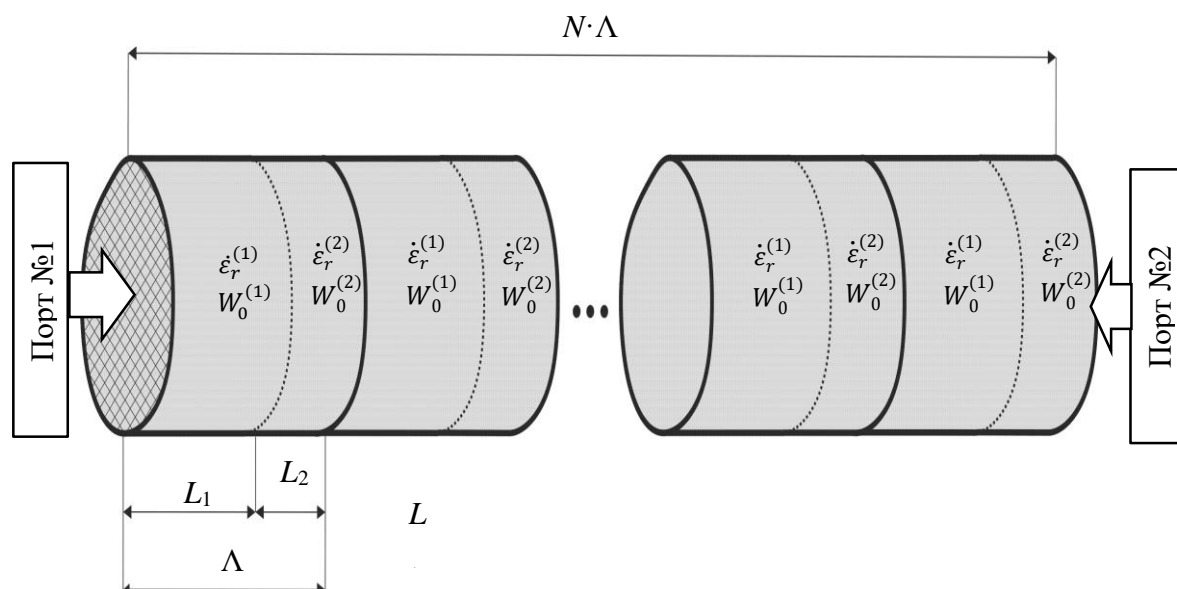


Рис. 2 – Условное изображение эквидистантной брэгговской структуры

Интересующими нас электромагнитными характеристиками выступают частотная зависимость модуля и фазы коэффициента отражения (КО) и коэффициента передачи (КП) волновода. Частотные зависимости КО и КП являются основными информационно-измерительными характеристиками, несущими отклик на изменение обеих частей ОКДП. Поставленная модельная задача может быть решена различными способами, например, методами волновых или классических матриц передачи, трансформации импеданса, согласования волн, конечных разностей, конечных элементов и др.

Если предположить, что в регулярном волноводе может распространяться только основной тип волны, то можно воспользоваться распространенным в теории длинных линий методом трансформации импеданса для расчета полного сопротивления в произвольной точке неоднородной линии. Известно, что любой волновод может быть представлен в виде эквивалентной длинной линии. В этой линии распространяются эквивалентные волновые напряжения и токи, которые физически существуют только в случае ТЕМ-волн, а для всех остальных типов распространяющихся электромагнитных колебаний являются фиктивными. Введение понятий падающих и отраженных волн тока и напряжения позволяет говорить о волновом сопротивлении эквивалентной линии  $Z_0$ . Значение величины  $Z_0$  уникально только для линий передачи с ТЕМ-волнами, а для всех остальных типов волн может быть задана различными способами. Волновое сопротивление в общем случае определяется как

$$Z_0 = \frac{|v_0|^2}{\int_S |\mathbf{e}_t|^2 dS} \eta, \quad (2)$$

где  $\eta$  – характеристическое сопротивление среды, равное  $\sqrt{\mu_a/\epsilon_a}$ ,  $\mathbf{e}_t$  – вектор поперечного электрического поля,  $S$  – поперечное сечение волновода,  $v_0$  – нормирующая константа, имеющая размерность напряжения.

Выражение (2) можно записать в следующем виде

$$Z_0 = W_0 \eta = W_0 \sqrt{\frac{\mu_a}{\epsilon_0 \epsilon_r}}, \quad (3)$$

где  $W_0$  назовем множителем волнового сопротивления. Из (3) видно, что  $W_0$  зависит только от формы поперечного сечения и распределения поля. Значение величины  $W_0$  влияет исключительно на абсолютное значение волнового сопротивления, в то время как  $\eta$  определяет также и фазу.

Помимо волнового сопротивления, которое остается постоянным в пределах регулярного и однородного отрезка эквивалентной линии, в каждой точке вдоль оси  $z$  в линии существует входное сопротивление, определяемое как отношение полного эквивалентного напряжения к полному эквивалентному току. Термин «полное» означает сумму падающей и отраженной волн.

Метод трансформации импеданса основан на представлении чередующихся областей волновода в виде отрезков эквивалентных линий передач с волновым сопротивлением  $Z_0$ . Далее производится расчет входного сопротивления каждой линии поочередно начиная с нагрузки. Условимся, что диэлектрики могут обладать произвольными потерями, следовательно, отрезки с диэлектриками характеризуются комплексными волновыми сопротивлениями.

В основе метода лежит известное выражение для входного сопротивления в любой точке длинной линии, расположенной на расстоянии  $l$  от нагрузки  $Z_L$

$$Z_{in}(l) = Z_0 \frac{Z_L + Z_0 \operatorname{th}(\gamma l)}{Z_0 + Z_L \operatorname{th}(\gamma l)}, \quad (4)$$

где  $\gamma = \alpha + j\beta$  – комплексный коэффициент распространения в линии,  $\alpha$  – коэффициент затухания,  $\beta$  – волновое число. Параметры  $\alpha$  и  $\beta$  зависят от  $\epsilon_r$ .

Используя (4) для структуры, изображенной на рисунке 2, можно определить входное сопротивление в каждом сечении линии, соответствующем переходу между диэлектриками и разными сечениями линии:

$$Z_{in}^{(n)} = W_0^{(i)} \sqrt{\frac{\mu_a}{\epsilon_0 \epsilon_r^{(i)}}} \left( \frac{Z_{in}^{(n-1)} + W_0^{(i)} \sqrt{\frac{\mu_a}{\epsilon_0 \epsilon_r^{(i)}}} \operatorname{th}(\gamma^{(i)} L_i)}{W_0^{(i)} \sqrt{\frac{\mu_a}{\epsilon_0 \epsilon_r^{(i)}}} + Z_{in}^{(n-1)} \operatorname{th}(\gamma^{(i)} L_i)} \right), n = 1 \dots 2N, \quad (5)$$

где  $n$  – порядковый номер сечения. Нумерация производится от сечения с  $n=0$ , к которому подключена нагрузка. Для случая, когда нагрузка подключена к порту 2, а источник – к порту 1 (см. рисунок 2) в (5) будет  $i=1$ , если  $n$  – четное и  $i=2$ , если  $n$  – нечетное. Для случая, когда нагрузка подключена к порту 1, а источник – к порту 2 в (5) будет  $i=1$ , если  $n$  – нечетное и  $i=2$ , если  $n$  – четное. Согласно основной идее метода трансформации импеданса, первоначально находится входное сопротивление в сечении с  $n=0$ , которое равно сопротивлению нагрузки  $Z_{in}^{(0)} = Z_{load}$ . Далее рекуррентно по формуле (5) рассчитываются входные сопротивления  $Z_{in}^{(n)}$ . В каждом сечении существует коэффициент отражения, выражаемый как

$$\Gamma^{(n)} = \frac{Z_{in}^{(n-1)} - W_0^{(i)} \sqrt{\frac{\mu_a}{\epsilon_0 \epsilon_r^{(i)}}}}{Z_{in}^{(n-1)} + W_0^{(i)} \sqrt{\frac{\mu_a}{\epsilon_0 \epsilon_r^{(i)}}}}, n = 1 \dots 2N, \quad (6)$$

Коэффициент отражения от сечения, к которому подключен источник, согласно (6) можно найти следующим образом

$$\Gamma^{(2N)} = \frac{Z_{in}^{(2N)} - Z_{source}}{Z_{in}^{(2N)} + Z_{source}} \quad (7)$$

где  $Z_{source}$  – внутреннее сопротивление источника.

Полное эквивалентное напряжение  $U^{(n)}$  в каждом сечении  $n$  можно определить через коэффициент передачи ячейки по напряжению  $T^{(n)}$  как

$$U^{(n)} = U^{(n+1)} T^{(n)} = U^{(n+1)} \frac{(1 + \Gamma^{(n)}) e^{-\gamma^{(i)} L_i}}{1 + \Gamma^{(n)} e^{-2\gamma^{(i)} L_i}}, n = (2N - 1) \dots 1 \quad (8)$$

Для того чтобы найти значение полного напряжения на нагрузке, необходимо задать амплитуду падающей волны напряжения на входе волновода  $U_+^{(2N)}$  и определить полное напряжение на входе как

$$U^{(2N)} = U_+^{(2N)} (1 + \Gamma^{(2N)}) \quad (9)$$

Далее, используя выражение (8), последовательно вычисляются значения  $U^{(n)}$  при  $n=(2N-1)\dots 0$ . Обладая значениями напряжения на входе и выходе волновода, возможно рассчитать коэффициент передачи волновода по напряжению

$$T = \frac{U^{(0)}}{U^{(2N)}} = \frac{U^{(1)}(1 + \Gamma^{(0)})}{U^{(2N)}}, \quad (10)$$

где  $\Gamma^{(0)} = \frac{Z_{load} - W_0^{(i)} \sqrt{\frac{\mu_a}{\epsilon_0 \epsilon_r^{(i)}}}}{Z_{load} + W_0^{(i)} \sqrt{\frac{\mu_a}{\epsilon_0 \epsilon_r^{(i)}}}}$  – коэффициент отражения от нагрузки.

Выражения (7) и (10) позволяют отыскать элементы матрицы рассеяния всего волновода, а именно коэффициенты отражения  $S_{11}$  и прохождения  $S_{21}$  в виде

$$S_{11} = \Gamma^{(2N)} \quad (11)$$

$$S_{21} = T \sqrt{\frac{Z_{source}}{Z_{load}}}, \quad (12)$$

где в качестве  $Z^{(0)}$  и  $Z_L$  используются волновые сопротивления подводящих линий. Коэффициенты  $S_{12}$  и  $S_{22}$  находятся аналогично по формулам (5)-(12) при замене источника на нагрузку и наоборот.

### Результаты моделирования

Общая формула для брэгговской частоты при произвольных  $\varepsilon_r^{(1)}$ ,  $\varepsilon_r^{(2)}$ ,  $L_1$  и  $L_2$  будет выглядеть как

$$f_B = \frac{c}{2\text{Re}\left(\sqrt{\varepsilon_r^{(1)}}\right)L_1 + \text{Re}\left(\sqrt{\varepsilon_r^{(2)}}\right)L_2} \quad (13)$$

где  $L_1 + L_2 = \Lambda$  – пространственный период структуры,  $c$  – скорость света.

Частотную характеристику коэффициента отражения периодической СВЧ-структуры удобно представить как функцию от нормированной частоты  $\bar{f} = f/f_B$ , где  $f_B$  определяется через (13). Пример такой характеристики можно наблюдать на рисунке 3, там же указаны названия основных характерных элементов, которые будут в дальнейшем в работе использоваться. Периодичность в расположении частотных полос заграждения приводит к появлению понятий вторая, третья и т.д. полосы заграждения. Центральные частоты этих полос заграждения будут кратны основной брэгговской частоте согласно номеру полосы.

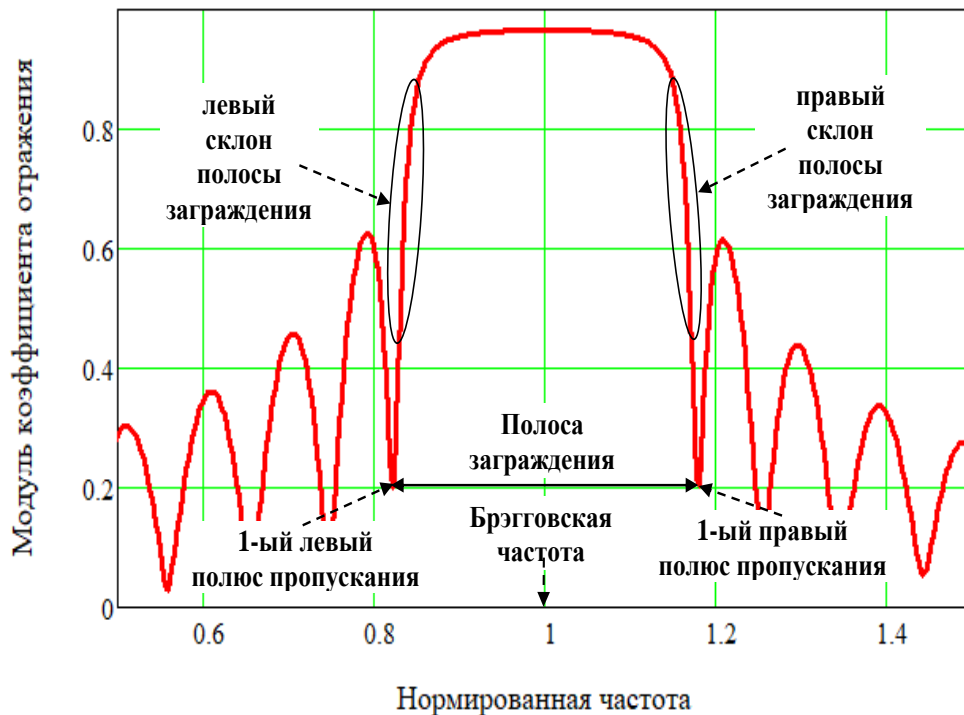


Рис. 3 – Типичная частотная характеристика коэффициента отражения периодической СВЧ-структуры в области брэгговского резонанса

На рисунке 3 также указаны названия основных участков характеристики брэгговской структуры.

Проведем численное моделирование задачи измерения реальной и мнимой частей ОКДП с помощью чувствительного элемента в виде эквидистантной БСВЧС. Примем за измеряемую величину  $\varepsilon_r^{(1)}$ , а значение  $\varepsilon_r^{(2)}$  будем считать заданным. Эффективность чувствительного элемента в первую очередь определяется его чувствительностью, показывающей, насколько сильно изменится выходной сигнал преобразователя при малой вариации измеряемой величины. Будем анализировать изменения частотных характеристик БСВЧС при малой вариации величин  $\varepsilon_r^{(1)}$  и  $\varepsilon_r^{(2)}$ . Для оценки степени этого изменения введем параметр чувствительности:

$$S_x^F = \left| \frac{\partial F}{\partial x} \right|, \quad (14)$$

где  $F$  – функция, определяющая значение выходной величины, то есть модуль или фаза КО или КП, определяемые по формулам (11) и (12),  $x$  – входная величина, то есть  $\varepsilon_r^{(1)}$  и  $\varepsilon_r^{(2)}$ . Таким образом следует определить следующие

зависимости  $S_{\varepsilon_r'}^{[S_{11}]}(f)$ ,  $S_{\varepsilon_r''}^{[S_{11}]}(f)$ ,  $S_{\varepsilon_r'}^{\arg(S_{11})}(f)$ ,  $S_{\varepsilon_r''}^{\arg(S_{11})}(f)$ ,  $S_{\varepsilon_r'}^{[S_{21}]}(f)$ ,  $S_{\varepsilon_r''}^{[S_{21}]}(f)$ ,  $S_{\varepsilon_r'}^{\arg(S_{21})}(f)$ ,  $S_{\varepsilon_r''}^{\arg(S_{21})}(f)$ , в обозначении которых для удобства индекс (2) у измеряемых проницаемостей опускается.

В качестве исходных данных для вычислительного эксперимента выберем следующие параметры:  $\varepsilon_r'^{(1)}=5$ ,  $\varepsilon_r''^{(1)}=0,1$ ,  $\varepsilon_r'^{(2)}=2$ ,  $\varepsilon_r''^{(2)}=0,004$ , количество ячеек  $N=10$ . Выберем равные между собой множители волновых сопротивлений и электрические длины двух участков, составляющих ячейку периодической структуры, то есть

$$W_0^{(1)} = W_0^{(2)} \text{ и } Re\left(\sqrt{\varepsilon_r'^{(1)}}\right)L_1 = Re\left(\sqrt{\varepsilon_r'^{(2)}}\right)L_2 \quad (15)$$

Последнее выражение в условии (15) приводит к тому, что в частотной характеристике КО БСВЧС можно наблюдать только полосы заграждения с нечетными номерами. Также при соблюдении указанного условия форма частотных характеристик для полос заграждения не зависит от абсолютных значений величин  $L_1$  и  $L_2$ , а при их вариации наблюдается только смещение характеристик по частоте.

По формуле (14) методом численного дифференцирования были определены частотные зависимости параметров чувствительности. Проведем анализ полученных зависимостей применительно к КО с целью определения частотных областей с максимальной чувствительностью. На рисунках 4 и 5 показаны характеристики  $S_{\varepsilon_r'}^{[S_{11}]}(f)$ ,  $S_{\varepsilon_r''}^{[S_{11}]}(f)$ ,  $S_{\varepsilon_r'}^{\arg(S_{11})}(f)$ ,  $S_{\varepsilon_r''}^{\arg(S_{11})}(f)$  для первой полосы заграждения, а на рисунке, а на рисунках 6 и 7 – для третьей. Как можно наблюдать из графиков, присутствует существенная неравномерность в частотной зависимости параметров чувствительности

Подробно анализируя зависимости на рисунках 4-7, можно сделать следующие выводы:

- 1) Максимальная чувствительность наблюдается на правом склоне полосы заграждения.
- 2) Зависимости  $S_{\varepsilon_r'}^{[S_{11}]}(f)$  и  $S_{\varepsilon_r''}^{\arg(S_{11})}(f)$  обладают максимумами и минимумами в одинаковых частотных точках, при этом глобальный максимум приходится на нижнюю область правого склона полосы заграждения.
- 3) Зависимости  $S_{\varepsilon_r''}^{[S_{11}]}(f)$  и  $S_{\varepsilon_r'}^{\arg(S_{11})}(f)$  обладают максимумами и минимумами в одинаковых частотных точках, при этом глобальный максимум приходится на первый правый полюс пропускания.
- 4) Зависимости  $S_{\varepsilon_r'}^{[S_{11}]}(f)$ ,  $S_{\varepsilon_r''}^{\arg(S_{11})}(f)$  и  $S_{\varepsilon_r''}^{[S_{11}]}(f)$ ,  $S_{\varepsilon_r'}^{\arg(S_{11})}(f)$  имеют противоположные максимумы и минимумы.
- 5) Третьей полосе заграждения характерно уменьшение максимальных абсолютных значений чувствительностей по сравнению с первой полосой, но наблюдается расширение областей частот с максимальной чувствительностью.

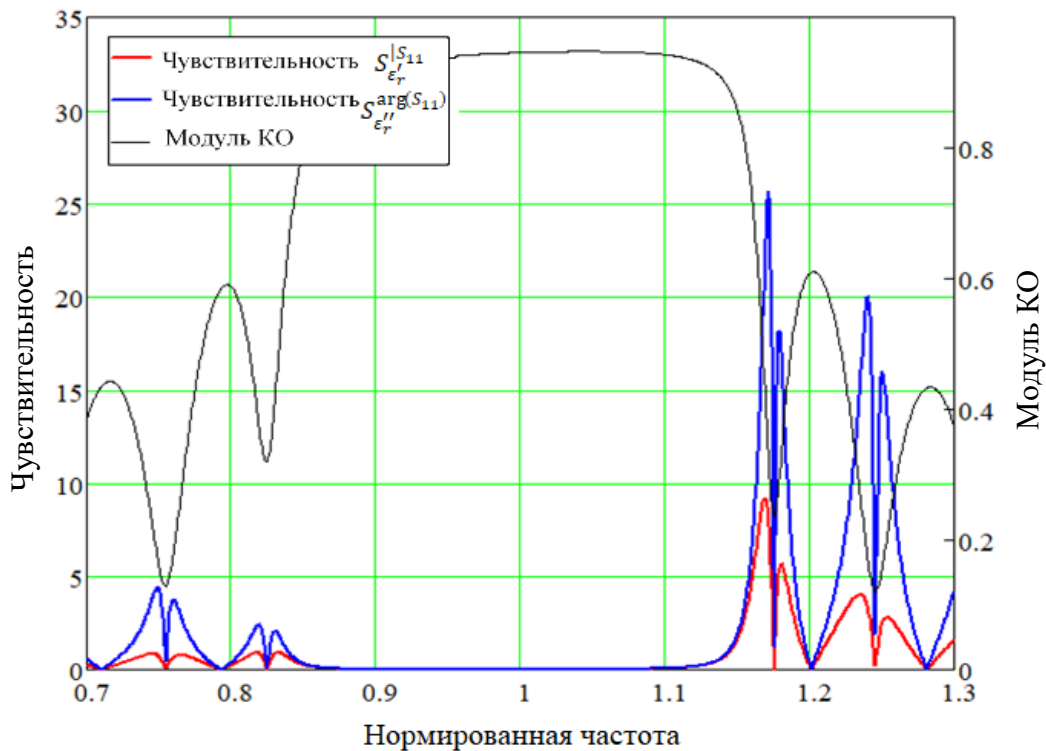


Рис. 4 – Характеристики чувствительности для КО для первой полосы заграждения

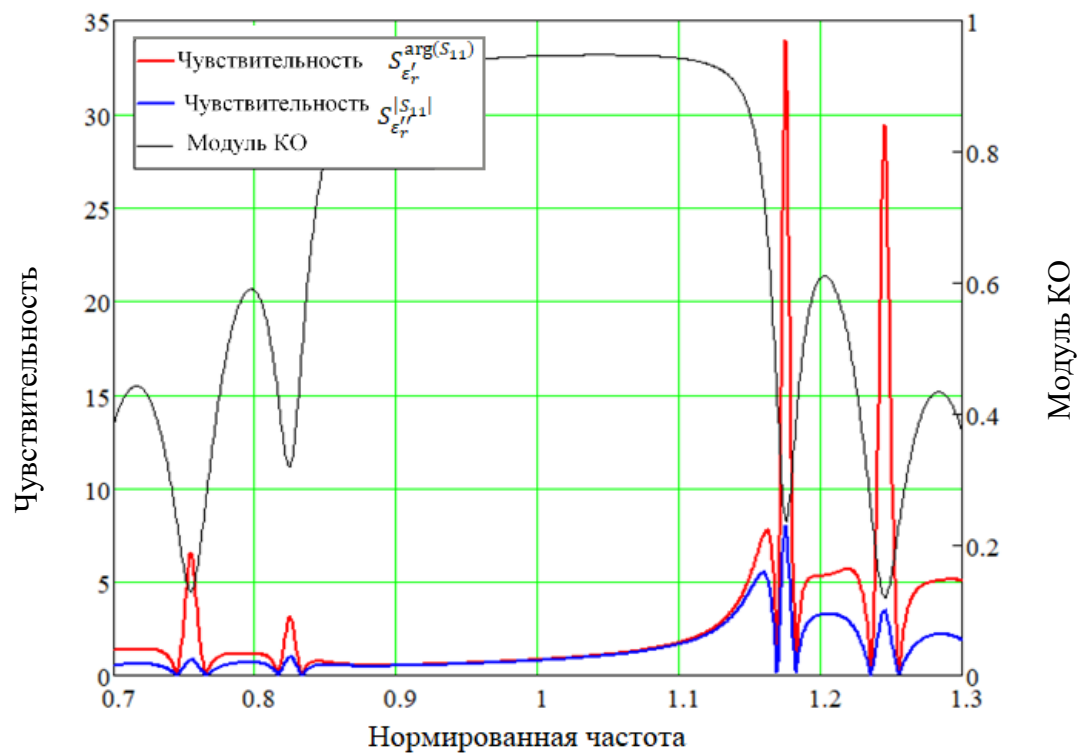


Рис. 5 – Характеристики чувствительности для КО для первой полосы заграждения

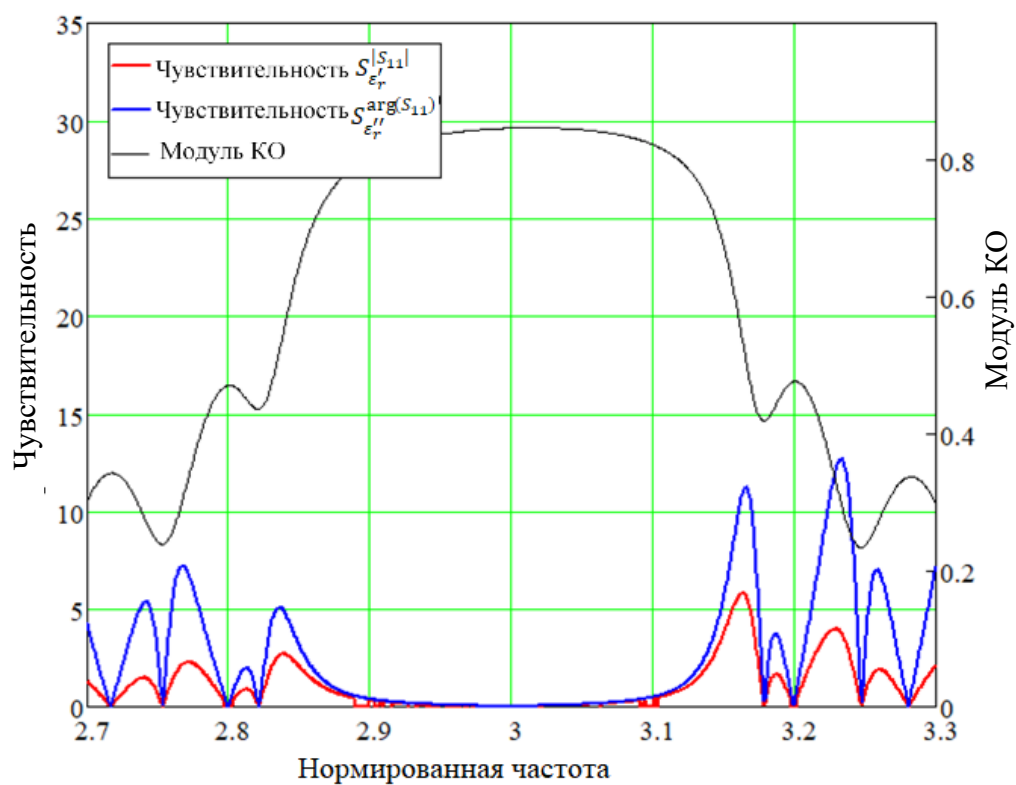


Рис. 6 – Характеристики чувствительности для КО для третьей полосы заграждения



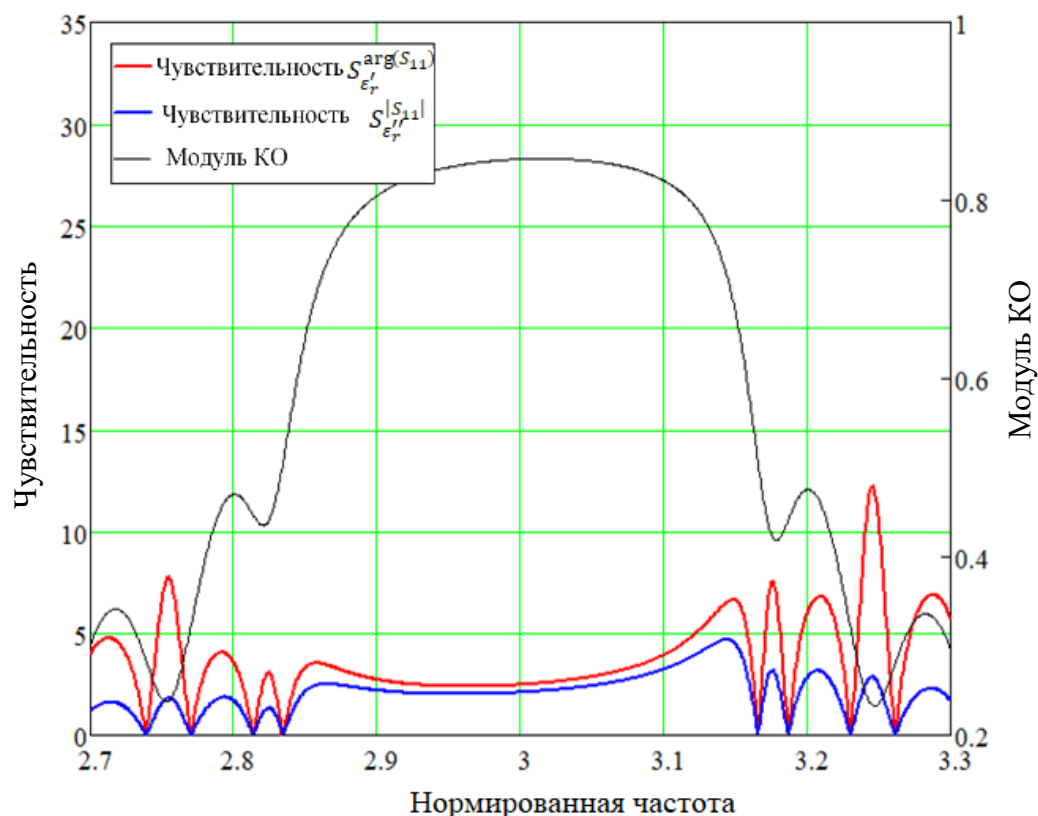


Рис. 7 – Характеристики чувствительности для КО для третьей полосы заграждения

Представленные выше сведения справедливы также для КП, отличие будет заключаться только в абсолютных значениях максимально достижимых чувствительностей. Примечательным фактом является изменение положения частотных точек с максимальной чувствительностью, а именно переход в область расположения левого склона полосы заграждения, при значениях измеряемой величины  $|\dot{\epsilon}_r^{(1)}| < |\dot{\epsilon}_r^{(2)}|$ .

### Заключение

Проведенные исследования позволяют сформулировать рекомендации к методике измерения комплексной диэлектрической проницаемости материальных сред с применением СВЧ брэгговских структур. Наличие участков частотных характеристик брэгговской структуры с повышенной чувствительностью позволяет проводить расчет искомой комплексной диэлектрической проницаемости по результатам измерения модуля и фазы КО или КП только в ряде частотных точек. Данное обстоятельство позволит сократить время расчета и обеспечит повышение точности результата измерения.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Conflict of Interest

None declared.

### Список литературы / References

1. Yablonovitch E. Inhibited spontaneous emission in solid-state physics and electronics / E. Yablonovitch // Physical Review Letters, – Vol. 58, N. 20. – P. 2059-2062.
2. Inoue K. Photonic Crystals: Physics, Fabrication and Applications / K. Inoue, K. Ohtaka // – Berlin [and etc.]: Springer-Verlag, 2004. – 320 p.
3. Minin I. Microwave and Millimeter Wave Technologies: from Photonic Bandgap Devices to Antenna and Applications / I. Minin (ed.) // – Vukovar: In-Tech, 2010. – 468 p.
4. Orlandi A. Electromagnetic Bandgap (EBG) Structures: Common Mode Filters for High-Speed Digital Systems / A. Orlandi, B. Archambeault, F.D. Paulis, S. Connor // Hoboken: John Wiley & Sons, 2017. – 221 p.
5. Martín F. Artificial Transmission Lines for RF And Microwave Applications / F. Martín // Hoboken: John Wiley & Sons, 2015. – 520 p.
6. Huang J. Coaxial cable Bragg grating sensors for large strain measurement with high accuracy / J. Huang, T. Weia, X. Lana, J. Fanb, H. Xia // Proc. of SPIE. – 2012. – Vol. 8345. – P. 83450Z.
7. Насыбуллин А.Р. Преобразовательный элемент измерителя уровня жидких продуктов на основе брэгговской СВЧ-структуры в коаксиальном кабеле / А.Р. Насыбуллин, О.Г. Морозов, А.А. Севастьянов, Р.В. Фархутдинов, Р.Р. Самигуллин // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. – [Электронный ресурс] : URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=16390> (дата обращения: 24.11.2020)
8. Усанов Д.А. Многопараметровые измерения эпитаксиальных полупроводниковых структур с использованием одномерных сверхвысокочастотных фотонных кристаллов / Д.А. Усанов, С.А. Никитов, А.В. Скрипаль, Д.В. Пономарев, Е.В. Латышева // Радиотехника и электроника. – 2016. – Т.61, №1. – С. 45-53.

9. Усанов Д.А. Измерение параметров диэлектриков с использованием СВЧ коаксиальной брэгговской структуры / Усанов Д.А., Никитов С.А., Скрипаль А.В., Пономарев Д.В., Рузанов О.М., Тимофеев И.О. // Радиотехника. – 2019. – Т.83, №7. – С. 6-12.

10. Povinelli M.L. Slow-light, band-edge waveguides for tunable time delays / M.L. Povinelli, S.G. Johnson, J.D. Joannopoulos // Optics Express. – 2005. – Vol. 13, No. 18. – P. 7145-7159.

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Yablonovitch E. Inhibited spontaneous emission in solid-state physics and electronics / E. Yablonovitch // Physical Review Letters, – Vol. 58, N. 20. – P. 2059-2062.

2. Inoue K. Photonic Crystals: Physics, Fabrication and Applications / K. Inoue, K. Ohtaka // – Berlin [and etc.]: Springer-Verlag, 2004. – 320 p.

3. Minin I. Microwave and Millimeter Wave Technologies: from Photonic Bandgap Devices to Antenna and Applications / I. Minin (ed.) // – Vukovar: In-Tech, 2010. – 468 p.

4. Orlandi A. Electromagnetic Bandgap (EBG) Structures: Common Mode Filters for High-Speed Digital Systems / A. Orlandi, B. Archambeault, F.D. Paulis, S. Connor // Hoboken: John Wiley & Sons, 2017. – 221 p.

5. Martín F. Artificial Transmission Lines for RF And Microwave Applications / F. Martín // Hoboken: John Wiley & Sons, 2015. – 520 p.

6. Huang J. Coaxial cable Bragg grating sensors for large strain measurement with high accuracy / J. Huang, T. Weia, X. Lana, J. Fanb, H. Xiao // Proc. of SPIE. – 2012. – Vol. 8345. – P. 83450Z.

7. Nasybullin A. R. Preobrazovatel'nyj jelement izmeritelja urovnja zhidkih produktov na osnove brjeggovskoj SVCh-struktury v koaksial'nom kabele [Transformative Element of The Liquid Product Level Meter Based On The Bragg Microwave Structure In A Coaxial Cable] [Electronic resource] / A. R. Nasybullin, O. G. Morozov, A. A. Sevastyanov et al. // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. [Modern Problems of Science and Education.] - 2014. - No. 6. - [Electronic resource] : URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=16390> (accessed: 24.11.2020) [in Russian]

8. Usanov D. A. Mnogoparametrovye izmerenija jepitaksial'nyh poluprovodnikovyh struktur s ispol'zovaniem odnomernyh sverhvysochastotnyh fotonnyh kristallov [Multiparameter Measurements of Epitaxial Semiconductor Structures Using One-Dimensional Ultrahigh-Frequency Photonic Crystals] / D. A. Usanov, S. A. Nikitov, A.V. Skripal et al. // Radiotekhnika i jelektronika. [Radio Engineering and Electronics.] - 2016. - Vol. 61, No. 1. - pp. 45-53 [in Russian]

9. Usanov D. A. Izmerenie parametrov dijelektrikov s ispol'zovaniem SVCh koaksial'noj brjeggovskoj struktury [Measurement of Parameters of Dielectrics Using Microwave Coaxial Bragg Structure] / D. A. Usanov, S. A. Nikitov, A.V. Skripal // Radiotekhnika. [Radio Engineering.] - 2019. - Vol. 83, No. 7. - pp. 6-12 [in Russian]

10. Povinelli M.L. Slow-light, band-edge waveguides for tunable time delays / M.L. Povinelli, S.G. Johnson, J.D. Joannopoulos // Optics Express. – 2005. – Vol. 13, No. 18. – P. 7145-7159.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.102.12.011>

# АНАЛИЗ ПРЕИМУЩЕСТВ И НЕДОСТАТКОВ СОВРЕМЕННЫХ НАДУЛЬНЫХ ПРИБОРОВ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ ЗВУКА ВЫСТРЕЛА

Научная статья

Зеленко В.К.<sup>1</sup>, Нестеренко А.И.<sup>2,\*</sup><sup>1, 2</sup> Тульский государственный университет, Тула, Россия

\* Корреспондирующий автор (shura.nesterenko.94[at]mail.ru)

## Аннотация

В настоящее время одной из актуальных задач, которая ставится перед учёными и конструкторами-оружейниками в области стрелково-пушечного вооружения, является разработка приборов снижения уровня звука выстрела. Связано это с тем, что появилась большая необходимость в огнестрельном оружии, которое позволяет производить выстрел скрытно, не выдавая стрелка звуком выстрела.

В данной статье рассмотрены преимущества и недостатки надульных глушителей звука выстрела, приведены результаты исследований по их влиянию на тактико-технические характеристики ручного огнестрельного оружия, а также приведена статистика их использования.

**Ключевые слова:** глушитель звука выстрела, дульное пламя, огнестрельное оружие, надульные газодинамические устройства, явление выстрела.

## ANALYSIS OF ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF MODERN MUZZLE DEVICES FOR REDUCING THE SOUND OF A SHOT

Research article

Zelenko V.K.<sup>1</sup>, Nesterenko A.I.<sup>2,\*</sup><sup>1, 2</sup> Tula State University, Tula, Russia

\* Corresponding author (shura.nesterenko.94[at]mail.ru)

## Abstract

Currently, one of the most urgent tasks that is put before scientists and designers-gunsmiths in the field of small arms and cannon weapons is the development of devices for reducing the sound of a shot. This is due to the fact that there is a great need for firearms that allow you to shoot covertly, without giving the shooter the sound of a shot.

This article discusses the advantages and disadvantages of muzzle silencers, provides research results on their impact on the tactical and technical characteristics of handguns, and provides statistics on their use.

**Keywords:** silencer of the sound of a shot, muzzle flame, firearms, muzzle gas-dynamic devices, shot.

С ростом значения разведывательно-диверсионных действий в тылу противника и развитием разнообразных спецслужб и сил специальных операций появилась необходимость в образцах ручного огнестрельного оружия, которое позволяет производить выстрел скрытно, не выдавая стрелка звуком выстрела [2]. Поэтому в настоящее время большое количество образцов ручного огнестрельного оружия, состоящего на вооружении, имеют варианты конструкции, обеспечивающие малошумную стрельбу. Этот эффект чаще всего достигается использованием в составе оружия прибора снижения уровня звука выстрела (ПСУЗВ), также более известный как глушитель звука выстрела.

Из всего многообразия глушителей для ручного огнестрельного оружия в настоящее время наибольшее распространение получили надульные многокамерные глушители (см. рисунок 1), представляющие собой ресиверы, разделённые на ряд камер перегородками с соосными каналу ствола отверстиями для пролёта пули.



Рис. 1 – Надульный многокамерный глушитель звука выстрела

Основная задача глушителя для огнестрельного оружия – это снизить уровень звука выстрела, который образуется в результате взаимодействия переднего фронта порохового газа, истекающего из канала ствола оружия после вылета пули, с воздухом атмосферы.

Достигается это за счёт объёмного расширения истекающих из канала ствола огнестрельного оружия пороховых газов, вследствие чего понижается давление и замедляется выход пороховых газов в атмосферу, увеличивается время периода последствия, что в результате приводит к снижению интенсивности образуемой дульной волны.

В таблице 1 и на рисунках 2, 3 представлены результаты измерений [5] уровней звука выстрела, полученные при испытаниях различных моделей глушителей для ручного огнестрельного оружия.

При испытаниях использовалась методика согласно стандарту Армии США MIL-STD-147D. Оценивались и сравнивались пиковые значения уровней звука выстрела оружия без глушителя и с глушителем.

Таблица 1 – Уровень звука выстрела при стрельбе из ручного огнестрельного оружия без глушителя и с глушителем

	Боеприпас	Оружие	Длина ствола, мм	Глушитель	Скорость на дульном срезе ствола, м/с	Уровень звука, дБ
1	7,62 HV	АК-47	414	-	701	159
2	7,62 SS	АК-47	414	-	298	159
3	7,62 SS	АК-47	414	ПБС-1	296	139
4	Sako SS	АК-47	414	ПБС-1	331	137
5	9 мм HV	Beretta 92	155	-	346	152
6	9 мм HV	Beretta 92	155	LEI SQ	342	143
7	9 мм SS	Beretta 92	155	-	281	152
8	9 мм SS	Beretta 92	155	LEI SQ	276	139
9	9 мм HV	H&K MP5	225	-	383	154
10	9 мм HV	H&K MP5	225	BR-Tuote R16MP5	390	134
11	9 мм SS	H&K MP5	225	-	312	152
12	9 мм SS	H&K MP5	225	BR-Tuote R16MP5	308	135
13	9 мм HV	H&K MP5	225	LEI MP5	381	132
14	9 мм SS	H&K MP5	225	LEI MP5	310	131
15	.223HV	M16A1	508	-	874	155
16	.223HV	M16A1	508	BR-Tuote T8AR	868	131
17	.223HV	SAR 80	459	-	907	156
18	.223HV	SAR 80	459	LEI Universal	906	134
19	.45 CBC	H&K Mk23	149	-	263	155
20	.45 CBC	H&K Mk23	149	B&T Impulse II	276	143

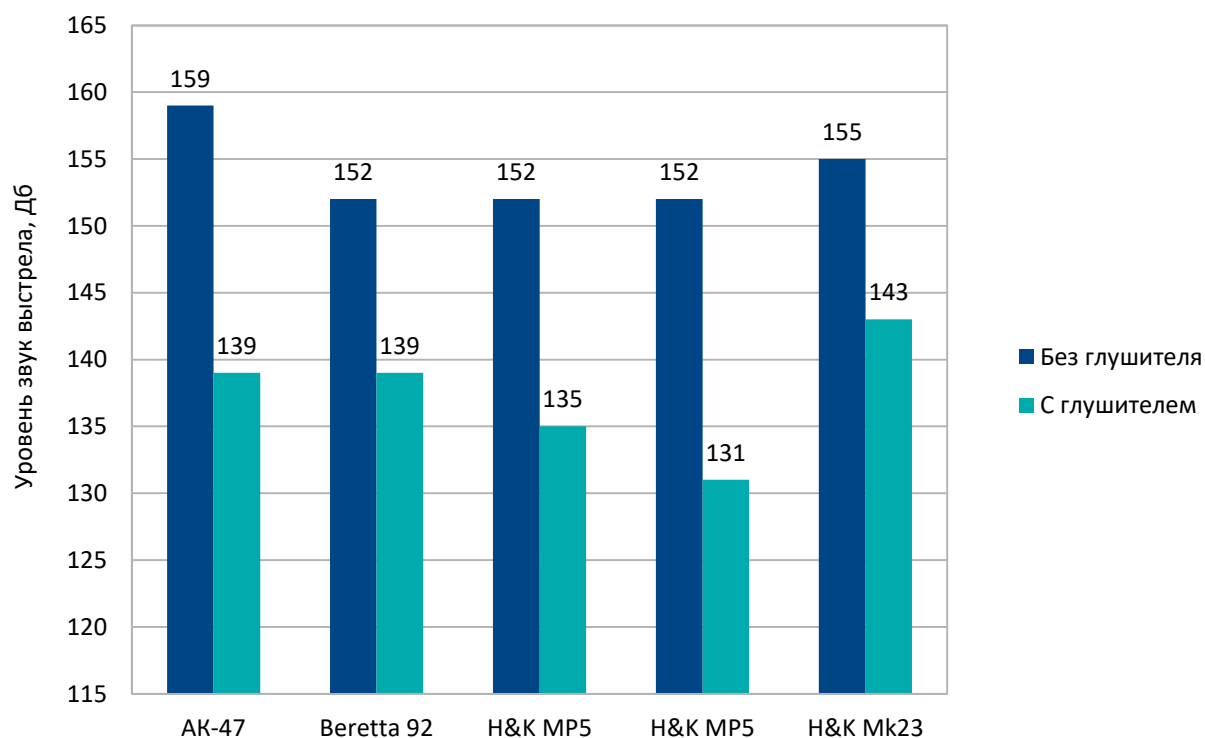


Рис. 2 – Уровень звука выстрела без глушителя и с глушителем при стрельбе дозвуковыми патронами

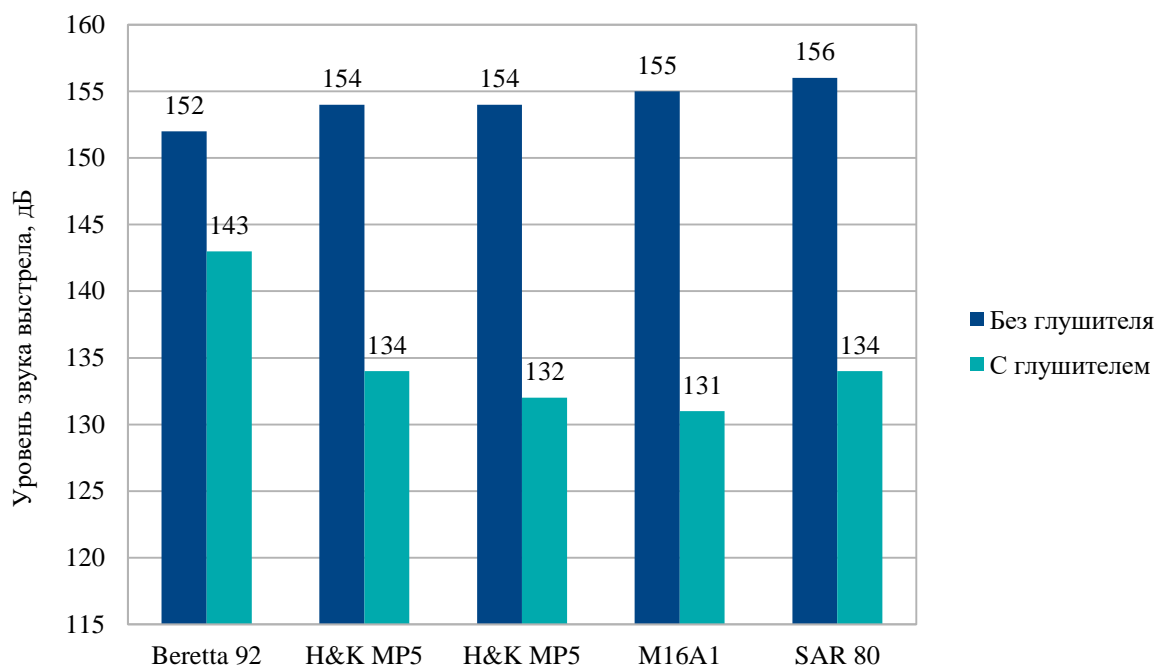


Рис. 3 – Уровень звука выстрела без глушителя и с глушителем при стрельбе сверхзвуковыми патронами

Как видно из таблицы 1, уровень звука выстрела из ручного огнестрельного оружия без глушителя больше значения болевого порога (140 дБ). Применение этих приборов позволяет не только произвести выстрел скрытно, не выдавая стрелка звуком выстрела, но и снизить акустическое воздействие дульной волны на органы слуха, на центральную и вегетативную нервную системы стреляющего.

Это очень полезная функция глушителей звука выстрела, потому что в настоящее время не каждый стрелок оборудован средствами индивидуальной защиты органов слуха.

Помимо военного назначения глушители звука выстрела получили большое распространение на рынке гражданского оружия: на стрельбищах, где стреляют много и часто, а также на охоте, поскольку глушитель, в случае промаха, даёт возможность произвести повторный выстрел, не спугнув дичь.

Например, в странах Европейского союза (Германия, Финляндия, Франция, Швеция и др.) использование глушителей на охоте воспринимается как вполне обычное явление, которое в свою очередь регулируется нормативным актом об уровнях шума и вибрации, допустимых правилами охраны труда. В соответствии с ним максимально допустимые шумы не должны превышать 137 дБ.

Также глушители получили большое распространение на гражданском рынке Соединенных Штатов Америки. Согласно данным (см. рисунок 4) федерального агентства Министерства юстиции США, а именно «Бюро алкоголя, табака, огнестрельного оружия и взрывчатых веществ», количество зарегистрированных глушителей на гражданском рынке с 2010 года по 2018 год увеличилось на 423%.

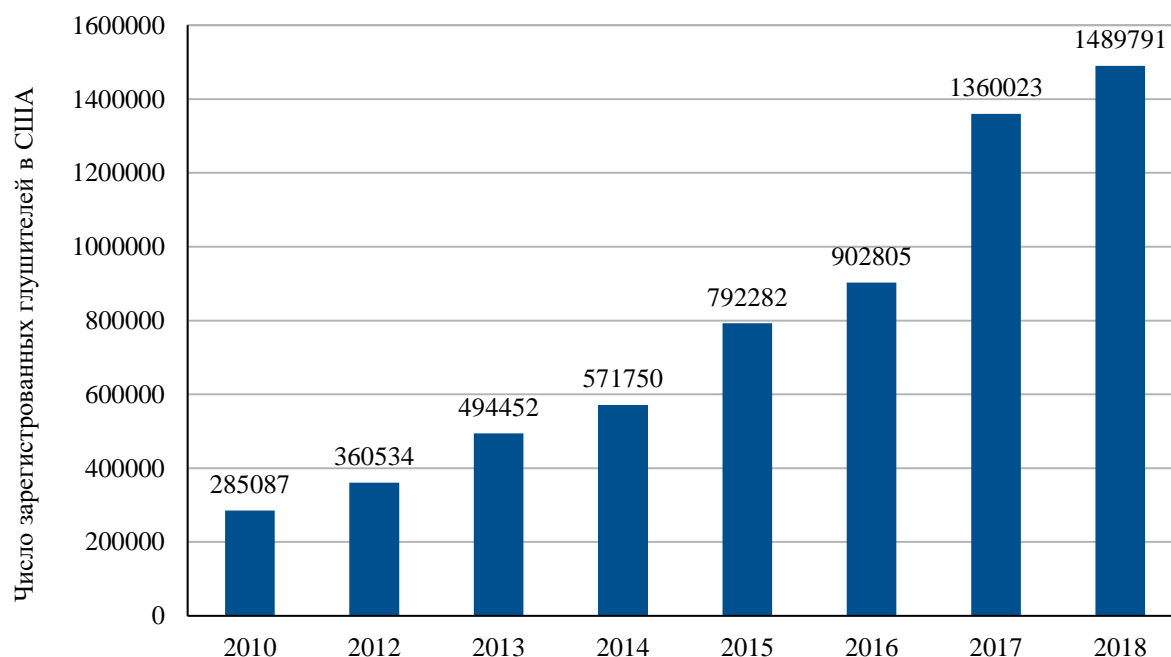


Рис. 4 – Число зарегистрированных глушителей на гражданском рынке США с 2010 года по 2018 год

На территории Российской Федерации продажа глушителей никак не запрещена, а хранить и носить их можно без ограничений. Но, в соответствии со статьёй 6 пункт 3 Федерального закона «Об оружии», запрещена установка глушителей на гражданское оружие.

Помимо того, что явление выстрела из огнестрельного оружия сопровождается таким физическим явлением как звук выстрела, также при стрельбе возле дульного среза возникает пламя. Оно образуется вследствие догорания некоторых горючих компонентов пороховых газов (окиси углерода, молекулярного водорода, метана) от соединения их с кислородом воздуха. Пламя появляется на некотором расстоянии от дульного среза ствола и зарождается в передней части газового облака. Несмотря на то, что продолжительность дульного пламени измеряется сотыми и тысячными долями секунды, этого вполне достаточно, чтобы обнаружить позицию стрелка.

Однако если установить глушитель на огнестрельное оружие, то горючие компоненты порохового газа догорают уже не в атмосфере воздуха, а в рабочей полости глушителя. Это уменьшает вероятность образования дульного пламени в атмосфере, как следствие увеличивает шансы стрелка при стрельбе остаться незамеченным.

Ещё одним преимуществом современных конструкций приборов снижения уровня звука выстрела, является то, что они выполняют функции дульного тормоза и компенсатора опрокидывающего момента, а именно снижают энергию отдачи от 20 до 30 процентов и уменьшают подброс оружия при ведении автоматического огня.

Однако приборы снижения уровня звука выстрела для ручного огнестрельного оружия имеют на данный момент ряд существенных недостатков.

После установки глушителя меняются массогабаритные характеристики и баланс оружия: увеличивается масса, длина и смещается центр масс системы ближе к дульному срезу ствола. В таблице 2 и на рисунках 5, 6 представлена разница массогабаритных характеристик некоторых образцов ручного огнестрельного оружия, которое оборудуется приборами снижения уровня звука выстрела.

Таблица 2 – Массогабаритные характеристики ручного огнестрельного оружия без глушителя и с глушителем

	Патрон	Оружие	Без глушителя		С глушителем		Приращение	
			Масса, кг	Длина, мм	Масса, кг	Длина, мм	Масса, %	Длина, %
1	5,45x39	АКСБ-74У с ПБС-3	2,67	649	3,58	874	34,1	34,7
2	5,45x39	АКСБ-74У с ПБС-4	2,81	630	3,42	860	21,7	36,5
3	5,56x45	Colt M4 A1 с глушителем Predator	2,79	840	3,49	1020	25,1	21,4
4	5,56x45	SIG SG 550 с B&T suppressor	4,10	998	4,68	1120	14,1	12,2
5	7,62x39	АКМ с ПБС	3,10	880	3,54	1032	14,2	17,3
6	7,62x39	АКМСБ с ПБС-1 “Тишина ССК-1”	5,85	900	6,49	1096	10,9	21,8
7	7,62x39	СКС с ПБС	3,75	1020	4,25	1177	13,3	15,4
8	7,62x39	РПД с ПБС	7,40	1037	7,83	1194	5,8	15,1
9	7,62x51	M14 с B&T suppressor	3,90	1120	4,64	1258	19	12,3
10	9x39	ОЦ-14-4А-03 Гроза-4	3,06	500	3,54	720	15,7	44
11	9x39	СР-3М	2,48	675	3,20	970	29	43,7

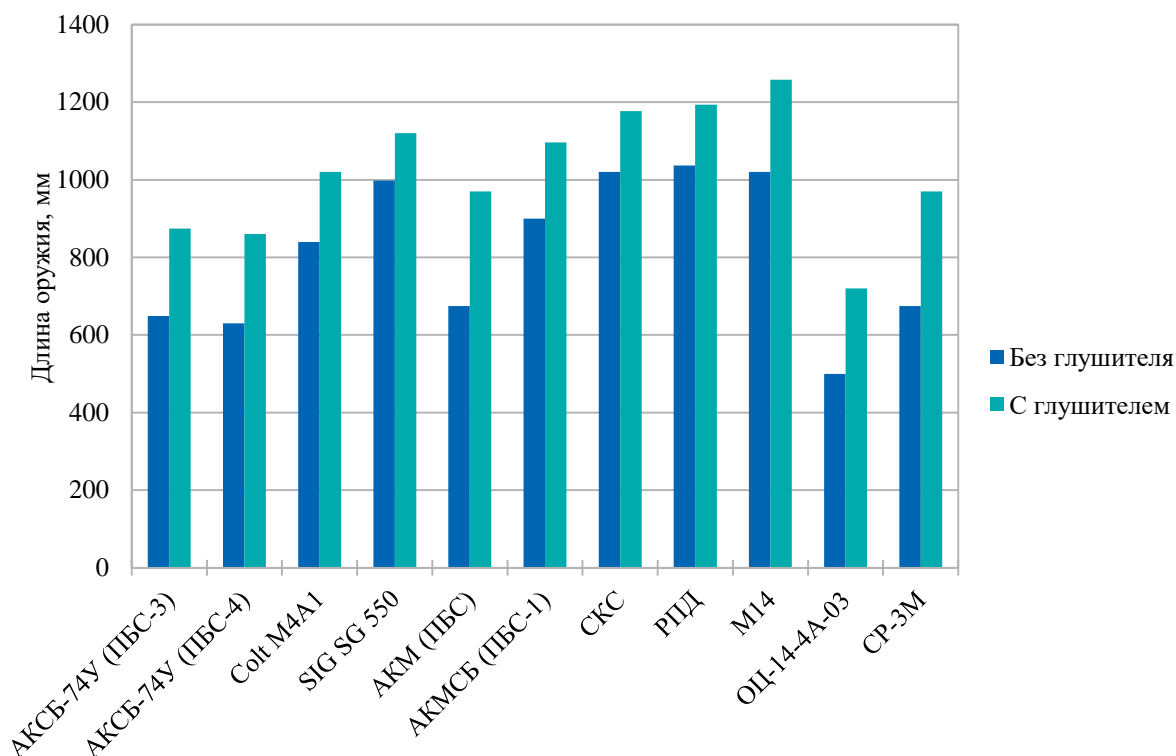


Рис. 5 – Длина оружия без глушителя и с глушителем

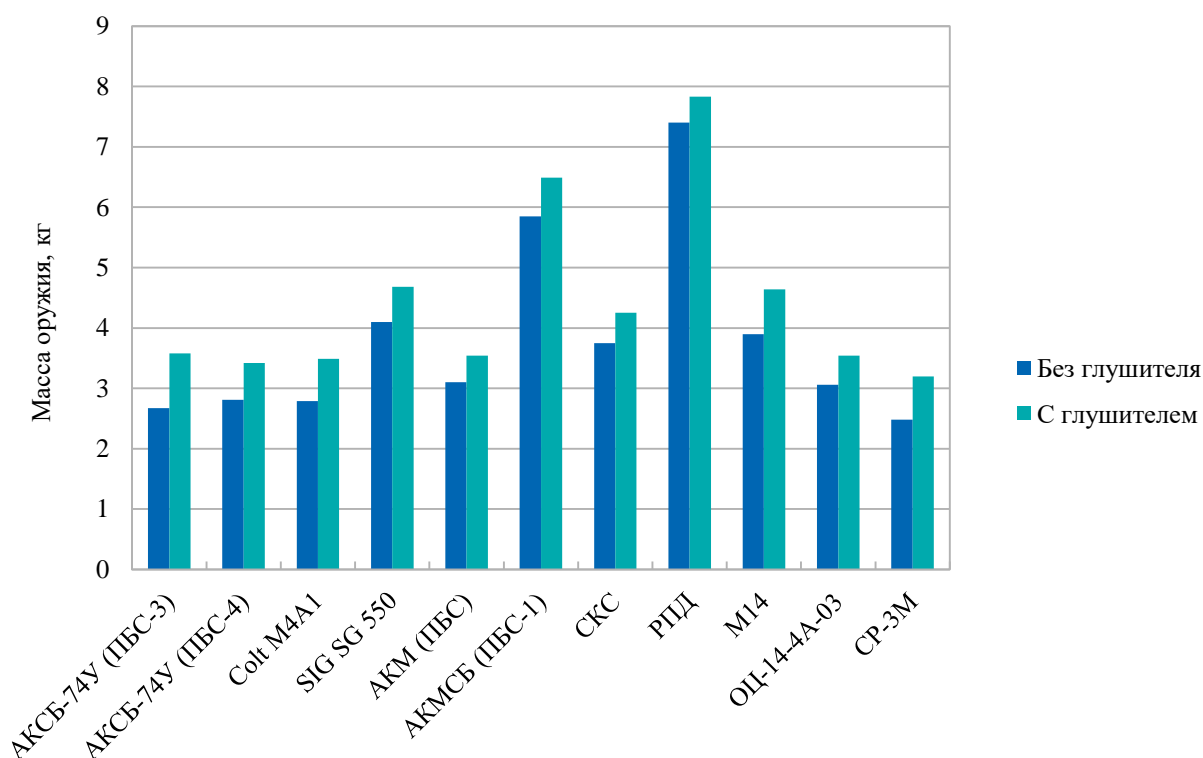


Рис. 6 – Масса оружия без глушителя и с глушителем

Следующий недостаток заключается в том, что при установке глушителя на ручное огнестрельное оружие возникает проблема изменения точности стрельбы.

В 1992 году на полигоне Lärna (Финляндия) были проведены испытания с целью определения влияния наддульных глушителей разных конструкций на смещение средней точки попадания [5, С. 279]. Испытания проводились сериями по пять выстрелов сверхзвуковыми патронами 7,62x39 мм на расстоянии 90 метров из штурмовой винтовки Valmet M62 (штурмовая винтовка, изготовленная компаниями Valmet и Sako, которая создана на базе автомата Калашникова).

После проведения испытаний выяснилось, что смещение средней точки попадания от точки прицеливания примерно пропорционально массе и расположению центра масс устройства, установленного на дульной части ствола, а также, что величина этого смещения составляет от 10 до 18 сантиметров. Результаты испытаний представлены на рисунке 7 и в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты испытаний влияния надульных глушителей разных конструкций на смещение средней точки попадания

	Образец оружия	Надульное устройство	Вес надульного устройства, г	Расстояние от дульного среза ствола до среза надульника, мм	Смещение средней точки попадания, мм
1	Valmet M62	-	0	0	0
2	Valmet M62	пламегаситель	100	36	65,3
3	Valmet M62	глушитель TX4	290	60	160
4	Valmet M62	глушитель TX6	350	75	184
5	Valmet M62	глушитель TX8	370	90	266
6	Valmet M62	глушитель пустой	270	86	137
7	Valmet M62	глушитель пустой	400	86	163

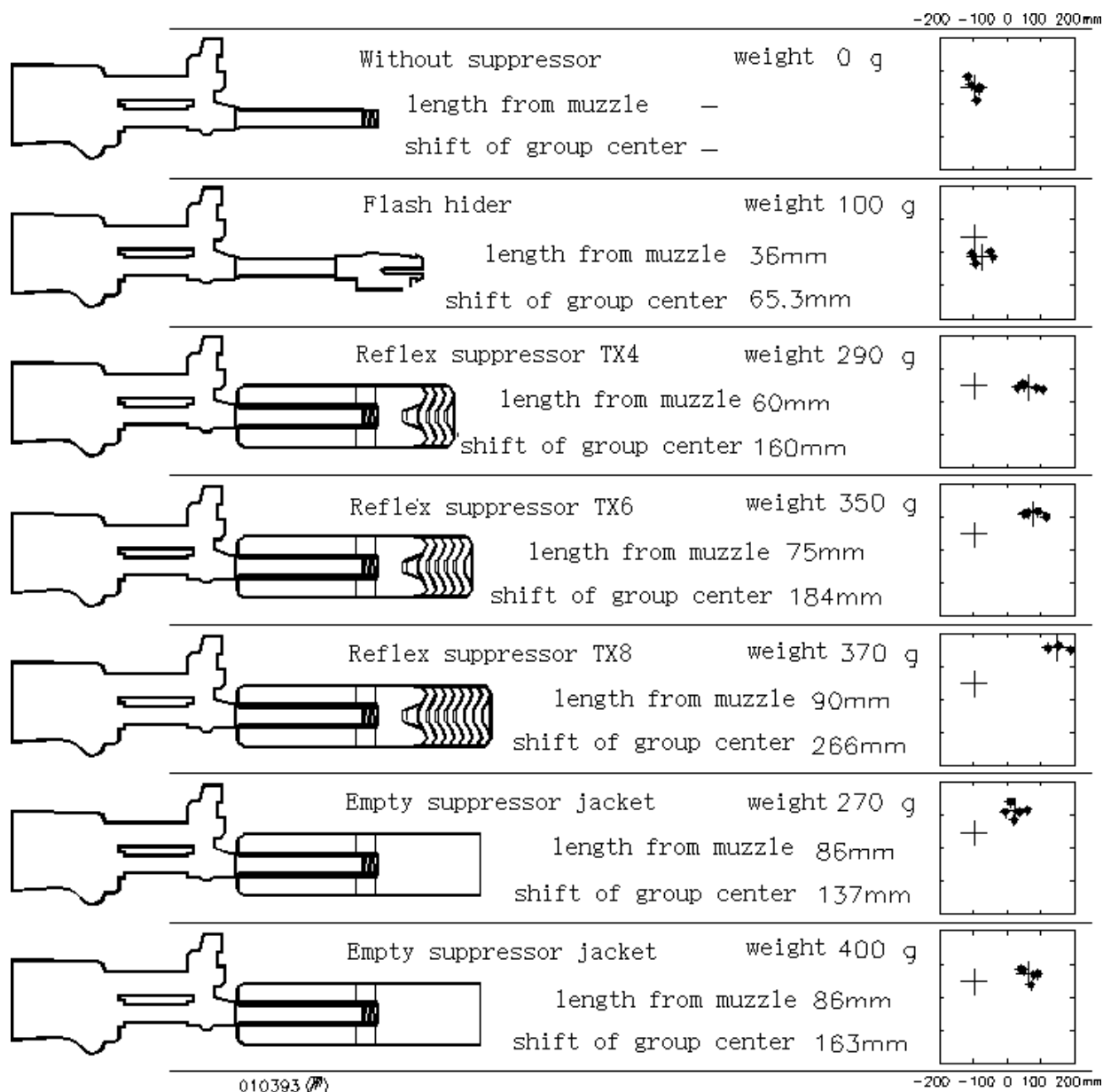


Рис. 7 – Результаты исследования влияния глушителей на точность стрельбы

Это смещение средней точки попадания объясняется тем, что после установки глушителей или любых других надульных газодинамических устройств (дульные тормоза, компенсаторы опрокидывающего момента, пламегасители и др.), меняется гармоника колебаний ствола.

Из-за этого оружие, после снятия или установки на него приборов снижения уровня звука выстрела, нужно обязательно приводить к нормальному бою, т. е. вводить корректировки в прицельные приспособления, которые в условиях боевой обстановки сделать достаточно проблематично. По этой причине каждый ПБС (прибор для бесшумной и беспламенной стрельбы) для автомата Калашникова комплектуется прицельной планкой, устанавливаемой на автомат взамен штатной. Эта прицельная планка получила две прицельные шкалы (для стандартного армейского патрона с пулей со стальным сердечником (ПС) и для патрона с дозвуковой пулей (УС)), а также механизм учёта поправок по вертикали и горизонтали для приведения к нормальному бою автомата патронами УС относительно боя патроном Пс.



Также нужно упомянуть, что в результате испытаний кучность стрельбы с глушителями улучшилась на 10%: поперечник рассеивания при стрельбе без глушителя составлял 83 мм, а с глушителем 74,8 мм. Но это улучшение кучности незначительно, по сравнению с изменением точности стрельбы.

Применение дульных глушителей приводит к существенному возрастанию продолжительности периода последствия пороховых газов [6, С. 304], [7], [10] (например, в автомате АКС-74 с установленным глушителем время периода последствия увеличивается в 3 раза, а в автомате ОЦ-14 "Гроза" – более чем в 6 раз). Это важное обстоятельство приводит к увеличению скорости отката основного звена автоматики огнестрельного оружия, что сказывается на ресурсе и на надёжности работы образца в целом, особенно в суровых условиях эксплуатации. В некоторых случаях, а именно с образцами, в которых реализован короткий или длинный ход ствола, увеличивается масса подвижных частей, что так же негативно сказывается на надёжности работы оружия.

Это важное обстоятельство необходимо учитывать при проектировании двигателей автоматики и механизмов отпирания канала ствола оружия с глушителем.

Как указывалось выше, глушитель не только уменьшает уровень звукового давления, но и убирает дульное пламя. Однако пламя и дым, который представляет собой мелко диспергированные твёрдые частицы, взвешенные в пороховых газах, при стрельбе – взаимосвязанные явления: чем меньше дульное пламя при стрельбе, тем больше дымность. Поэтому, при стрельбе из ручного огнестрельного оружия, с установленным глушителем, возникает большое количество дыма. Из-за этого место стрельбы отчётливо опознаётся с дальности 50 метров, а при интенсивном ведении огня с одной огневой позиции прицельная стрельба затрудняется из-за слёзовыделения и удушья, поэтому стрельба без очков становится опасной для стрелка.

Ещё одним и немаловажным недостатком современных глушителей является повышенное загрязнение огнестрельного оружия, после стрельбы с установленным глушителем звука выстрела. Если вовремя не проводить чистку и обслуживание оружия, после стрельбы, то это может привести к заклиниванию, возникновению проблем при экстракции стреляных гильз, задержек подачи патрона в патронник и даже к осечкам.

В настоящее время огнестрельное оружие, оснащённое глушителем, ни в коем случае не может стать абсолютно бесшумным оружием: глушитель не может воздействовать на ударную волну, вызванную движением пули на сверхзвуковой скорости и ликвидировать звук, образующийся при взаимодействии механизмов автоматики. Современные глушители лишь в состоянии уменьшить уровень звука выстрела в районе дульного среза ствола, который образуется в результате взаимодействия переднего фронта порохового газа, истекающего из канала ствола оружия, после вылета пули, с воздухом атмосферы, а также уменьшить вероятность образования дульного пламени.

Но этого достаточно для создания ручного огнестрельного оружия, которое позволяет производить выстрел скрытно, не выдавая позицию стрелка. Из-за этого глушители получили большое распространение во всем мире и с каждым годом все больше образцов ручного огнестрельного оружия оборудуется приборами снижения уровня звука выстрела.

Однако современные глушители не лишены ряда существенных недостатков:

- изменение массогабаритных характеристик и баланса оружия;
- смещение средней точки попадания от точки прицеливания, при стрельбе с установленным глушителем;
- увеличение продолжительности периода последствия пороховых газов, что сказывается на работе автоматики;
- повышенное загрязнение оружия после стрельбы с глушителем;
- повышенное дымообразование;

Поэтому перед учеными и конструкторами-оружейниками стоит актуальная задача разработки новых способов снижения уровня звука выстрела, которые будут лишены этих недостатков.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Алферов В. В. Конструкция и расчет автоматического оружия / В. В. Алферов. – Москва: Машиностроение, 1977. – 248 с.
2. Ардашев А. Н. Оружие специальное, необычное, экзотическое / А. Н. Ардашев, С. Л. Федосеев. – М.: АСТ. – Астрель. – 2001. – 320 с.
3. Власов В. А. Конструкции оружия и систем вооружения (в схемах) / В. А. Власов; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования "Тульский гос. ун-т". – Тула: Изд-во ТулГУ, 2015. – 239 с.
4. Власов В. А. Конструкции оружия и систем вооружения: учебник для студентов, обучающихся по специальности 17.05.02 "Стрелково-пушечное, артиллерийское и ракетное оружие" направления подготовки "Оружие и системы вооружения" / В. А. Власов и др.; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования "Тульский гос. ун-т". – Тула: ТулГУ, 2014. – 457 с.
5. Коновалов Н. А. Ручное огнестрельное оружие бесшумного боя. Приборы снижения уровня звука выстрела для автоматов. Проектирование и экспериментальная отработка / Н. А. Коновалов, О. В. Пилипенко, А. Д. Скорик, и другие. – Днепропетровск: Институт технической механики НАН Украины и НКА Украины, 2008. – 303 с.
6. Платонов Ю. П. Термогазодинамика автоматического оружия / Ю. П. Платонов; Гос. унитарное предприятие "Конструкторское бюро приборостроения", Фил. "ЦКИБ СОО". – Москва: Машиностроение, 2009. – 355 с.
7. Серебряков М. Е. Внутренняя баллистика / М. Е. Серебряков, проф. д-р техн. наук; При участии проф. д-ра техн. наук Г. В. Оппокова. – 2-е изд., испр. – Москва: изд. и тип. Оборонгиза, 1949. – 671 с.

8. Бучарский В. Л. Проектирование прибора малошумной стрельбы методами численного моделирования / В. Л. Бучарский, К. Ю. Добринская, В. В. Сербин, и другие // Артиллерийское и стрелковое вооружение. – 2009. – №2. – С. 3 – 7.
9. Коновалов Н. А. Глушитель звука выстрела стрелкового оружия с коническими перегородочными элементами / Н. А. Коновалов, О. В. Пилипенко, Г. А. Поляков и другие // Техническая механика. – 2011. – № 1. – С. 86 – 98.
10. Коновалов Н. А. О термозодинамических процессах в приборах снижения уровня звука выстрела стрелкового оружия / Н. А. Коновалов, О. В. Пилипенко, Г. А. Поляков, Г. А. и другие // Техническая механика. – 2011. – № 2. – С. 69 – 81.

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Alferov V. V. Konstrukcija i raschet avtomaticheskogo oruzhija [Design and calculation of automatic weapons] / V. V. Alferov. – Moskva: Mashinostroenie, 1977. – 248 p. [in Russian]
2. Ardashev A. N. Oruzhie special'noe, neobychnoe, jekzoticheskoe [Special, unusual, exotic weapons] / Ardashev A. N., Fedoseev S. L. – М.: AST – Astrel". – 2001. – 320 p. [in Russian]
3. Vlasov V. A. Konstrukcii oruzhija i sistem vooruzhenija (v shemah) [The design of weapons and weapons systems (in the schemes)] / V. A. Vlasov; M-vo obrazovaniya i nauki Rossijskoj Federacii, Federal'noe gos. bjudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vyssh. prof. obrazovaniya "Tul'skij gos. un-t". – Tula: Publishing house TulGU, 2015. – 239 p. [in Russian]
4. Vlasov V. A. Konstrukcii oruzhija i sistem vooruzhenija: uchebnik dlja studentov, obuchajushhihsja po special'nosti 17.05.02 "Strelkovo-pushechnoe, artillerijskoe i raketnoe oruzhie" napravlenija podgotovki "Oruzhie i sistemy vooruzhenija" [Designs of weapons and weapons systems: textbook for students studying in the specialty 17.05.02 "Small-gun, artillery and rocket weapons "training directions" Weapons and weapons systems"] / [Vlasov V. A et al.]; M-vo obrazovaniya i nauki Rossijskoj Federacii, Federal'noe gos. bjudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vyssh. prof. obrazovaniya "Tul'skij gos. un-t". – Tula: TulGU, 2014. – 457 p. [in Russian]
5. Konovalov N. A. Ruchnoe ognestrel'noe oruzhie besshumnogo boja. Pribory snizhenija urovnja zvuka vystrela dlja avtomatov. Proektirovanie i jeksperimental'naja otrabotka [Hand-held firearms for silent combat. Devices for reducing the sound level of the shot for automatic weapons. Design and experimental development] / N. A. Konovalov, O. V. Pilipenko, A. D. Skorik et al. – Dnepropetrovsk: Institut tehničkoj mehaniki NAN Ukrainy i NKA Ukrainy, 2008. – 303 p. [in Russian]
6. Platonov Ju. P. Termogazodinamika avtomaticheskogo oruzhija [Thermogasdynamics automatic weapons] / Ju. P. Platonov; Gos. unitarnoe predprijatie "Konstruktorskoe bjuro priborostroenija", Fil. "CKIB SOO". – Moskva: Mashinostroenie, 2009. – 355 p. [in Russian]
7. Serebrjakov M. E. Vnutrennjaja ballistika [Internal ballistics] / M. E. Serebrjakov, prof. d-r tehn. nauk; Pri uchastii prof. d-ra tehn. nauk G. V. Oppokova. – 2-ed., ispr. – Moskva: Publishing house. Oborongiza, 1949. – 671 p. [in Russian]
8. Bucharskij V. L. Proektirovanie pribora maloshumnoj strel'by metodami chislennogo modelirovaniya [Design of a low-noise shooting device using numerical modeling methods] / V. L. Bucharskij, K. Ju. Dobrinskaja, V. V. Serbin et al. // Artillerijskoe i strelkovoje vooruzhenie [Artillery and small arms]. – 2009. – №2. – P. 3 – 7. [in Russian]
9. Konovalov N. A. Glushitel' zvuka vystrela strelkovogo oruzhija s konicheskimi peregorodochnymi jelementami [Small arms sound suppressor with conical baffle elements] / N. A. Konovalov, O. V. Pilipenko, G. A. Poljakov et al. // Tehničkoj mehanika [Technical mechanics]. – 2011. – № 1. – P. 86 – 98. [in Russian]
10. Konovalov N. A. O termogazodinamicheskix processax v priborax snizhenija urovnja zvuka vystrela strelkovogo oruzhija [On thermogasdynamics processes in the devices reduce the shot noise level of small arms] / N. A. Konovalov, O. V. Pilipenko, G. A. Poljakov et al. // Tehničkoj mehanika [Technical mechanics]. – 2011. – № 2. – P. 69 – 81. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.102.12.012>**ОДНОСТАДИЙНОЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ НА БАЗЕ ВЭУ**

Научная статья

**Рустамов Н.Т.<sup>1</sup>, Бабахан Ш.А.<sup>2</sup>, Орысбаев С.А.<sup>3,\*</sup>**<sup>1, 2, 3</sup> Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави, Туркестан, Казахстан

\* Корреспондирующий автор (sanat.01.08.96[at]mail.ru)

**Аннотация**

Рассмотрены вопросы создания гибридной системы электроснабжения на базе ветроэнергетической установки (ВЭУ) с магнитными лопастями. Предлагается метод гибридизации ВЭУ с использованием ее мачты. Такое использование осуществляется освобождением площади занимаемое солнечными панелями, и конструируя эти панели на мачтах ВЭУ, и достигается увеличение КПД использования энергии ветра. Приводится алгоритм расчета КПД использования энергии ветра для предложенной гибридной энергосистемы. Описывается конструкция гибридной ВЭУ для централизованных источников энергии. Показана эффективность такой гибридизации ВЭУ для использования энергии ветра и солнца. Такой подход к гибридизации использования альтернативных источников энергии облегчает управления ими за счет централизации источников энергии.

**Ключевые слова:** КПД энергии ветра, гибридизация, электроснабжения, индукционный ток, солнечная панель, магнитная лопасть.

**WIND TURBINE BASED SINGLE-STAGE POWER SUPPLY**

Research article

**Rustamov N.T.<sup>1</sup>, Babakhan Sh.A.<sup>2</sup>, Orysbayev S.A.<sup>3,\*</sup>**<sup>1, 2, 3</sup> Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan

\* Corresponding author (sanat.01.08.96[at]mail.ru)

**Abstract**

The article deals with the issue of creating a hybrid power supply system based on an electricity-generating wind turbine with magnetic blades. The study proposes a method of hybridization of wind turbines using its mast. This is carried out by freeing up the area occupied by solar panels and attaching these panels to the masts. Through this means, the turbine achieves an increase in the efficiency of wind energy usage. The study provides an algorithm for calculating the efficiency of wind energy use for the proposed hybrid power system and describes the design of a hybrid wind turbine for a centralized power generation. The study demonstrates the efficiency of such hybridization of wind turbines for the use of wind and solar energy. This approach to hybridizing the use of alternative energy sources streamlines their management with the help of the centralization of energy sources.

**Keywords:** Wind energy efficiency, hybridization, power supply, induction current, solar panel, magnetic blade.

**Введение**

Особенностью работы любой электроэнергетической системы являются одностадийное производство и потребление электроэнергии. Это требует равенства энергии, вырабатываемой энергетическими установками, и энергии, потребляемой потребителями. Нарушение такого равенства приводит к изменению параметров сети по напряжению и частоте, а при больших отклонениях - к потере динамической стабильности и нарушению нормального функционирования системы [1].

Существует два возможных способа поддержания непрерывного во времени равенства генерируемой и потребляемой электроэнергии в системах электроснабжения на основе гибридной ВЭУ [2], [3]. Первый способ заключается в постоянном мониторинге потребления энергии и надлежащем регулировании мощности источников электроэнергии с тем, чтобы постоянно поддерживать равенство между двумя вышеупомянутыми мощностями. Второй способ заключается во включении в энергосистему дополнительного источника электроэнергии, который сохраняет электроэнергию при ее сокращенном потреблении и после преобразования подает в электрическую сеть при превышении определенного уровня потребления. Устранения динамической стабилизации в гибридных энергосистемах является актуальной задачей.

Перспективным вариантом создания дополнительных систем электроснабжения для потребителей электроэнергии, с централизацией источников энергии, является использование индукционных токов получаемых из ВЭУ с магнитными лопастями токов получаемые из солнечных панелей [2].

Целью данной работы заключается проектирование и практическое использование гибридной энергосистемы на базе ветроустановки для одностадийного вырабатывания и потребление электроэнергии.

**Метод решения**

Сравнительный анализ схем гибридных энергосистем показал, что наиболее перспективным вариантом сопряжения различных типов энергоисточников в одной энергосистеме, является исключение территориального источников электроэнергии. В этом случае гибридный энергетический комплекс проектируется по совокупному принципу, легко масштабируется и при необходимости перестраивается. Кроме того, можно объединить структуру и конструкцию электронных силовых преобразователей. Используя модульный принцип их построения, проще разработать линию преобразователей для модельного ряда мощностей [3]. Использование вставки постоянного тока позволяет более просто суммировать и распределять потоки энергии из генерирующих источников и внедрять эффективные алгоритмы управления для этого процесса [4].

Для решения поставленной задачи в работе предлагается следующая гибридная энергосистема на базе ВЭУ.

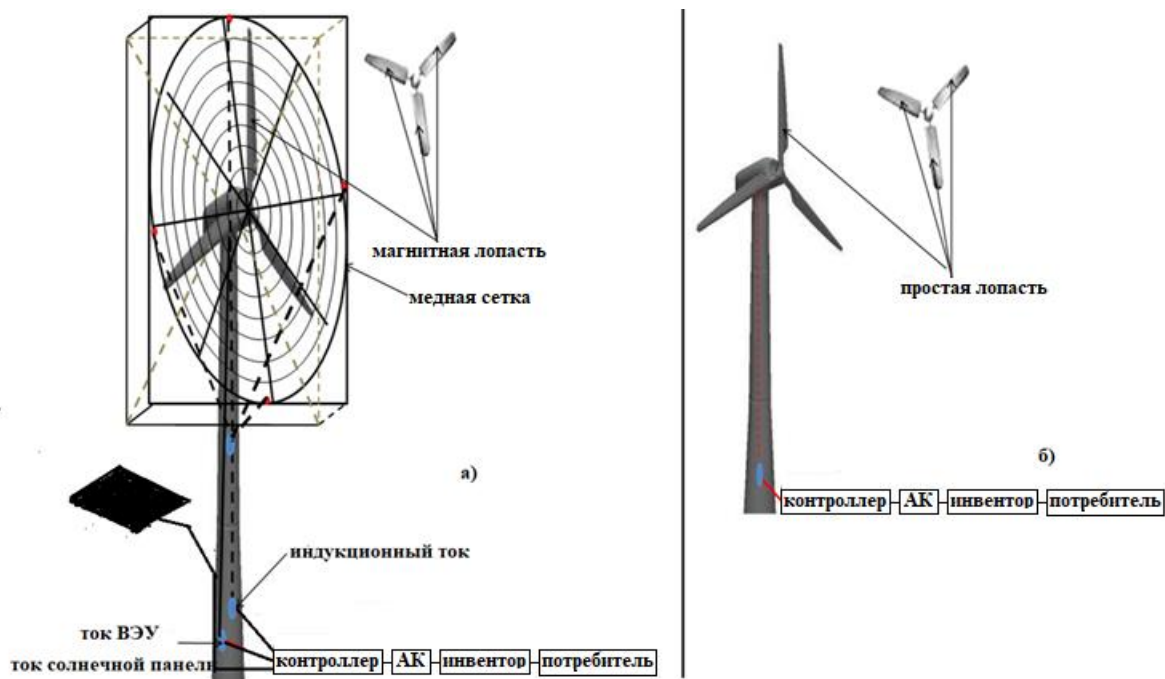


Рис. 1 – Гибридная ВЭУ с централизованным источником энергии

Преимущество такой гибридной энергосистемы на базе ВЭУ заключается в следующем. Допустим, что мы спроектировали гибридную энергосистему показанную на рис.2-а. Такая гибридная энергосистема имеет характер территориально распределенных источников энергии. Если мы будем использовать предложенную ВЭУ (рис.1), то у нас получится гибридная энергосистема на базе ВЭУ, имеющая характер централизованных источников энергии (рис. 2-б).

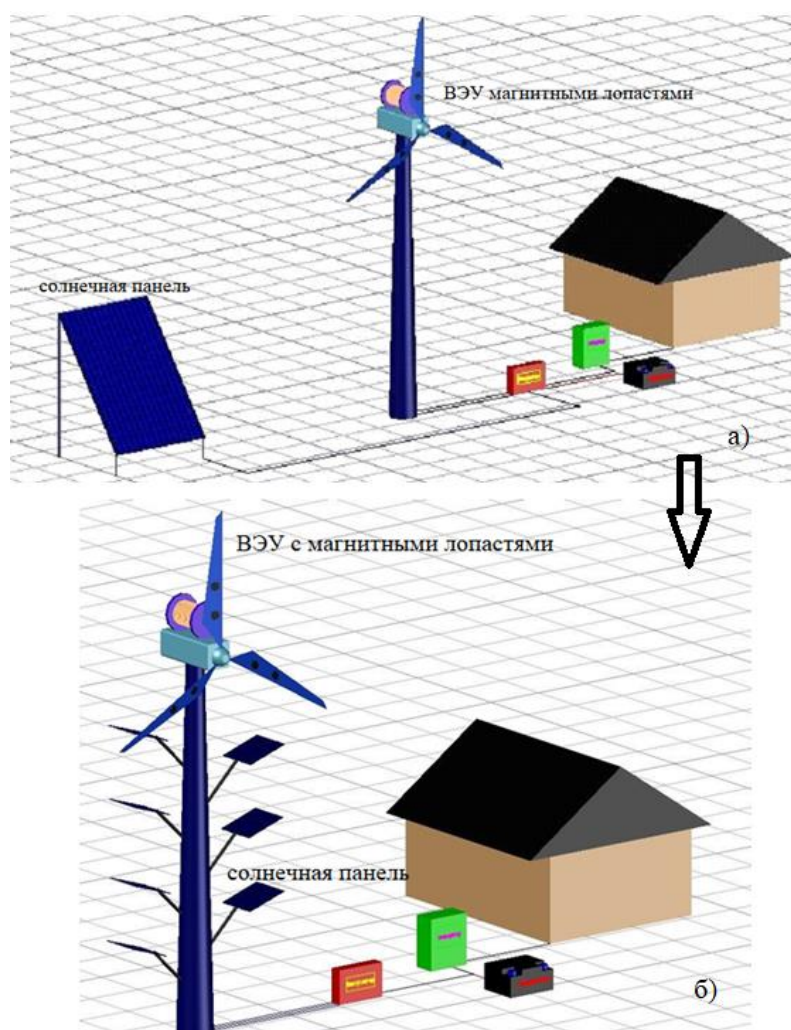


Рис. 2 – Централизация источников энергии

На рис.3 приведен замещающая электрическая схема централизованной гибридной энергосистемы, проектируемая на базе ВЭУ с магнитными лопастями. Эта схема выражает работу предложенной гибридной энергосистемы ВЭУ с магнитными лопастями. Поступающие с трех источников энергии токи  $I_1$ ,  $I_2$  и  $I_3$ , проходя через контроллер, устанавливают постоянное значение и далее проходят через аккумулятор. Прибывшая в аккумулятор энергия порциями отдает некоторое значение тока и через инвертор преобразуется в переменное значение. Оттуда спокойно можно пользоваться этим переменным током в быту и в промышленности. Это универсальная схема дает возможность создать дополнительную энергию из железной сетки, тем самым обширя возможности употребления ветроустановки.

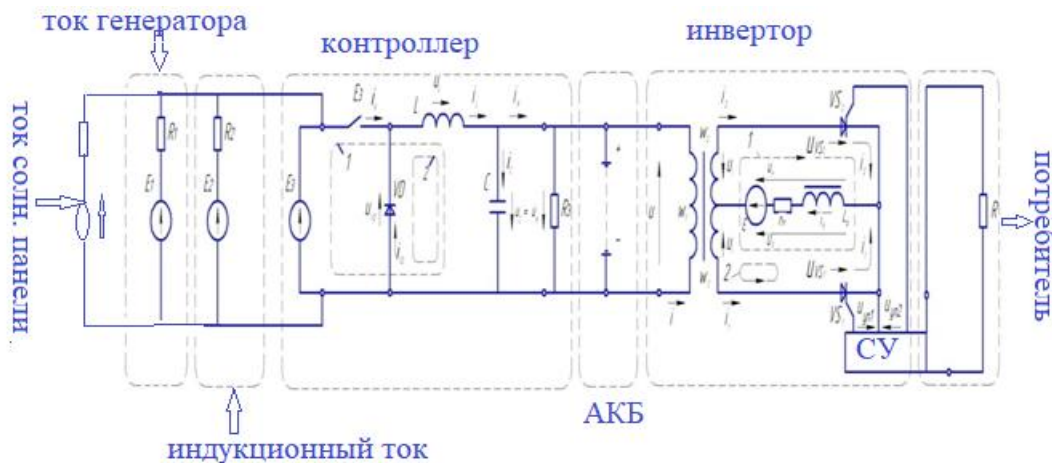


Рис. 3 – Замещающая схема централизованно-гибридной ВЭУ

Расчет мощности централизованная гибридная энергосистема на базе о ветрогенератора с магнитными лопастями производится следующим образом.

Для выбора агрегата необходимо точно определить преимущественное направление и среднюю скорость ветров в том месте, где предполагается установить ветрогенератор. Следует помнить, что начальная скорость вращения лопастей ветрогенераторов равна 2 м/с, а скорость, при которой генератор работает с максимальной эффективностью, – 9...12 м/с. Мощность ветрогенератора зависит только от скорости ветра и диаметра винта.

В специальной литературе имеется множество формул расчета мощности ветроустановок. Приведу две, самые простые. Обе они дают примерно одинаковый результат.

– 1 способ

$$P = D^2 V^3 / 7000, \text{ кВт},$$

где:  $P$  – мощность;  $D$  – диаметр винта в метрах;  $V$  – скорость ветра в м/с.

– 2 способ

$$P = 0.6 S V^3,$$

где:  $P$  – это мощность, в ваттах;  $S$  – площадь ( $\text{м}^2$ ), на которую перпендикулярно дует ветер;  $V$  – скорость ветра, в метрах в секунду (в формуле – в кубе).

В нашем случае к этой мощности добавляется  $P_2 = I_2^2 * R$

$I_2$ -индукционный ток, получаемый из сетки;  $R$ -сопротивление сетки.

Таким образом, мощность ВУЭ с магнитной лопастью определяется как:  $P_L = 0.6 v^3 + I_2^2 * R$

Энергоотдача системы - величина условная и разная для разных регионов и людей.

Например, при среднегодовой скорости 6 м/сек ветроустановка 3 кВт выдает 700 Вт +  $P_L$ , или 0.7 кВт +  $P_L$  в час, или 16.8 кВт + – часов в сутки, или 504 кВт-часов в месяц. Что это такое?

Средняя семья потребляет 400 кВт-часов в месяц, или 13.3 кВт-часа в сутки, или 0.56 кВт в час [5].

Теперь рассчитаем вырабатываемую мощность солнечной панели.

Допустим, максимальная мощность солнечной панели с габаритом:  $1,2 \times 0,67 = 0,84 \text{ м}^2$  равна 110 Вт. Берем площадь  $S = 10 \text{ м}^2$ . Для этой площади понадобится количество панелей:  $N = \frac{S_{\text{общ}}}{S_{\text{одн}}} = \frac{10 \text{ м}^2}{0,84 \text{ м}^2} = 12$  штук. Теперь рассчитаем, сколько электрической мощности вырабатывает эти солнечные панели. Так как суммарная мощность панели равна  $110 \times 12 = 1320 \text{ Вт}$ .

Расчет коэффициента солнечной инсоляции, т.е. количество пикочасов рассчитывается следующим образом

Таблица 1 – Месячные и годовые суммы суммарной солнечной радиации

Широта 43.1	Январь, кВт*ч/м <sup>2</sup>	Февраль, кВт*ч/м <sup>2</sup>	Март, кВт*ч/м <sup>2</sup>	Апрель, кВт*ч/м <sup>2</sup>	Май, кВт*ч/м <sup>2</sup>	Июнь, кВт*ч/м <sup>2</sup>	Июль, кВт*ч/м <sup>2</sup>	Август, кВт*ч/м <sup>2</sup>	Сентябрь, кВт*ч/м <sup>2</sup>	Октябрь, кВт*ч/м <sup>2</sup>	Ноябрь, кВт*ч/м <sup>2</sup>	Декабрь, кВт*ч/м <sup>2</sup>	Год, кВт*ч/м <sup>2</sup>
Горизонтальная панель	72.7	93.2	130.0	135.1	143.9	129.2	124.3	124.8	119.1	94.3	64.6	57.8	1289.5
Вертикальная панель	177.0	166.0	139.2	90.2	74.9	64.4	66.9	79.0	105.2	126.8	127.7	147.1	1364.2
Наклон панели - 50.0°	169.0	171.8	173.0	138.1	121.1	109.6	109.1	121.7	144.1	147.5	130.3	139.5	1681.3
Вращение вокруг полярной оси	194.9	211.1	227.0	189.3	178.9	150.6	142.8	164.3	194.2	184.0	151.9	157.6	2146.7

Например, для расчета коэффициента пикочасов устанавливаем солнечные панели под углом 50.0 градусов, на широте 43,1 градус. Разделяем годовое значение суммарной солнечной радиации на количество дней в году, получаем среднее суммарное значение за день. Полученное значение разделяем на 1000, и получим условное время, в течении которого солнце светит как бы с интенсивностью 1000 Вт/м<sup>2</sup>.

$$1) 1681 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2 / 365 = 4,6 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2;$$

$$2) 4,6 \frac{\text{кВт} \cdot \text{час}}{\text{м}^2} \div 1000 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} = 4,65 \frac{\text{кВт} \cdot \text{час}}{\text{м}^2} \cdot \frac{\text{м}^2}{\text{кВт}} \approx 4,6 \text{ час}$$

С учетом того что солнечные часы в сутки равны 4,6, рассчитаем вырабатываемую электроэнергию за сутки:  $1320 \times 4,6 \approx 6072 \text{ Вт} \cdot \text{час}$ . Если мы установим эти панели на мачтах ВЭУ, тогда эта мощность вырабатывается примерно на площади 1 м<sup>2</sup>. Тем самым повышается КИЭВ ветроэнергетической установки.

КПД (эффективность) ветроустановки - величина, показывающая, какую часть энергии ветра использует установка.

Например, если энергия ветра изначально была 100%, а ветроустановка использовала только 40%, потери в генераторе составили 15% (т.е. КПД генератора составило 85%), потери в электронном регуляторе на тепло составили еще 15% (т.е. 85%), далее потери в проводах 5% и в инверторе 15%, то общий КПД системы можно найти, перемножив все КПД всех приборов, участвующих в преобразовании энергии ветра в электрическую.

В нашем случае это будет:  $\text{КПД}_{\text{сол.п.}} \times \text{КПД}_{\text{взу}} \times \text{КПД}_{\text{ген.}} \times \text{КПД}_{\text{эл.рег.}} \times \text{КПД}_{\text{провод.}} \times \text{КПД}_{\text{инверт.}} = 4,6 \times 0,35 \times 0,4 \times 0,85 \times 0,85 \times 0,95 \times 0,85 = 0,37$  (или 37%). Это и есть количество электрической энергии, которое будет получено от 100% энергии ветра. Без гибридизации использования энергии ветра будет 23%.

Нетрудно догадаться, что чем ниже КПД, тем больших размеров ветроустановку нужно иметь, чтобы получить одно и то же количество электроэнергии. И наоборот, чем КПД каждого прибора выше, тем меньше (а значит, и дешевле) установку можно поставить для получения того же количества энергии.

В характеристиках ВЭУ обычно указывают мощность на выходе ветроустановки (т.е. на выходе генератора или электронного регулятора). Данная мощность характеризуется в свою очередь определенным напряжением постоянного тока. Например, если указывается мощность ВЭУ 3 кВт, это означает, что на выходе электронного регулятора ВЭУ будет действительно 3 кВт. Но до потребителя мощность такая не дойдет! В приведенном выше типичном примере общий КПД инвертора и проводов составил  $0,85 \times 0,95 = 0,8$  (или 80%). Т.е. потребитель получит  $3 \text{ кВт} \times 0,8 = 2,4 \text{ кВт}$ . Это всегда необходимо иметь в виду при подсчетах количества требуемой электроэнергии.

## Выводы

Как известно, Европа полным ходом движется к зелёной энергетике, к зелёным лесам и чистым рекам, к независимости государственной и личной. В том векторе будет двигаться всё большее количество стран и людей. Количество установленных персональных солнечных мини-электростанций в Европе уже очень велико. И это не просто «мода», это и весомый вклад в энергетику (до 10 -15% в некоторых странах). Для покрытия энергетических нужд географически отдаленных регионов от больших городов требует широкомасштабное внедрение в эту сферу доступных альтернативных источников энергии [5]. Так как, на эти регионы нецелесообразно, а иногда невозможно провести различных типов линии энергопередач, то оптимальным видом для обеспечения энергоснабжения этих регионов, является использования для этой цели ВЭУ.

## Конфликт интересов

Не указан.

## Conflict of Interest

None declared.

## Список литературы / References

1. Арифжанов А.Ш. Схемотехнические решения подключения автономных источников энергетики на базе возобновляемых источников энергии в общую распределительную сеть / А.Ш. Арифжанов, Р.А. Захидов // Проблемы информатики и Энергетики. № 6, 2017, с.47-58.
2. Рустамов Н.Т. Ветрогенератор с магнитными лопастями / Н.Т. Рустамов, А.Т. Мейрбеков, Б.К. Мейрбеков. Патент РК на изобретение № 33214 от 17.10.2018
3. Асланян Г. Новые источники и методы преобразования энергии. Опыт сотрудничества стран членов СЭВ / Г. Асланян, В.Симонов, Ю. Тюрин, Э. Шпильрайн. - Москва, - 1981 г. 117с.
4. Рустамов Н.Т. О создании гибридных энергетических систем, использующих возобновляемые источники энергии (ВИЭ) / Н.Т. Рустамов // Вестник Национальной инженерной академии Республики Казахстан. - 2014. - № 4 (54). - С. 114-116. - ISSN 1606-146X
5. Рустамов Н.Т., Исмаилов Д.М. К вопросу повышения эффективности ветроустановок / Н.Т. Рустамов, Д.М. Исмаилов // Вестник МКТУ им. А. Ясауи, № 2, 2016, с.23- 32.

## Список литературы на английском языке / References in English

1. Arifzhanov A. Sh. Skhemotekhnicheskie resheniya podkljuchenija avtonomnykh istochnikov ehnergetiki na baze vozobnovljaemykh istochnikov ehnergii v obshhuju raspredelitel'nuju set' [Sheet-Oriented Solutions to Connecting Autonomous Energy Sources Based on Renewable Energy Sources to a Common Distribution Network] / A. Sh. Arifzhanov, R. A. Zakhidov // Problemy informatiki i Ehnergetiki [Problems of Computer Science and Energy]. No. 6, 2017, Tashkent, pp. 47-58 [in Russian]
2. Rustamov N. T. Vetrogenerator s magnitnymi lopastjami [Wind Generator with Magnetic Blades]. Patent RK na izobretenie № 33214 ot [Patent of the Republic of Kazakhstan for the invention No. 33214] dated 17.10.2018
3. Aslanyan G. Novye istochniki i metody preobrazovaniya ehnergii. Opyt sotrudnichestva stran chlenov SEV [New Sources and Methods of Energy Conversion. Experience of Cooperation Between Comecon Countries]/ G. Aslanyan, V Simonov, Yu. Tyurin et al. - Moscow, - 1981g. 117 p. [in Russian]
4. Rustamov N. T. [On the Creation of Hybrid Energy Systems Using Renewable Energy Sources (Res)]/ N. T. Rustamov // Vestnik Nacional'nojj inzhenernojj akademii Respubliki Kazakhstan [Bulletin of the National Engineering Academy of the Republic of Kazakhstan]. - 2014. - № 4 (54). - pp. 114-116. - ISSN 1606-146X [in Russian]
5. Rustamov N. T., Ismailov D. M. K voprosu povysheniya ehffektivnosti vetroustanovok [on the issue of improving the efficiency of wind turbines] / N. T. Rustamov, D. M. Ismailov // Vestnik MKTU im. A. Jasau [Bulletin of the Ahmet Yesevi University]. , No. 2, 2016, pp. 23-32 [in Russian]



DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.102.12.013>

# ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ КВАЗИКРИСТАЛЛОВ В ВЫСОКОНАПОЛНЕННОМ КМ СИСТЕМЫ 30%Cu -70%КВАЗИКРИСТАЛЛ, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ХОЛОДНОГО ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ

Научная статья

Юдин Г.А.<sup>1</sup>, Абузин Ю.А.<sup>2</sup>, Тюрина С.А.<sup>3,\*</sup><sup>1,3</sup> МИРЭА - Российский технологический университет, Москва, Россия;<sup>2</sup> Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва, Россия

\* Корреспондирующий автор (tyurina\_s[at]mirea.ru)

## Аннотация

Квазикристаллы представляют огромный интерес для материаловедов благодаря присущему им кристаллическому строению, которое обуславливает комплекс уникальных химических и физико-механических свойств, таких как, высокие значения химической и коррозионной стойкости, модуля упругости, твердости, износостойкости и сверхнизкий коэффициент трения.

Однако, широкое применение квазикристаллов ограничено их хрупкостью и низкой деформируемостью. Поэтому чаще всего их используют в качестве наполнителей КМ в виде порошков или при создании функциональных покрытий. Особый интерес представляет разработка составов и технологий обработки с использованием квазикристаллов в качестве антифрикционных материалов в узлах трения [1], [2], [3], [4].

**Ключевые слова:** композиционные материалы, квазикристаллы, трибологические свойства.

## INVESTIGATION OF THE THERMOCHEMICAL STABILITY OF QUASICRYSTALS IN A HIGHLY FILLED COMPOSITE MATERIAL OF THE 30% Cu-70% QUASICRYSTAL SYSTEM OBTAINED VIA GAS DYNAMIC COLD SPRAYING

Research article

Yudin G.A.<sup>1</sup>, Abuzin Yu.A.<sup>2</sup>, Tyurina S.A.<sup>3,\*</sup><sup>1,2</sup> MIREA - Russian Technological University, Moscow, Russia;<sup>2</sup> National University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russia

\* Corresponding author (tyurina\_s[at]mirea.ru)

## Abstract

Quasicrystals present great interest to materials scientists due to their inherent crystalline structure, which determines a complex of unique chemical and physicochemical properties such as high values of chemical and corrosion resistance, elastic modulus, hardness, wear resistance and ultra-low friction coefficient with a sufficiently high thermal stability.

However, the brittleness and low formability of quasicrystals limit their widespread use. Therefore, they are most often used as composite material fillers in the form of powders or when creating functional coatings. A particular interest of the study is the development of compositions and processing technologies using quasicrystals as anti-friction materials in friction units, which can help reduce the wear of friction units, increase the reliability and service life of parts and mechanisms [1], [2], [3], [4].

**Keywords:** composite materials, quasicrystals, tribological properties.

## Введение

Существует несколько подходов к обеспечению высокой эффективности пар трения. Это использование композитов с упрочнителем из квазикристаллического сплава, а также напыление квазикристаллов на поверхность металлов.

В ряде работ отмечается существенное повышение износостойкости композиционных материалов при их модифицировании посредством квазикристаллов [5]. Квазикристаллы введенные в состав КМ существенно повышают триботехнические характеристики, такие как коэффициент трения, износ, истирание и пр. [4].

Широкое распространение получили следующие методы нанесения квазикристаллов на поверхность подложки: методы холодного прессования квазикристаллических порошков с последующим спеканием, газоплазменное и газотермическое напыление, принудительная пропитка и др [7].

Следует отметить, что разработанные на сегодня технологии получения покрытий с применением квазикристаллов, а также многофазных композитных материалов на их основе позволяют практически полностью устранить ограничения, обуславливаемые хрупкостью квазикристаллических фаз и их низкой деформируемостью при комнатной температуре [8], [9].

Одним из перспективных методов получения квазикристаллических покрытий является метод холодного газодинамического напыления.

Целью нашей работы являлось исследование и изучение процессов структуро- и фазообразования в квазикристаллических покрытиях в зависимости от технологических условий напыления и проведение трибологических испытаний полученных покрытий по схеме «стержень-диск».

## Экспериментальная часть

Образцы для исследований представляли собой медные пластинки размерами 10x10x1 мм, на поверхность которых методом холодного газодинамического напыления (ХГДН) наносилась смесь мелкодисперсного медного (Cu-99,9% марки ПМС-1 ГОСТ 9849-86) и квазикристаллического порошка состава  $Al_{63}Fe_{13}Cu_{24}$  дисперсностью менее 40 мкм (70 вес. %).



Образцы для исследования трения и износа предварительно были подвергнуты вакуумному отжигу в течение 1 часа с таким расчетом, чтобы после отжига в композитных образцах осталось значительное количество квазикристаллической фазы и образовалась прочная связь матрицы с наполнителем. Образец №1 отжигался при температуре 300°C, а образец №2 отжигался при температуре 500 °С.

Исследования износостойкости и коэффициента трения скольжения по схеме «стержень-диск» проводились на приборе Tribometer, CSM Instr. Условия испытаний представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Условия трибологических испытаний

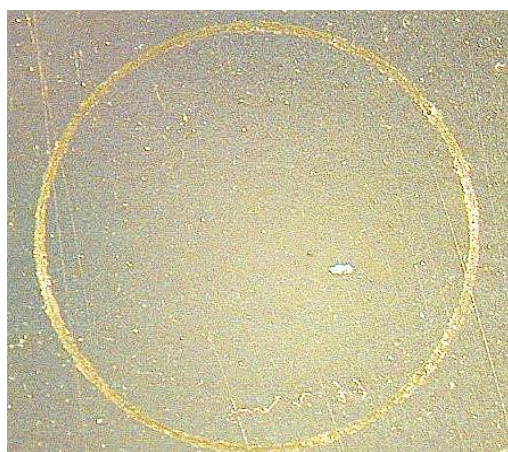
Контртело	Шарик диаметром 3мм
Материал контртела	Сталь 100Cr6 (аналог ШХ15)
Нормальная нагрузка, н	1
Радиус кольца износа, мм	3,0
Линейная скорость, см/сек	5
Число циклов	5280
Относительная влажность, %	36±2

На первом этапе металлографических исследований рассматривалась макроструктура канавки, оставшейся после трибологических испытаний. Диаметр пятна износа на образце и контртеле – стального шарика определяли при визуальном наблюдении на микроскопе МБС-10 (рис.1-2). На рисунках хорошо видно, что износ образца №2 гораздо сильнее. Край борозд трения образцов однотипны. Хорошо просматриваются с боковых сторон вырывы материала во время трения. Видно, что в процессе трения вырывались крупные частицы квазикристаллов.

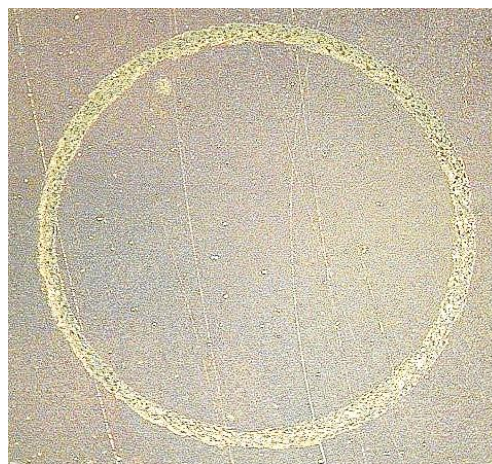
Результаты трибологических испытаний (см.табл.2) показали, что глубина бороздки износа образца №1 в 9 раз, а ширина в 2 раза меньше по сравнению с образцом №2. Износ образца №1 в 8 раз меньше, по сравнению с образцом №2.

Таблица 2 – Результаты трибологических испытаний

Образец	Образец		Контртело	Коэффициент трения			Пробег, об/100 м
	Максимальная глубина/ширина бороздки износа, мкм	Износ образца, мм <sup>3</sup> /Н/м		Начальный	Макс.	Конечный	
1	0,5/180	4,32	<0,01	0,17	0,24	0,22	5280
2	4,3/380	32,9	4,3	0,18	0,94	0,93	5220



а



б

Рис. 1 – Внешний вид бороздки износа радиусом 3 мм: а) образец № 1; б) образец №2



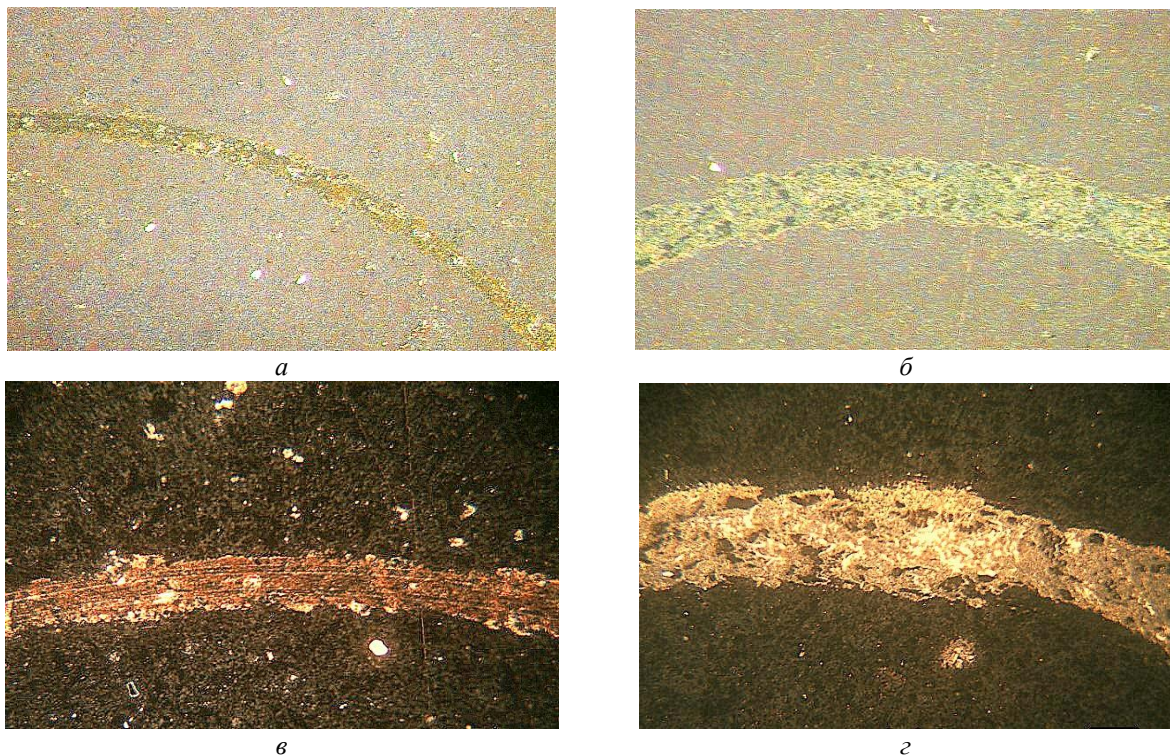


Рис. 2 – Образцы №1 и №2, Neophot 21(x100): а) образец №1, светлое поле; б) образец №2, светлое поле; в) образец №1, темное поле; г) образец №2, темное поле.

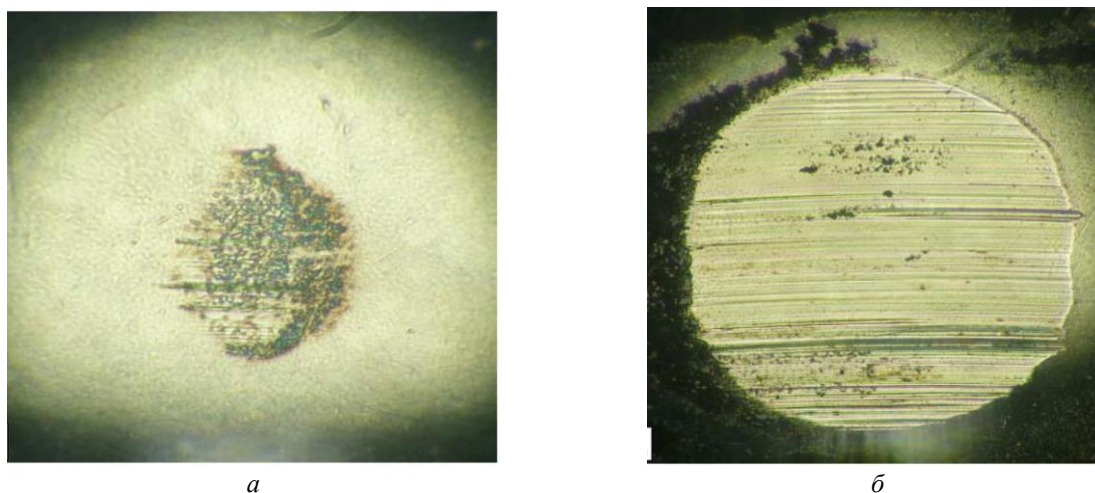


Рис. 3 – Микрофотографии поверхности контртела после испытаний на износ (x25): а) образец № 1; б) образец №2

Также нами были изучены профилограммы, полученные на контактном профилометре SJ-402, Mitutoyo, Япония. На профилограммах, представленных на рис.4-6 видно, что площадь сечения и глубина бороздки износа на образце №2 существенно больше, чем на образце №1.

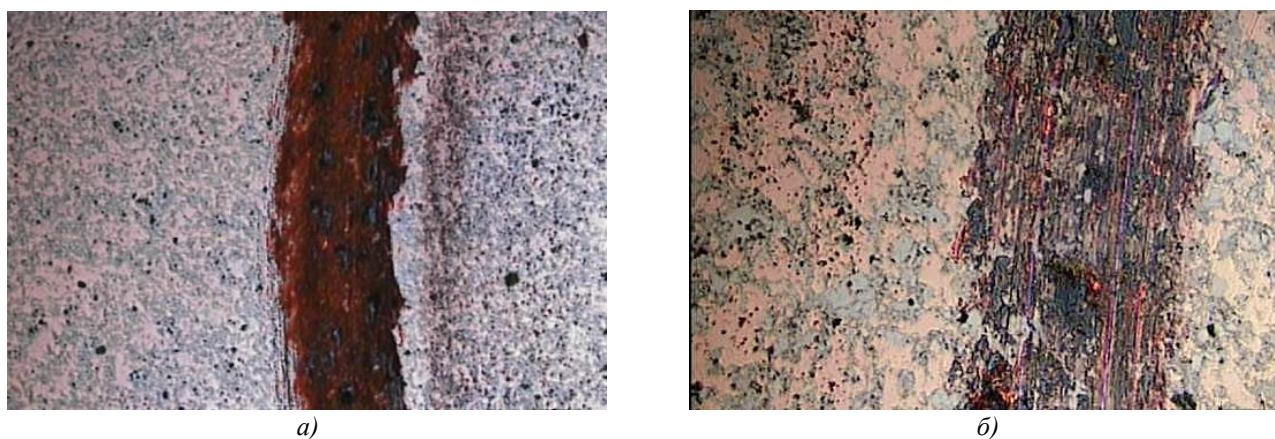


Рис. 4 – Микрофотографии бороздки износа после трибологических испытаний при увеличении x200: а) образец № 1; б) образец №2



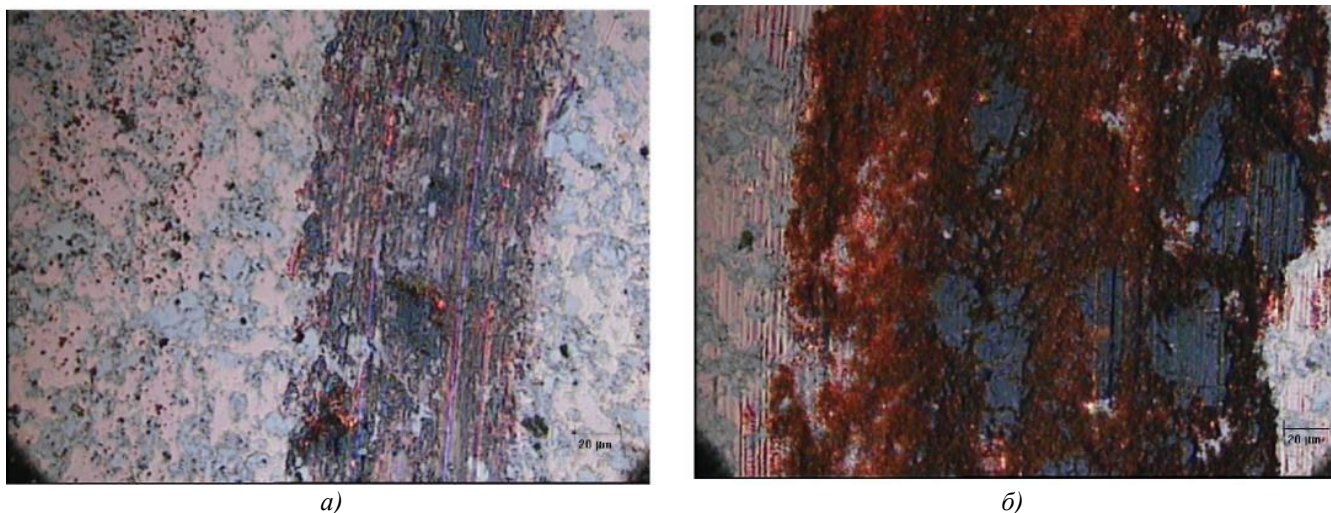


Рис. 5 – Микрофотографии бороздки износа после трибологических испытаний при увеличении  $\times 800$ : а) образец № 1; б) образец №2

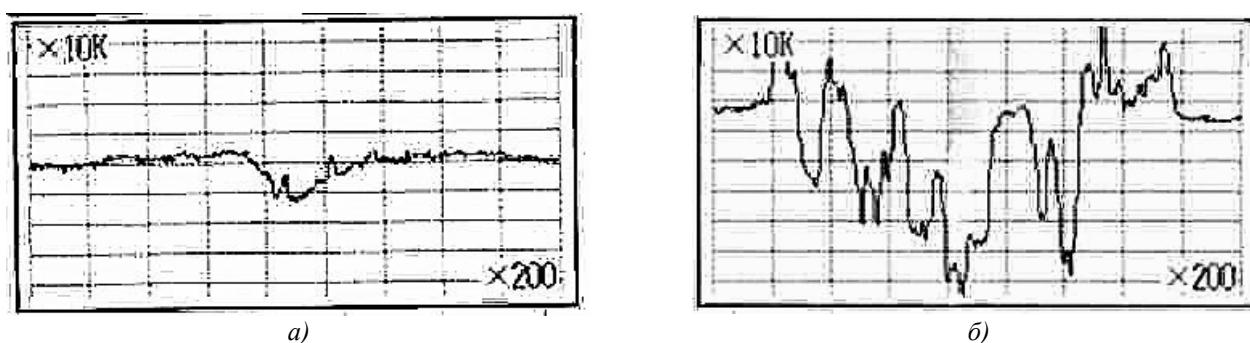


Рис. 6 – Профилограммы бороздки износа после трибологических испытаний при различном увеличении: а) образец № 1; б) образец №2

Значения усредняли по 4-5 экспериментальным профилям. Результаты измерений были обработаны с помощью компьютерной программы InsrtumX for Tribometer, CSM Instr, расчетные значения износа образца и контртела приведены в таблице 2.

Из фотографий микроснимков структуры испытанных образцов, представленных на рисунке 2 видно, что на образце №1 практически отсутствуют вырывы, бороздка узкая. На образце №2 визуализируются вырывы, бороздка широкая. Можно сделать предположение о том, что мелкие частицы лучше связаны с матрицей, что препятствует их выкрашиванию и тем самым значительно уменьшается износ образца. Налипание материала образца на контртело обнаруженное после испытаний может свидетельствовать об образовании промежуточного слоя из материала образца, который препятствует износу контртела и служит “смазкой” при сухом трении. Такие же предположения можно сделать и из экспериментальной зависимости коэффициента трения от пробега (см. рис.7, рис. 8.)

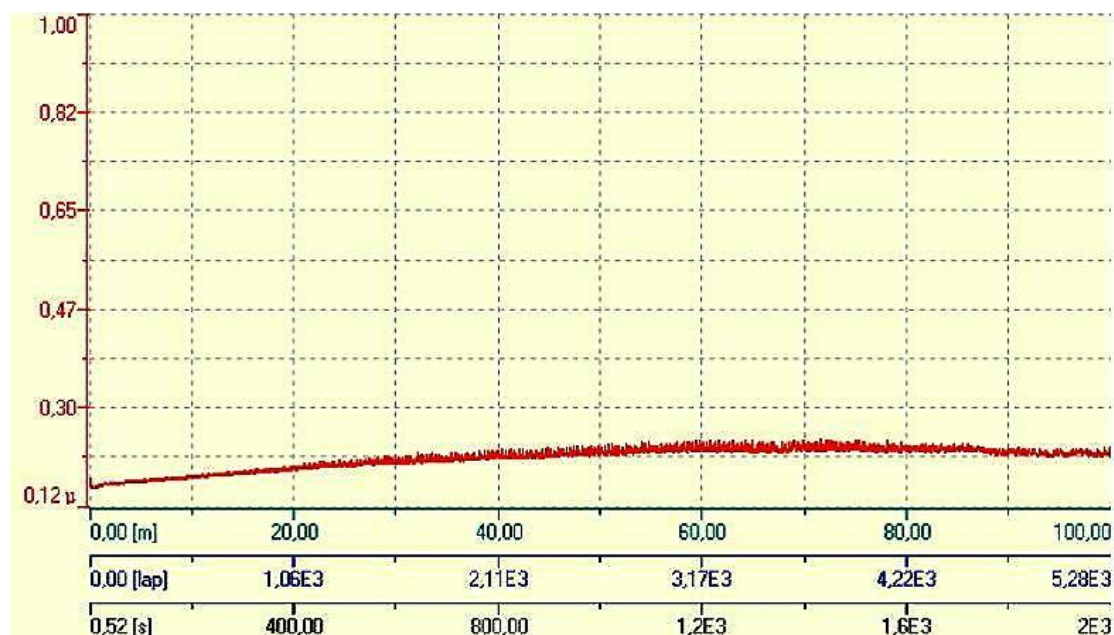


Рис. 7 – Экспериментальная зависимость коэффициента трения от пробега образца № 1

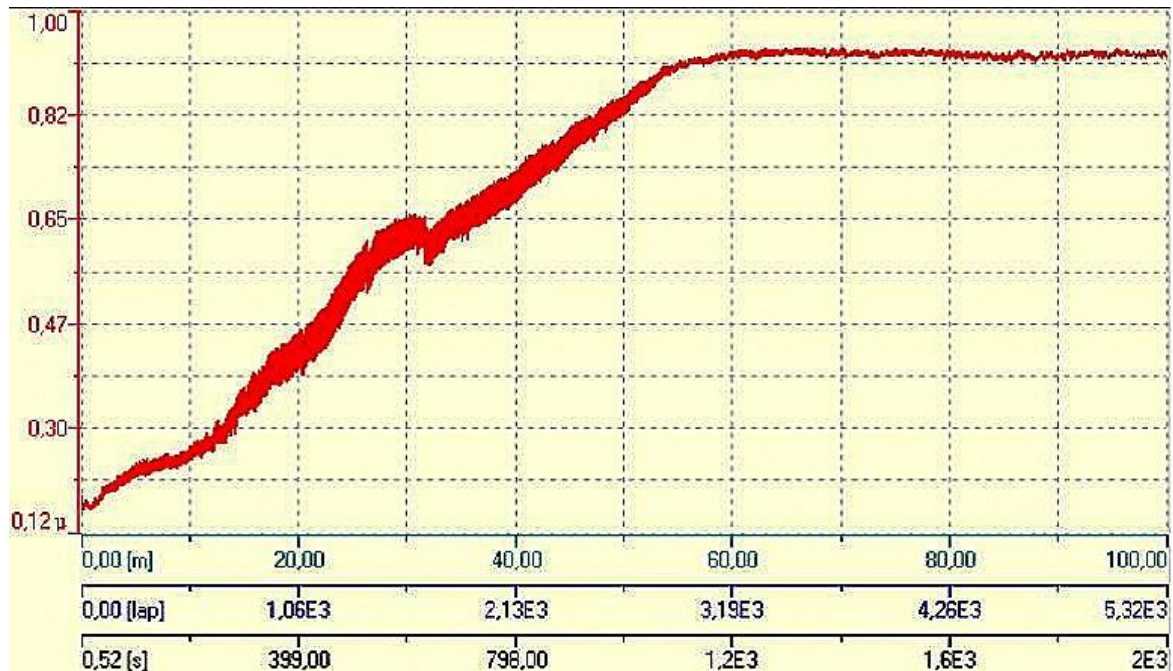


Рис. 8 – Экспериментальная зависимость коэффициента трения от пробега образца № 2

На рисунках 7 и 8 видно, что для обоих испытанных образцов начальный коэффициент трения имеет значение менее 0,2. Однако, в образце № 2 низкие значения коэффициента трения 0,2-0,24 сохраняются только на начальных стадиях испытания (менее 5 м/350 оборотов). Затем, значение коэффициента трения монотонно повышается до 0,9, а у образца №1 низкие значения коэффициента трения 0,2-0,24 сохраняются на протяжении всего испытания. Из прежних исследований известно, что для меди начальный коэффициент трения составляет 0,12, но быстро растет до значений более 0,8, а износ составляет  $3,83 \cdot 10^{-4}$  мм<sup>3</sup>/Н/м.

В композитном образце №2 износ происходит при взаимном истирании образца и контртела, при этом износ осложняется тем, что при истирании в процессе износа включаются твердые частицы квазикристалла вырванные из образца и частицы образующихся при истирании контртела. Износ образца №1 на порядок ниже, чем износ образца №2. Износ контртела в паре с образцом №1 очень мал, менее  $10^{-8}$  мм<sup>3</sup>/Н/м. Оценить его трудно, поскольку на контактной поверхности наблюдается налипание материала образца.

Для определения влияния температуры отжига на фазовые превращения в квазикристаллах был проведен рентгенодифракционный анализ образцов. Результаты представлены на рисунке 9.

Количественный фазовый состав покрытий, нанесенных методом холодного газодинамического напыления, отличался от состава смеси исходных порошков, результаты расчета приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчета фазового состава покрытия, полученного методом холодного газодинамического напыления

№ образца	Фазовый состав поверхностного слоя образцов, вес. %	
	Cu	QC
1	74	26
2	74	26

В исследованных образцах №1 и №2 наблюдались одинаковые фазовые превращения при вакуумном отжиге (см. рис. 9). Установлено, что после отжига при 300°С появляется новая фаза Cu<sub>9</sub>Al<sub>4</sub>. Отжиг при температуре 400°С приводит к заметному увеличению фазы Cu<sub>9</sub>Al<sub>4</sub> и образованию твердого раствора на основе Cu. При отжиге при 450°С увеличивается доля твердого раствора на основе Cu и фазы Cu<sub>9</sub>Al<sub>4</sub>. Отжиг при 500°С приводит к полному исчезновению квазикристаллической фазы и увеличению доли твердого раствора на основе Cu и фазы Cu<sub>9</sub>Al<sub>4</sub>.

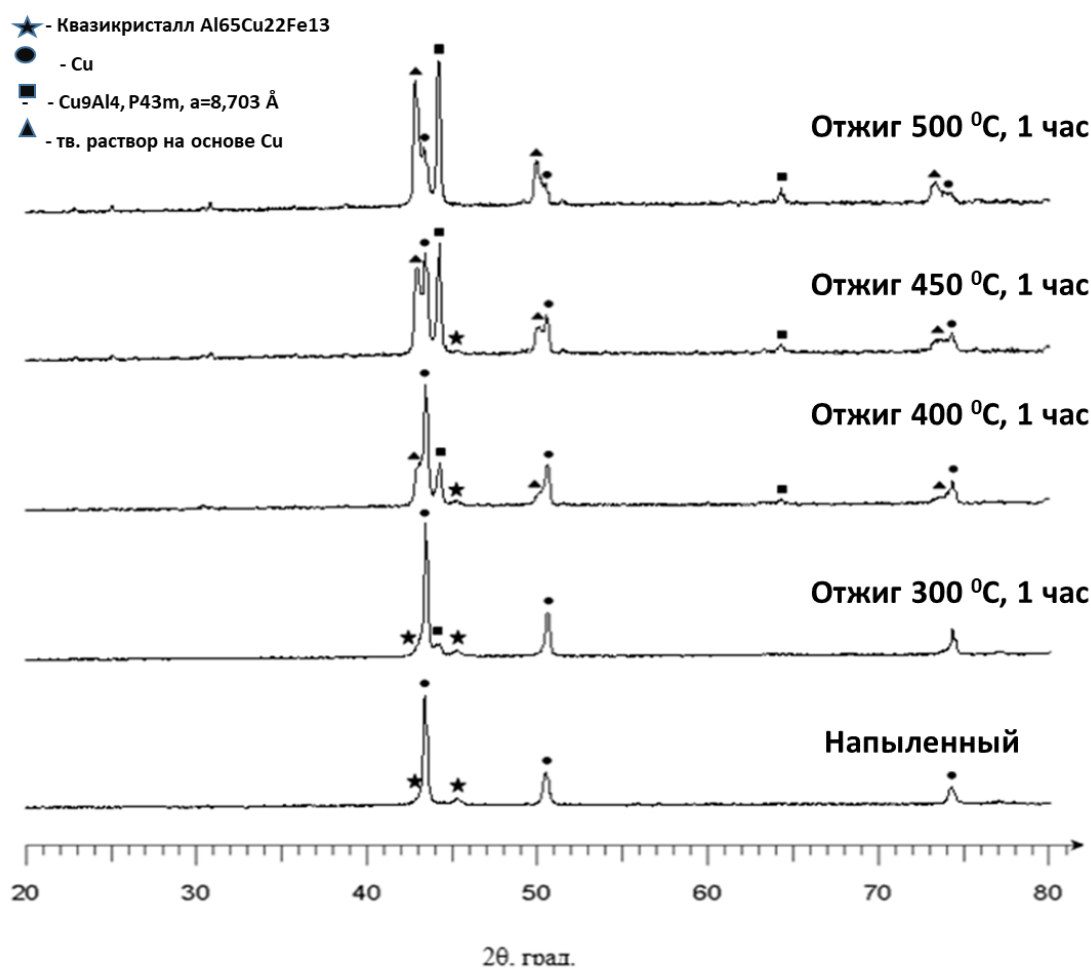


Рис. 9 – Зависимость фазового состава от температуры отжига образца №1

Таким образом, установлено, что квазикристаллическая фаза начинает взаимодействовать с медной матрицей при 300°C в обоих образцах. При повышении температуры, начиная с 300°C в композиционных материалах наблюдается растворение квазикристаллической фазы и образование фазы  $\text{Cu}_9\text{Al}_4$ . В исследованных образцах помимо данного перехода за счет увеличения квазикристаллической фазы происходит образование твердого раствора на основе Cu. Показано, что при 500°C квазикристаллическая фаза отсутствует.

### Заключение

Анализ полученных данных, позволяет сделать вывод о том, исследованный высоконаполненный композиционный материал системы 30% Cu -70% квазикристалл, полученный методом холодного газодинамического напыления и подвергшийся вакуумному отжигу при температуре 300°C обладает высокой износостойкостью. По значению коэффициента трения данный материал существенно превосходит описываемые в литературе КМ с медной матрицей. Значение коэффициента трения КМ с медной матрицей - 0,4 [10], а образца №1 - 0,24.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что высоконаполненный композиционный материал системы 30%Cu -70%квазикристалл, полученный методом холодного газодинамического напыления и подвергшийся отжигу при температуре 300°C является перспективным материалом для использования его в узлах трения.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Conflict of Interest

None declared.

### Список литературы / References

1. Спиридонова И.М. Стабильность композиционных материалов / И.М. Спиридонова, А. Д. Панасюк, Е. В. Суховая, А. П. Уманский. - Днепропетровск: Свидлер, 2011. - 244 с.
2. Лепешев А.А. Физико-механические и трибологические свойства квазикристаллических покрытий Al-Cu-Fe, полученных плазменным напылением / А.А. Лепешев, Е.А. Рожкова, И.В. Карпов, А.В. Ушаков, Л.Ю. Федоров // Физика твердого тела, 2013, том 55, вып. 12
3. Trebin H. R. Quasicrystals. Structure and properties / Trebin H. R.- Weinheim: Wiley : VCH GmbH & Co. KGaA, 2003. - 665 p.
4. Климов А.К. Композиционные материалы для двигателестроения / А.К. Климов, Д.А. Климов, Е.А. Крылов, Ю.А. Перекатов // «Автомобильная промышленность», 2003 №1, стр. 27-30.
5. Dubois J.-M. Properties and applications of quasicrystals and complex metallic alloys / J.-M. Dubois // Chem. Soc. Rev. - 2012. - No. 41. - P. 4760-6777.



6. Yang X.Y. Coincident lattice sites between cubic  $\beta$ -Zr(Pt) and an isochemical icosahedral phase in rapidly solidified Zr80Pt20 alloys / X.Y. Yang, M.J. Kramer, E.A. Rozhkova, D.J. Sordet // Scripta Materialia. – V. 49, Issue 9, November 2003. – pp. 885-890.
7. Захаров Б.М. О прочности сцепления покрытий, наносимых методом плазменного напыления / Б.М. Захаров, М.Г. Трофимов, Л.И. Гусева и др. // Порошковая металлургия. – 1970. – № 11, стр. 71-76.
8. Сильченко О.Б. О перспективах применения наноструктурных гетерофазных полифункциональных композиционных материалов в авиадвигателестроении / О.Б. Сильченко, М.В. Силуянова, В.Е. Низовцев, Д.А. Климов, А.А. Корнилов // Вопросы материаловедения. – 2018. – № 1, стр. 50-57.
9. Денисов Л.В. Обеспечение эксплуатационных свойств деталей и узлов газотурбинного двигателя локальным поверхностным легированием / Л.В. Денисов, А.Г. Бойцов, М.В. Силуянова // Вестник Самарского университета.
10. Сильченко О.Б. Исследование механических и трибологических свойств покрытий из композиционных материалов, армированных квазикристаллами и полученных методом холодного газодинамического напыления / О.Б. Сильченко, М.В. Силуянова // Вестник Брянского государственного технического университета № 2 (75) 2019, с. 19-24.
11. Гращенко Д.В. Композиционный материал на основе меди / Д.В. Гращенко, И.Ю. Ефимочкин, С.Б. Ломов, И.Е. Гончаров // ВИАМ, 2010.

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Spiridonova I. M. Stabil'nost' kompozitsionnykh materialov [Stability of Composite Materials] / I. M. Spiridonova, A.D. Panasyuk, E. V. Sukhovaya, A. P. Umansky // Dnepropetrovsk: Svidler. – 2011. – 244 p. [in Russian]
2. Lepeshev A. A. Fiziko-mekhanicheskie i tribologicheskie svoystva kvazikristallicheskiy pokrytii Al-Cu-Fe, poluchennykh plazmennym napyleniem [Physicomechanical and Tribological Properties of Quasicrystalline Al-Cu-Fe Coatings Obtained Through Plasma Sputtering] // A.A. Lepeshev, E. A. Rozhkova, I. V. Karpov, A.V. Ushakov, L. Yu. Fedorov // Fizika tverdogo tela [Physics of Solids] - 2013. - Vol. 55. - Issue 12. - pp. 2406-2411 [in Russian]
3. Trebin H. R. Quasicrystals. Structure and properties / H. R. Trebin // Weinheim: Wiley: VCH GmbH & Co. KGaA, - 2003. - 665 p.
4. Klimov A. K. Kompozitsionnye materialy dlia dvigatelestroeniia [Composite Materials for Engine Construction] / A. K. Klimov, D. A. Klimov, E. A. Krylov, Yu. A. Rifts' // Avtomobil'naia promyshlennost' [Automotive Industry], 2003, no. 1, pp. 27-30 [in Russian]
5. Dubois J.-M. Properties and applications of quasicrystals and complex metallic alloys / J.-M. Dubois // Chem. Soc. Rev. - 2012. - N° 41. - pp. 4760-6777.
6. Yang X.Y. Coincident lattice sites between cubic  $\beta$ -Zr(Pt) and an isochemical icosahedral phase in rapidly solidified Zr80Pt20 alloys / X.Y. Yang, M.J. Kramer, E.A. Rozhkova, D.J. Sordet // Scripta Materialia. – V. 49, Issue 9, November 2003. – pp. 885-890.
7. Zakharov B. M. O prochnosti stsepleniia pokrytii, nanosimyykh metodom plazmennogo napyleniia [On the Adhesion Strength of Coatings Applied Through Plasma Sputtering] / B. M. Zakharov, M. G. Trofimov, L. I. Gusev // Poroshkovaia metallurgii [Powder Metallurgy]. 1970, no. 11, pp. 71-76 [in Russian]
8. Silchenko O. B. O perspektivakh primeneniia nanostrukturnykh geterofaznykh polifunktsional'nykh kompozitsionnykh materialov v aviadvigatelestroenii [Prospects for the Application of Nanostructured Heterophase Polyfunctional Composite Materials in Aircraft Engine Building] / O. B. Silchenko, M. V. Siluyanov, V. E. Nizovtsev, D. A. Klimov, A. A. Kornilov // Voprosy materialovedeniia [Materials Science Issues]. - 2018. - No. 1. - pp. 50-57 [in Russian]
9. Denisov L. V. Obespechenie ekspluatatsionnykh svoystv detalei i uzlov gazoturbinnogo dvigatel'ia lokal'nym poverkhnostnym legirovaniem [Ensuring the Operational Properties of Gas Turbine Engine Parts and Components by Local Surface Alloying] / LV Denisov, A. G. Fighters, M. V. Siluyanov // Vestnik Samarskogo universiteta. Aerokosmicheskaiia tekhnika, tekhnologii i mashinostroenie [Samara University Bulletin. Aerospace Engineering, Technologies and Mechanical Engineering], Vol. 17, No. 2, 2018, pp. 58-67. [in Russian]
10. Silchenko O. B. Issledovanie mekhanicheskikh i tribologicheskikh svoystv pokrytij iz kompozitsionnykh materialov, armirovannykh kvazikristallami i poluchennykh metodom holodnogo gazodinamicheskogo napyleniia [Investigation of mechanical and tribological properties of coatings made of composite materials reinforced with quasicrystals and obtained by cold gas-dynamic sputtering] / O. B. Silchenko, M. V. Siluyanov // Vestnik Brjanskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta [Bulletin of Bryansk state technical University] No. 2 (75) 2019, pp. 19-24.
11. Grashchenkov D. V., Efimochkin I. Yu., Lomov S. B., Goncharov I. E. Kompozitsionnyi material na osnove medi [Composite Material Based on Copper] / D. V. Grashchenkov, I. Yu., Lomov S. B. Efimochkin, I. E. Goncharov // VIAM, 2010. - 10 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.102.12.014>**БИБЛИОТЕКА ОБРАБОТКИ СТРОК ДЛЯ ЯЗЫКА ФУНКЦИОНАЛЬНО-ПОТОКОВОГО ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ПИФАГОР**

Научная статья

**Удалова Ю.В.\***

Сибирский Федеральный Университет, Красноярск, Россия

\* Корреспондирующий автор (judalova[at]sfu-kras.ru)

**Аннотация**

Язык функционально-потокowego параллельного программирования Пифагор является оригинальным языком программирования, ориентированным на поддержку концепции неограниченного параллелизма, потенциально позволяющим создавать максимально параллельные архитектурно-независимые программы, не связанные с ресурсными и архитектурными ограничениями.

В настоящее время разрабатываются библиотеки функций языка, предлагаются и совершенствуются инструментальные средства [5], [11]. Статья посвящена реализации библиотеки обработки строк, предоставляющей функциональные вызовы для часто встречающихся вычислительных операций обработки текста.

Разработана первая версия библиотеки обработки строк, поэтому внимание сконцентрировано на создании широкого спектра работоспособных функциональных вызовов, позволяющих автоматизировать решение часто встречающихся подзадач обработки текста. Алгоритмы функций библиотеки адаптированы для достижения максимального параллелизма в рамках модели функционально-потокowego параллельных вычислений, что в перспективе позволит разрабатывать оригинальные и эффективные алгоритмы обработки больших текстовых данных.

**Ключевые слова:** функциональное программирование, параллельное программирование, строки символов, библиотека функций.

**STRING PROCESSING LIBRARY FOR PIFAGOR, A FUNCTIONAL DATAFLOW CONCURRENT PROGRAMMING LANGUAGE**

Research article

**Udalova Yu.V.\***

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

\* Corresponding author (judalova[at]sfu-kras.ru)

**Abstract**

PIFAGOR is an original programming language that supports the concept of unlimited concurrency, potentially allowing for creating the most concurrent architecturally independent software that is not associated with the resource and architectural constraints.

The development of language function libraries as well as the improvement of the tools is taking place at the current moment. [5], [11]. The article explores the implementation of a string processing library that provides functional calls for frequently encountered text processing computing operations.

The first version of the string processing library has been developed, so attention is focused on creating a wide range of functional calls that allow for the automation of the solution of frequently encountered text processing subtasks. The algorithms of the library functions are adapted to achieve maximum concurrency within the framework of the functional dataflow concurrent computing model, which in the future will allow for the development of original and efficient algorithms to process large text data.

**Keywords:** functional programming, concurrent programming, character strings, function library.

**Введение**

В статье представлен инструментальный библиотеки обработки строк языка Пифагор, позволяющий автоматизировать вычисление широкого спектра часто встречающихся подзадач обработки текстовых данных, приведены примеры использования функций библиотеки для решения практических задач, описан общий принцип достижения максимального параллелизма при проектировании функционально-потокowego параллельных алгоритмов обработки строк.

**Функции библиотеки обработки строк языка Пифагор**

При создании библиотеки обработки строк для языка Пифагор в качестве примеров по функциональности послужили библиотека `string.h` языка C, содержащая базовые операции обработки строк, и методы класса `QString` кроссплатформенной среды разработки Qt, предоставляющие обширный инструментальный для локализации и изменения участков текста в строке.

Различные функции из библиотеки обработки строк языка Пифагор способны обрабатывать в качестве входных данных строки символов, списки строк символов неограниченной длины, а также списки чисел или отдельные числа (см. таблицу 1).

Специальная функция для определения длины строки в библиотеке отсутствует, поскольку является базовой функцией языка Пифагор и записывается в коде как `'`. Индексация символов в строке начинается с единицы, выделение и удаление символа из строки по индексу являются базовыми операциями языка, но для замены символа в строке, включения символа в строку и других действий со строкой потребуется разработать свой код или вызвать функцию из представленной библиотеки.

Таблица 1 – Примеры функций библиотеки обработки строк

Имя функции	Назначение или результат работы	Пример входных данных	Пример вычисленного результата
strcat	Объединение двух строк в одну	("Hello", " world")	("Hello world")
strlistcat	Объединение списка строк в одну строку	("1", "2", "3", "45")	("12345")
transposition	Объединение двух строк в одну чередованием символов	("Hello", "world")	("Hweolrllod")
inversion	Получение строки в обратной записи	("MPI")	("IPM")
indchr	Индекс первого вхождения символа в строке или 0	("UUTAT", 'T')	3
indchrend	Индекс первого с конца вхождения символа в строке или 0	("UUTAT", 'T')	5
indschr	Список индексов вхождений символа в строке	("UUTAT", 'T')	(3, 5)
amountchr	Количество вхождений символа в строке	("ToT kTo", 'T')	3
selectthischrs	Получение строки, состоящей из символов, стоящих на указанных индексах	("1234567", (2, 5, 7) )	("257")
selectmidchrs	Получение строки, состоящей из символов, расположенных между парой индексов	("RT4TS", 2, 4)	("T4T")
replacelistchrs	Строка, полученная заменой в строке1 каждого вхождения символа из строки2 на соответствующий ему по индексу символ из строки3	("QWERTY", "QWEYP", "12345")	("123RT4")
strcmp	Сравнение пары строк, результатом является булево значение	("QWE", "QTE")	false
strempind	Сравнение пары строк, результатом является список индексов совпадающих символов	("QWE", "QTE")	(1, 3)
indsstr	Список индексов вхождений строки2 в строке1	("+7-809-123-123", "123")	(8, 12)
insertstrlist	Вставить в строку строки из списка с позиций, указанных в списке индексов	("1234567", ("M", "PI"), (3, 6))	("12M345PI67")
replacestr	Заменить в строке все вхождения строки1 на строку2	("123434", "34", "M")	("12MM")
string.int	Запись целой части числа в строку	-543.12	(" -543")
string.intlist	Запись целых частей чисел из списка в строку через пробел	(-96, -1.75, 3005, 17.08)	(" -96 -1 3005 17")
string.getfloat	Выделение вещественного числа из строки	("max=815.21, min=6")	815.21
string.getfloatlist	Выделение вещественных чисел из строки	("max=815.21, min=6,9")	(815.21, 6.9)

Всего библиотека обработки строк содержит 57 функциональных вызовов. Функции, не вошедшие в таблицу 1, предоставляют операции удаления, обрезания участка строки, вставки, замены или вставки с заменой символов строки. Большое количество функций библиотеки также обусловлено тем, что перечисленные операции и операции из таблицы 1 могут выполняться над первым, последним либо всеми подходящими элементами строки.

### Примеры использования функций из библиотеки обработки строк языка Пифагор

Пример 1. Определить является ли строка палиндромом.

Программный код на языке Пифагор.

```
func << funcdef Param // Param – аргумент функции, строка
{ (Param, Param:inversion):strcmp >> return ; }
```

Используются две функции библиотеки: inversion - обратная запись исходной строки Param и strcmp – сравнение пары строк, здесь аргументами strcmp являются исходная строка Param и её обратная запись Param:inversion.

Пример 2. Определить являются ли первое и последнее слово строки палиндромами. Считать, что слова в строке разделяются пробелами, и строка не содержит пробелы перед первым словом и после последнего слова.



Программный код на языке Пифагор.

```
func << funcdef Param // Param – аргумент функции, строка
{ (Param, ' '):indchr >> ind1 ; //ind1 - индекс первого пробела
  (Param, ' '):indchrend >> ind2 ; //ind2 - индекс последнего пробела
  //выделение первого слова в идентификатор firstWord
  (Param,(ind1,1):-):selectfirstchrs >> firstWord ;
  //выделение последнего слова в идентификатор lastWord
  (Param,(ind2,1):+, Param:):selectmidchrs >> lastWord ;
  //cond1 – условие равенства первого слова его обратной записи
  (firstWord,firstWord:inversion):strcmp >> cond1 ;
  //cond2 – условие равенства последнего слова его обратной записи
  (lastWord,lastWord:inversion):strcmp >> cond2 ;
  //Ниже операция * это логическое И над cond1 и cond2
  (cond1, cond2):* >> return ;
}
```

Примеры входных данных и результатов вычисления функции: "123 + 789" -> false, "323 + 789" -> false, "323 + 989" -> true.

### Адаптация алгоритмов функций библиотеки для достижения максимального параллелизма в рамках модели функционально-поточковых параллельных вычислений

Функциональное программирование предполагает отсутствие цикла и замену его рекурсией. Для разработчика, привычного к императивному стилю написания программ и решению вышеописанных функциональных вызовов через циклы, естественно спроектировать последовательную рекурсию, применительно к обработке строк информационно-управляющий граф функции при этом может принять следующий обобщенный вид (см. рисунок 1), пунктирной линией обозначены задержанные вычисления, исполняемые только при истинности условия.

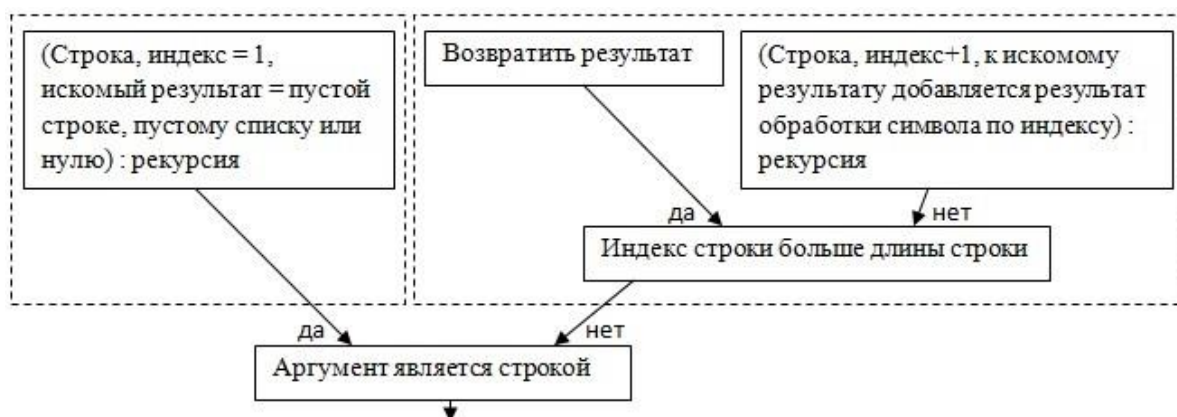


Рис. 1 – Обобщенный информационно-управляющий граф последовательной рекурсии обработки строки

Подобная организация вычислений (см. рисунок 1) позволит вычислить искомый результат, но возможности языка позволяют описать расширенный параллелизм, для чего используется следующая схема построения функции (см. рисунок 2), в которой рекурсия может быть заменена параллельными списками, либо применяется параллельная рекурсия.

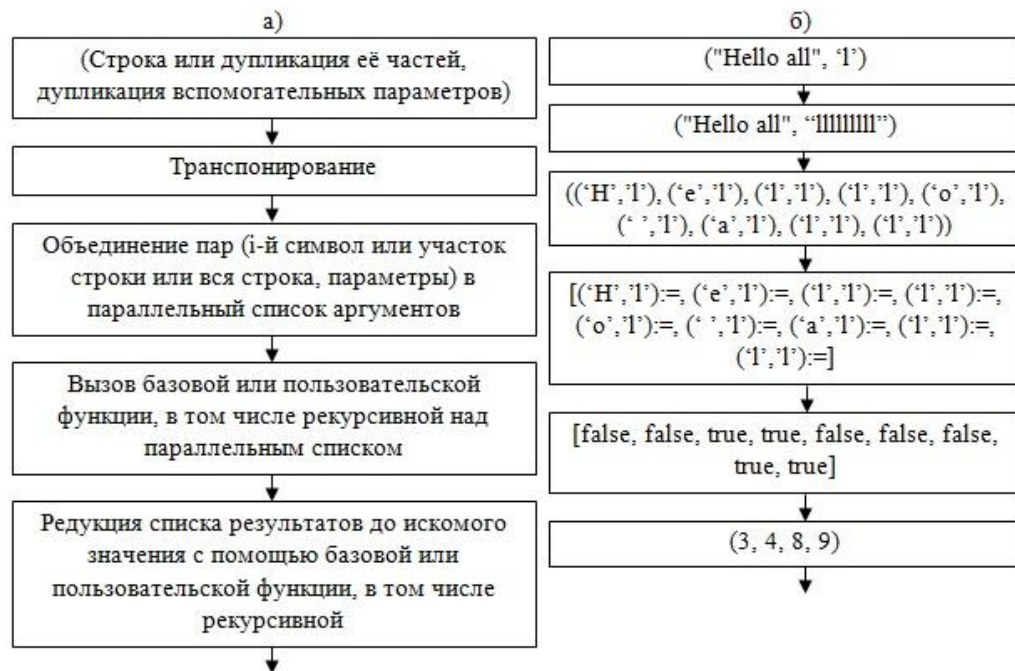


Рис. 2 – схема функций обработки строк с параллельными списками или параллельной рекурсией (а) и пример вычислений функции `indschr` (б)

Например, функция `indschr`, вычисляющая список индексов вхождений символа в строке, записанная в указанном стиле (см. рисунок 2), базируется на базовых командах языка и обработке параллельного списка, обладает указанным ниже программным кодом, в котором `dup`, `#`, `?` это дубликация, транспонирование и определение индексов истинных булевых величин в списке.

```
indschr << funcdef Param // Param = (строка, символ)
```

```
{ (Param:1,(Param:2,Param:1:):dup):#:[:]=(:):? >> return ; }
```

Реализация функции `indschr` с помощью последовательной рекурсии (см. рисунок 1) не только увеличивает объем программного кода, но и ограничивает потенциальные возможности распараллеливания. Подобная реализация функции `indschr` на языке Пифагор будет выглядеть следующим образом.

```
indschr << funcdef Param
```

```
{ Param:1 >> str; Param:2 >> c; str:| >> len ;
```

```
((1,(:)), {(Param:3, Param:4)}):[(Param:|,2):(<,>):?]:. >> ind ;
```

```
{ ( { ( ind:2:[], ind:1) }, { ind:2 }
```

```
):[(str:1,c):(<,>):?]:.
```

```
},
```

```
{ ( { (str:-1,c,(ind:1,1):+, (ind:2:[], ind:1)):string.indschr },
```

```
{ (str:-1,c,(ind:1,1):+, ind:2):string.indschr }
```

```
):[(str:1,c):(<,>):?]:.
```

```
}
```

```
):[(len,1):(<,>):?]:.>> return ; }
```

Так как разработанная библиотека содержит достаточно большое количество функциональных вызовов различного назначения, то при реализации различных функций применяется как последовательная рекурсия, так и параллельная, для алгоритмически простых задач последняя упрощается до обработки параллельных списков (см. рисунок 2.б).

## Заключение

Спроектирована первая версия библиотеки обработки строк для языка функционально-поточного параллельного программирования Пифагор. Алгоритмы функций адаптированы для достижения максимального параллелизма в рамках модели функционально-поточных параллельных вычислений. Корректность работы функций библиотеки исследована и подтверждена с помощью функционального тестирования.

Библиотеки для языка Пифагор [8] проектируются как статические библиотеки, предоставляющие файлы с исходным кодом. Все функциональные вызовы включаются в открытый репозиторий языка, таким образом, функции можно не только вызывать на исполнение, но и использовать их программный код или его части в программах пользователя.

## Финансирование

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 17-07-00288 «Архитектурно-независимая разработка параллельных программ на основе функционально-поточной парадигмы», 2017-2019 гг.

## Конфликт интересов

Не указан.

## Funding

This work was supported by the Russian Foundation for basic research, grant № 17-07-00288 "Architecture-independent development of parallel programs based on the functional-streaming paradigm", 2017-2019.

## Conflict of Interest

None declared.

## Список литературы / References

1. Legalov A.I. A toolkit for the development of data-driven functional parallel programmes / A.I. Legalov et al. // Communications in Computer and Information Science. – 2018. – V. 910. – P. 16-30. DOI: 10.1007/978-3-319-99673-8\_2
2. Легалов А.И. Инструментальная поддержка создания и трансформации функционально-поточковых параллельных программ / А. И. Легалов и др. // Труды Института системного программирования РАН. – 2017. – Т. 29 – № 5. – С. 165-184. DOI: 10.15514/ISPRAS-2017-29(5)-10
3. Легалов А. И. Особенности разработки и преобразования функционально-поточковых параллельных программ / А. И. Легалов, М. С. Ушакова // Суперкомпьютерные дни в России: тр. междунар. конф. М. – 2018. – С. 999–1000.
4. Функционально-поточковое параллельное программирование. Среда разработки, статьи, примеры программ. [Электронный ресурс] URL: <http://www.softcraft.ru/fppp/> (дата обращения: 26.11.2020).
5. Легалов А.И. Добавление статической типизации в язык функционально-поточкового параллельного программирования / А.И. Легалов, И.А. Легалов, И.В. Матковский // Электронные библиотеки. – 2020. – Т. 23. – № 4. – С. 788-807. DOI: 10.26907/1562-5419-2020-23-4-788-807
6. Легалов А.И. Динамически изменяющийся параллелизм с асинхронно-последовательными потоками данных / А.И. Легалов, И.В. Матковский, М.С. Ушакова, Д.С. Романова // Моделирование и анализ информационных систем. – 2020. – Т. 27. – № 2. – С. 164-179. DOI: 10.18255/1818-1015-2020-2-164-179
7. Легалов А.И. Особенности семантики статически типизированного языка функционально-поточкового параллельного программирования / А.И. Легалов, И.А. Легалов, И.В. Матковский // Научный сервис в сети Интернет. – 2019. – № 21. – С. 489-500. DOI:10.20948/abrau-2019-08
8. Удалова Ю.В. Библиотека математических функций для языка функционально-поточкового параллельного программирования Пифагор / Ю. В. Удалова // Вестник Бурятского государственного университета. Математика, информатика. – 2019. – № 4. – С. 57–64. DOI: 10.18101/2304-5728-2019-4-57-64
9. Ушакова М. С. Верификация программ со взаимной рекурсией на языке Пифагор / М. С. Ушакова, А. И. Легалов // Моделирование и анализ информационных систем. – 2018. – Т. 25. – № 4 (76). – С. 358–381. DOI: 10.18255/1818-1015-2018-4-358-381
10. Васильев В. С. Оптимизация инварианта цикла в языке Пифагор / В.С. Васильев, А.И. Легалов // Моделирование и анализ информационных систем. – 2018. – Т. 25 – № 4 (76) – С. 347–357. DOI: 10.18255/1818-1015-2018-4-347-357
11. Удалова Ю. В. Верификация функционально-поточковых параллельных программ методом индуктивных утверждений / Ю. В. Удалова, А.И. Легалов // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. – 2014. – № 2–3 (23–24). – С. 125–132.

## Список литературы на английском языке / References in English

1. Legalov A.I. A toolkit for the development of data-driven functional parallel programmes / A.I. Legalov et al. // Communications in Computer and Information Science. – 2018. – V. 910. – P. 16-30. DOI: 10.1007/978-3-319-99673-8\_2
2. Legalov A.I. Instrumental'naja podderzhka sozdaniya i transformacii funkcional'no-potokovyh parallel'nyh program [Tool support for the creation and transformation of data-driven functional parallel programs] / A.I. Legalov and others // Trudy Instituta sistemnogo programmirovaniya RAN [Proceedings Of the Institute of system programming of the Russian Academy of Sciences] – 2017. – V. 29 – № 5. – P. 165-184. DOI: 10.15514/ISPRAS-2017-29(5)-10 [in Russian]
3. Legalov A.I. Osobennosti razrabotki i preobrazovaniya funkcional'no-potokovyh parallel'nyh program [Features of the development and transformation of data-driven functional parallel programs] / A.I. Legalov, M. S. Ushakova // Superkomp'yuternye dni v Rossii: trudy mezhdunarodnoj konferencii [Supercomputer days in Russia: proceedings of the international conference] – 2018. – P. 999–1000. [in Russian]
4. Funkcional'no-potokovoe parallel'noe programmirovaniye. Sreda razrabotki, stat'i, primery programm. [Data-driven functional parallel programming. Development environment, articles and sample programs.] [Electronic resource] URL: <http://www.softcraft.ru/fppp/> (accessed: 26.11.2020). [in Russian]
5. Legalov A.I. Dobavlenie staticheskoy tipizacii v jazyk funkcional'no-potokovogo parallel'nogo programmirovaniya [Adding static typing in the language of data-driven functional parallel programming] / A.I. Legalov, I.A. Legalov, I.V. Matkovskij // Jelektronnye biblioteki [Electronic library] – 2020. – V. 23. – № 4. – P. 788-807. DOI: 10.26907/1562-5419-2020-23-4-788-807 [in Russian]
6. Legalov A.I. Dinamicheski izmenjajushhij parallelizm s asinhronno-posledovatel'nymi potokami dannyh [Dynamically changing parallelism with asynchronous-sequential data flows] / A.I. Legalov, I.V. Matkovskij, M. S. Ushakova, D.S. Romanova // Modelirovanie i analiz informacionnyh system [Modeling and analysis of information systems] – 2020. – V. 27. – № 2. – P. 164-179. DOI: 10.18255/1818-1015-2020-2-164-179 [in Russian]
7. Legalov A.I. Osobennosti semantiki staticheskij tipizirovannogo jazyka funkcional'no-potokovogo parallel'nogo programmirovaniya [Features of the semantics of a statically typed functional-stream parallel programming language] / A.I. Legalov, I.A. Legalov, I.V. Matkovskij // Nauchnyj servis v seti Internet [Scientific service on the Internet] – 2019. – № 21. – P. 489-500. DOI:10.20948/abrau-2019-08 [in Russian]
8. Udalova Ju.V. Biblioteka matematicheskij funkcij dlja jazyka funkcional'no-potokovogo parallel'nogo programmirovaniya Pifagor [Library of mathematical functions for the language of data-driven functional parallel programs Pythagor] / Ju.V. Udalova // Vestnik Burjatskogo gosudarstvennogo universiteta. Matematika, informatika [Bulletin of the Buryat state University. Mathematics, computer science] – 2019. – № 4. – P. 57–64. DOI: 10.18101/2304-5728-2019-4-57-64 [in Russian]
9. Ushakova M. S. Verifikacija programm so vzaimnoj rekursiej na jazyke Pifagor [Verification of programs with mutual recursion in the Pythagor language] / M. S. Ushakova, A.I. Legalov // Modelirovanie i analiz informacionnyh system [Modeling and analysis of information systems] – 2018. – V. 25. – № 4 (76). – P. 358–381. DOI: 10.18255/1818-1015-2018-4-358-381 [in Russian]
10. Vasil'ev V. S. Optimizacija invarianta cikla v jazyke Pifagor [Optimization of the loop invariant in the Pythagor language] / V. S. Vasil'ev, A.I. Legalov // Modelirovanie i analiz informacionnyh system [Modeling and analysis of information systems] – 2018. – V. 25 – № 4 (76) – P. 347–357. DOI: 10.18255/1818-1015-2018-4-347-357 [in Russian]
11. Udalova Ju.V. Verifikacija funkcional'no-potokovyh parallel'nyh programm metodom induktivnyh utverzhenij [Verification of data-driven functional parallel programs by the method of inductive statements] / Ju.V. Udalova, A.I. Legalov // Doklady Akademii nauk vysshej shkoly Rossijskoj Federacii [Reports of the Academy of Sciences of the higher school of the Russian Federation] – 2014. – № 2–3 (23–24). – P. 125–132. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.102.12.015>**ПРИМЕНЕНИЕ КОСОУГОЛЬНОГО ПРОЕКЦИРОВАНИЯ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ НЕРОВНОСТЕЙ ПОПЕРЕЧНОГО ПРОФИЛЯ ПОКРЫТИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

Научная статья

**Федоров С.А.<sup>1,\*</sup>, Хромченко А.В.<sup>2</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-5410-3916;<sup>1,2</sup> Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Россия

\* Корреспондирующий автор (fedoroff27[at]mail.ru)

**Аннотация**

При эксплуатации автомобильной дороги происходит снижение ровности поверхности покрытия в продольном и поперечном направлениях относительно оси проезжей части. Это явление ухудшает транспортно-эксплуатационные качества автомобильной дороги.

Авторами предложено применение косоугольного проектирования для оценки ровности покрытия автомобильной дороги в поперечном направлении. Данный метод основан на получении необходимых данных по фото- или цифровым снимкам, которые фиксируют видимый след пересечения наклонной лазерной плоскости с поверхностью полотна дороги.

В статье приведена принципиальная схема устройства установки для производства измерений в статическом или динамическом режимах, а также оценена точность получаемых результатов при проведении измерительных работ.

**Ключевые слова:** метод «косого сечения», автомобильная дорога, ровность покрытия, лазерная плоскость, курсовая линия, поперечный профиль, масштаб изображения, точность измерения.

**THE USE OF OBLIQUE PROJECTION FOR MEASURING THE CROSS-SECTION DEFORMATION OF ROAD SURFACES**

Research article

**Fedorov S.A.<sup>1,\*</sup>, Khromchenko A.V.<sup>2</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-5410-3916;<sup>1,2</sup> Pacific National University, Khabarovsk, Russia

\* Corresponding author (fedoroff27[at]mail.ru)

**Abstract**

When a road is used, the flatness of the surface of the pavement decreases in the longitudinal and transverse directions relative to the axis of the roadway. This phenomenon worsens the transport and operational qualities of the road.

The authors of the article propose the usage of oblique projection to assess the evenness of the road surface in the transverse direction. This method is based on obtaining the necessary data from a photo or digital images that capture the visible trace of the intersection of the inclined laser plane with the surface of the roadbed.

The article presents a schematic diagram of the device to conduct the measurements in static or dynamic modes as well as estimates the accuracy of the results obtained during the measurements.

**Keywords:** "oblique section" method; roadway, flatness of the surface, laser plane, heading line, cross section of road, image scale, measurement accuracy.

**Введение**

При эксплуатации автомобильной дороги происходит ухудшение ровности поверхности покрытия в продольном и поперечном направлениях относительно оси проезжей части, что приводит к повышению аварийности [1].

Снижение ровности покрытия в продольном направлении обуславливается образованием на проезжей части микро- и макро-неровностей с длиной волны до 100 м.

В поперечном профиле неровности характеризуются меньшими размерами и в основном определяются параметрами волн выпора и углублений колеи в пределах полос наката. Безусловно, ровность поверхности проезжей части дороги в каждом направлении дополнительно зависит от размеров и частоты трещин, выбоин, просадок и других видов локальных деформаций и повреждений покрытия [2].

Измерение ровности покрытия выполняют инструментальными методами в процессе обследования дорог, производимого с целью получения широкого спектра показателей для характеристики состояния дороги.

При выборочном контроле ровности покрытия в продольном направлении традиционно применяют 3-х метровую рейку с клиновым промерником, геометрическое нивелирование с заданным шагом [3]. При сплошном обследовании используют толчкомеры различных конструкций, дорожные профилометры [4]. В поперечном направлении ровность обычно оценивают по результатам измерения просветов под 3-х метровой рейкой либо по данным геометрического нивелирования поперечных профилей [5], [6], [8].

Здесь следует заметить, что применяемые на практике технологии выборочного контроля ровности покрытия дорог характеризуются значительным объёмом «ручных» работ при выполнении измерений. Поэтому в настоящее время оценка ровности покрытия сводится в основном к оценке продольной ровности по полосам наката и к измерению поперечных уклонов с помощью автоматизированных средств измерений, установленных на передвижных лабораториях КП-514МП «Трасса».

Известна также автоматизированная технология съёмки проезжей части автомобильных дорог и мостов, разработанная в научно-инженерном дорожном центре Сибирского государственного университета путей сообщения на основе прицепного трёхколёсного модуля «Диагностика». Данный аппаратно-программный комплекс позволяет осуществить отрисовку рельефа и создание цифровой модели поверхности дороги. Эта задача решается совместной

компьютерной обработкой совокупности 3-5 смежных продольных профилей, построенных каждый по новой линии траектории движения первого колеса прицепного модуля. Следует отметить, что при ограниченном числе продольных проездов модуля поперечные профили не могут быть определены достаточно точно, поскольку для их построения необходима высокая плотность продольных профилей [9].

Оценку ровности покрытия в поперечном направлении также целесообразно производить методом сплошного контроля, так как показатель продольной ровности и поперечный уклон поверхности полосы наката не являются исчерпывающими характеристиками действительных очертаний поперечного профиля. В качестве примера можно отметить тот факт, что поперечный профиль может иметь неровности в виде волн различного размера вследствие образования колеи либо может иметь вид вогнутой или выпуклой поверхности.

### Основные результаты

Косое сечение поверхности покрытия 1 (см. рисунок 1) производится лазерной плоскостью 2, создаваемой вращающимся портативным источником лазерного излучения 3 с целью получения, видимой глазом, линии  $ACB$  «разсечения» (разреза) исследуемой поверхности. Источник лазерного излучения устанавливается на высоте  $H$  над поверхностью покрытия так, чтобы лазерная плоскость была наклонена под углом  $\varphi$  к линии отвеса, а ось вращения лазера принадлежала вертикальной плоскости, проходящей через курсовую линию  $OM$ .

Над линией  $ACB$  косого сечения на высоте  $H_K$  располагается фото- или цифровая камера (ЦК) 4, либо видеокамера (ВК), ориентированная объективом отвесно вниз. В общем случае камеры могут устанавливаться над курсовой линией  $OM$  с наклоном под углом  $\gamma$  к линии отвеса, но так, чтобы оптическая ось камеры находилась в одной плоскости главного вертикала, проходящей через линию отвеса лазерного источника 3, и была направлена в точку  $C$  пересечения линии косого сечения с курсовой линией.

В свою очередь, курсовая линия  $OM$  образуется путём проектирования на поверхность покрытия видимого глазом лазерного луча, излучаемого неподвижным портативным источником излучения 5. Этот луч предназначен для задания курса и образования координатной линии на фото- или цифровом снимке. Данный лазерный прибор устанавливается на высоте  $H_L$  таким образом, чтобы линия его луча составляла угол  $\alpha$  с линией отвеса и находилась в плоскости главного вертикала, образованной лазером 3 и камерой 4.

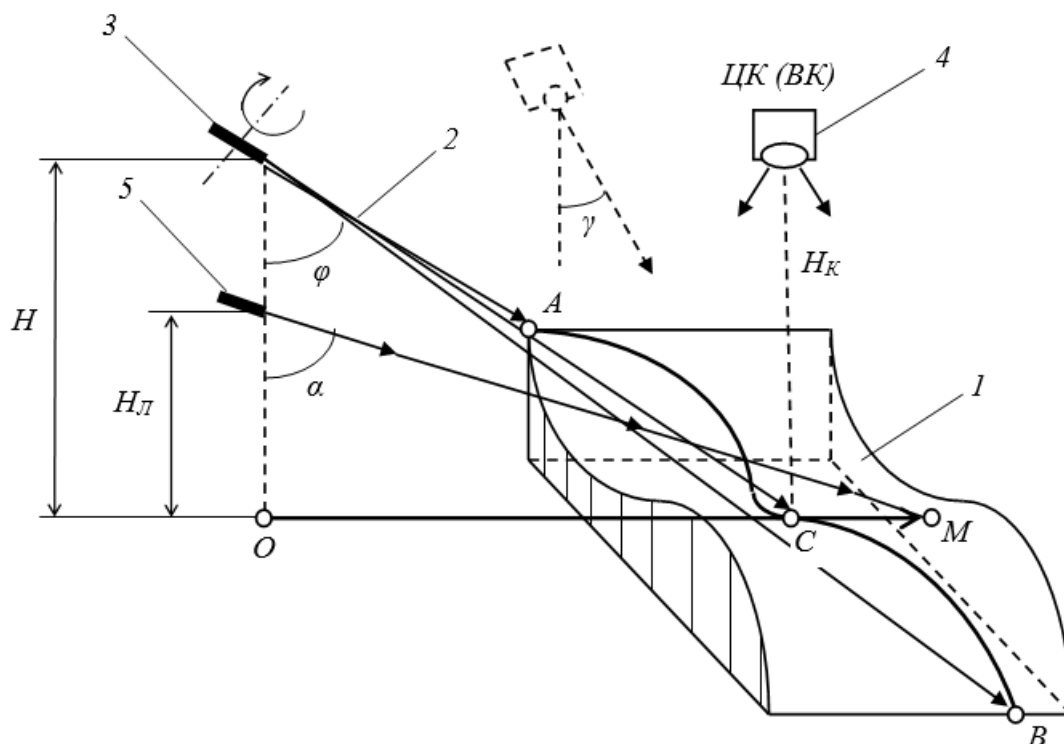


Рис. 1 – Схема образования косого сечения на поверхности покрытия

Известные в настоящее время портативные источники лазерного излучения промышленного изготовления имеют длину 62 мм при диаметре 14 мм, питаются от плоских миниатюрных батареек. Лазерный луч такого источника излучения имеет диаметр светового пятна 3-4 мм на расстоянии 7-10 м. Продолжительность непрерывной работы лазера без перезарядки достигает 4-х часов в летнее время.

Полученные при съёмке фотоснимки сканируются, а цифровые изображения адаптируются с целью передачи данных для обработки видеоизображений стандартными средствами на компьютере.

На рисунке 2 представлен снимок в масштабе 1:М с изображениями линии  $A'E'C'B'$  косого сечения и отрезка  $O'M'$  курсовой линии, полученными при съёмке камерой участка поверхности покрытия.

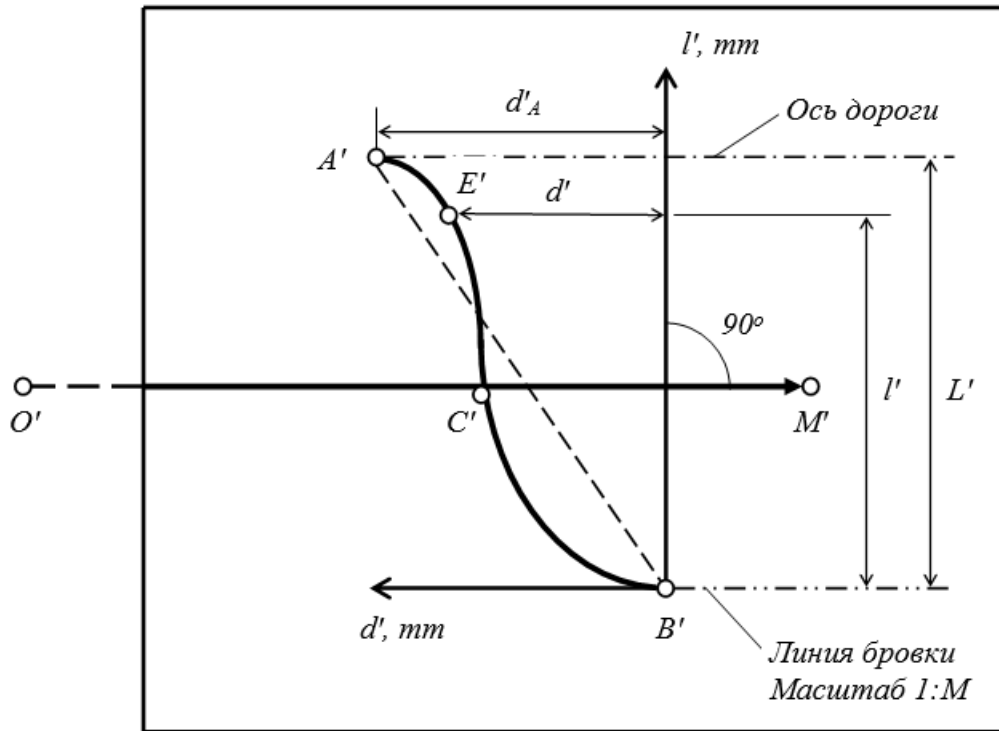


Рис. 2 – Схема определения координат линии косого сечения на снимке

Учитывая, что сечение  $A'E'C'B'$  выполнено лазерной плоскостью под углом  $\varphi$  к линии отвеса, становится возможным вычислить фактические координаты точек физической поверхности покрытия (см. рисунок 3) по следующим формулам:

$$h = M \cdot d' \cdot \operatorname{ctg} \varphi,$$

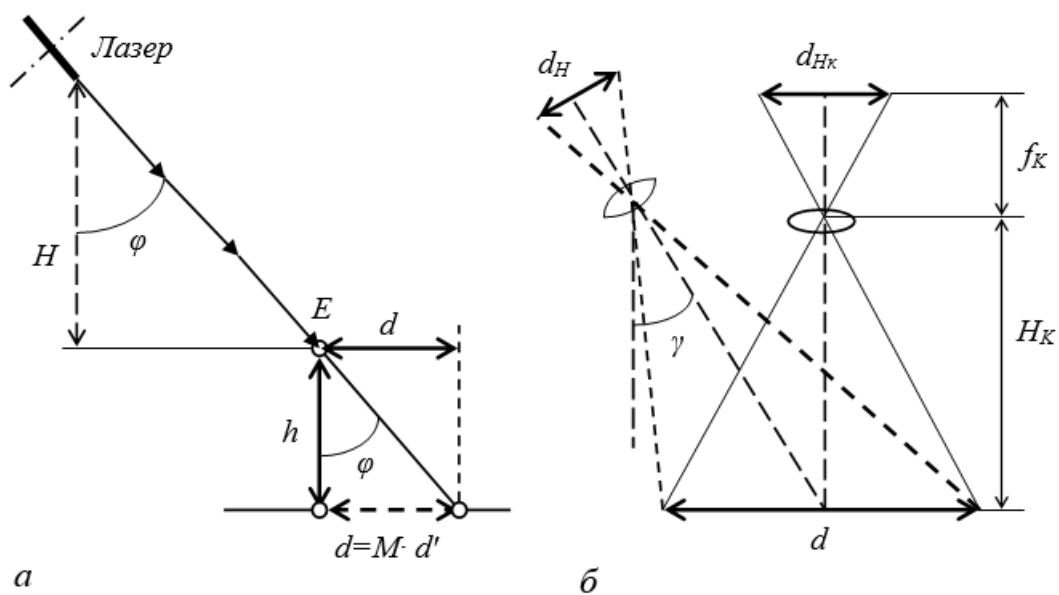
$$l = M \cdot l',$$

где  $h$  – фактическая условная отметка поверхности в точке профильной линии  $ACB$ , рассчитанная относительно горизонтальной плоскости, проведенной через точку  $B$  (см. рисунок 1);

$M$  – знаменатель масштаба снимка;

$d', l'$  – координаты точки на снимке (экране);

$l$  – фактическое расстояние до определяемой точки в системе координат линии поперечного профиля.

Рис. 3 – Зависимость высоты  $h$  неровности от заложения  $d$  (а) и определение масштаба изображения на фотоснимке (б)

По результатам измерений и вычислений фактических высот и расстояний для точек линии косого сечения вычерчивают поперечный профиль поверхности покрытия в заданном масштабе. При необходимости вычисляют генеральный поперечный уклон покрытия вдоль линии  $A'B'$  (см. рисунок 2) по формуле:

$$i_{\Pi} = \frac{d'_A \cdot \operatorname{ctg} \varphi}{L'},$$

Где  $d'_A, L'$  – измеренные на снимке координаты точки  $A'$  линии косого сечения.

Высоту и длину неровностей поверхности покрытия определяют на снимке относительно линии  $A'B'$  проекции главного уклона, для чего производят дополнительные измерения и вычисления, либо выполняют расчёты новых значений  $h_{\Pi\Pi}$  отметок  $h$  путём исправления последних по формуле:

$$h_{\Pi\Pi} = h - i_{\Pi} \cdot l.$$

Следует заметить, что масштаб изображения на фотокадре в момент съёмки равен масштабу съёмки (см. рисунок 3) и вычисляется по формуле:

$$\frac{1}{M_K} = \frac{d_K}{d} = \frac{f_K}{H_K},$$

где  $M_K$  – знаменатель масштаба изображения;

$d_K, d$  – соответственно расстояние между одноимёнными точками на фотокадре и в натуре;

$f_K$  – фокусное расстояние камеры;

$H_K$  – высота съёмки.

При образовании позитивного снимка или цифрового изображения на экране монитора, масштаб изображения для них изменится и станет равным:

$$\frac{1}{M} = \frac{k}{M_K},$$

где  $k$  – коэффициент увеличения снимка или его цифрового изображения относительно исходного масштаба съёмки.

Если вести съёмку следа косого сечения камерой, расположенной под углом  $\gamma$  к линии отвеса (см. рисунок 3), то в общем случае масштаб изображения в центре и на краях фотокадра (снимка) будет различным. Однако, учитывая, что ширина следа косого сечения в направлении курса съёмки составит 10-15 см, масштаб изображения в средней части снимка может быть принят постоянным и равным 1:М. Поэтому корректировка фактических координат точек профиля из-за наклона оси проекции камеры производится лишь в направлении курса съёмки по формулам:

$$h = M \cdot d'_H \cdot \frac{\operatorname{ctg} \varphi}{\operatorname{ctg} \gamma},$$

$$l = M \cdot l'_H,$$

где  $d'_H, l'_H$  – координаты точки на наклонном снимке;

$\gamma$  – угол наклона оси камеры к линии отвеса в плоскости главного вертикала.

Если принять во внимание, что предельная точность измерения линии на снимке (экране монитора) составляет 0,2-0,3 мм в масштабе изображения, то при масштабе позитивного изображения равном 1:15 точность определения фактических высот неровностей профиля составит 3-5 мм. Эти значения взяты за основу при обосновании точности измерения высот неровностей поперечного профиля полотна дороги, производимых с помощью предлагаемого метода.

### Практические результаты и рекомендации

Комплект оборудования для измерения неровностей поперечного профиля покрытия методом «косого сечения» монтируется на Г-образной раме, которая вертикально крепится к автомобилю с внешней стороны его корпуса с возможностью компенсации поперечных наклонов автомобиля относительно линии горизонта для того, чтобы ось съёмочной камеры находилась в плоскости отвеса. При этом полка рамы фиксируется на заданной высоте 2-2,5 м от поверхности покрытия дороги. Угол наклона лазерной плоскости к линии отвеса устанавливается равным, например, 45°. Видеокамера крепится на консоли между линией отвеса лазерного источника излучения и линией косого сечения с целью уменьшения угла наклона оси камеры от вертикали. Измерения производят на остановках либо непрерывно при движении с малой скоростью. Для привязки поперечных профилей к существующему километражу дороги можно использовать GPS-приёмник или электронный счётчик пройденного пути.

Выполненные расчёты показывают, что при угловой скорости вращения лазера  $\omega = 1200$  об./с, образующего секущую плоскость, и при ширине «захвата», равной 3,0 м, видимый след лазера отобразится на каждом пяти кадрах видеокамеры при «пустом» шестом кадре. При ширине «захвата» 9,0 м полный след лазерного сечения отобразится на двух кадрах видеокамеры, а каждый третий кадр будет «пустым». Это следует учитывать при выполнении съёмочных работ и организации скорости движения установки. Результаты видеосъёмки покрытия в режиме образования косых сечений могут служить доказательным видеоматериалом при визуальной оценке по снимкам ровности покрытия в поперечном профиле дороги.

Данный метод измерения неровностей покрытия автомобильных дорог рекомендуется применять при пасмурной погоде, в сумеречное или тёмное время суток для получения чёткого следа лазерных линий на исследуемой поверхности.

### Заключение

Таким образом, в настоящей статье для получения объективных данных о конфигурации и размерах неровностей покрытия в поперечном к оси дороги направлении предлагается косоугольное проецирование [10], на основе которого предложен метод «косого сечения», включающий методику, приборы и способ измерения размеров неровностей при статическом и динамическом режимах производства работ.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Conflict of Interest

None declared.

### Список литературы / References

1. Чванов В. В. Исследование влияние продольной ровности поверхности дорожного покрытия на безопасность дорожного движения / В. В. Чванов, Д. А. Стрижевский // Дороги и мосты. – 2009. – № 1 (21). – С. 191-198.
2. Леонович И. И. Диагностика автомобильных дорог : учеб. пособие / И. И. Леонович, С. В. Богданович, И. В. Нестерович. – Минск : Новое знание; М.: Инфра-М, 2011. – 350 с.: ил.
3. ОДМ 218.4.039-2018. Рекомендации по диагностике и оценке технического состояния автомобильных дорог. Издан на основании распоряжения Федерального дорожного агентства от 04.07.2018 № 2481-р [Электронный ресурс]. – URL://rosavtodor.ru/storage/app/uploaded-files (дата обращения 20.02.2019).
4. Пат. RU 179921 U1 Россия, E01C 23/07. Универсальный ультразвуковой профилометр для измерения поперечной ровности дорожного покрытия / Цаль А. Ю., Середа П. О.; заявитель и патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет» (ДГТУ). – № 2018103445; заявл. 30.01.2018; опубл. 29.05.2018, Бюл. № 16. – 6 с.
5. СП 78.13330.2012. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 3.06.03-85. – Введ. 01.06.2013 г. – М.: Минрегион России, 2012. – 68 с.
6. ГОСТ 33101-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Покрытия дорожные. Методы измерения ровности. – Введ. 2016-08-01. – М.: Стандартиформ, 2016. – 28 с.
7. Пат. RU 2156843 C2 Россия, E01C 23/07, G01B 3/04. Рейка для измерения ровности асфальтобетонного покрытия / Медрес Л. П., Сац И. Я., Чугаев Г. Л., Тимошенко А. И., Иевлев В. М.; заявители и патентообладатели Медрес Лев Петрович, Сац Иосиф Яковлевич. – № 98100511/03; завл. 05.01.1998; опубл. 27.09.2000. – 6 с.
8. Пат. RU 2625091 C1 Россия, G01C 3/20. Способ определения поперечной ровности (колеиности) поверхности дорожного полотна автомобильной дороги / Середович В. А., Середович А. В., Ткачева Г. Н.; заявитель и патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» (СГУГиТ). – № 2016109719; заявл. 17.03.2016; опубл. 11.07.2016, Бюл. № 20. – 7 с.
9. Барсук М. Н. Совершенствование методов и средств оценки технического состояния автомобильных дорог по геометрическим и эксплуатационным параметрам : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.11 : защищена 12.12.2013 : утв. 06.05.2014 / Барсук Марина Николаевна. – Новосибирск, 2013. – 163 с.
10. Жирных Б. Г. Начертательная геометрия: учебник / Б. Г. Жирных, В. И. Серегин, Ю. Э. Шарикян/ Под общ. ред. В. И. Серегина – 1-е изд. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015. – 168 с.: ил.

### Список литературы на английском языке / References in English

1. Chvanov V. V. Issledovaniye vliyaniye prodol'noy rovnosti poverkhnosti dorozhnogo pokrytiya na bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya [Study of the effect of longitudinal flatness of the road surface on road safety] / V. V. Chvanov, D. A. Strizhevskiy // Dorogi i mosty [Roads and bridges]. – 2009. – № 1 (21). – P. 191-198. [in Russian]
2. Leonovich I. I. Diagnostika avtomobil'nykh dorog : ucheb. posobiye [Diagnostics of highways : manual] / I. I. Leonovich, S. V. Bogdanovich, I. V. Nesterovich. – Minsk : Novoe znanie; M.: Infra-M, 2011. – 350 p.: il. [in Russian]
3. ODM 218.4.039-2018. Rekomendatsii po diagnostike i otsenke tekhnicheskogo sostoyaniya avtomobil'nykh dorog. Izdan na osnovanii rasporyazheniya Federal'nogo dorozhnogo agentstva ot 04.07.2018 № 2481-r [Recommendations for the diagnosis and assessment of the technical condition of highways. Published on the basis of the order of the Federal Road Agency dated 04.07.2018 No. 2481-r] [Electronic resource]. – URL://rosavtodor.ru/storage/app/uploaded-files (accessed 20.02.2019). [in Russian]
4. Pat. RU 179921 U1 Russia, E01C 23/07. Universal'nyy ul'trazvukovoy profilometr dlya izmereniya poperechnoy rovnosti dorozhnogo pokrytiya [Universal ultrasonic profilometer for measuring the lateral flatness of the road surface] / Tsal' A. Yu., Sereda P. O.; the applicant and the patentee federal state budgetary educational institution of higher education «Don state technical university» (DSTU). – № 2018103445; appl.30.01.18; publ. 29.05.2018, Bul. Number 16. – 6 p. [in Russian]
5. SP 78.13330.2012. Avtomobil'nye dorogi. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 3.06.03-85 [Highways. Updated edition Building regulation 3.06.03-85]. – Vved. 01.06.2013. –M.: Minregion Rossii, 2012. – 68 p. [in Russian]
6. GOST 33101-2014. Dorogi avtomobil'nyye obshchego pol'zovaniya. Pokrytiya dorozhnyye. Metody izmereniya rovnosti [Public roads. Road pavements. Flatness measurement methods]. – Intr. 2016-08-01. – M.: Standartinform, 2016. – 28 p. [in Russian]
7. Pat. RU 2156843 C2 Russia, E01C 23/07, G01B 3/04. Reyka dlya izmereniya rovnosti asfal'tobetonnoy pokrytiya [Rail for measuring the evenness of asphalt concrete pavement] / Medres L. P., Sats I. Ya., Chugaev G. L., Timoshenko A. I., Ievlev V. M.; the applicants and the patentees Medres Lev Petrovich, Sats Iosif Yakovlevich. – № 98100511/03; appl. 05.01.98; publ. 27.09.00, – 6 p. [in Russian]



8. Pat. RU 2625091 C1 Russia, G01C 3/20. Sposob opredeleniya poperechnoy rovnosti (koleynosti) poverkhnosti dorozhnogo polotna avtomobil'noy dorogi [Method for determining the lateral evenness (wheeltracking) of the roadway deck of a highway] / Seredovich V. A., Seredovich A. V., Tkacheva U. Y.; the applicant and the patentee federal state budgetary educational institution of higher education «Siberian state university of geosystems and technologies» (SSUGT). – № 2016109719; appl. 17.03.16; publ. 11.07.16, Bul. Number 20. – 7 p. [in Russian]

9. Barsuk M. N. Sovershenstvovaniye metodov i sredstv otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya avtomobil'nykh dorog po geometricheskim i ekspluatatsionnym parametram [Improvement of methods and means for assessing the technical condition of highways by geometric and operational parameters] : dis. ... of PhD in Engineering : 05.23.11 : defense of the thesis 12.12.13 : approved 06.05.14 / Barsuk Marina Nikolaevna. – Novosibirsk, 2013. – 163 p. [in Russian]

10. Zirnykh B. G. Nachertatel'naya geometriya : uchebnik [Descriptive geometry : manual] / B. G. Zirnykh, V. I. Seregin, Yu. E. Sharikyan ; edited by V. I. Seregina. – 1st edition. – M.: MGTU im. N. E. Bauman Publishing house, 2015. – 168 p.: il. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.102.12.016>**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ НАНОЧАСТИЦ В ЖИДКОСТИ В ПРОЦЕССЕ ИХ ОСАЖДЕНИЯ**

Научная статья

**Хуссейн С.М.Р.Х.<sup>1,\*</sup>, Морозов О.Г.<sup>2</sup>, Данилаев М.П.<sup>3</sup>, Куклин В.А.<sup>4</sup>,  
Анфиногентов В.И.<sup>5</sup>, Сахабутдинов А.Ж.<sup>6</sup>, Сахабутдинова Г.И.<sup>7</sup>**<sup>1</sup> ORCID:0000-0001-6022-0548;<sup>2</sup> ORCID:0000-0003-4779-4656;<sup>3</sup> ORCID: 0000-0002-7733-9200;<sup>5</sup> ORCID:0000-0003-0015-2429;<sup>6</sup> ORCID:0000-0002-0713-7806;<sup>7</sup> ORCID: 0000-0002-5570-3083;<sup>1</sup> Университет Кербелы, Кербела, Ирак;<sup>2-7</sup> Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань, Россия

\* Корреспондирующий автор (safaa\_m333[at]yahoo.com)

**Аннотация**

В работе предлагается математическая модель динамического измерения концентрации полимерной оболочки на поверхности дисперсных частиц их наполнителя, взвешенных в жидкости в процессе их седиментации. Математическая модель предусматривает движение осаждаемых частиц под действием силы тяжести, гидростатической подъемной силы, силы сопротивления движению. В модели учитывается влияние броуновского (теплого) движения растворителя на перемещение частиц на основе упругого столкновения, влияние неупругого столкновения частиц друг с другом. Кроме того, учитывается влияние движения жидкости под действием градиента температуры на движение осаждаемых частиц, для чего построена математическая модель движения жидкости. Оценка концентрации частиц осуществляется на основе моделирования рассеяния Рэлея. Проведено сравнение данных расчетов с результатами натурального эксперимента.

**Ключевые слова:** седиментация, математическая модель, осаждение частиц в жидкости, измерение молекулярной массы, измерение наночастиц, измерение концентрации, рассеяние Рэлея, численное интегрирование.

**A MATHEMATICAL MODEL FOR MEASURING THE CONCENTRATION OF NANOPARTICLES IN LIQUID DURING THEIR DEPOSITION**

Research article

**Hussein S.M.R.Kh.<sup>1,\*</sup>, Morozov O.G.<sup>2</sup>, Danilaev M.P.<sup>3</sup>, Kuklin V.A.<sup>4</sup>,  
Anfinogentov V.I.<sup>5</sup>, Sakhabutdinov A.Zh.<sup>6</sup>, Sakhabutdinova G.I.<sup>7</sup>**<sup>1</sup> ORCID:0000-0001-6022-0548;<sup>2</sup> ORCID:0000-0003-4779-4656;<sup>3</sup> ORCID: 0000-0002-7733-9200;<sup>5</sup> ORCID:0000-0003-0015-2429;<sup>6</sup> ORCID:0000-0002-0713-7806;<sup>7</sup> ORCID: 0000-0002-5570-3083;<sup>1</sup> University of Karbala, Karbala, Iraq;<sup>2-7</sup> A. N. Tupolev-Kazan National Research Technical University KAI, Kazan, Russia

\* Corresponding author (safaa\_m333[at]yahoo.com)

**Abstract**

The article offers a mathematical model for dynamic measurement of the polymer enclosure concentration on the surface of dispersed particles of their filler suspended in a liquid during their sedimentation. The mathematical model provides for the movement of deposited particles under the influence of gravity, hydrostatic lift, and drag forces. The model takes into account the effect of Brownian (thermal) motion of the solvent on the movement of particles based on elastic collision as well as the effect of the inelastic collision of particles with each other. In addition, the model considers the influence of fluid motion under the influence of a thermal gradient on the motion of deposited particles, for which a mathematical model of fluid motion is constructed. The particle concentration is estimated based on Rayleigh scattering modeling. The calculation data are compared with the results of a full-scale experiment.

**Keywords:** sedimentation, mathematical model, particle deposition in a liquid, molecular mass measurement, nanoparticle measurement, concentration measurement, Rayleigh scattering, numerical integration.

**Введение**

Один из подходов к управлению механическими свойствами дисперсно-армированных полимерных композитов основан на формировании полимерной оболочки на поверхности дисперсных частиц их наполнителя [1], [2]. При формализации математических моделей механических свойств таких композитов учитываются механические свойства полимерной матрицы, дисперсных частиц, а также полимерной оболочки на поверхности этих частиц [3]. В то же время вопрос об определении количественных и численных значений механических свойств полимерных оболочек остается открытым. Это связано с тем, что толщина полимерной оболочки может варьироваться от единиц до десятков нанометров. Напрямую измерить механические свойства (модуль Юнга, коэффициент Пуассона и ряд других) полимерных оболочек невозможно. Однако существует подход, позволяющий определить механические

характеристики полимерных частиц, оценив молекулярную массу полимера и уточнив необходимые механические характеристики с использованием табличных данных [4].

Один из подходов к измерению молекулярной массы полимера основан на анализе процесса и продолжительности осаждения молекул полимера и частиц наполнителя в растворителе. Молекулы полимера легче частиц наполнителя. Поэтому сначала осаждаются частицы наполнителя, затем осаждаются частицы полимера. Определение постоянной времени седиментации основано на анализе зависимости концентрации частиц от времени. Эта постоянная времени седиментации является начальным параметром для оценки средней молекулярной массы полимера.

В работе предлагается математическая модель динамического измерения концентрации двух типов взвешенных в жидкости частиц в процессе их осаждения, основанная на управлении рассеянием света при прохождении лазерного излучения через раствор с взвешенными частицами. Измерительная система представляет собой кварцевую кювету, в которой находится раствор частиц, покрытых полимерной оболочкой в растворителе (рисунок рис. 1а).

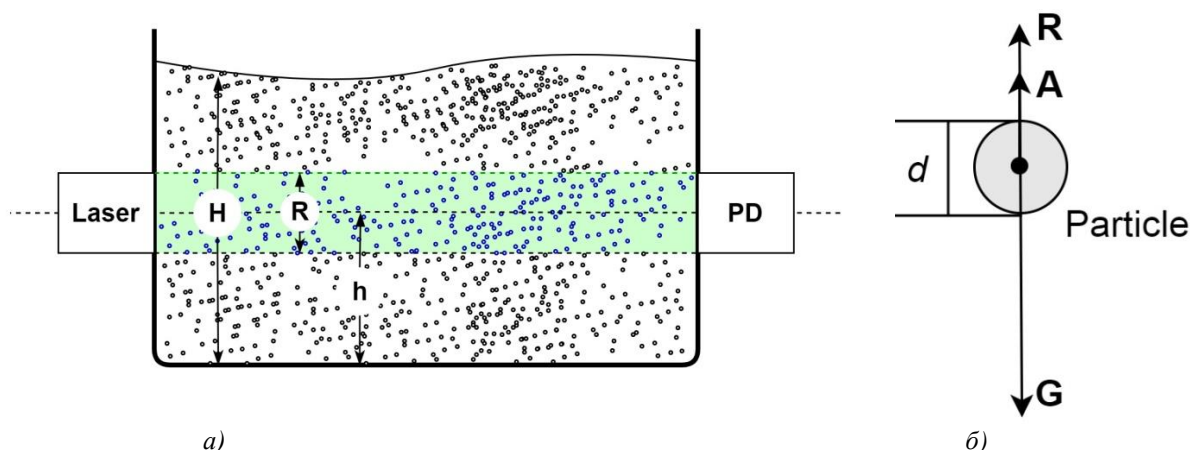


Рис. 1 – Измерительная система: схема (а); Силы, действующие на частицу в жидкости (б):  
G – сила тяжести, A – сила Архимеда, R – сила сопротивления движению, d – диаметр частицы

Под действием растворителя полимер оболочки частично растворяется. Под действием силы тяжести происходит осаждение частиц двух типов (молекулы полимера, наполнитель). Луч лазера направляется в раствор с одной стороны кварцевой кюветы. Фотоприемник находится на другой стороне кюветы. Лазерное излучение, проходя через раствор, претерпевает рассеяние Рэлея, которое влияет на интенсивность света на фотоприемнике. Концентрация частиц в области лазерного луча прямо пропорциональна интенсивности света на фотоприемнике. Моделируется временная динамика общей площади частиц, покрывающих лазерный луч.

Измерительная система состоит из кварцевой кюветы (рисунок рис. 1а), в который наливают растворитель этилацетат. Частицы оксида алюминия ( $Al_2O_3$ ), покрытые полимерными волокнами, помещают в растворитель и встряхивают.

Под воздействием растворителя частицы оксида алюминия и полимера разделяются. Под действием силы тяжести частицы начинают оседать на дно кварцевой кюветы. Лазерное излучение направляется в кварцевую кювету, на другом конце которой устанавливается фотоприемник. Со временем частицы осядут, и общий свет, проходящий через кювету, также изменится. Задача состоит в моделировании изменения оптической мощности лазерного луча, проходящего через кварцевую кювету, при осаждении частиц.

### Уравнение движения частицы

Движение одиночной частицы под действием сил гравитации, гидростатической подъемной силы и силы сопротивления движению описывается уравнением:

$$M_i \frac{dW_i}{dT} = G_i - A_i - R_i, \quad (1)$$

где  $A_i$  – сила Архимеда,  $G_i$  – сила гравитации,  $R_i$  – сила сопротивления движению,  $W_i$  – скорость,  $M_i$  – масса  $i$ -ой частицы, и  $T$  – время. Нижний индекс  $i$  указывает на отдельную частицу. Силы, действующие на частицу, показаны на рисунке рис. 1б.

Сила гравитации  $G_i$  равна произведению массы частицы  $M_i$  и ускорения свободного падения  $g$ . Гидростатическая подъемная сила Архимеда  $A_i$  противоположно направлена силе гравитации  $G_i$  и равна произведению объема частицы, вычисляемого через диаметр частицы  $D_i$ , на плотность жидкости  $\rho$  и ускорения свободного падения. Сила сопротивления движению  $R_i$  противоположно направлена скорости движения частицы  $W_i$ , и пропорциональна произведению квадрата скорости, плотности жидкости, площади поперечного сечения частицы и числу Рейнольдса  $Re$ , связанному с коэффициентом динамической вязкости  $\mu$  жидкости. Уравнение движения частицы (1) после подстановки в него физических параметров задачи примет вид:

$$M_i \frac{dW_i}{dT} = M_i g - \frac{\pi}{6} D_i^3 \rho g - 3\mu\pi D_i W_i \quad (2)$$

Уравнение (2) может быть преобразовано в безразмерный вид, если ввести четыре характерных параметра задачи, а именно: характерный размер ( $L_0$ ), массу ( $M_0$ ), время ( $T_0$ ), и температуру ( $K_0$ ). Определив безразмерные переменные:  $w$  – скорость,  $m$  – массу,  $d$  – диаметр и  $\tau$  – время, получим уравнение движения в безразмерных переменных примет вид:

$$\frac{M_0 L_0}{T_0^2} m_i \frac{d}{d\tau} w_i = M_0 g m_i - \frac{\pi}{6} L_0^3 d_i^3 \rho g - 3\pi\mu \frac{L_0^2}{T_0} d_i w_i, \quad (3)$$

которое можно преобразовать, разделив на коэффициент, стоящий в левой части:

$$\frac{dw_i}{d\tau} = G_i + R_i w_i, \quad (4)$$

введя два безразмерных комплекса:

$$G_i = \left( \frac{T_0^2}{L_0} - \frac{\pi}{6} \frac{L_0^2 T_0^2}{M_0} \frac{d_i^3}{m_i} \rho \right) g, \quad R_i = -3\pi\mu \frac{L_0 T_0}{M_0} \frac{d_i}{m_i}, \quad (5)$$

что дает окончательную форму уравнения движения частицы в жидкости в безразмерной форме, удобной для интегрирования.

### Влияние броуновского (теплового) движения жидкости

Кроме сил, действующих на частицу, в силу своего малого веса она подвержена броуновскому (тепловому) движению молекул жидкости. Скорость броуновского движения жидкости зависит от температуры жидкости, которая вблизи частицы может быть аппроксимирована как линейная комбинация температур на верхней  $K_T$  и нижней  $K_B$  границе жидкости.

Используя модель упругого столкновения частицы с массой  $m_i$  и скоростью  $w_i$  с молекулой жидкости с массой  $m$  и скоростью  $w$ , и определив среднюю кинетическую энергию молекул как функцию температуры [2], запишем выражение для вертикальной  $w_i$  составляющей скорости:

$$w_i^B = \frac{(N_A m_i - M_0) w_i + 2\sqrt{3\mathcal{R}K_i M_0} \cdot \text{rnd}_z}{N_A m_i + M_0}. \quad (6)$$

где  $N_A$  – число Авогадро,  $u_i$  и  $w_i$  – составляющие скорости частицы до столкновения. Выражение для горизонтальной составляющей скорости  $u_i$  описывается аналогично. В (6) введено разделение броуновской составляющей скорости молекул на две ( $w_i^B$  – вдоль вертикальной оси  $oz$  и  $u_i^B$  – в горизонтальной плоскости  $oxy$ ) путем введения двух переменных  $\text{rnd}_x$  и  $\text{rnd}_z$ , где  $\text{rnd}_x$  и  $\text{rnd}_z$  две случайные величины, сумма квадратов которых равна единице, и которые описывают случайный характер направления броуновского столкновения.

Изменение положений частиц под действием влияния броуновского движения, описывается связью скорости и перемещения и корректируют новые положения частиц, вызванные изменением скоростей частиц под действием броуновского движения.

### Столкновение частиц друг с другом

Если две частицы с координатами  $z_i$  и  $z_j$  (и скоростями  $w_i$  и  $w_j$ ) находятся рядом друг с другом, существует ненулевая вероятность их неупругого столкновения. Вероятность столкновения частиц может быть вычислена как отношения суммы площадей, которые могут покрыть частицы при их перемещении в горизонтальной плоскости, к площади горизонтальной поверхности кюветы. Если вероятность столкновения частиц больше, чем произвольное случайное число, предполагается что частицы не упруго сталкиваются и слипаются. При этом считаем, что  $i$ -ая частица принимает новую массу, скорость и диаметр, а  $j$ -ая частица пропадает. Новая масса, скорость, диаметр и новая координата  $i$ -ой частицы определяются по соотношениям:

$$\hat{m}_i = m_i + m_j, \quad \hat{w}_i = \frac{m_i w_i + m_j w_j}{m_i + m_j}, \quad \hat{d}_i = \sqrt[3]{d_i^3 + d_j^3}, \quad \text{и} \quad \hat{z}_i = \frac{z_i + z_j}{2} \quad (7)$$

Новая скорость, новый диаметр и новая координата  $j$ -ой частицы будут равны нулю. Число частиц соответствующего типа, соответствующего  $j$ -ой частице уменьшается на единицу.

### Конечно-разностная схема

Уравнение (4) будем решать численно для каждой частицы в отдельности, записав его в конечно-разностной форме:

$$\frac{w_i^{n+1} - w_i^n}{\Delta\tau} = (1 - \theta)(G_i + R_i w_i^n) + \theta(G_i + R_i w_i^{n+1}), \quad (8)$$

где  $\theta$  – параметр конечно-разностной схемы [5],  $\Delta\tau$  – шаг интегрирования,  $n$  – индекс интегрирования, определяющий дискретное время. Выражение (8) позволяет записать выражение для скорости и координаты частицы в дискретный момент времени  $n \cdot \Delta\tau$  в конечно-разностной форме:

$$w_i^{n+1} = (1 + (1 - \theta)\Delta\tau R_i)w_i^n + \Delta\tau G_i / (1 - \theta\Delta\tau R_i), \quad z_i^{n+1} = z_i^n + \Delta\tau \left( (1 - \gamma)\Delta\tau R_i w_i^n + \gamma w_i^{n+1} \right). \quad (9)$$

#### Рассеяние Рэлея, вызванное частицами в области лазерного луча

Обозначим высоту кварцевой кюветы за  $H$ . Лазерный луч, проходящий через жидкость в кювете, описывается круглым цилиндром с радиусом основания  $R$ , расположенным на высоте  $h$ . Поперечное сечение лазерного луча показано на рисунке рис. 2Рис. 2.

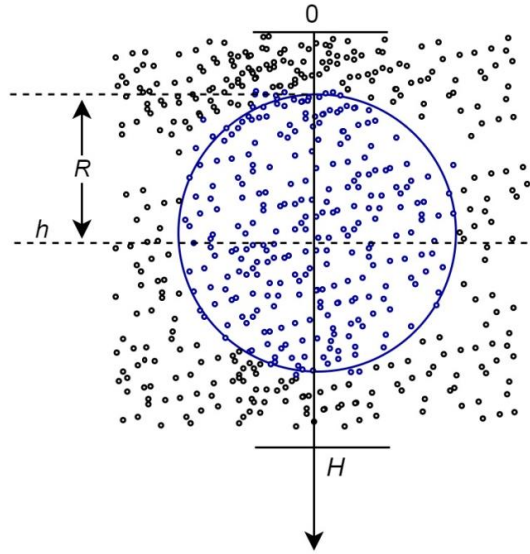


Рис. 2 – Поперечное сечение лазерного луча:  $H$  – высота кюветы;  $h$  – положение лазерного луча и  $R$  – его радиус

Полный свет, загораживаемый частицами в области лазерного луча, может быть смоделирован выражением:

$$S(t) = \gamma \sum_{i=1}^{N_1+N_2} \frac{\pi d_i^2}{4} \sqrt{1 - \left( \frac{z_i(t) - h}{R} \right)^2}, \quad \text{где } h - R < z_i(t) < h + R \quad (10)$$

где  $d_i$  – диаметр частицы,  $z_i$  – ее координата,  $\gamma$  – коэффициент пропорциональности,  $t$  – время.

#### Начальные условия для интегрирования движения частиц

Рассмотрим два типа частиц в жидкости. Каждый тип имеет нормальное распределение масс, диаметров и плотностей. Все частицы распределены в жидкости в начальный момент времени равномерно по всему объему жидкости и с нулевыми скоростями. Обозначим количество частиц первого и второго типов как  $N_1$  и  $N_2$ . Следовательно, общее количество частиц будет суммой  $N = N_1 + N_2$ . Введем в рассмотрение функцию распределения:

$$f_{\text{Gauss}}(f_{\text{avg}}, f_{\text{disp}}) = f_{\text{avg}} + f_{\text{disp}} \cdot \sqrt{-2 \cdot \ln(\text{rnd}(1))} \cdot \cos(2\pi \cdot \text{rnd}(1)), \quad (11)$$

где  $f_{\text{avg}}$  – среднее значение,  $f_{\text{disp}}$  – дисперсия, и  $\text{rnd}(1)$  – произвольная случайная величина в диапазоне  $[0, 1]$ . Используя последовательную нумерацию частиц, пронумеруем все частицы так, чтобы первые  $N_1$  частиц были частицами первого типа, а следующие  $N_2$  частиц были частицами второго типа. Распределение диаметров и плотностей частиц запишем через функцию распределения, как:

$$d_i = \begin{cases} f_{\text{Gauss}}(d_{T1}, \sigma_{dT1}), \\ f_{\text{Gauss}}(d_{T2}, \sigma_{dT2}), \end{cases} \quad \rho_i = \begin{cases} f_{\text{Gauss}}(\rho_{T1}, \sigma_{\rho T1}), & 1 \leq i \leq N_1 \\ f_{\text{Gauss}}(\rho_{T2}, \sigma_{\rho T2}), & N_1 < i \leq N_1 + N_2 \end{cases}, \quad (12)$$

где  $d_{T1}$  и  $d_{T2}$  средние диаметры,  $\sigma_{dT1}$  и  $\sigma_{dT2}$  – дисперсии диаметров,  $\rho_{dT1}$  и  $\rho_{dT2}$  – средние плотности,  $\sigma_{\rho T1}$  и  $\sigma_{\rho T2}$  – дисперсии плотностей частиц первого и второго типов, соответственно. Далее, зная диаметры и плотности частиц

определим их массы:  $m_i = \pi/6 \cdot \rho_i \cdot d_i^3$ , что позволяет вычислить безразмерные комплексы для каждой частицы согласно (5).

### Движение жидкости под действием градиента температур

Предложенная выше математическая модель не предполагает учет движения жидкости. Вместе с тем, разность температур на границе кюветы приводит к движению жидкости. Учитывая крайне малый вес осаждаемых частиц, невозможно исключить влияние движения жидкости на перемещение частиц. Смоделируем движение жидкости в кювете под действием перепада температур, предположив, что частицы не оказывают никакого влияния на движение самой жидкости в виду их малого размера и веса.

Рассмотрим математическую модель движения вязкой несжимаемой жидкости под действием поля температур в плоскости перпендикулярной оси луча лазера. Движение жидкости описывается одним векторным уравнением Навье-Стокса и тремя скалярными – теплопроводности, неразрывности и зависимости плотности от температуры [6], записанная в естественных переменных – скорость, температура, давление, время. Вместе с тем, система уравнений движения жидкости, записанная в естественных переменных, не удобна для ее численного решения.

### Уравнения движения жидкости

Запишем ее в переменных функция тока, вихрь и температура [7], введя такие же характерные размерные параметры задачи, как и для движения частиц. Примем во внимание, что движение жидкости в замкнутой кювете под действием перепада температур на верхней и нижней границах при постоянных значениях температуры и без притока или оттока жидкости извне в переменных температура, функция тока и вихрь не будет меняться со временем. С течением времени поле температур можно будет считать установившимся, равно как скорости в каждой точке кюветы. Установившееся поле температуры и скоростей приведет к тому, что и поле функций тока и вихря тоже будет установившимся. Следовательно, систему уравнений следует рассматривать как стационарную систему:

$$\begin{cases} \frac{\partial \psi}{\partial z} \frac{\partial \omega}{\partial x} - \frac{\partial \psi}{\partial x} \frac{\partial \omega}{\partial z} = \eta \left( \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial z^2} \right) + \chi \left( \frac{g_z}{g} \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{g_x}{g} \frac{\partial T}{\partial z} \right) \\ \frac{\partial \psi}{\partial z} \frac{\partial T}{\partial x} - \frac{\partial \psi}{\partial x} \frac{\partial T}{\partial z} = \alpha \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \\ \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} + \omega = 0 \end{cases} \quad (13)$$

где введены три безразмерных параметра:

$$\eta = \frac{\eta_0}{L_0 \rho_0}, \quad \chi = \frac{T_0^2 K_0 g \chi_0}{L_0}, \quad \alpha = \alpha_0 \frac{T_0}{L_0^2}. \quad (14)$$

тут  $\eta_0$  – динамическая вязкость,  $\alpha_0$  – коэффициент теплопроводности,  $\chi_0$  – коэффициент объемного расширения жидкости,  $g$  – ускорение свободного падения,  $K_0$  – характерная температура.

Система уравнений (13), записанная в безразмерной форме, не предполагает возможности ее аналитического решения в общем случае. Вместе с тем, она удобна для ее численного решения. Перед решением системы уравнений необходимо дополнить ее граничными условиями.

### Начальные и граничные условия

Поскольку уравнения для температуры  $T$ , функции тока  $\psi$  и вихря  $\omega$  стационарны, это не требует задания начальных условий. Формулировка граничных условий для функции тока и вихря на твердых стенках формулируются просто, где достаточно задать условия прилипания, то есть скорость на границе равна нулю. Константа для функции тока на стенках выбирается произвольно. На одной из границ функция тока равна нулю, а на других – функция тока подбирается таким образом, что разница функций между двумя границами равна объемному расходу среды между ними. Поскольку в нашей задаче расход жидкости отсутствует, то функция тока на всех границах задается равной нулю. Таким образом, граничные условия для функции тока определим в виде:

$$\begin{cases} \psi(x, 0) = \psi(x, H_z / L_0) = 0 \\ \psi(0, z) = \psi(H_x / L_0, 0) = 0 \end{cases} \quad (15)$$

где  $H_x$  и  $H_z$  – размеры кюветы вдоль оси  $Ox$  и  $Oz$ , соответственно, а  $L_0$  – введенный характерный размер задачи.

Граничные условия для поля температур формулируются аналогично (15), с учетом характерной температуры задачи  $K_0$ :

$$\begin{cases} T(x, 0) = T_B, \quad T(x, H_z / L_0) = T_T \\ T(0, z) = T_L, \quad T(H_x / L_0, 0) = T_R \end{cases} \quad (16)$$

где  $T_B$  и  $T_T$  – температура на нижней и верхней, а  $T_L$  и  $T_R$  – температура на левой и правой границах кюветы.

Граничные условия для вихря определяются из третьего уравнения в (13) как вторая производная от функции тока по нормали к границам кюветы:

$$\begin{cases} \omega(x, 0) = -\frac{\partial^2 \psi}{\partial n_B^2}, \quad \omega(x, H_z / L_0) = -\frac{\partial^2 \psi}{\partial n_T^2} \\ \omega(0, z) = -\frac{\partial^2 \psi}{\partial n_L^2}, \quad \omega(H_x / L_0, 0) = -\frac{\partial^2 \psi}{\partial n_R^2} \end{cases}. \quad (17)$$

где  $n_B, n_T, n_L, n_R$  – нормаль, построенная к нижней, верхней, левой и правой границам кюветы, соответственно.

Таким образом, система уравнений (13) с граничными условиями (15)–(17) представляют собой полную систему уравнений движения жидкости в поле температур.

### Уравнения в конечно-разностной форме

Поскольку система уравнений (13) и каждое уравнение в отдельности в общем случае не предполагает наличия аналитического решения, то систему уравнений (13) будем решать численно. Для чего запишем каждое из уравнений в конечно-разностной форме, и будем искать решение в виде сеточных функций. Для чего разобьем область кюветы на  $N_x \times N_z$  элементов вдоль осей  $ox$  и  $oz$ , соответственно. Тогда шаги сетки вдоль осей  $ox$  и  $oz$  будут равны:

$$\Delta x = \frac{H_x}{N_x - 1} \quad \text{и} \quad \Delta z = \frac{H_z}{N_z - 1}. \quad (18)$$

Значения искомых функций в области будут выражены в виде дискретных сеточных функций:

$$T_{i,j}, \psi_{i,j} \quad \text{и} \quad \omega_{i,j}, \quad \text{где} \quad i = \overline{1, N_x}, \quad j = \overline{1, N_z}, \quad x_i = \Delta x \cdot (i-1) \quad \text{и} \quad z_j = \Delta z \cdot (j-1), \quad (19)$$

которые и являются искомыми значениями.

Поскольку алгоритм решения предполагает итерационный процесс, который заключается в последовательном решении каждого уравнения в отдельности, приведем алгоритм решения каждого уравнения отдельно.

### Решение уравнения Пуассона для функции тока

Уравнение Пуассона для функции тока представляет собой наиболее простое из уравнений в (13):

$$\Delta \psi + \omega = 0. \quad (20)$$

Уравнение (20), записанное в конечно-разностной форме, с учетом производных, записанных в виде центральных разностей со вторым порядком аппроксимации, будет иметь вид:

$$\frac{\psi_{i+1,j}^{(s+1)} - 2\psi_{i,j}^{(s+1)} + \psi_{i-1,j}^{(s+1)}}{\Delta x^2} + \frac{\psi_{i,j+1}^{(s+1)} - 2\psi_{i,j}^{(s+1)} + \psi_{i,j-1}^{(s+1)}}{\Delta z^2} + \omega_{i,j}^{(s)} = 0. \quad (21)$$

Записанное для каждой внутренней точки сеточных функций уравнение (21) представляет собой систему уравнений для  $i = 2, N_x - 1$  и  $j = 2, N_z - 1$ , что приводит к системе  $(N_x - 2) \times (N_z - 2)$  штук линейных уравнений. Полученная система уравнений имеет пятидиагональную матрицу с отличием записи уравнений для граничных областей.

Систему уравнений (21) можно решать как методом прогонки, так и методом простой итерации. Метод прогонки в общем случае будет зависеть от вида граничных условий, который скажется на форме записи и виде линейных уравнений на границе области. Можно использовать метод простой итерации, который не зависит от выбора вида граничных условий. Для чего перепишем уравнение (21) разрешив его относительно значения в  $(i, j)$  точке и построим еще один итерационный процесс, введя итерационный индекс  $k$  для  $i = 2, N_x - 1$  и  $j = 2, N_z - 1$ :

$$\psi_{i,j}^{(s+1),(k+1)} = \frac{\Delta z^2 (\psi_{i+1,j}^{(s+1),(k)} + \psi_{i-1,j}^{(s+1),(k)}) + \Delta x^2 (\psi_{i,j+1}^{(s+1),(k)} + \psi_{i,j-1}^{(s+1),(k)}) + \Delta x^2 \Delta z^2 \omega_{i,j}^{(s)}}{2(\Delta x^2 + \Delta z^2)}. \quad (22)$$

Итерационный процесс, построенный по формуле (22), является сходящимся, условие сходимости можно записать как:

$$\left| \frac{\psi_{i,j}^{(s+1),(k+1)} - \psi_{i,j}^{(s+1),(k)}}{\psi_{i,j}^{(s+1),(k)}} \right| \leq \varepsilon_\psi. \quad (23)$$

где  $\varepsilon_\psi$  заранее заданная погрешность определения поля функций тока.

### Решение уравнения для поля температуры

Решение второго уравнения в (13) для поля температур  $T^{(s+1)}$  на  $(s+1)$  итерации будем искать в предположении, что значения поля функций тока  $\psi^{(s+1)}$  на текущей итерации известны. Для чего перепишем его в конечно-разностной форме в каждой точке сеточной функции для  $i = 2, N_x - 1$  и  $j = 2, N_z - 1$ . Частные производные в (13) аппроксимируем в виде центральных разностей со вторым порядком аппроксимации:

$$\frac{\psi_{i,j+1}^{(s+1)} - \psi_{i,j-1}^{(s+1)}}{2\Delta z} \frac{T_{i+1,j}^{(s+1)} - T_{i-1,j}^{(s+1)}}{2\Delta x} - \frac{\psi_{i+1,j}^{(s+1)} - \psi_{i-1,j}^{(s+1)}}{2\Delta x} \frac{T_{i,j+1}^{(s+1)} - T_{i,j-1}^{(s+1)}}{2\Delta z} =$$

$$= \alpha \left( \frac{T_{i+1,j}^{(s+1)} + 2T_{i,j}^{(s+1)} + T_{i-1,j}^{(s+1)}}{\Delta x^2} + \frac{T_{i,j+1}^{(s+1)} + 2T_{i,j}^{(s+1)} + T_{i,j-1}^{(s+1)}}{\Delta z^2} \right), \quad (24)$$

что приводит к системе  $(N_x - 2) \times (N_z - 2)$  штук линейных уравнений относительно неизвестных на  $(s+1)$  итерационном шаге значений для поля температур  $T_{i,j}$ . Решение системы уравнений (24) будем искать итерационным методом, для чего разрешим уравнение (24) относительно  $T_{i,j}$  и запишем итерационный процесс, введя итерационную переменную  $k$ , в виде:

$$T_{i,j}^{(s+1),(k+1)} = \frac{\Delta z^2 - \frac{\Delta x \Delta z}{4\alpha} (\psi_{i,j+1}^{(s+1)} - \psi_{i,j-1}^{(s+1)})}{2(\Delta z^2 + \Delta x^2)} T_{i+1,j}^{(s+1),(k)} + \frac{\Delta z^2 + \frac{\Delta x \Delta z}{4\alpha} (\psi_{i,j+1}^{(s+1)} - \psi_{i,j-1}^{(s+1)})}{2(\Delta z^2 + \Delta x^2)} T_{i-1,j}^{(s+1),(k)} +$$

$$+ \frac{\Delta x^2 + \frac{\Delta x \Delta z}{4\alpha} (\psi_{i+1,j}^{(s+1)} - \psi_{i-1,j}^{(s+1)})}{2(\Delta z^2 + \Delta x^2)} T_{i,j+1}^{(s+1),(k)} + \frac{\Delta x^2 - \frac{\Delta x \Delta z}{4\alpha} (\psi_{i+1,j}^{(s+1)} - \psi_{i-1,j}^{(s+1)})}{2(\Delta z^2 + \Delta x^2)} T_{i,j-1}^{(s+1),(k)} \quad (25)$$

условие сходимости итерационного процесса запишем аналогично (23):

$$\left| \frac{T_{i,j}^{(s+1),(k+1)} - T_{i,j}^{(s+1),(k)}}{T_{i,j}^{(s+1),(k)}} \right| \leq \varepsilon_T. \quad (26)$$

где  $\varepsilon_T$  заранее заданная погрешность определения поля температуры.

### Решение уравнения для поля вихря

Решение первого уравнения в (13) для поля вихря  $\omega^{(s+1)}$  на  $(s+1)$  итерации будем искать в предположении, что значения поля функций тока  $\psi^{(s+1)}$  и поля температур  $T^{(s+1)}$  на текущей итерации известны. Для чего перепишем его в конечно-разностной форме в каждой точке сеточной функции для  $i = 2, N_x - 1$  и  $j = 2, N_z - 1$ . Частные производные в (13) аппроксимируем в виде центральных разностей со вторым порядком аппроксимации:

$$\frac{\psi_{i,j+1} - \psi_{i,j-1}}{2\Delta z} \frac{\omega_{i+1,j} - \omega_{i-1,j}}{2\Delta x} - \frac{\psi_{i+1,j} - \psi_{i-1,j}}{2\Delta x} \frac{\omega_{i,j+1} - \omega_{i,j-1}}{2\Delta z} =$$

$$= \left( \frac{\omega_{i+1,j} - 2\omega_{i,j} + \omega_{i-1,j}}{\Delta x^2} + \frac{\omega_{i,j+1} - 2\omega_{i,j} + \omega_{i,j-1}}{\Delta z^2} \right) + \chi \left( \frac{g_z}{g} \frac{T_{i+1,j} - T_{i-1,j}}{2\Delta x} + \frac{g_x}{g} \frac{T_{i,j+1} - T_{i,j-1}}{2\Delta z} \right). \quad (27)$$

Уравнение (27), записанное в каждой точке конечно-разностной сетки, приводит к системе  $(N_x - 2) \times (N_z - 2)$  штук линейных уравнений относительно неизвестных на  $(s+1)$  итерационном шаге значений для поля вихря  $\omega_{i,j}$ . Решение системы уравнений (27) будем искать итерационным методом, для чего разрешим уравнение (27) относительно  $\omega_{i,j}$  и запишем итерационный процесс, введя итерационную переменную  $k$ , в виде:



$$\begin{aligned}
\omega_{i,j}^{(s+1),(k+1)} = & \frac{\Delta z^2 - \frac{\Delta x \Delta z}{4\alpha} (\psi_{i,j+1}^{(s+1)} - \psi_{i,j-1}^{(s+1)})}{2(\Delta z^2 + \Delta x^2)} \omega_{i+1,j}^{(s+1),(k)} + \frac{\Delta z^2 + \frac{\Delta x \Delta z}{4\alpha} (\psi_{i,j+1}^{(s+1)} - \psi_{i,j-1}^{(s+1)})}{2(\Delta z^2 + \Delta x^2)} \omega_{i-1,j}^{(s+1),(k)} + \\
& + \frac{\Delta x^2 + \frac{\Delta x \Delta z}{4\alpha} (\psi_{i+1,j}^{(s+1)} - \psi_{i-1,j}^{(s+1)})}{2(\Delta z^2 + \Delta x^2)} \omega_{i,j+1}^{(s+1),(k)} + \frac{\Delta x^2 - \frac{\Delta x \Delta z}{4\alpha} (\psi_{i+1,j}^{(s+1)} - \psi_{i-1,j}^{(s+1)})}{2(\Delta z^2 + \Delta x^2)} \omega_{i,j-1}^{(s+1),(k)} + \\
& + \frac{1}{2(\Delta x^2 + \Delta z^2)} \chi \frac{\Delta x \Delta z}{2} \left( \frac{g_z}{g} \Delta z (T_{i+1,j} - T_{i-1,j}) + \frac{g_x}{g} \Delta x (T_{i,j+1} - T_{i,j-1}) \right)
\end{aligned} \quad (28)$$

условие сходимости запишем аналогично (23) и (26):

$$\left| \frac{\omega_{i,j}^{(s+1),(k+1)} - \omega_{i,j}^{(s+1),(k)}}{\omega_{i,j}^{(s+1),(k)}} \right| \leq \varepsilon_\omega. \quad (29)$$

где  $\varepsilon_\omega$  заранее заданная погрешность определения поля температуры.

### Определение поля скоростей

Конечным результатом моделирования движения жидкости под действием перепада температур является не только определение полей для функции тока, вихря и температур. Основными полями, которые необходимо учитывать при движении осаждаемых частиц являются поля скоростей и температуры. Результат вычислений, выполненный согласно алгоритму, описанному в 0, даст готовое распределение поля температуры.

Распределение поля скоростей (вертикальной и горизонтальной составляющей) можно по формулам связи скоростей с функцией тока, переписав их в конечно-разностной форме с учетом производных, записанных со вторым порядком аппроксимации:

$$u_{i,j} = \frac{\psi_{i,j+1} - \psi_{i,j-1}}{2\Delta z} \quad \text{и} \quad w = -\frac{\psi_{i+1,j} - \psi_{i-1,j}}{2\Delta x}, \quad (30)$$

что даст готовое стационарное поле скоростей движения жидкости, влияние которого необходимо учесть при моделировании движения частиц.

### Алгоритм решения

Алгоритм решения системы уравнений движения жидкости описывается следующей последовательностью действий:

- 1) задаем граничные условия для функции тока и температуры;
- 2) задаем начальные приближения для функции тока и вихря равными нулю, а значения поля температур, равными значению на верхней границе. Стартуем итерационный процесс, задав номер итерации  $s = 0$ ;
- 3) решаем третье уравнение в (13) – уравнение Пуассона для функции тока  $\psi^{(s+1)}$  на  $(s+1)$  итерации, предполагая поле вихря  $\omega^{(s)}$  известным;
- 4) решаем второе уравнение в (13) для поля температур  $T^{(s+1)}$  на  $(s+1)$  итерации, предполагая поле функций тока  $\psi^{(s+1)}$  на текущей итерации известным;
- 5) решаем первое уравнение в (13) для поля вихря  $\omega^{(s+1)}$  на  $(s+1)$  итерации, предполагая известными поля температур  $T^{(s+1)}$  и функций тока  $\psi^{(s+1)}$ ;
- 6) находим максимальные относительные погрешности для разности полей искомых величин между  $(s)$  и  $(s+1)$  итерациями по формулам:

$$\varepsilon_\psi = \max_{i,j \in \Omega} \left( \left| \frac{\psi_{i,j}^{(s+1)} - \psi_{i,j}^{(s)}}{\psi_{i,j}^{(s)}} \right| \right), \quad \varepsilon_\omega = \max_{i,j \in \Omega} \left( \left| \frac{\omega_{i,j}^{(s+1)} - \omega_{i,j}^{(s)}}{\omega_{i,j}^{(s)}} \right| \right), \quad \varepsilon_T = \max_{i,j \in \Omega} \left( \left| \frac{T_{i,j}^{(s+1)} - T_{i,j}^{(s)}}{T_{i,j}^{(s)}} \right| \right); \quad (31)$$

6) в том случае, если относительные погрешности, вычисленные по формулам (31), не превышают наперед заданной требуемой погрешности вычислений, то итерационный процесс останавливается, в противном случае увеличивается номер итерации  $s = s + 1$  и осуществляется переход к пункту 3.

### Алгоритм численного интегрирования задачи

#### Движения частиц в движущейся жидкости под действием силы тяжести и градиента температуры

Осаждение частиц в поле тяжести в движущейся жидкости подразумевает учет влияния движения жидкости на перемещение осаждающихся в жидкости частиц. Как уже было сказано выше, движение жидкости оказывает влияние на движение осаждающихся частиц, в то время как обратного влияния движения частиц на движение жидкости не учитывается в виду малого размера и масс самих частиц.

### Влияние вклада движения жидкости на скорость движения частиц

Рассмотрим  $k$ -ую частицу в поле движения жидкости, находящуюся внутри сеточной области с индексами  $(i, j)$ ,  $(i+1, j)$ ,  $(i, j+1)$  и  $(i+1, j+1)$ , рисунок рис. 3. На рисунке рис. 3 использованы следующие обозначения. Одиночным нижним индексом  $k$  описываются параметры частицы, ее координаты  $(x_k, z_k)$  и составляющие скорости  $(u_k, w_k)$ . Двойные нижние индексы  $(i, j)$  использованы для описания узлов сетки, координат  $(x_{i,j}, z_{i,j})$  и составляющих скоростей жидкости в узлах сетки  $(u_{i,j}, w_{i,j})$ . Одиночным нижним индексом  $k$  совместно с нижним индексом  $L$  обозначен вклад скорости движения жидкости в скорость движения частицы  $(u_{L,k}, w_{L,k})$ .

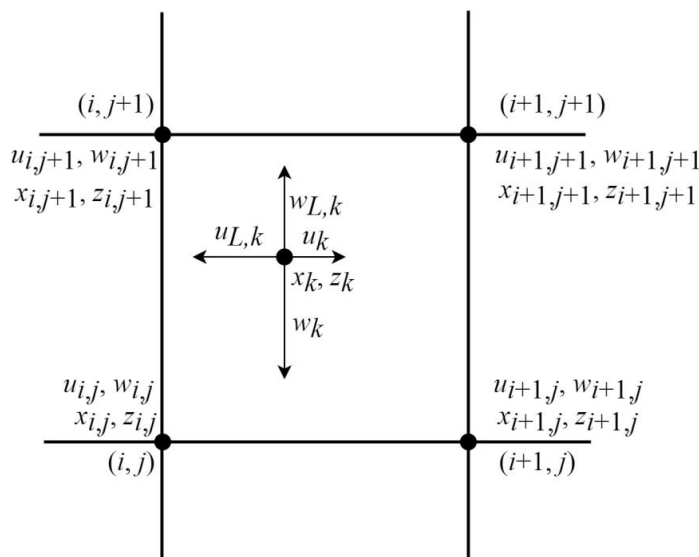


Рис. 3 – Частица с индексом  $k$  и скоростями  $(u_k$  и  $w_k)$  в поле движения жидкости, описываемом дискретным полем скоростей  $(u_{i,j}$  и  $w_{i,j})$ , и находящейся внутри сеточной ячейки с индексами  $(i, j)$ ,  $(i+1, j)$ ,  $(i, j+1)$  и  $(i+1, j+1)$

Движение жидкости оказывает влияние на движение частиц только тем, что вносит вклад в изменение скорости движения частицы под влиянием движения жидкости. Следовательно, влияние движения жидкости на движение частицы в ней находящейся можно описать одним векторным уравнением для сложения скоростей:

$$\vec{W}_k^L = \vec{W}_k + \vec{W}_{L,k}, \quad (32)$$

где за  $\mathbf{W}_k^L$  обозначена скорость частицы в движущейся жидкости,  $\mathbf{W}_k^L$  – скорость частицы в покоящейся жидкости,  $\mathbf{W}_{L,k}$  – вклад движения жидкости в скорость движения частицы. Уравнение (32) в скалярной форме примет вид:

$$u_k^L = u_k + u_{L,k}, \quad w_k^L = w_k + w_{L,k}. \quad (33)$$

Осталось вычислить вклад движения жидкости в скорость движения частицы по  $oz$  и  $ox$ , как взвешенное среднее между скоростями в точках конечно-разностной сетки. После чего подправляются координаты частиц на текущем шаге интегрирования.

### Корректировка поля температуры

Решение системы уравнений, описывающих движение жидкости в поле тяжести под действием перепада температур на верхней и нижней границе кюветы, дает распределение поля температур. Это поле температур следует учитывать при расчете влияния броуновского движения жидкости на движение частиц, поскольку поле температур в каждой точке будет свое и уже не может быть описано линейной зависимостью. Для определения температуры вблизи  $k$ -ой частицы следует использовать значение полей температуры, которое будет вокруг  $k$ -ой частицы. Вычислить его можно используя средние взвешенные значения температуры.

### Вычислительный алгоритм

Используются одинаковые характерные параметры задачи, выбранные для перевода задачи движения частиц и движения жидкости в безразмерную форму, – характерные размер  $(L_0)$ , массу  $(M_0)$ , время  $(T_0)$ , и температуру  $(K_0)$ , – для перевода уравнений движения частиц и движения жидкости в безразмерный вид. Задаются все параметры системы и определяются начальные условия.

Используя входные данные задачи, первоначально рассчитываются параметры движения жидкости, а именно функция тока, поле температур и поле вихря, определяется поле скоростей в жидкости. После этого начинается вычислительный цикл интегрирования по времени движения частиц.

На первом этапе положение и скорости частиц вычисляются согласно индивидуальным уравнениям движения каждой частицы (9), определяются положения частиц вдоль оси  $oz$ , которые описывают движения частиц без столкновений и теплового движения жидкости.

На втором шаге интегрирования пересчитываются скорости частиц под действием движения жидкости, подправляются координаты частиц.

На третьем шаге интегрирования пересчитываются скорости частиц под действием броуновского движения жидкости, подправляются координаты частиц.

На четвертом шаге интегрирования рассчитываются столкновения частиц в предположении, что одна частица может иметь только одно столкновение с другой на каждом этапе интегрирования. Подправляются скорости частиц и их координаты. После чего определяется величина рассеяния Рэлея по формуле (10).

На пятом шаге интегрирования пересчитываются скорости частиц под влиянием броуновского (теплового) движения жидкости, используя температуру жидкости вблизи частицы. Подправляются координаты всех частиц.

На шестом шаге интегрирования рассчитываются столкновения частиц в предположении, что одна частица может иметь только одно столкновение с другой на каждом этапе интегрирования. Подправляются скорости частиц и их координаты.

На седьмом шаге определяется величина рассеяния Рэлея.

После чего процесс интегрирования уравнений движения частиц продолжается. Признаком окончания интегрирования являются выдвинутые критерии, которые обсуждаются в следующем разделе главы.

### Модель определения массы частиц

Существуют два основных подхода к определению массы осаждаемых частиц. Первый из подходов к измерению массы частиц основан на анализе процесса и продолжительности осаждения частиц полимера и частиц наполнителя в жидкости. Второй подход основан на анализе минимального перепада температур в жидкости, который необходим для того, чтобы препятствовать процессу осаждения частиц. Следуя двум основным подходам к определению массы осаждаемых частиц, предлагаются две математических модели, которые описывают определение времени седиментации для первого подхода и вычисление минимальной температуры, достаточной для нахождения частиц во взвешенном состоянии для второго подхода. Общий характер кривых, описывающих общую площадь частиц обоих типов (полимера и наполнителя), перекрывающих лазерный луч, приведен на рисунке рис. 4.

### Определение массы частиц по времени седиментации

Зависимость общей площади частиц, перекрывающих лазерный луч, от времени на рисунке рис. 4Рис. 5а приведена черной линией. Красной линией приведена площадь частиц наполнителя, а синей линией – площадь частиц полимера. Во вторых осях на рисунке рис. 4Рис. 5а точечной линией приведена скорость изменения общей площади частиц, перекрывающих лазерный луч в зависимости от времени. Абсолютные значения времени, площадей и скорости на рисунке рис. 4Рис. 5а не приведены, поскольку зависимости носят качественный вид.

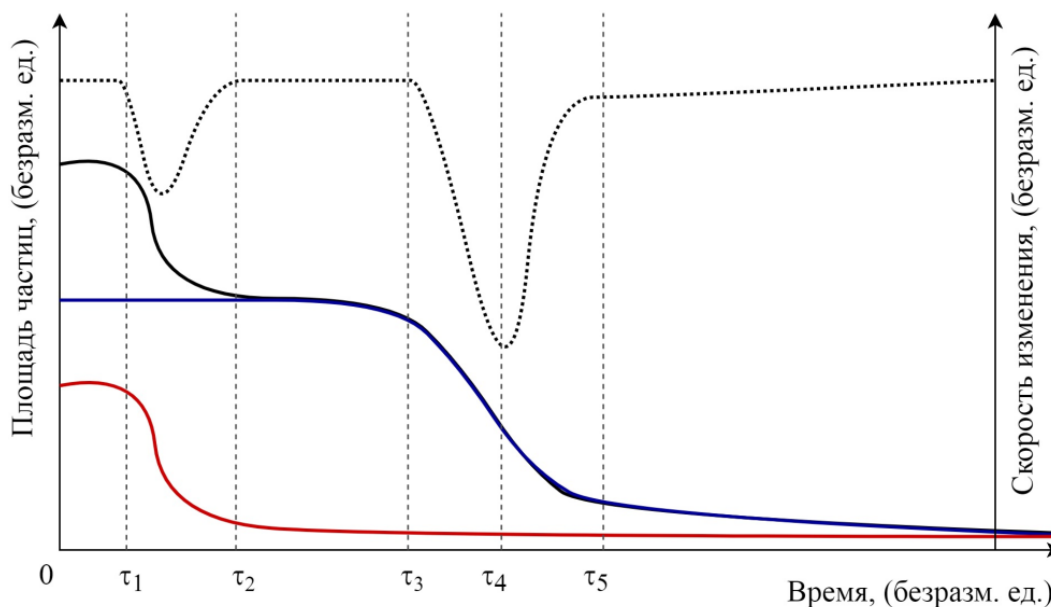


Рис. 4а – Зависимость площади частиц, перекрывающих лазерный луч, от времени без градиента температуры в жидкости: черная линия – общая площадь; красная линия – площадь частиц наполнителя, синяя линия – площадь частиц полимера. Во вторых осях точечной линией приведена скорость изменения общей площади частиц, перекрывающих лазерный луч в зависимости от времени

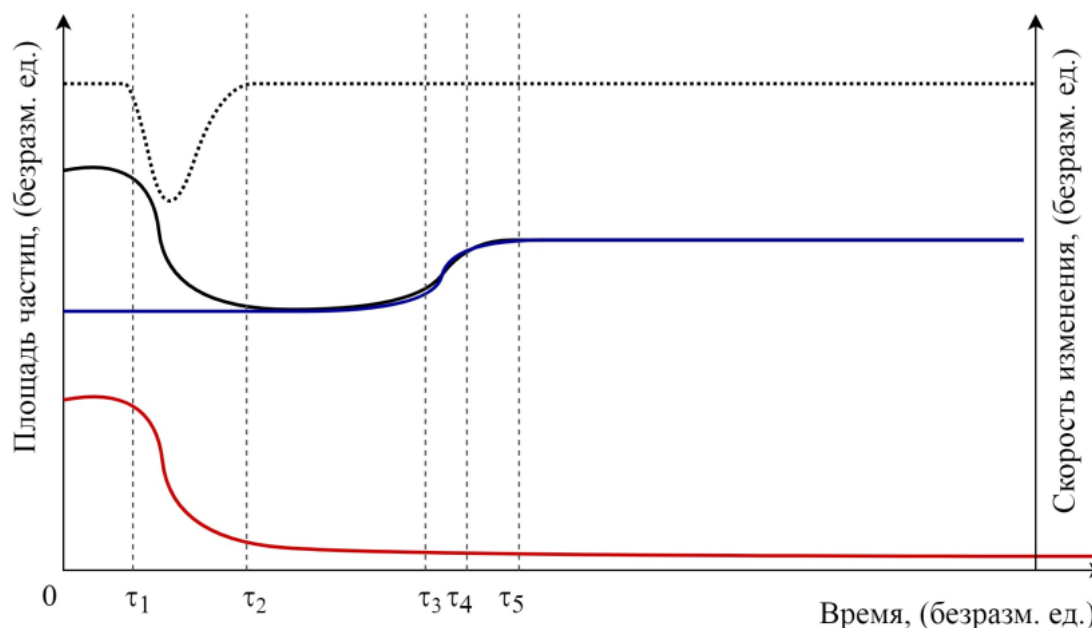


Рис. 5б – Зависимость площади частиц, перекрывающих лазерный луч, от времени с градиентом температуры в жидкости: черная линия – общая площадь; красная линия – площадь частиц наполнителя, синяя линия – площадь частиц полимера. Во вторых осях точечной линией приведена скорость изменения общей площади частиц, перекрывающих лазерный луч в зависимости от времени

Качественные зависимости показывают, что в начальный момент времени от нуля до  $\tau_1$  общая площадь частиц, перекрывающих лазерный луч, не меняется, поскольку тяжелые частицы, оседая, еще не дошли до верхнего края сечения луча. В период времени между  $\tau_1$  и  $\tau_2$  оседают тяжелые частицы наполнителя, проходя через круглое сечение лазерного луча. Перегиб кривой скорости осаждения (общей площади тяжелых частиц), между временами  $\tau_1$  и  $\tau_2$  как раз и вызван тем, что сечение лазерного луча круглое. Скорость изменения общей площади сначала невелика, потом достигает максимума и уменьшается после прохождения тяжелыми частицами центра лазерного луча. Плато между временами  $\tau_2$  и  $\tau_3$  свидетельствует о том, что легкие частицы в процессе своего осаждения еще не достигли верхнего края лазерного луча. В интервал времени между  $\tau_3$  и  $\tau_5$  происходит осаждение легких частиц полимера. Точка перегиба кривой осаждения в момент времени  $\tau_4$  свидетельствует о прохождении всеми легкими частицами середины лазерного луча. Время после  $\tau_5$  описывает плавное снижение концентрации частиц.

Временные интервалы, и взаимное отношение точек перегибов и относительных величин на кривых осаждения зависят не только от конкретно выбранных средних значений параметров частиц, но и от дисперсии их распределения. То, что кривые осаждения не доходят до нулевого значения, определяется наличием части сверхлегких частиц как первого, так и второго типов, ввиду дисперсии их масс. Если дисперсия масс будет маленькой, то и кривые осаждения будут доходить до нуля.

Ключевой точкой по времени на кривой осаждения является время  $\tau_4$ , которое свидетельствует о прохождении всеми легкими частицами середины лазерного луча. Используя значение этого времени, нетрудно вычислить массу частиц, поскольку будет известно расстояние ими пройденное от верхней части кюветы.

Для численного эксперимента легко вычислить время  $\tau_4$ , определив второй минимум производной от зависимости общей площади частиц, перекрывающих лазерный луч, по времени. В численном эксперименте достаточно даже определить первый глобальный минимум производной от зависимости площади частиц полимера, перекрывающих лазерный луч, по времени. Для того, чтобы производная была достаточно гладкой, перед этим дискретная функция площади частиц полимера, перекрывающих лазерный луч, в зависимости от времени может быть сглажена методом скользящего среднего по формуле:

$$S_{n+M} = \sum_{k=1}^M p_k S_{n-\frac{M}{2}+k} / \sum_{k=1}^M p_k \quad (34)$$

где  $S_n$  – зависимость площади от дискретного времени в точках  $n \cdot \Delta t$ , а  $p_k$  – весовые коэффициенты усреднения. Выбор окна усреднения и величин весовых коэффициентов усреднения следует осуществлять из общих рекомендаций к методам усреднения скользящим средним.

Производная этой зависимости определяется численно на основе конечных разностей по формуле:

$$S'_n = \frac{S_{n+1} - S_n}{\Delta t} \quad (35)$$

Критерий остановки вычислений по методу определения масс частиц на основе времени седиментации является найденный минимум производной, вычисленной по формуле (35).

### Определение массы частиц по минимальному перепаду температур, достаточному для левитации частиц

Ячейки Бенара или, правильнее, ячейки Рэлея-Бенара – это возникновение упорядоченного движения жидкости в виде конвективных ячеек в форме цилиндрических валов или правильных шестигранных структур в слое вязкой жидкости с вертикальным градиентом температуры [8]. Управляющим параметром самоорганизации служит градиент температуры, вследствие которого в однородном слое жидкости начинается тепловая диффузия из-за возникающей неоднородности плотности жидкости. При увеличении градиента температуры возникает второй критический переход, при котором каждая ячейка распадается на две меньшего размера [8]. При увеличении температуры в жидкости возникает турбулентное движение, переходящее в хаотическое движение жидкости. При малом перепаде температур будет упорядоченное движение в виде двух встречно направленных ячеек Бенара.

В результате нагрева в жидкости будут образовываться восходящие и нисходящие потоки жидкости, которые будут увлекать в своем движении частицы полимера, в то время как тяжелые частицы наполнителя будут осаждаться. На рисунке рис. 4б приведена зависимость площади частиц, перекрывающих лазерный луч, от времени при градиенте температуры в жидкости. Черной линией на рисунке обозначена общая площадь частиц, красной линией – площадь частиц наполнителя, синей линией – площадь частиц полимера. Во вторых осях точечной линией приведена скорость изменения общей площади частиц, перекрывающих лазерный луч в зависимости от времени.

Та минимальная температура, которая необходима для поддержания частиц полимера во взвешенном состоянии в жидкости (после времени  $\tau_5$ , рисунок рис. 4б), напрямую связана с массой частиц, которая и вызывает их осаждение.

### Результаты моделирования, сравнение данных расчетов с данными эксперимента

Численный эксперимент был проведен для осаждения двух типов частиц, а именно оксида алюминия ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ , наполнитель) и частиц полимера (легкие частицы), в этил ацетате, рисунок 5. Плотность этилацетата  $\rho_{T1} = 902 \text{ кг/м}^3$ , коэффициент ее динамической вязкости  $\mu = 0.40016 \times 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ . Средняя плотность частиц первого типа ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )  $\rho_{T1} = 7987 \text{ кг/м}^3$ . Плотность частиц второго типа (полимер)  $\rho_{T1} = 3000 \text{ кг/м}^3$ . Средний размер частиц наполнителя  $d_{T1} = 0.25 \times 10^{-6} \text{ м}$ , и полимера  $d_{T1} = 0.125 \times 10^{-6} \text{ м}$ . Число частиц наполнителя выбрано равным 1000, и полимера 10000.

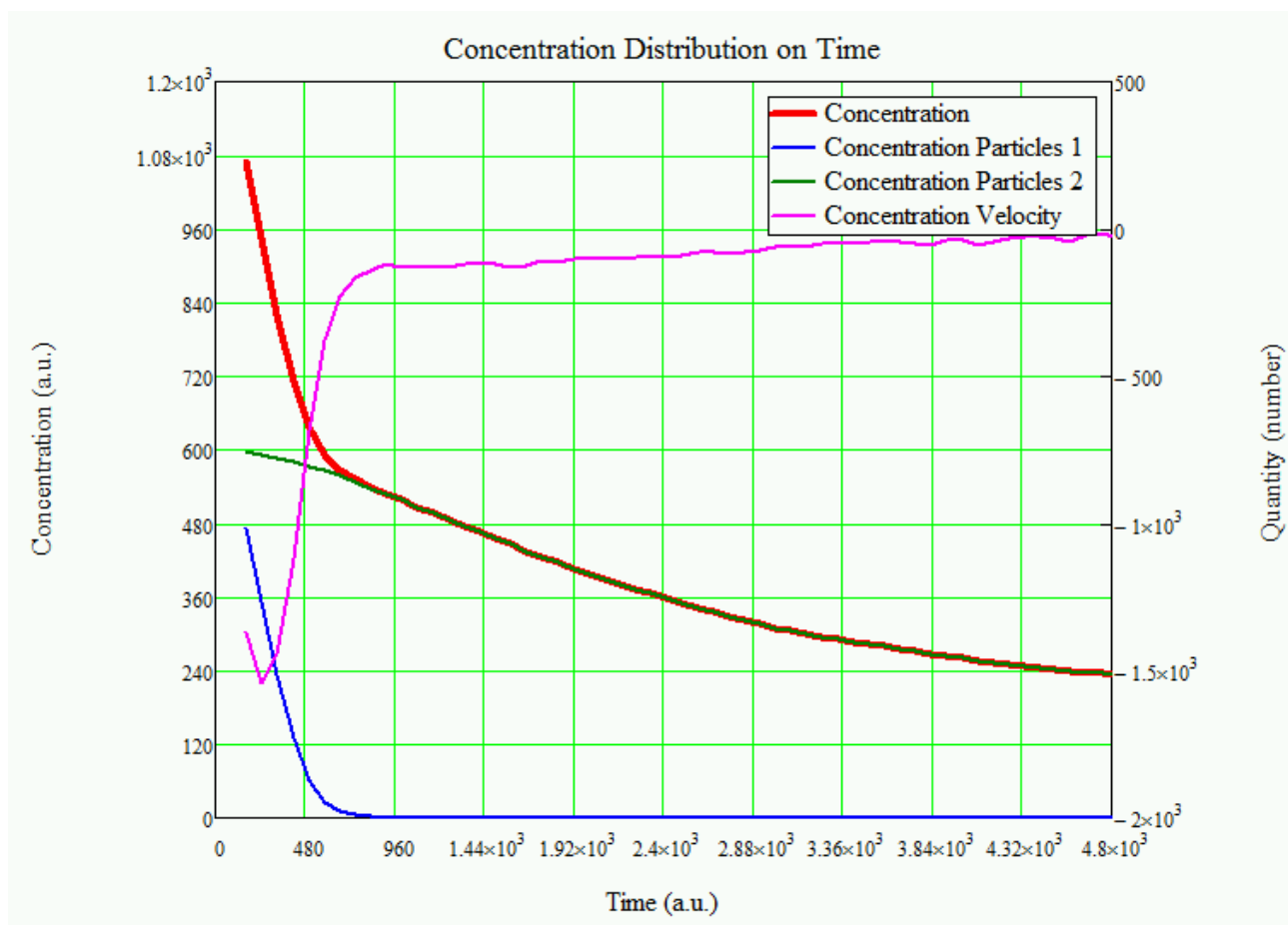


Рис. 5а – Изменение концентрации во времени: результаты математической модели: красная линия – общая концентрация; синяя линия – концентрация наполнителя; зеленая линия – концентрация полимера; фиолетовая линия – скорость изменения концентрации

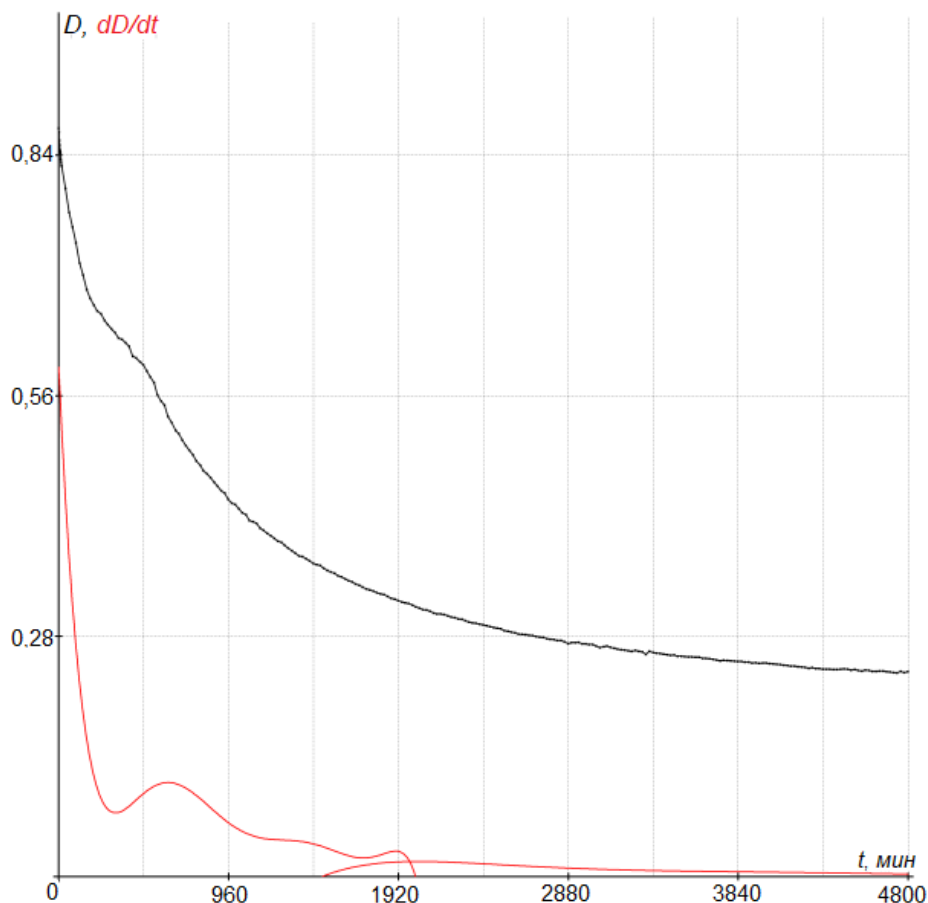


Рис. 56 – Изменение концентрации во времени: экспериментальные данные: черная линия – обычная концентрация; красная линия – скорость изменения концентрации

Как видно из изменения концентрации, показанной на рисунке 5, в начале процесса осаждение тяжелых частиц происходит вначале и очень быстро. После этого происходит осаждение легких частиц второго типа.

### Заключение

Результатом построения математических моделей, предложенных в работе, явилось построение математической модели осаждения двух типов частиц в жидкости. Предложена полная двумерная математическая модель описания осаждения частиц в покоящейся жидкости. В математической модели учтено гауссово распределение размеров и плотностей частиц. Записаны уравнения движения частиц под действием сил тяжести, гидростатической выталкивающей силы Архимеда, силы сопротивления движению в вязкой жидкости при малых числах Рейнольдса. Предложена запись уравнений движения в безразмерной форме, удобной для их численного интегрирования. Произведен учет влияния броуновского движения молекул жидкости на скорость и перемещение осаждаемых частиц на основе модели упругого столкновения. Скорость броуновского движения молекул жидкости связана с температурой жидкости. Произведен учет неупругих столкновений частиц друг с другом, при котором частицы полностью слипаются, образуя новую частицу, с новой массой и скоростью. Смоделировано рассеяние Рэлея, возникающее при прохождении луча лазерного излучения через кварцевую кювету, содержащую раствор с осаждаемыми частицами. Предложен вычислительный алгоритм расчета величины рассеяния Рэлея в зависимости от осаждения частиц с течением времени.

Построена двумерная математическая модель движения жидкости в площади поперечного сечения лазерного луча под действием градиента температур между нижней и верхней поверхностями жидкости. Решена задача постановки граничных условий для системы уравнений в переменных функция тока, вихрь и температура. Предложен численный алгоритм решения системы уравнений движения жидкости, основанный на конечно-разностном подходе. Сформулированы граничные условия для конечно-разностной постановки. Предложен алгоритм решения каждого из системы уравнений движения жидкости, в конечно-разностной форме. Решена задача определения поля температур и поля скоростей в жидкости.

Предложена модель, объединяющая две математические модели движения частиц и движения жидкости, позволяющая учесть влияние движения жидкости под действием градиента температур на движение осаждаемых частиц, заключающаяся в учете влияния скорости жидкости на скорость осаждаемых частиц, в учете влияния поля температур.

Предложены две модели определения массы осаждаемых частиц, основанных на анализе продолжительности осаждения частиц полимера и частиц наполнителя в жидкости и на анализе минимального перепада температур в жидкости, который необходим для того, чтобы препятствовать процессу осаждения частиц.

**Финансирование**

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (соглашение номер 075-03-2020-051/3 от 09.06.2020, номер темы fzsu-2020-0021) в части постановки физической задачи моделирования, верификации данных и полученных результатов и Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (соглашение номер 075-03-2020-051, номер тему fzsu-2020-0020) в части построения математической модели и её реализации.

**Funding**

Funded by Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Agreement No. 075-03-2020-051/3, topic No. fzsu-2020-0021) in part of physical task formulation, data and results verification. Funded by Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Agreement No. 075-03-2020-051, topic No. fzsu-2020-0020) in part of mathematical model construction, training and tuning, and realization.

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Conflict of Interest**

None declared.

**Список литературы / References**

1. Ахмадеев А. А. Влияние толщины полимерной оболочки на поверхностях субмикронных частиц наполнителя на свойства полимерной композиции / А. А. Ахмадеев, Е. А. Богослов, М. П. Данилаев и др. // Механика композитных материалов. 2020. Т. 56. № 2. С.357.
2. Шилько С.В. Анализ механических свойств трансверсально-изотропных композитов с учетом межфазного слоя / С.В. Шилько, Ю.М. Плескачевский, С.В. Панин, Д.А. Черноус // Вестник национальной академии наук Белоруссии. 2014. №1. С.12.
3. Астафуров С.В. Исследование влияния свойств межфазных границ на механические характеристики металлокерамических композитов / С.В. Астафуров, Е.В. Шилько, В.Е. Овчаренко, С.Г. Псахье // Физическая мезомеханика. 2014. Т.17. № 3. С. 53.
4. Rajib Ghosh Chaudhuri Core/Shell Nanoparticles: Classes, Properties, Synthesis Mechanisms, Characterization, and Applications / Rajib Ghosh Chaudhuri, Santanu Paria // Chem. Rev. 2012. V.112. № 4. P.2373.
5. Сахабутдинов Ж.М. Анализ дискретных моделей движения точки / Ж.М. Сахабутдинов. – Казань: ИММ РАН, 1995–196 с.
6. Кондратенко П.С. Теоретические основы гидродинамики и теплопереноса / П.С. Кондратенко. Москва: Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, 2003. 68 с.
7. Гидродинамика: учеб. Пособие для студентов нематематических факультетов / А.Б. Мазо, К.А. Поташев. – Казань: Казан. ун-т, 2013. – 2-е изд. – 128 с.
8. Ван-Дайк М. Альбом течений жидкости и газа / Ван-Дайк М. М.: Мир, 1986 – с. 84, рис. 139–140

**Список литературы на английском языке / References in English**

1. Akhmadeev A. A. Vliyanie tolshhiny polimernoj obolochki na poverhnostyah submikronnyh chastic napolnitelja na svoystva polimernoj kompozicii [Influence of the Thickness of the Polymer Enclosure on the Surfaces of Submicron Filler Particles on The Properties of the Polymer Composition] / A. A. Akhmadeev, E. A. Bogoslov, M. P. Danilaev et al. // Mehanika kompozitnyh materialov [Mechanics of Composite Materials]. 2020. Vol. 56. No. 2. p. 357. [in Russian]
2. Shilko S. V. Analiz mehanicheskikh svojstv transversal'no-izotropnyh kompozitov s uchetom mezhfaznogo sloja [Analysis of Mechanical Properties of Transversally Isotropic Composites with Consideration of The Interfacial Layer] / S. V. Shilko, Yu. M. Pleskachevsky, S. V. Panin et al. // Vestnik nacional'noj akademii nauk Belorussii [Bulletin of The National Academy of Sciences of Belarus]. 2014. No. 1. p. 12 [in Russian]
3. Astafurov S. V. Issledovanie vlijaniya svojstv mezhfaznyh granic na mehanicheskie harakteristiki metallokeramicheskikh kompozitov [Investigation of the Influence of the Properties of Interphase Boundaries on the Mechanical Characteristics of Metal-Ceramic Composites] / S. V. Astafurov, E. V. Shilko, V. E. Ovcharenko et al. // Fizicheskaja mezomehanika [Physical Mesomechanics]. 2014. Vol. 17. No. 3, p. 53 [in Russian]
4. Rajib Ghosh Chaudhuri Core/Shell Nanoparticles: Classes, Properties, Synthesis Mechanisms, Characterization, and Applications // Chem. Rev. 2012. V.112. № 4. P.2373.
5. Sakhabutdinov Zh. M. Analiz diskretnyh modelej dvizhenija tochki [Analysis of Discrete Models of Point Motion] / Zh. M. Sakhabutdinov. – Kazan: IMM RAS, 1995, 196 p.
6. Kondratenko P. S. Teoreticheskie osnovy gidrodinamiki i teploperenosa [Theoretical Foundations of Hydrodynamics and Heat Transfer] / P. S. Kondratenko. M.: Institut problem bezopasnogo razvitiya atomnoj jenergetiki RAN [Institute of Problems of Safe Development of Atomic Energy of The Russian Academy of Sciences], 2003, 68 p. [in Russian]
7. Gidrodinamika: ucheb. Posobie dlja studentov nematematicheskikh fakul'tetov [Hydrodynamics: A Textbook for Students of Non-Mathematical Faculties] / A. B. Mazo, K. A. Potashev. - Kazan: Kazan. UN-t, 2013. - 2nd ed. - 128 p. [in Russian]
8. Van-Dyke M. Al'bom techenij zhidkosti i gaza [Album of Liquid and Gas Flows] / Van-Dyke M., Moscow: Mir, 1986, p. 84, fig. 139-140 [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.102.12.017>

**ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ И СПОСОБА ПОСАДКИ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ  
МНОГОЛЕТНИХ ВИНОГРАДНЫХ НАСАЖДЕНИЙ**

Научная статья

**Авдеенко И.А.<sup>1,\*</sup>, Малых Г.П.<sup>2</sup>, Григорьев А.А.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> ORCID:0000-0001-7111-7933;

<sup>2</sup> ORCID: 0000-0003-4936-3702;

<sup>1, 2, 3</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия – филиал Федерального ростовского аграрного научного центра, Новочеркасск, Россия

\* Корреспондирующий автор (irinaawdeenko[at]yandex.ru)

**Аннотация**

Виноград – ценная многолетняя культура, продуктивность которой, на протяжении всего периода плодоношения зависит от количества питательных элементов в почве при посадке именно первый год жизни.

Цель исследований - повышение продуктивности виноградных насаждений путем совершенствования технологии посадки.

По результатам исследований установлено, что на бедных и тяжелых почвах наиболее целесообразно применять органоминеральные удобрения непосредственно при посадке в ямки под саженец, а не под плантаж.

Внесение современного удобрения нового поколения с комплексом микроэлементов в хелатной форме и органических удобрений способствует улучшению приживаемости саженцев на постоянном месте, обеспечивает оптимальный рост и развитие на плантации в критический первый год жизни, а за счет пролонгированного действия, обеспечивает повышение урожайности 4-х летних насаждений винограда до 14,23 т/га.

**Ключевые слова:** виноград, корнесобственный саженец, способ посадки, внесение удобрений, урожайность, гидробур, плантаж.

**INFLUENCE OF FERTILIZERS AND PLANTING METHODS ON THE PRODUCTIVITY  
OF PERENNIAL GRAPEVINE PLANTATIONS**

Research article

**Avdeenko I.A.<sup>1,\*</sup>, Malykh G.P.<sup>2</sup>, Grigoriev A.A.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> ORCID:0000-0001-7111-7933;

<sup>2</sup> ORCID: 0000-0003-4936-3702;

<sup>1, 2, 3</sup> The All-Russian Scientific Research Institute of Viticulture and Winemaking, the Branch of the Federal State Funded Research Institution Federal Rostov Agrarian Research Center, Novocherkassk, Russia

\* Corresponding author (irinaawdeenko[at]yandex.ru)

**Abstract**

Grapes are a valuable perennial crop, the productivity of which throughout the entire period of fruiting depends on the amount of nutrients in the soil during planting in the first year of life.

The purpose of the research is to increase the productivity of grape planting by improving the planting technology.

The results of the study demonstrate that on poor and heavy soils, it is most advisable to use organomineral fertilizers directly under the seedling when planting in the pits, and not under the soil of the trench.

The introduction of a modern, new generation fertilizer with a complex of microelements in chelated form and organic fertilizers improves the survival rate of seedlings in a permanent place of planting, ensures optimal growth and development on the plantation in the critical first year of life, and due to its prolonged effect, increases the yield of 4-year-old grape plantations to 14.23 t/ha.

**Keywords:** grapevine, root seedling, planting method, fertilization, yield, hydro drill, trenching.

**Введение**

Плодородная почва и подходящий климат, несомненно, являются важными факторами, влияющими на рост и развитие виноградного растения, а так же на получаемый урожай, однако, агротехнические мероприятия являются не менее важными аспектами при выращивании винограда [1, С. 63-64].

Нерациональное использование минеральных удобрений приводит сельскохозяйственные угодья к необратимой деградации. Не исключением являются площади занятые виноградными насаждениями. Для повышения плодородия почвы, а соответственно увеличению урожайности винограда высокого качества заявленных сортовых кондиций необходима разработка научно-обоснованной схемы применения удобрений в зависимости от почвенно-климатических условий каждого хозяйства [1, С. 65-67], [2, С. 14-19].

Исследованиями А. И. Жукова и др. [2, С. 3-7], [3, С. 48-50] установлено, что при длительном использовании почвы под виноградниками происходит накопление в почве фитотоксических веществ, с преобладанием фенольных соединений. При ухудшении условий произрастания кустов (низкая влажность почвы, дефицит микро- и макроэлементов, поражение болезнями) значительно возрастает биосинтез и выделение в почву фенольных веществ. Следовательно, оптимизация режима минерального питания и влажности почвы, повышение ее плодородия будут способствовать уменьшению почвоутомления и деградации [4, С. 28-29].

При длительном возделывании на одном и том же месте, виноградное растение забирает из почвы все необходимые для его роста и развития растворимые соли (фосфорные, азотные, калийные и другие). В результате процесса питания



винограда из почвы выносятся вместе с урожаем значительное количество питательных веществ, а взамен им возвращается лишь малая часть, вместе с опавшими листьями, побегами и остатками лоз [5, С. 102], [6, С. 73-74].

Низкая эффективность виноградарства в Российской Федерации также связана с экономическими рисками закладки виноградников из-за плохой приживаемости саженцев на плантации, слабым развитием растений в критический первый год жизни, а следовательно, сдвигом сроков получения урожая (минимум на 1-2 года позже). При традиционном внесении удобрений под плантаж, значительная их часть вымывается из корнеобитаемого слоя и становится недоступной для растений, что приводит к слабому развитию корневой системы [7, С. 4], [8, С. 28].

В настоящее время в современной научной литературе довольно обширно описана отзывчивость винограда на внесение удобрений как органического, так и минерального происхождения. Наиболее эффективным, по данным многих авторов, является совместное использование органических и минеральных удобрений при посадке саженцев винограда. Менее эффективным является отдельное использование минеральных или органических удобрений [9, С. 13-15], [10, С. 21-29].

### Новизна

В работе впервые изучено влияние различных доз нового минерального удобрения Грин Го на приживаемость корнесобственных саженцев на плантации и продуктивность насаждений, а также обоснован способ посадки и внесения удобрений в глубокие посадочные ямы под саженец на каштановых почвах для улучшения режима питания молодых насаждений винограда.

### Методы и принципы исследований

Цель исследований - повышение продуктивности виноградных насаждений, путем совершенствования технологии посадки.

Задачи исследований – определить влияние глубокого способа посадки с внесением удобрений непосредственно под саженец на темп развития корневой системы и урожайность многолетних насаждений винограда.

В 2013-2015 годах были заложены опыты по изучению влияния способов посадки и удобрений на рост, развитие и продуктивность корнесобственных растений винограда сорта Августин на базе винхоза «Советская Россия» по следующей схеме:

I. Посадка одревесневшими саженцами, под гидробур на глубину 60 см с внесением удобрений под плантаж: конского навоза 100 т/га, суперфосфата 400 кг/га, калийной соли 600 кг/га (контроль);

II. Посадка одревесневшими саженцами, применяемыми широко на производстве под гидробур на глубину 60 см. Подкормка Грин Го 15 кг/га д.в. (дважды за вегетацию);

III. Посадка в яму с внесением под саженец 30 кг птичьего помета+Грин Го 5 кг/га д.в.;

IV. Посадка в яму с внесением под саженец 30 кг перепревшего конского навоза+Грин Го 5 кг/га д.в.;

V. Посадка в яму с внесением под саженец 40 кг перепревшего конского навоза+Грин Го 5 кг/га д.в..

Повторность опыта 3-х кратная. Площадь питания кустов 2,5 x 1,5 метра. Виноградники не укрывные с длиннорукавной формировкой.

В III-V вариантах посадку саженцев на постоянное место производили следующим способом: ямы глубиной 120 см заполняли удобрениями согласно схеме опыта по вариантам, а посадку саженцев осуществляли на глубину 60 см с локальным внесением удобрений непосредственно под каждый саженец.

Все учеты и наблюдения проводили по общепринятым в виноградарстве методикам, изложенным в руководстве «Агротехнические исследования по созданию интенсивных виноградных насаждений на промышленной основе» (показатели развития однолетних саженцев, определение приживаемости саженцев, развитие корневой системы, учет величины и качества урожая) [11, С. 61-73], [12, С. 120-125].

Существенным в предлагаемом способе посадки является то, что при разрушении подстилающих пород, представленными тяжелыми лессовидными суглинками, при бурении посадочных мест они разрушаются, поэтому кайма грунтовых вод достигает высоты 100-120 см, что обеспечивает хорошую влагообеспеченность виноградных растений. Внесение органических и минеральных удобрений под каждый саженец подтягивает и собирает дождевые и грунтовые воды, чем обеспечивает хорошую приживаемость саженцев и развитие растений.

### Основные результаты и обсуждение

Характер развития корневой системы виноградного куста является важным показателем, от которого зависит мощность развития надземной части растений, который сильно зависит от способа посадки, и, в целом, от агротехнологических операций, осуществляемых в первые годы жизни саженцев на плантации. К сожалению, в настоящее время данному показателю посвящено очень мало работ, что напрямую связано с трудоемкостью процесса по извлечению корневой системы из почвы при любых общеизвестных методах.

Развитие корневой системы однолетних саженцев за вегетацию при посадке в глубокие ямы достигало 1,3 метра, а при посадке под гидробур до 70 см. Учет числа корней с разных слоев почвы показал, что масса корневой системы 3-х летних насаждений сорта Августин в V варианте составила 370,9 грамм, а при посадке под гидробур (контроль) на 253,7 грамм меньше.

По данным рисунка 1 видно, что основная масса корней контрольного варианта существенно отличалась от варианта V за анализируемые периоды. При посадке под гидробур с внесением удобрений под плантаж наибольшая масса корневой системы 3-х и 4-х летних растений винограда сорта Августин располагалась в слое почвы 41-60 см, со средней массой по годам исследований 45,65 г. Использование удобрений при посадке в ямки стимулировало развитие корневой системы. Так, в варианте V наглядно показано, что основная масса корней располагалась в слое почвы 61-80 см, со средней массой 79,9 г, что на 34,25 г больше контрольного варианта. Такое расположение основной массы корневой системы позволяет растению более полноценно потреблять почвенную влагу.

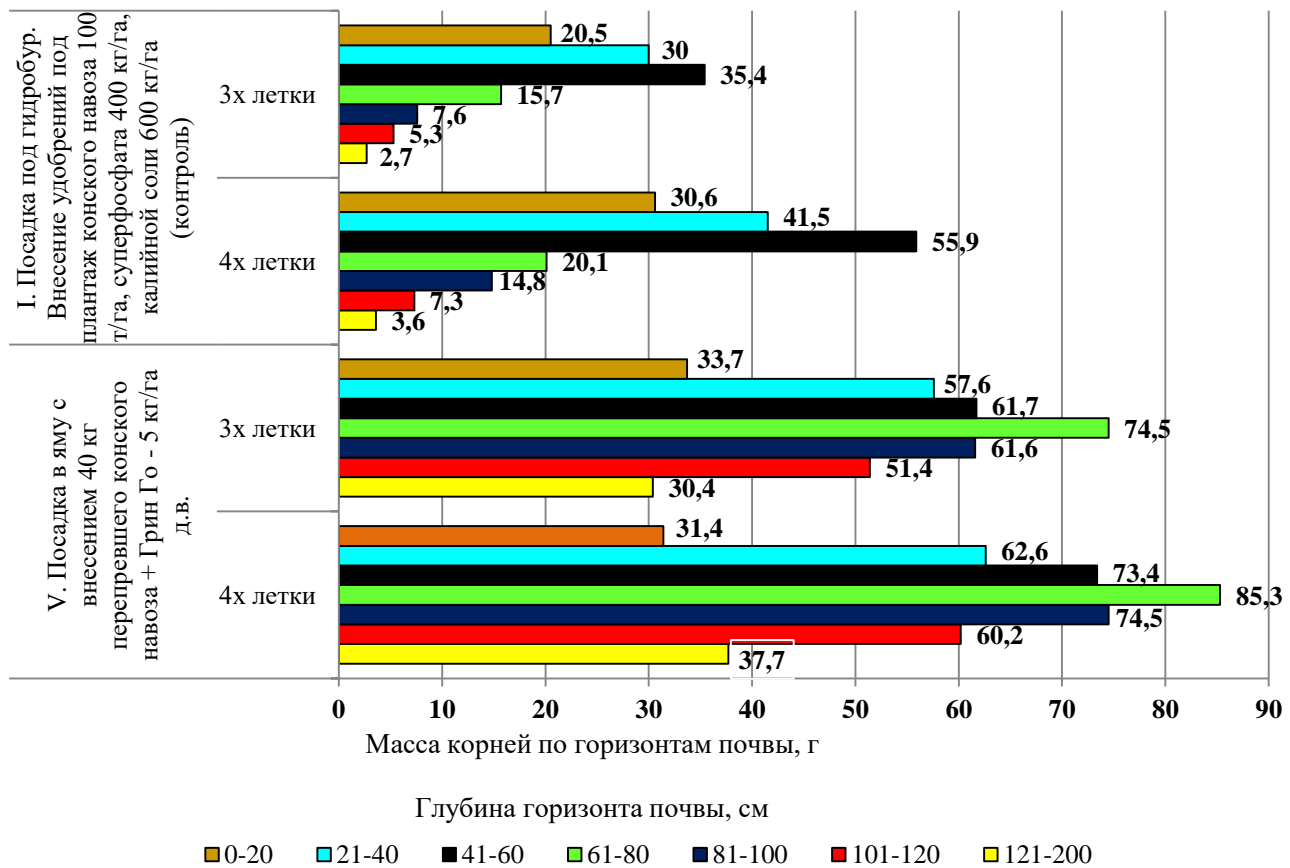


Рис. 1 – Развитие корневой системы 3х и 4х летних кустов винограда сорта Августин

Общая масса корневой системы по исследуемым вариантам значительно различалась. В V варианте у 4-х летних растений общая масса корневой системы составила 425,1 г, что больше контрольного варианта на 307,9 г или в 3,63 раза, что является существенным.

Выход активных корней в зависимости от диаметра в контрольном варианте (при посадке под гидробур) у сорта Августин составил 76 шт., а в варианте V – 134,5 шт., и основные 70 % корней лучше развились и проникали в более глубокие слои почвы, чем в контроле.

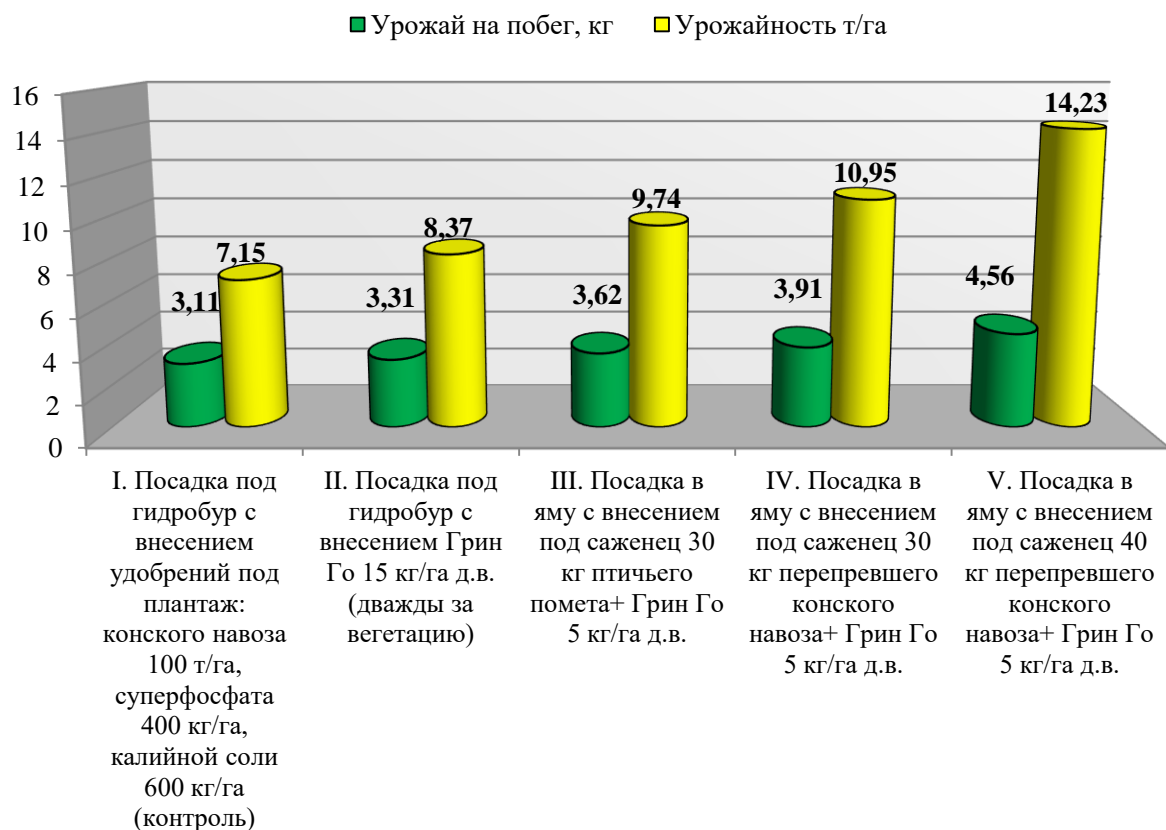


Рис. 2 – Влияние способа посадки и внесения удобрений на показатель урожайности 4х-летних насаждений сорта Августин

Способы посадки и внесения удобрений влияли на показатели плодородности и урожайности четырехлетних насаждений сорта Августин. В контрольном варианте урожайность составила 7,15 т/га, в то время как при посадке с одновременным внесением удобрений урожайность варьировала от 9,74 до 14,23 т/га, а прибавка вариантов опыта в сравнении с контролем была от 1,22 до 7,07 т/га, что является существенным.

#### Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что целесообразно применять на бедных по содержанию питательных веществ почвах и тяжелых по механическому составу органоминеральные удобрения при посадке непосредственно под куст, а не под плантаж.

Внесение удобрений положительно повлияло на адаптацию растений в стрессовых условиях среды, что выразилось не только в повышении приживаемости саженцев, по сравнению с контролем, и сохранению глазков, но в динамике распускания почек и начального нарастания площади листовой поверхности.

Наиболее оптимальным вариантом опыта является посадка саженцев в яму с внесением 40 кг перепревшего конского навоза + Грин Го - 5 кг/га д.в. Урожайность данного варианта на сорте Августин составила 14,23 т/га, что существенно больше контрольного варианта на 7,07 т/га или в 1,99 раза.

На основе вышеизложенного можно сделать вывод, что внесение современных удобрений нового поколения с комплексом микроэлементов в хелатной форме и органических удобрений способствует улучшению приживаемости на постоянном месте, обеспечивает оптимальный рост и развитие растений на плантации, обеспечивает существенную прибавку урожая и является экономически целесообразным в сравнении с традиционными средствами химизации.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Малых Г. П. Влияние корневых подкормок удобрением нового поколения Грин Го на урожайность винограда и качество вина сорта Ркацители / Г. П. Малых, Н. Н. Калмыкова, В. С. Керимов и др. // Вестник Донского государственного аграрного университета. – 2017. – № 4-1 (26). – С. 63-71.
2. Жуков А. И. Виноградарство / А.И. Жуков, В. Н. Гордеев. – Москва: Издательство КолосС, 2006. – 180 с.
3. Попов П. Д. Перспективы исследований производства и применения органических удобрений / П. Д. Попов, А. И. Жуков, М. Н. Новиков // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1985. – № 7. – С. 48-55.
4. Малых Г. П. Оптимизация доз макро- и микроудобрений - основа высокой продуктивности винограда на каштановых почвах / Г. П. Малых, В. С. Керимов // Виноделие и виноградарство. – 2017. – № 2. – С. 28 – 32.

5. Малых Г. П. Экономическая эффективность применения новых способов посадки винограда и современных удобрений на каштановых почвах Чеченской республики / Г. П. Малых, Н. М. Ерина, В. С. Керимов // Проблемы развития АПК региона. – 2019. – № 4 (40). – С. 102-107.
6. Макарова А. Г. Влияние макро- и микроудобрений на продуктивность и качество столового сорта винограда Августин на песчаных почвах / А. Г. Макарова, А. С. Магомедов, Г. П. Малых и др. // Проблемы развития АПК региона. – 2019. – № 1 (37). – С. 73-79.
7. Чемисова Л. Э. Экскурс в экологическое производство винограда и вина / Л. Э. Чемисова, Т. И. Гугучкина, О. А. Попова // Виноделие и виноградарство. – 2015. – № 3. – С. 4-8.
8. Воробьева Т. Н. Эколого-биологическое восстановление агропродуктивности почвы виноградников / Т. Н. Воробьева, В. С. Петров, Ю. А. Ветер // Виноделие и виноградарство. – 2016. – № 3. – С. 28-31.
9. Красильников А. А. Интенсификация минерального питания виноградников : методические указания / А. А. Красильников, Д. Э. Руссо, А. Б. Хорошкин. – Краснодар : Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, 2019. – 64 с.
10. Воробьева Т. Н. Биологизация промышленного возделывания столового винограда в агроусловиях юга Кубани / Т. Н. Воробьева, А. А. Волкова, Ю. А. Ветер. – Краснодар : ООО «Альфа-полиграф+», 2013. – 139 с.
11. Агротехнические исследования по созданию интенсивных виноградных насаждений на промышленной основе. – Новочеркасск, 1978. – 174 с.
12. Колесников В. А. Корневая система плодовых и ягодных растений / В. А. Колесников. – Москва : Колос, 1974. – 509 с.

#### Список литературы на английском языке / References in English`

1. Malyh G. P. Vlijanie kornevyyh podkormok udobreniem novogo pokolenija Grin Go na urozhajnost' vinograda i kachestvo vina sorta Rkaciteli [Influence of root dressing with a new generation of Green Go fertilizer on grape yield and quality of Rkatsiteli wine] / G. P. Malyh, N. N. Kalmykova, V. S. Kerimov et al. // Vestnik Donskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the Don state agrarian university]. – 2017. – № 4-1 (26). – P. 63-71. [in Russian]
2. Zhukov A. I. Vinogradarstvo [Viticulture] / A.I. Zhukov, V. N. Gordeev. – Moskva: KolosS Publishing house, 2006. – 180 p. [in Russian]
3. Popov P. D. Perspektivy issledovaniy proizvodstva i primeneniya organicheskikh udobrenij [Prospects for research on the production and use of organic fertilizers] / P. D. Popov, A. I. Zhukov, M. N. Novikov // Vestnik sel'skohozjajstvennoj nauki [Bulletin of agricultural science]. – 1985. – № 7. – P. 48-55. [in Russian]
4. Malyh G. P. Optimizacija doz makro- i mikroudobrenij - osnova vysokoj produktivnosti vinograda na kashtanovykh pochvakh [Optimization of doses of macro- and micronutrient fertilizers is the basis of high productivity of grapes on chestnut soils] / G. P. Malyh, V. S. Kerimov // Vinodelie i vinogradarstvo [Wine and viticulture]. – 2017. – № 2. – P. 28 – 32. [in Russian]
5. Malyh G. P. Jekonomicheskaja jeffektivnost' primeneniya novyyh sposobov posadki vinograda i sovremennykh udobrenij na kashtanovykh pochvakh Chechenskoj respubliki [Economic efficiency of using new methods of planting grapes and modern fertilizers on chestnut soils of the Chechen Republic] / G. P. Malyh, N. M. Erina, V. S. Kerimov // Problemy razvitiya APK regiona [Problems of regional agribusiness development]. – 2019. – № 4 (40). – P. 102-107. [in Russian]
6. Makarova A. G. Vlijanie makro- i mikroudobrenij na produktivnost' i kachestvo stolovogo sorta vinograda Avgustin na peschanykh pochvakh [Effect of macro-and microfertilizers on productivity and quality of the Augustine table grape variety on sandy soils] / A. G. Makarova, A. S. Magomadov, G. P. Malyh et al. // Problemy razvitiya APK regiona [Problems of regional agribusiness development]. – 2019. – № 1 (37). – P. 73-79. [in Russian]
7. Chemisova L. Je. Jekskurs v jekologicheskoe proizvodstvo vinograda i vina [Excursion to ecological production of grapes and wine] / L. Je. Chemisova, T. I. Guguchkina, O. A. Popova // Vinodelie i vinogradarstvo [Wine and viticulture ]. – 2015. – № 3. – P. 4-8. [in Russian]
8. Vorob'eva T. N. Jekologo-biologicheskoe vosstanovlenie agroproduktivnosti pochvy vinogradnikov / T. N. Vorob'eva, V. S. Petrov, Ju. A. Veter // Vinodelie i vinogradarstvo. – 2016. – № 3. – P. 28-31. [in Russian]
9. Krasil'nikov A. A. Intensifikacija mineral'nogo pitaniya vinogradnikov : metodicheskie ukazaniya [Intensification of mineral nutrition in vineyards : guidelines] / A. A. Krasil'nikov, D. Je. Russo, A. B. Horoshkin. – Krasnodar : Severo-Kavkazskij federal'nyj nauchnyj centr sadovodstva, vinogradarstva, vinodelija, 2019. – 64 p. [in Russian]
10. Vorob'eva T. N. Biologizacija promyshlennogo vozdeleyvaniya stolovogo vinograda v agrouslavijah juga Kubani [Biologization of industrial cultivation of table grapes in the South of Kuban] / T. N. Vorob'eva, A. A. Volkova, Ju. A. Veter. – Krasnodar : ООО «Al'fa-poligraf+», 2013. – 139 p. [in Russian]
11. Agrotehnicheskie issledovaniya po sozdaniyu intensivnykh vinogradnykh nasazhdenij na promyshlennoj osnove [Agrotechnical research on the creation of intensive grape plantations on an industrial basis]. – Novocherkassk, 1978. – 174 p. [in Russian]
12. Kolesnikov V. A. Kornevaja sistema plodovykh i jagodnykh rastenij [Root system of fruit and berry plants] / V. A. Kolesnikov. – Moscow : Kolos, 1974. – 509 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.102.12.018>**ИНТЕНСИВНОСТЬ ТРАНСПИРАЦИИ СОРТООБРАЗЦОВ КОСТРЕЦА БЕЗОСТОГО В УСЛОВИЯХ АЛАСНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ ЛЕНО-АМГИНСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ**

Научная статья

Алексеева В.И.\*

ORCID: 0000-0002-6395-4333,

Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. М.Г. Сафронова, Якутск, Россия

\* Корреспондирующий автор (valu\_7[at]mail.ru)

**Аннотация**

В статье отражены результаты работ по изучению интенсивности транспирации в разные периоды развития у сортообразцов костреца безостого в условиях аласной экосистемы Лено-Амгинского междуречья Центральной Якутии. Основным лимитирующим фактором территории проведения исследований является засуха во время вегетации растений. В результате проведенных исследований выявлено, что сортообразцы костреца безостого имеют в фазе выход в трубку одновершинную кривую, выметывания и цветения - двухвершинную. Максимальное испарение влаги из листьев идет в фазе выхода в трубку (от 1149 мг/г/час до 1231 мг/г/час), значительно меньше в фазе выметывания (от 486 до 640 мг/г/час) и во время цветения отмечается некоторое повышение (от 681 мг/г/час до 951 мг/г/час). Среди изучаемых сортообразцов определены 2 сорта с экономичным расходом влаги и 3 сорта, обладающие интенсивной транспирацией.

**Ключевые слова:** транспирация, оценка, листья, вегетационный период.

**TRANSPIRATION RATE OF THE BROMUS INERMIS VARIETIES IN CONDITIONS OF ALAS ECOSYSTEMS OF THE LENO-AMGINSKY INTERFLUVE IN CENTRAL YAKUTIA**

Research article

Alekseyeva V.I.\*

ORCID: 0000-0002-6395-4333,

M.G. Safronov Yakut Scientific Research Institute of Agriculture (YSRIA), Yakutsk, Russia

\* Corresponding author (valu\_7[at]mail.ru)

**Abstract**

The article illustrates the results of studying the transpiration rate of the *Bromus inermis* varieties at different periods of development in alas ecosystems of the Leno-Amginsky interfluve of the Central Yakutia. The main limiting factor of the research area is the drought during the vegetation period. The study demonstrates that the varieties of *Bromus inermis* have a unimodal curve in the phase of stem extension, and a bimodal curve during the tasseling and flowering stages. The maximum evaporation of moisture from the leaves occurs during the stem extension stage (from 1149 mg / g / h to 1231 mg/g/h), significantly less in the tasseling stage (from 486 to 640 mg/g/h) while during flowering there a slight increase is observed (from 681 mg/g/h to 951 mg/g / h). Among the studied varieties, the research identified 2 varieties with economical consumption of moisture and 3 varieties with intensive transpiration.

**Keywords:** transpiration, assessment, leaves, vegetation period.

**Введение**

Аласы являются одним из уникальных ландшафтов криолитозоны и в Центральной Якутии занимают 23-30% всей площади (4400 км<sup>2</sup>), число которых достигает более 16 тыс. [18]. Глубина аласов зависит от мощности вытаявшего ледового комплекса и возраста его деградации и колеблется от 2 до 30 м. В Лено-Амгинском междуречье Центральной Якутии аласные луга занимают 50 % площади естественных кормовых угодий [8]. Растительность аласов распространена концентрическими поясами вокруг озер и представляет сообщества от прибрежно-водной, влажной, солончаковой, луговой до остепненной и степной [4]. В последнее время, в связи с усилением антропогенного воздействия и изменения климата в функционировании аласных экосистем наблюдается нарушение естественного баланса [6].

Для сохранения сельскохозяйственного производства на аласных экосистемах необходимо применение научно-обоснованных технологий. Рядом ученых, проведены исследования по повышению продуктивности аласных сенокосных [2]; [3]; [16]. Для которого необходимы высокопродуктивные сорта, адаптированные к суровым условиям аласных экосистем. Одним из таких видов многолетних злаковых трав является кострец безостый (*Bromopsis inermis* Leyss.), который характеризуются стабильной урожайностью сена, зимостойкостью, хорошо поедаются всеми видами сельскохозяйственных животных. В естественных группировках он широко распространен во всех частях России от сухих, засушливых степей до севера. Посевные площади этой культуры достигают 2350 тыс. га, в том числе в Западной Сибири – 1824 тыс. га [14]. По питательной ценности и поедаемости животными превосходит все другие злаковые травы. Благодаря своим биологическим особенностям произрастает в самых различных почвенно-климатических условиях, включая районы Крайнего Севера [13]. В природно-климатических условиях Якутии кострец безостый произрастает на опушках долинных лесов, зарослям кустарников, пойменных луга, по берегам рек и ручьев [11].

Селекционной работой с кострцом безостым в Якутии занимались многие исследователи [9], [16], [17]. Якутским НИИСХ созданы 2 сорта костреца безостого Эркээни и Айыстал, которые включены в Государственный реестр сортов селекционных достижений РФ. Эти сорта созданы в условиях поймы среднего течения р. Лена, где климатические и почвенные условия значительно отличается от аласных [12].

Одним из лимитирующих факторов условий аласов является недостаток воздушной и почвенной влаги. Сумма атмосферных осадков в период вегетации растений составляет лишь 110 мм [12]. Их неравномерное распределение в

течение лета, а также периодически наступающие продолжительные летние засухи создают критические условия для роста и развития растений. В связи с этим создание засухоустойчивых сортов многолетних трав является одним из первоочередных задач для селекционеров, и оценка устойчивости растений к засухе имеет особо важное значение.

Транспирация – наиболее важный фактор водного режима растений и прежде всего, зависит от обеспеченности их влагой, питанием, от метеорологических условий, а также от стадии развития самого растения.

Расходование воды растением очень велико. В жаркие летние дни в течение часа через лист растения протекает воды более чем он сам весит [15]. Такое огромное расходование воды связано с мощным развитием листового аппарата растения. Растения при помощи транспирации предохраняют листья от перегрева, способствуя тем самым сохранению нормальной жизнедеятельности растений [5].

Кострец безостый является влаголюбивым, но сравнительно засухоустойчивым из многолетних злаковых трав [1].

Цель исследований: изучение интенсивности транспирации сортообразцов костреца безостого в условиях аласной экосистемы Лено-Амгинского междуречья Центральной Якутии.

### Методы исследования

Исследования проводились на научном стационаре лаборатории селекции и семеноводства многолетних трав Якутского НИИ сельского хозяйства в условиях аласа Бэди Лено-Амгинского междуречья Центральной Якутии в течение 2006-2008 гг.

Алас Бэди является одним из типичных сенокосных аласов Лено-Амгинского междуречья, расположен на Абалахской террасе Центральной Якутии. Площадь аласа более 1000 га, из них для хозяйственной деятельности используется 650 га, примерно 500 га земли находится под сенокосами и пастбищами. По рельефу алас ровный и относится к котловинно-долинному типу, т.е. соединен долинообразными ложбинами и перемычками с другими аласами. На аласе представлены все основные типы почв: остепненные, луговые, заболоченные и болотные.

Опытный участок расположен на аласных ксероморфных солонцах, которые широко распространены на аласных лугах изучаемого региона. Этот тип почвы занимает 47,4% площади основного днища аласа Бэди, что составляет 672,7 га [8].

Микрорельеф опытного участка ровный, имеет небольшой склон с севера на юг, с периферии аласа к центру. Содержание гумуса на глубине 0-20 см очень высокое 8,9% с убыванием вниз по профилю до 1,9% (табл. 1). Обеспеченность нитратным азотом очень высокая 46-48 мг/кг, содержание фосфора очень низкое – 58 мг/кг, калия на глубине 0-20 см очень высокое – 305 мг/кг, 20-40 см высокое – 159 мг/кг. Тип засоленности – слабая, на горизонте 0-20 см сульфатно-хлоридная, 20-40 см гидрокарбонатная. Вечная мерзлота в течение вегетационного периода опускается до 2-2,5 м.

Исследования проведены на научно-полевом стационаре Якутского НИИ сельского хозяйства в условиях термокарстового аласа Бэди, расположенного на аласной экосистеме Лено-Амгинского междуречья Центральной Якутии в 2002-2005 гг.

Алас Бэди расположен на Абалахской террасе Центральной Якутии. Алас ровный, относится к котловинно-долинному типу. Почва опытного участка - аласные ксероморфные солонцы. Микрорельеф ровный, имеет небольшой склон с севера на юг, с периферии аласа к центру. Почва характеризуется очень высоким содержанием гумуса - 8,9% и калия – 305 мг/кг, очень низким фосфора – 58 мг/кг. Тип засоленности – слабая, сульфатно-хлоридная. В течение вегетационного периода вечная мерзлота опускается до 2-2,5 м.

По количеству осадков, выпавших в вегетационном периоде исследуемых лет (2002-2005 гг.), можно разделить на засушливые – 2002, 2004 гг. (ГТК – 0,56...0,55) и влажные – 2003, 2005 г. (ГТК – 0,9...0,99) (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Агроклиматическая характеристика вегетационных периодов за годы проведения исследований (данные Борогонского МП)

Метеорологический показатель	Год				Средняя многолетняя*
	2002	2003	2004	2005	
Число дней с температурой выше 5°C	126	129	132	143	123
10°C	101	84	85	90	95
15°C	73	56	37	54	55
Сумма среднесуточных температур выше 5°C	1875	1807	1646	1852	1673
10°C	1702	1531	1295	1428	1458
15°C	1321	1115	690	1001	950
Дата последнего весеннего заморозка	27.май	18.июн	17.июн	03.июн	13.июн
Дата первого осеннего заморозка	03.сен	22.авг	29.авг	07.сен	03.сен
Сумма осадков при температуре воздуха выше 10°C, мм	94,6	139,3	71,4	141,9	110
ГТК	0,56	0,9	0,55	0,99	0,75

Примечание: \* по Л. Ивановой, 2004 [12]

За годы исследований наблюдается изменение метеорологических условий в период вегетации по сравнению со среднегодовыми данными. По данным таблицы 1, увеличивается сумма среднесуточных температур выше 5°C, которая сопровождается увеличением теплого периода. Так, в вегетационном периоде 2002, 2003 и 2005 гг., по сравнению со среднегодовыми данными, увеличилась сумма среднесуточных температур выше 5 °C на 134-202 °C, число дней этого периода на 3-20 дней.

В 2004 г. во время вегетации растений установилась недостаточная по влаго- и теплообеспеченности погода. Количество дней с суммой активных температур выше 10 °C составил 85 дней, что на 10 дней меньше нормы. При этом сумма температур выше 10 °C – 1295 °C, что на 163 °C меньше среднегодовой нормы.

За годы исследований (2002-2005 гг.) изучены особенности водного режима 13 сортов образцов костреца безостого (*Bromopsis inermis* Leyss.) из коллекции ВИР и других научных учреждений, а также местные дикорастущие образцы. Коллекционные питомники заложены в июле 2002 г. по методике ВИР (1975) ширококормным способом посева. Площадь делянок в коллекционных питомниках 3 м<sup>2</sup>. Посев проведен ширококормным способом (длина 5 м, ширина междурядий 60 см).

Дневной ход транспирации определяли по методике Н. Гусева [5]. С 9 ч. утра через каждые 2 часа с растения срезали листочки и сразу взвешивали, затем через 3 минуты делали повторное взвешивание. Повторность четырехкратная. Для определения интенсивности транспирации от первоначального веса листочка отнимаем вес второго взвешивания, затем умножаем на 1000 мг (1 г сырого веса), умножаем на вес листочка при первом взвешивании, затем умножаем на 60 мин. и делим на 3 мин., получаем сколько испарилось воды на 1 г сырого веса за 1 час. Обработку экспериментальных данных проводили в соответствии с методикой Б. Доспехова (1985) с использованием ПК (Pentium 4) с помощью пакета прикладных программ «SNEDECOR».

### Результаты исследований

Наблюдения за интенсивностью транспирации на растениях сортов образцов костреца безостого по фазам развития растений - выхода в трубку, выметывание и цветения на второй, третий и четвертый годы жизни.

За годы исследований дневной ход транспирации у сортов образцов костреца безостого выражен одно- и двухвершинными кривыми (см. рисунок 1).

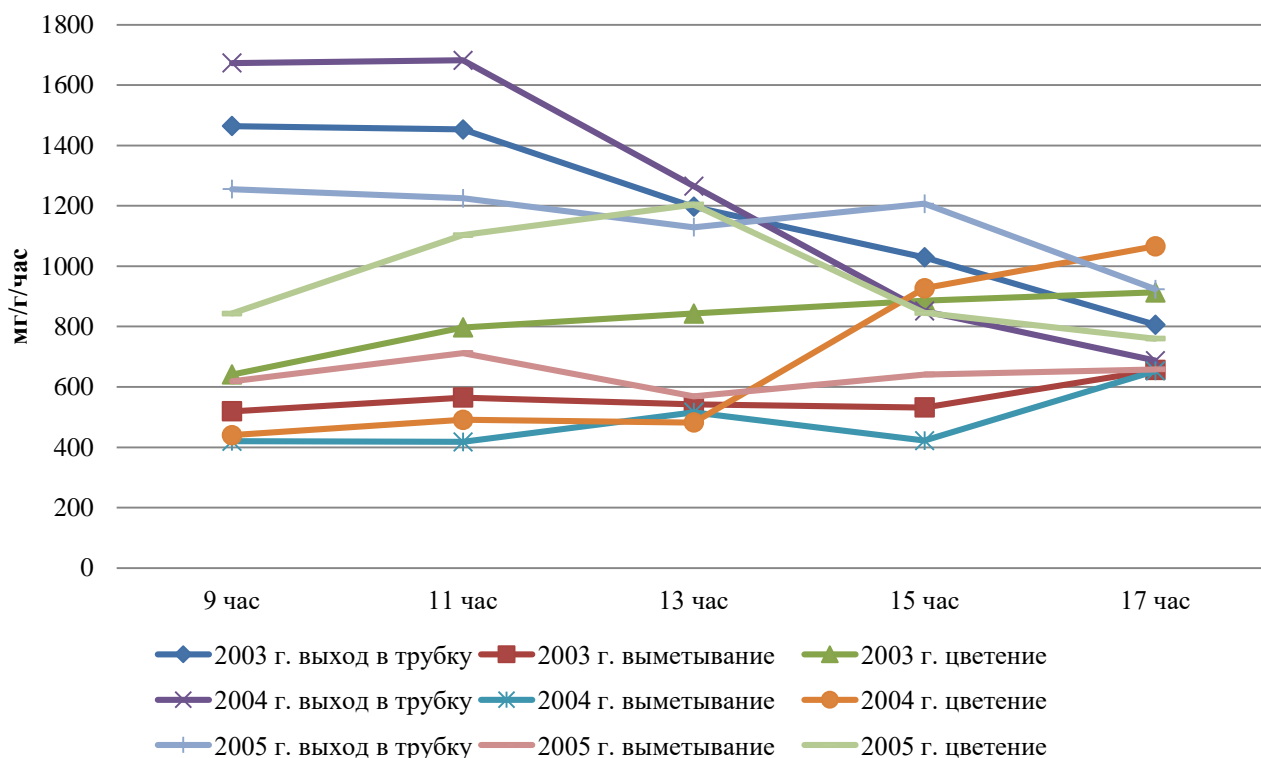


Рис. 1 – Интенсивность транспирации в среднем по сортам образцов костреца безостого в течение дня

Примечание: учет 2003-2005 гг.

В начальной фазе развития (выход в трубку) интенсивность транспирации имеет одновершинную кривую с минимальными показателями в вечернее время, а максимальные в утренние или дневные часы. В неблагоприятном по влагообеспеченности 2004 г. в среднем по сортам образцов наблюдается максимальная среднедневная интенсивность транспирации - 1231 мг/г/час. Минимальная среднедневная интенсивность транспирации (1190 мг/г/час) в фазе выхода в трубку отмечена в 2003 г. когда установилась прохладная и дождливая погода.

В фазе выметывания наблюдается двухвершинная кривая испарения влаги листьями, когда в дневное время идет некоторое повышение, затем в полуденное время отмечается некоторый спад и максимальная интенсивность транспирации идет в вечернее время. В среднем за день по сортам образцов больше всего воды испарилась из листьев в 2005 г. (640 мг/г/час), меньше в засушливом 2004 г. (486 мг/г/час).

Во время цветения растений костреца отмечается одновершинная кривая. В 2003 и 2004 гг. максимальные показатели интенсивности транспирации выявлены в вечернее время, а в 2005 г. когда в этот период установилась

продолжительная засушливая погода максимальное значение зафиксировано в дневное время. Анализ среднесуточной интенсивности в среднем по сортообразцам варьирует от 681 мг/г/час до 951 мг/г/час. Максимальная среднесуточная интенсивность транспирации отмечено в 2005 г. (951 мг/г/час), а минимальная в 2004 г. (681 мг/г/час).

Анализ интенсивности транспирации по фазам развития у костреца безостого показывает, что максимальное испарение влаги из листьев идет в начальной фазе (выход в трубку) и варьирует в среднем за годы исследований от 1149 мг/г/час до 1231 мг/г/час. Значительно меньше идет испарение влаги листьев в фазе выметывания от 486 до 640 мг/г/час. Затем во время цветения отмечается некоторое повышение от 681 мг/г/час до 951 мг/г/час.

Среди сортообразцов костреца безостого наиболее экономно расходующими влагу на транспирацию оказались сорта Антей и Аметист. Среднесуточная интенсивность транспирации в среднем по годам наблюдений в фазе выхода в трубку 841 мг/г/час и 957 мг/г/час, выметывания 472 мг/г/час и 527 мг/г/час, цветения 642 мг/г/час и 729 мг/г/час соответственно (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Интенсивность транспирации у выделенных сортообразцов костреца безостого по фазам развития: среднее за 2003-2005 гг.

Сортообразец	Фаза развития	Интенсивность транспирации, мг/г/час					
		Время наблюдения					Средне дневная
		9 час	11 час	13 час	15 час	17 час	
Камалинский 14, стандарт	выход в трубку	2976	1496	987	1089	735	1456
	выметывание	137	536	994	945	676	657
	цветение	452	763	1177	973	1037	880
Аммачаан	выход в трубку	1364	972	1103	1360	955	1150
	выметывание	662	588	518	415	425	522
	цветение	1127	483	1193	1530	1450	1156
Аметист	выход в трубку	778	865	1407	705	1031	957
	выметывание	591	555	359	786	343	527
	цветение	598	681	1022	644	701	729
Антей	выход в трубку	1003	950	1357	268	607	841
	выметывание	410	236	330	425	960	472
	цветение	620	749	374	645	825	642
Восточно- Казахстанский	выход в трубку	2281	1872	1051	1412	1332	1589
	выметывание	461	950	329	392	939	614
	цветение	511	962	812	748	1155	838
НСР <sub>05</sub>	выход в трубку	1256	1499	126	591	189	487
	колошение	483	549	189	357	246	371
	цветение	295	576	743	412	435	286

Наибольшая интенсивность транспирации в среднем по годам исследований отмечается у сортов Восточно-Казахстанский, Аммачаан и у стандарта Камалинский 14. Так, интенсивность транспирации по фазам развития составила: в фазе выхода в трубку у стандарта Камалинский 14 - 1456 мг/г/час, у сортов Восточно-Казахстанский - 1589 мг/г/час и Аммачаан 1150 мг/г/час; выметывания 657 мг/г/час, 614 мг/г/час, 522 мг/г/час соответственно; цветения 880 мг/г/час, 838 мг/г/час, 1156 мг/г/час соответственно.

#### Заключение

Таким образом, обобщая результаты наблюдений за интенсивностью транспирации костреца безостого, следует отметить, что в условиях аласа Лено-Амгинского междуречья сортообразцы костреца безостого в фазе выхода в трубку имеют одновершинную кривую, выметывания и цветения двухвершинную. Среди испытываемых сортообразцов наиболее экономно расходуют влагу на транспирацию сорта Антей и Аметист. Наиболее интенсивно транспирационный процесс идет у стандарта Камалинский 14, сортов Восточно-Казахстанский и Аммачаан.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Андреев Н.Г. Кострец безостый / Н.Г. Андреев, В.А. Савицкая. — М.: Агропромиздат, 1988. — 184 с.
2. Аржаков В.И. Приемы интенсивного использования аласных лугов Лено-Амгинского междуречья / В.И. Аржаков, Д.М. Свешников, А.Г. Аргунов // Проблемы северного земледелия: селекция, кормопроизводство, экология. Сб. науч. тр. – Новосибирск, 2000. – С. 112-114.



3. Барашкова Н.В. Влияние удобрений на ботанический состав различных пастбищных травосмесей / Н.В. Барашкова, А.В. Кузьмина // Проблемы северного земледелия: селекция, кормопроизводство, экология. Сб. науч. тр. – Новосибирск, 2000. – С. 119-124.
4. Гоголева П.А. Продромус растительности аласов Центральной Якутии / П.А. Гоголева, М.М. Черосов, С.Г. Стручкова, Е.Д. Федорова // Вестник СВФУ. – 2017. – № 1 (57). – С. 11-19.
5. Гусев Н.А. Некоторые методы исследования водного режима растений / Н.А. Гусев. — Казань : Изд-во Казан. ун-та, 1966. — 136 с.
6. Данилов П.П. Особенности и трансформация почвенно-растительного покрова термокарстовых котловин (аласов) северной части Лено-Амгинского междуречья в результате сельскохозяйственного воздействия / П.П. Данилов, Г.Н. Саввинов, В.С. Макаров, Я.Б. Легостаева, С.П. Готовцев, Л.Д. Гаврильева, Г.А. Алексеев // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – №8. – С. 109-112.
7. Денисов Г.В. Реконструкция и охрана аласных лугов Якутии / Г.В. Денисов, В.С. Стрельцова, С.Ф. Нахабцева. – Якутск, 1983. – 192 с.
8. Десяткин Р.В. Почвообразование в термокарстовых котловинах - аласах криолитозоны / Р.В. Десяткин. – Новосибирск : Наука, 2008. – 324 с.
9. Емельянова А.Г. Агробиологическая оценка сортов костреца безостого (*Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub) в условиях криолитозоны Якутии / А.Г. Емельянова, В.И. Алексеева, В.М. Корякина // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2019. – № 6 (372). – С. 8-12.
10. Ефимов З.Г. Основы возделывания костреца безостого на смена в условиях Центральной Якутии / З.Г. Ефимов, А.З. Ефимова, А.И. Слепцова. – Якутск, 2002. – 56 с.
11. Захарова В.И. Разнообразие сосудистых растений Центральной Якутии / В.И. Захарова. – Новосибирск: Наука, 2014. – 180 с.
12. Иванова Л.С. Адаптивно-ландшафтные системы земледелия Лено-Амгинского междуречья / Л.С. Иванова. — Новосибирск, 2004. — 132 с.
13. Кашеваров, Н.И. Исследование особенностей биологических признаков костреца безостого (*Bromopsis inermis* Leyss.) для возделывания в экстремальных условиях / Н.И. Кашеваров, Г.М. Осипова, А.Г. Тюрюков, Н.И. Филиппова // Доклады РАСХН – 2014. – №6. – С. 14-17.
14. Кашеваров Н.И. Новый сорт костреца безостого Флагман / Н.И. Кашеваров, Р.И. Полунина, И.Н. Казаринова, Д.А. Потапова // Вестник Российской сельскохозяйственной науки – 2019. – №1. – С. 17-19.
15. Максимов Н.А. Избранные работы по засухоустойчивости и зимостойкости растений / Н.А. Максимов. — М. : Наука, 1952. — Т. 1. — 575 с.
16. Павлов Н.Е. Интродукция и селекция кормовых трав в Якутии (пырейник сибирский, кострец безостый, ломкоколосник ситниковый) / Н.Е. Павлов, Ф.Г. Томская, Е.П. Софронова. – Якутск, 2006. - 237 с.
17. Платонова А.З. Зимостойкость костреца безостого в условиях Центральной Якутии / А.З. Платонова. // Вестник СВФУ. – 2016. – №4 (54). – С. 37-47.
18. Соловьёв П.А. Криолитозона северной части Лено-Амгинского междуречья / П.А. Соловьёв. — М.: Изд-во АН СССР, 1959. — 144 с.

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Andreev N. G. Kostrec bezostyj [*Bromus inermis*] / N. G. Andreev, V. A. Savitskaya, M.: Agropromizdat, 1988, 184 p. [in Russian]
2. Arzhakov V. I. Priemy intensivnogo ispol'zovaniya alasnykh lugov Leno-Amginskogo mezhdurech'ya [Intensive Use Techniques of Alas Meadows of the Leno-Amginsky Interfluve] / V.I. Arzhakov, D. M. Sveshnikov, A. G. Argunov // Problemy severnogo zemledelija: selekcija, kormoproizvodstvo, jekologija [Problems of Northern Agriculture: Selection, Feed Production, Ecology]. Collection of studies - Novosibirsk, 2000. - pp. 112-114 [in Russian]
3. Barashkova N. V. Vlijanie udobrenij na botanicheskij sostav razlichnykh pastbishnykh travosmesej [Effect of Fertilizers on the Botanical Composition of Various Pasture Hbage Mixtures] / N. V. Barashkova, A. V. Kuzmina // Problemy severnogo zemledelija: selekcija, kormoproizvodstvo, jekologija [Problems of Northern Agriculture: Selection, Feed Production, Ecology]. Collection of studies - Novosibirsk, 2000. - pp. 119-124 [in Russian]
4. Gogoleva P. A. Prodromus rastitel'nosti alasov Central'noj Jakutii [Prodromus of Alas Vegetation in Central Yakutia] / P. A. Gogoleva, M. M. Cherosov, S. G. Struchkova et al. // [Bulletin of the North-Eastern Federal University]. – 2017. – № 1 (57). – pp. 11-19 [in Russian]
5. Gusev N. A. Nekotorye metody issledovanija vodnogo rezhima rastenij [Some of the Methods of Studying the Water Regime of Plants] / N. A. Gusev. - Kazan: Kazan. un-ty publ. house., 1966. - 136 p. [in Russian]
6. Danilov P. P. Osobennosti i transformacija pochvenno-rastitel'nogo pokrova termokarstovykh kotlovin (alasov) severnoj chasti Leno-Amginskogo mezhdurech'ja v rezul'tate sel'skohozjajstvennogo vozdejstvija [Aspects and Transformation of the Soil and Vegetation Cover of Thermokarst Basins (Alasov) the Northern Part of the Leno-Amginsky Interfluve as a Result of Agricultural Impact] / P. P. Danilov, G. N. Savvinov, V. S. Makarov, Ya. b. Legostaeva, S. P. Gotovtsev, L. D. Gavrilyeva, G. A. Alekseyev // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij [International Journal of Applied and Fundamental Research]. - 2013. - No. 8. - pp. 109-112 [in Russian]
7. Denisov G. V. Rekonstrukcija i ohrana alasnykh lugov Jakutii [Reconstruction and Protection of Alas Meadows of Yakutia] / G. V. Denisov, V. S. Streltsova, F. S. Nakhbtev - Yakutsk, 1983. - 192 p. [in Russian]
8. Desyatkin R. V. Pochvoobrazovanie v termokarstovykh kotlovinah - alasah kriolitozony [Soil Formation in Thermokarst Basins-Alas of the Cryolithozone] / R. V. Desyatkin. - Novosibirsk: Nauka, 2008. - 324 p. [in Russian]
9. Emelyanova A. G. Agrobiologicheskaja ocenka sortov kostreca bezostogo (*Bromopsis inermis* (Leyss.) Nolub) v uslovijah kriolitozony Jakutii [Agrobiological Assessment of Varieties of *Bromus inermis* (*Bromopsis inermis* (Leyss.) Nolub) in the Conditions of the Cryolithozone of Yakutia]

in the Conditions of the Cryolithozone of Yakutia / A. G. Emelyanova, V. I. Alekseev, V. M., Koryakina // *Mezhdunarodnyj sel'skohozjajstvennyj zhurnal* [International Agricultural Journal]. – 2019. – № 6 (372). – pp. 8-12 [in Russian]

10. Efimov Z. G. Osnovy vozdeljvanija kostreca bezostogo na smena v uslovijah Central'noj Jakutii [Fundamentals of Cultivation of *Bromus inermis* on the Territory of Central Yakutia] / Z. G. Efimov, A. Z. Efimova, A. I. Sleptsova - Yakutsk, 2002. - 56 p. [in Russian]

11. Zakharova V. I. Raznoobrazie sosudistyh rastenij Central'noj Jakutii [Diversity of Vascular Plants in Central Yakutia] / V. I. Zakharova — Novosibirsk: Nauka, 2014. - 180 p. [in Russian]

12. Ivanova L. S. Adaptivno-landshaftnye sistemy zemledelija Leno-Amginskogo mezhdurech'ja [Adaptive Landscape Farming Systems of the Leno-Amginsky Interfluve]. - Novosibirsk, 2004. - 132 p. [in Russian]

13. Kashevarov, N. I. Issledovanie osobennostej biologicheskikh priznakov kostreca bezostogo (*Bromopsis inermis* Leyss.) dlja vozdeljvanija v jekstremal'nyh uslovijah [Study of the Features of Biological Characteristics of the *Bromus Inermis* (*Bromopsis inermis* leyss.) for Cultivation in Extreme Conditions] / N. I. Kashevarov, G. M. Osipova, A. G. Turusov et al. // *Doklady RASHN* [Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences-2014]. - no. 6. - pp. 14-17 [in Russian]

14. Kashevarov N. I. Novyj sort kostreca bezostogo Flagman [A New Variety of *Bromus inermis*, Flagman] / N. I. Kashevarov, R. I. Paludina, I. N. Kazarinov et al. // *Vestnik Rossijskoj sel'skohozjajstvennoj nauki* [Bulletin of Russian Agricultural Science] -2019, no. 1, pp. 17-19.[in Russian]

15. Maksimov N. A. Izbrannye raboty po zasuhoustojchivosti i zimostojkosti rastenij [Selected Works on Drought Resistance and Winter Hardiness of Plants] / N. A. Maksimov-M.: Nauka, 1952. - Vol. 1. - 575 p. [in Russian]

16. Pavlov N.E. Introdukcija i selekcija kormovyh trav v Jakutii (pyrejnik sibirskij, kostrec bezostyj, lomkokolosnik sitnikovyj) [Introduction and Selection of Forage Grasses in Yakutia (*Elymus Sibiricus*, *Bromus Inermis*, *Psathyrostachys Juncea*)] / Pavlov N.E., Tomskaya F. G., Sofronova E. P.. - Yakutsk, 2006. - 237 p. [in Russian]

17. Platonova A. Z. Zimostojkost' kostreca bezostogo v uslovijah Central'noj Jakutii [Winter hardiness of boneless rump in the conditions of Central Yakutia] / A. Z. Platonova. // *Vestnik SVFU* [Bulletin of the North-Eastern Federal University]. – 2016. – №4 (54). – pp. 37-47 [in Russian]

18. Soloviev, P. A. Kriolitozona severnoj chasti Leno-Amginskogo mezhdurech'ja [Cryolithozone of the Northern Part of Leno-Amginsky Interfluve] / P. A. Soloviev,. — M.: AN SSSR Publishing house, 1959. — 144 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.102.12.019>**ГЕНЕТИЧЕСКАЯ КОЛЛЕКЦИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР  
В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ**

Научная статья

**Охлопкова П.П.<sup>1</sup>, Алексеева В.И.<sup>2,\*</sup>, Габышева Н.С.<sup>3</sup>, Яковлева Н.С.<sup>4</sup>, Неустроев А.Н.<sup>5</sup>, Владимирова Е.С.<sup>6</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0007-5359-6299;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0002-6395-4333;<sup>3</sup> ORCID: 0000-0003-3307-4156;<sup>4</sup> ORCID: 0000-0001-7875-9728;<sup>5</sup> ORCID: 0000-0002-8527-0178;<sup>6</sup> ORCID: 0000-0002-4678-5371;<sup>1, 2, 3, 4, 5, 6</sup> Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. М.Г. Сафронова, Якутск, Россия

\* Корреспондирующий автор (valu\_7[at]mail.ru)

**Аннотация**

В статье приведены результаты изучения генетической коллекции картофеля, мягкой яровой пшеницы, гороха посевного, смородины черной в практической селекции Якутского научно-исследовательского института сельского хозяйства им. М.Г. Сафронова. Исследования проведены в природно-климатических условиях Приленского агроландшафта на пойменных участках среднего течения р. Лена. Цель исследований: выделить генетические источники по основным хозяйственно-ценным признакам и свойствам для дальнейшего использования в селекционном процессе по созданию новых сортов картофеля, пшеницы яровой мягкой, гороха посевного и черной смородины. В результате исследований выделены сортообразцы, отвечающие требованиям селекционной работы для создания новых сортов, адаптированных к природно-климатическим условиям криолитозоны. Выделены по основным хозяйственно-ценным признакам из 75 сортообразцов картофеля 17, 247 мягкой яровой пшеницы – 9, 46 черной смородины – 20, 17 гороха посевного – 6.

**Ключевые слова:** селекция, урожайность, сорт, адаптивность.**GENETIC COLLECTION OF AGRICULTURAL CROPS IN CENTRAL YAKUTIA**

Research article

**Okhlopko P.P.<sup>1</sup>, Alekseeva V.I.<sup>2,\*</sup>, Gabysheva N.S.<sup>3</sup>, Yakovleva N.S.<sup>4</sup>, Neustroev A.N.<sup>5</sup>, Vladimirova E.S.<sup>6</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0007-5359-6299;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0002-6395-4333;<sup>3</sup> ORCID: 0000-0003-3307-4156;<sup>4</sup> ORCID: 0000-0001-7875-9728;<sup>5</sup> ORCID: 0000-0002-8527-0178;<sup>6</sup> ORCID: 0000-0002-4678-5371;<sup>1, 2, 3, 4, 5, 6</sup> M.G. Safronov Yakut Scientific Research Institute of Agriculture (YSRIA), Yakutsk, Russia

\* Corresponding author (valu\_7[at]mail.ru)

**Abstract**

The article presents the results of the study of the genetic collection of potato, soft spring wheat, green pea, black currant in the practical breeding of the M.G. Safronov Yakut Scientific Research Institute of Agriculture. The research was conducted in the natural and climatic conditions of the Prilensky cultivated land in the floodplain areas of the midstream of the Lena river. The purpose of the study is to identify the genetic sources for the main economically valuable traits and properties for further use in the breeding process to create new varieties of potato, spring wheat, green pea and black currant. The study identified the variety samples that meet the requirements of crop breeding to create new varieties adapted to the natural and climatic conditions of the cryolithozone. Based on the main characteristics of economic value, the study identifies 17 potato varieties out of 75; 9 soft spring wheat varieties out of 247; 20 black currant varieties out of 46; 6 pea varieties out of 17.

**Keywords:** breeding, yield, variety, adaptability.**Введение**

Создание новых сортов сельскохозяйственных культур в условиях изменяющегося климата криолитозоны является актуальной для дальнейшего развития сельского хозяйства в Республике Саха (Якутия). При этом использование генетического разнообразия лучших сортов отечественной и мировой селекции, является одной из составляющих частей селекционного процесса. Как отмечал Н.И. Вавилов [1], в основу селекции положено учение об исходном материале, о происхождении культурных растений и его генетическом изучении. При создании нового сорта, прежде всего, необходимо подобрать, изучить и сформировать исходный коллекционный материал. Только, имея в наличии подходящего для селекции исходного материала, можно надеяться на положительный результат [2].

Нестабильность и непредсказуемость природно-климатических факторов в период вегетации, сложность взаимодействия сорта со средой дает основания на возделывание в каждой конкретной агроклиматической зоне адаптированных сортов местной селекции [3].

В Якутском научно-исследовательском институте сельского хозяйства им. М.Г. Сафронова селекция ведется по основным культурам земледелия: пшеница, овес, ячмень, озимая рожь, злаковые и бобовые кормовые культуры, картофель и ягодные культуры.

Цель работы – выделить генетические источники по основным хозяйственно-ценным признакам и свойствам для дальнейшего использования в селекционном процессе по созданию новых сортов картофеля, пшеницы яровой мягкой, гороха посевного и черной смородины

Работы проведены на научно-полевых стационарах Якутского научно-исследовательского института сельского хозяйства имени М.Г. Сафронова в природно-климатических условиях Приленского агроландшафта Центральной Якутии на пойменных участках р. Лена с мерзлотными боровыми неоподзоленными и оподзоленными почвами [4].

### Материалы и методы исследований

Объектом исследований являются 385 сортообразцов сельскохозяйственных культур из мировой коллекции ВИР им. Н.И. Вавилова, гибриды и сорта местной селекции и других научных учреждений. Из них: 75 сортообразцов картофеля (стандартный сорт Вармас), 247 яровой мягкой пшеницы (стандарт - Туймаада), 46 сортообразцов смородины черной (контроль - Якутская), 17 гороха, в сравнении с 3 стандартами Мелкосемянный 2 (листочковый сорт), Светозар (усатый длинностебельный сорт) и Сарыал (усатый короткостебельный). Приведены данные исследований за 2015-2020 гг.

Изучение исходного материала картофеля проведено по методикам ВИР и ВНИИКС [5], [6], зерновых культур Госкомиссии по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур и ВИР им. Н.И. Вавилова [7], [8]. Коллекция смородины черной согласно методикам ВНИИ садоводства им. И.В. Мичурина и ВНИИ селекции плодовых культур [9], [10], гороха посевного изучена по общепринятым методикам ВИР [11], [12].

Биохимический анализ растительных проб проведен в лаборатории биохимии ЯНИИКС на NIRSCANNERmodel 4250. Обработка экспериментальных данных в соответствии с методикой Б. Доспехова [13] с использованием ПК (Pentium 4) с помощью пакета прикладных программ «SNEDECOR» разработки О. Сорокина (СИБНИИКСМ).

### Результаты и обсуждение

По картофелю изучен исходный материал отечественной и зарубежной селекции из мировой коллекции ВИР. Все испытываемые 75 сортообразцов относятся к группе раннеспелых. Одним из основных требований, предъявляемых к сортам картофеля при выращивании их в условиях Якутии, является скороспелость. За годы наблюдений в условиях Приленского агроландшафта по этому признаку выделены 18 сортообразцов, в том числе стандартный сорт Вармас, у которых вегетационный период колеблется в пределах 55-80 дней (см. табл. 1).

Таблица 1 – Характеристика лучших сортообразцов картофеля в коллекционном питомнике (среднее за 2017 – 2019 гг.)

Сорт	Вегетационный период, день	Число стеблей, шт./раст.	Высота растений, см	Число клубней, шт./куст	Урожайность, т/га	Товарность, %
Вармас, стандарт	72	4,8	55,9	6,7	14,8	89
Крепыш	58	4,7	46,2	6,3	15,6	91
Красавчик	56	4,6	56,7	6,4	17,6	82
Колобок	59	6,9	58,0	11,4	25,6	91
Фрителла	58	4,9	52,0	7,3	22,2	91
Жуковский ранний	58	4,5	50,5	8,0	23,2	95
Каменский	58	7,5	51,8	8,2	24,2	79
Лазарь	57	4,5	61,2	6,9	16,8	76
Табор	60	4,0	44,4	6,6	10,4	88
Василек	59	5,4	63,8	11,9	24,2	87
Лиля	60	6,3	58,2	6,5	22,4	95
Латона	67	5,1	55,6	7,8	20,0	95
Метеор	70	4,1	53,2	6,0	13,6	94
Романс	70	4,4	48,4	5,4	13,6	88
Любава	58	4,0	50,6	6,6	16,0	85
Адретта	68	6,9	46,4	6,1	12,8	78
Надежда	72	4,2	54,8	6,4	14,4	89
Галактика	72	7,6	60,6	11,3	20,0	80
НСР <sub>0,5</sub>					2,5	

В условиях орошения выделенные сорта формируют достаточно мощную ботву, способную противостоять засухе. К многоклубневым сортам, формирующим 10 и более клубней на растение, относятся: Колобок, Галактика и Василек. При уборке все сорта накапливают достаточно высокий хозяйственный урожай с товарными клубнями до 79-95%. Особенно выделены 6 сортов: Фрителла, Лиля, Жуковский ранний, Василек, Каменский, Колобок (см. табл. 1).

По биохимическому составу потребительских качеств клубней, выделенные сорта близки друг к другу. Содержание сухих веществ составляет 17,4 – 20%. Наибольшее содержание крахмала у сортов Адретта (14,4%) и Колобок (14,5%).

По содержанию витамина С выделены 6 сортов: Каменский (12,7 мг/%), Адретта (13,1 мг/%), Метеор (13,1 мг/%), Крепыш (15,1 мг/%), Красавчик (15,6 мг/%) и Колобок (16,2 мг/%). Содержание нитратов в пределах нормы. Вкусовые качества клубней удовлетворительные и хорошие. Высокий балл (5 балл) у сортов Любава и Адретта.

Пшеница остается одной из важнейших зерновых культур в нашей стране и в мире [14], [15]. Главной задачей селекции яровой мягкой пшеницы в условиях Якутии является создание современного, ультраскороспелого, высокопродуктивного, устойчивого к полеганию, к болезням, а также отличающегося устойчивостью к неблагоприятным факторам внешней среды сорта. Соединить в одном сорте все эти положительные качества очень сложно. Успех селекции во многом обеспечивается наличием разнообразного исходного материала [16].

В питомнике исходного материала мягкой яровой пшеницы за годы исследований (2017-2019 гг.) проведено изучение 247 инорайонных сортообразцов из мировой коллекции ВИГРР. Посев питомников проводился в III декаде мая. Всходы отмечены в начале июня.

Как указывают многие ученые, для получения высокой и стабильной урожайности яровой пшеницы с хорошими технологическими качествами необходимо, чтобы сорта соответствовали по продолжительности вегетационного периода местным природным условиям [17].

Вегетационные периоды за годы исследований отличались, и ГТК составил в 2017 г. - 1,0, 2018 - 0,8 2019 - 1,2. Вегетационный период 2018 г. был наиболее засушливым. Рост и развитие растений пшеницы в этот год сопровождался дефицитом влаги из-за отсутствия осадков на фоне повышенной температуры воздуха.

Продолжительность вегетационного периода в среднем по сортообразцам в 2017 г. составил 77 дней, 2018 г. 72 - 79 дней, 2019 г. - 77 дней (см. табл. 2). В целом, вегетационный период у образцов яровой пшеницы в среднем составил 74-78 дней, у стандартного сорта Туймаада – 72.

Таблица 2 – Характеристика лучших сортообразцов мягкой яровой пшеницы в коллекционном питомнике (среднее за 2017 – 2019 гг.)

Сортообразец	Происхождение	Высота растений, см	Число зерен, шт.	Урожай зерна с делянки, г	Продуктивная кустистость	Масса 1000 зерен, г	Вегетационный период, дни
Туймаада, стандарт	Якутия	85,1	34	193,7	1,9	45,0	72
Eminent	Германия	54,2	36	338,7	2,2	52,9	74
Амурская 1495	Амурская обл.	64,6	29	411,7	2,2	53,6	77
Надежда Кузбаса	Надежда Кузбаса	62,3	36	353,7	2,5	47,2	78
Remus	Германия	59,2	34	389,7	2,3	46,8	76
Evros	Греция	55,8	24	429,7	2,2	42,3	75
Manu	Финляндия	56,4	28	348,3	2,5	41,0	74
Lona	Швейцария	57,0	25	391,3	2,3	43,9	75
Quarna	Швейцария	46,7	27	316,0	2,4	46,2	76
Artur Nick	Испания	50,3	26	301,0	1,8	43,8	75
Mane Nick	Испания	55,1	34	302,3	2,3	42,4	75

Урожай зерна с делянки в годы исследований менялась в зависимости от погодных условий и в среднем за три года варьировал от 193,7 г до 429,7 г. В 2017 г. ни один исследуемый сортообразец по этому признаку не превысил результат стандартного сорта Туймаада – 220 г/м<sup>2</sup>. Наименьший урожай отмечен у сортов Амурская 1495 и Quarna – 60 г/м<sup>2</sup>. В 2018 г. максимальный урожай зерна сформировали сорта: Evros – 632 г/м<sup>2</sup>, Зауралочка – 654 г/м<sup>2</sup>, Лютесценс 540 – 695 г/м<sup>2</sup>. Минимум по этому признаку принадлежит стандартному сорту Туймаада - 186 г/м<sup>2</sup>. В 2019 г. был благоприятным по влаго- и теплообеспеченности, ГТК составил 1,3. По урожаю зерна с делянки в этом году превысили стандарт все сортообразцы, данный показатель колеблется в пределах от 175,0 г/м<sup>2</sup> (стандартный сорт Туймаада) до 658 г/м<sup>2</sup> (Лютесценс 540). По результатам наших исследований можно в качестве родительской формы на превышение урожая отобрать сортообразцы: Evros, Зауралочка и Лютесценс 540 (см. табл. 2).

Среди исследуемых сортов яровой мягкой пшеницы число зерен в колосе составляла по годам вегетации растений: в 2017 г. от 28 (ст. Туймаада, Lona) до 46 (Надежда Кузбаса) шт., в 2018 г. от 21 (Artur Nick, Evros) до 38 (Лютесценс 540, Зауралочка) шт., в 2019 г. от 21 (Lona) до 38 (Eminent) шт. В среднем за эти годы минимальное значение числа зерен наблюдалось у Evros (26 шт), максимальное – у сорта Надежды Кузбаса (40 шт).

Масса 1000 зерен в 2017 г. у всех сортообразцов была выше, чем у стандарта. Самый высокий показатель по этому признаку принадлежит сорту Алтайская 75. В 2018 г. масса 1000 зерен у изучаемых сортов колеблется в пределах от 30,8 до 60,1 г. В 2019 г. наименьшая величина этого показателя отмечена у сорта Туймаада (32,2 г), а самая высокая – у сорта Сибирская 17 (56,7 г).

Продуктивная кустистость – один из важных показателей густоты продуктивного стеблестоя [18]. Высокой кустистостью за годы исследований отмечены Quarna (2,4), Надежда Кузбаса (2,5) и Manu (2,5).

Как упомянули авторы в своей работе, в засушливые годы и в годы с неблагоприятными условиями в период роста и развития стебля снижается высота растений и показатели продуктивности образцов яровой мягкой пшеницы [19], [20].

В условиях Якутии в годы исследований средняя высота растений варьировала от 46,7 см (Artur Nick) до 85,1 см (Стандарт Туймаада).

В 2017 г. максимальную величину показателя роста имели Лютесценс 575 (64,0 см), Сибирская 17 (66,4 см) и Зауралочка (66,5 см), при стандарте 61,2 см. В 2018 г. по высоте стеблестоя выделены сорта Сигма 2 (66,3 см), Сибирская 17 (67,6 см) и Зауралочка (68,0 см). У стандартного сорта Туймаада – 113,8 см. В 2019 г. высота растений у изученных сортообразцов колеблется от 58,9 см до 80,3 см. Максимальная величина показателя отмечен у стандартного сорта Туймаада.

В условиях Центральной Якутии изучено 46 сортообразцов смородины черной местной, Сибирской, Алтайской и Дальневосточной селекции. За период исследований (2015-2019 гг.) было выявлено, что все фазы роста и развития интродуцированных сортов наступают через 5-16 дней после контрольного сорта Якутская. Окончание листопада наблюдается только у местных сортов и форм смородины черной. Интродуцированные сорта не успевают полностью сбросить листья к концу вегетации (степень листопада 10-95 %).

Побеги у большинства инорайонных сортов смородины черной в зимний период подмерзают выше снегового покрова (см. табл. 3).

Таблица 3 – Биолого-производственные показатели сортообразцов смородины черной, 2015-2019 гг.

Сортообразец	Зимостойкость, балл	Поражение мучнистой росой, балл	Повреждение почковым клещом, балл	Урожайность, т/га
посадка 2001 г., схема посадки 1,5 x 1 м				
Якутская, контроль	0	0,8	0	5,9
Рахиль	1,6	0	0	0,6
Агролесовская	1,9	0	0	0,5
РАП	1,7	0	0	2,0
Калиновка	1,8	0	0	4,7
Алеандр	1,1	0	0	1,0
Г-191-3-81	1,8	0	0	0,4
посадка 2004 г., схема посадки 2,5 x 1,2 м				
Якутская, контроль	0	1,7	0	2,1
Алтайская поздняя	1,2	0,6	0,2	3,9
Лама	1,3	1,8	0	1,7
Ника	1,1	1	1,5	0,9
Гармония	0,9	0,9	1,5	2,4
Подарок Кузиору	0,9	0	1,6	6,4
Ксюша	2,4	0	1	3,2
Шаровидная	1,4	0	0,5	5,4
посадка 2005 г., схема посадки 1,5 x 1 м				
Якутская, контроль	0	0,9	0	6,2
Канахама	1,1	0	0,4	0,7
Г-6-93	1,0	0	0	4,7
Г-21-89	1,1	0	0	1,8
Г-7-93	0,4	0	0	0,7
посадка 2006 г., схема посадки 1,5 x 1 м				
Якутская, контроль	0	0,9	0	6,1
Хара Кыталык	0	0,3	0	6,8
Эркээни	0	0,3	0	0,8
Мюрючана	0	1	0	1,7

Так, средний балл подмерзания побегов сортообразцов селекции НЗПЯОС им. И.В. Мичурина (Рахиль, Агролесовская, РАП, Калиновка, Алеандр, Г-191-3-81), которые на зиму не пригибали, составил от 1,1 до 1,9 баллов. Побеги сортов алтайской селекции 2004 г. посадки подмерзали после пригибания на 0,9-2,0 балла, в отдельные годы степень подмерзания побегов достигала 4 баллов (сорт Ксюша).

Наиболее вредоносным грибным заболеванием черной смородины является американская мучнистая роса *Sphaerotheca mors-uvae* (Schw.) Berk. et Gurt., которая снижает урожайность в годы эпифитотий до 30-50 % [21], [22]. Устойчивость к этому заболеванию показали все сортообразцы селекции НЗПЯОС им. И.В. Мичурина, Ксюша, Подарок Кузиору, Шаровидная, Г-6-93, Г-21-89, Г-7-93, Канахама.

Одним из опасных малоуязвимых вредителей смородины черной – смородинный почковый клещ (*Cecidophyopsis ribis*), который является переносчиком опасного заболевания махровости, или реверсии [23]. При сильной степени повреждения клещом урожайность снижается на 30-60 % [24]. Устойчивы к почковому клещу все сортообразцы НЗПЯОС им. И.В. Мичурина, Лама, Г-6-93, Г-21-89, Г-7-93, Якутская, Хара Кыталык, Эркээни, Мюрючана.

Высокую урожайность в условиях Якутии показали алтайские сорта смородины черной: Подарок Кузиору (6,4 т/га) и Шаровидная (5,4 т/га), превышающие контроль сорт Якутская (2,1 т/га) в 3 и 1,6 раза соответственно.

Таким образом, выделенные источники по устойчивости к мучнистой росе, почковому клещу и высокой продуктивности смородины черной будут использованы нами для дальнейшей селекционной работы по созданию новых адаптированных сортов.

В коллекционном питомнике гороха посевного прошли испытание 17 сортообразцов из коллекции ВИГРР им. Н.И. Вавилова. Отбор генетических ресурсов гороха посевного для дальнейшей селекции проведен по основным элементам

структуры, которые играют важную роль в формировании продуктивности растений — это количество бобов на узле, количество семян на узле и в бобе, количество узлов с бобами, количество бобов на растении и узле и количество семян на растение и в бобе.

По результатам исследований, в среднем, за годы наблюдений по многоплодности на узлах в сравнении со с Сарыал отобраны 6 сортообразцов: Губернатор (7,5 шт./раст.), КМ-2 Кэскил (6,4 шт./раст.), Gousses (6,3 шт./раст.), Шустрик (6,3 шт./раст.), Флагман 5 (6,3 шт./раст.), Омский 9 (6,2 шт./раст.) (см. табл. 4).

Таблица 4 – Элементы структуры урожая гороха посевного в коллекционном питомнике (среднее за 2018-2020 гг.)

Сортообразец	Количество				
	узлов с бобами, шт./раст.	бобов		семян	
		шт./раст.	шт./узел	шт./раст.	шт./боб
Мелкосемянный 2 (st)	8,7	9,2	1,1	52,1	5,7
Светозар (st)	8,4	11,1	1,3	45,4	4,2
Сарыал (st.)	5,5	6,2	1,2	28,1	4,6
Омский 9	6,2	9,3	1,5	42,2	4,6
Казанец	5,3	8,5	1,6	34,6	4,2
Губернатор	7,5	9,2	1,3	47,5	5,2
Батрак	5,1	8,8	1,7	36,6	4,2
Gousses	6,3	10,2	1,7	50,1	4,9
Демон	3,6	6,0	1,7	28,3	4,8
Демос	4,5	8,3	1,8	41,8	5,4
Мадонна	4,5	6,5	1,4	31,7	4,9
Самарец	5,3	7,9	1,5	36,6	4,7
Мультик	4,2	6,3	1,6	26,9	4,3
Ямальский	5,3	8,9	1,7	47,7	5,5
Шустрик	6,3	8,4	1,3	33,8	4,1
Швеция К-8944	4,1	7,0	1,7	32,6	4,8
Флагман 5	6,3	8,8	1,5	44,4	5,0
Флагман 9	4,7	7,4	1,6	43,5	5,9
Флагман 7	5,5	9,0	1,8	38,9	4,4
КМ-2 «Кэскил»	6,4	7,8	1,3	43,6	5,5

Высокое количество семян в бобе является одним из основных признаков продуктивности гороха. По этому признаку отмечен сорт Флагман 9 (5,9 шт./боб), который в среднем за годы изучения имеет в сравнении со всеми стандартами превышение от 0,2 шт./боб до 1,7 шт./боб. Кроме этого, отмечены 4 сорта с превышением от стандартов Светозар и Сарыал: Демос (превышение на 0,8 шт./боб и 1,2 шт./боб), Губернатор (превышение на 0,6 шт./боб и 1,0 шт./боб), Gousses (превышение на 0,3 шт./боб и 0,7 шт./боб), Демон (превышение на 0,5 шт./боб и 0,9 шт./боб) (таблица 4).

За годы наблюдений сорт Gousses отмечен по всем элементам структуры и имеет большое количество бобов на растении (10,2 шт./раст.), что превышает стандарт Сарыал на 4,0 шт./раст., Мелкосемянный на 1,0 шт./раст.

#### Заключение

В результате изучения генетической коллекции картофеля, мягкой яровой пшеницы, черной смородины и гороха посевного выделены лучшие сортообразцы для дальнейшей селекционной работы по созданию новых сортов, устойчивых к биотическим и абиотическим факторам среды, с высокой урожайностью и качеством продукции. Таким образом, использование в селекции генетических коллекций является одним из основных ресурсов для создания новых сортов и гибридов сельскохозяйственных культур.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Вавилов Н.И. Теоретические основы селекции / Н.И. Вавилов. – М.: Наука, 1987. 512 с.
2. Гончаров П.Л. Методика селекции кормовых трав в Сибири / П.Л. Гончаров. – Новосибирск, 2003. – 396 с.
3. Коновалова И.В. Создание исходного материала для селекции мягкой яровой пшеницы в условиях Приморского края / И.В. Коновалова: дис. канд. с.-х. наук, 06.01.05 – селекция и семеноводство, п. Тимирязевский, 2012, 163 с.
4. Система ведения сельского хозяйства Республики Саха (Якутия) на период 2016-2020 годы. – Якутск, Якутский НИИСХ, 2016. — 415 с.

5. Методика исследования по культуре картофеля. – М.: НИИКС, 1967. – 262 с.
6. Методические указания по поддержанию и изучению мировой коллекции картофеля. – Санкт-Петербург, 2010. – С. 21-26.
7. Методика Госкомиссии по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур при Минсельхозе СССР. – М.: Колос, 1972. – 79 с.
8. Методические указания по изучению мировой коллекции ячменя и овса. – Л., 1973.
9. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. – Мичуринск: Изд-во ВНИИ садоводства им. И. В. Мичурина, 1973. – 494 с.
10. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. – Орел: Изд-во ВНИИ селекции плодовых культур, 1999. – 608 с.
11. Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами. — М: РАСХН., 1997. – 136 с.
12. Методические указания по изучению коллекции многолетних кормовых растений. – Л: ВИР им. Н.И. Вавилова, 1979. — 38 с.
13. Методические указания по селекции многолетних трав. – М.: ВНИИК им. В.Р. Вильямса, 1985. — 187 с.
14. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. - М.; Колос, 1979. – 416 с.
15. Филлипс С. Производство зерна пшеницы и применение минеральных удобрений в мире / С. Филлипс, Р. Нортон // Питание растений. – 2012. – №4. – С. 2-5.
16. Волкова Л.В. Исходный материал для селекции сортов яровой мягкой пшеницы в условиях Кировской области / Л.В. Волкова // Вестник НГАУ. – 2016. – №2 (39). – С. 7-16.
17. Панфилова О.С. Исходный материал для селекции яровой мягкой пшеницы на продуктивность в условиях Центрального Нечерноземья / О.С. Панфилова: дисс. канд. с.-х. наук: 06 01 05: защищена: 5.10.10. – М., 2010. – 197 с.
18. Никитина В.И. Зависимость продолжительности вегетационного периода сортов яровой мягкой пшеницы от пункта возделывания / В.И. Никитина // Вестник КрасГАУ. – 2019. – № 5(146). – С. 43-49.
19. Часовских Д.В. Продуктивная кустистость сортов яровой мягкой пшеницы на различных агрохимических фонах в условиях Алтайского Приобья / Д.В. Часовских // Вестник АГАУ. – 2016. – №3 (137). – С. 9-13.
20. Таранова Т.Ю. Оценка коллекционных образцов яровой мягкой пшеницы на короткостебельность и устойчивость к полеганию / Т.Ю. Таранова, А.И. Кинчаров, Е.А. Дёмина, О.С. Муллаянова // Успехи современного естествознания. – 2020. – № 4. – С. 48-53.
21. Габышева Н.С. Генофонд RIBESNIGRUM L. по устойчивости к болезням и вредителям в условиях Якутии / Н.С. Габышева, А.В. Протопопова, В.Н. Сорокопудов // Успехи современной науки. – 2017. – Т. 1. – № 9. – С. 174-180.
22. Протопопова А.В. Фитосанитарное состояние черной смородины в условиях Центральной Якутии / А.В. Протопопова, Н.С. Габышева, У.К. Эверстова, В.Н. Сорокопудов // Научные ведомости Белгородского государственного университета. – 2012. – №21-1 (140). – С. 49-51.
23. Шавыркина М.А. Молекулярно-генетические методы отбора устойчивых к почковому клещу (*Cecidophyopsis ribis*) генотипов смородины черной / М.А. Шавыркина, С.Д. Князев, А.В. Пикунцова // Современное садоводство. – 2015. – № 4 (16). – С. 31-35.
24. Степанова Н.А. Особенности развития и вредоносности почкового клеща на смородине черной / Н.А. Степанова // Вестник аграрной науки. – 2018. – № 3 (72). – С. 139-144.

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Vavilov N. I. Teoreticheskie osnovy selekcii [Theoretical Bases of Breeding] / N. I. Vavilov - M.: Nauka, 1987. 512 p. [in Russian]
2. Goncharov P. L. Metodika selekcii kormovykh trav v Sibiri [Methods of Breeding Forage Grasses in Siberia] / P. L. Goncharov. - Novosibirsk, 2003. - 396 p. [in Russian]
3. Konovalova I. V. Sozdanie ishodnogo materiala dlja selekcii mjagkoj jarovoj pshenicy v uslovijah Primorskogo kraja [Creating a Source Material for Breeding Soft Spring Wheat in the Primorye Territory]: Extended abstract of candidate's thesis, 06.01.05/ I. V. Konovalova — Selective Breeding and Seed Production, Timiryazevsky, 2012, 163 p. [in Russian]
4. Sistema vedenija sel'skogo hozjajstva Respubliki Saha (Jakutija) na period 2016-2020 gody [System of Agriculture of the Republic of Sakha (Yakutia) for the Period From 2016 to 2020]. – Yakutsk, M.G. Safronov Yakut Scientific Research Institute of Agriculture, 2016. — 415 p. [in Russian]
5. Metodika issledovanija po kul'ture kartofelja [Methods of Research on Potato Culture]. - M.: M.G. Safronov Yakut Scientific Research Institute of Agriculture, 1967. - 262 p. [in Russian]
6. Metodicheskie ukazanija po podderzhaniju i izucheniju mirovoj kolekcii kartofelja [Guidelines for Maintaining and Studying the World's Potato Collection]. - Saint Petersburg, 2010. - pp. 21-26 [in Russian]
7. Metodika Goskomissii po sortoispytaniu sel'skohozjajstvennykh kul'tur pri Minsel'hoze SSSR [Methods of the State Commission for Variety Testing of Agricultural Crops Under the Ministry of Agriculture of the USSR]. - M.: Kolos, 1972. - 79 p. [in Russian]
8. Metodicheskie ukazanija po izucheniju mirovoj kolekcii jachmenja i ovsa [Methodological Guidelines for the Study of the World Collection of Barley and Oats]. - L., 1973. [in Russian]
9. Programma i metodika sortoizuchenija plodovykh, jagodnykh i orehoplodnykh kul'tur [Program and Methods of Variety Study of Fruit, Berry and Nut Crops]. - Michurinsk: Publishing House of the I. V. Michurin All-Russian Research Institute of Russian , 1973. - 494 p. [in Russian]
10. Programma i metodika sortoizuchenija plodovykh, jagodnykh i orehoplodnykh kul'tur [Program and Method of Variety Study of Fruit, Berry and Nut Crops]. - Oryol: Publishing House of the Research Institute of Fruit Crop Selection, 1999. - 608 p. [in Russian]
11. Metodicheskie ukazanija po provedeniju polevykh opytov s kormovymi kul'turami [Guidelines for Conducting Field Experiments on Forage Crops]. — M: Russian Academy of Agricultural Sciences., 1997. – 136 p. [in Russian]



12. Metodicheskie ukazaniya po izucheniju kollekcii mnogoletnih kormovyh rastenij [Methodological Guidelines for the Study of the Collection of Perennial Forage Plants]. - L.: N. I. Vavilov All-Russian Genetic Resources Institute Vavilova, 1979. - 38 p. [in Russian]
13. Metodicheskie ukazaniya po selekcii mnogoletnih trav [Methodological Guidelines for the Selection of Perennial Herbs]. - Moscow: All-Russian Williams Fodder Research Institute, 1985. - 187 p. [in Russian]
14. Dospekhov, B. A. Metodika polevogo opyta [Methods of Field Experience] / B. A. Dospekhov. - M.; Kolos, 1979 - 416 p. [in Russian]
15. Phillips S. Proizvodstvo zerna pshenicy i primeneniye mineral'nykh udobreniy v mire [Production of Wheat Grain and Application of Mineral Fertilizers in the World] / S. Phillips, R. Norton // Pitaniye rasteniy [Plant Nutrition]. - 2012. - no. 4. - pp. 2-5 [in Russian]
16. Volkova L. V. Ishodnyy material dlja selekcii sortov jarovoj m'agkoj pshenicy v usloviyakh Kirovskoy oblasti [Source Material for Selection of Spring Soft Wheat Varieties in Kirov Oblast] / L. V. Volkova // Vestnik NGAU [Bulletin of the Novosibirsk State Agricultural University]. - 2016. - №2 (39). - pp. 7-16 [in Russian]
17. Panfilova O. S. Ishodnyy material dlja selekcii jarovoj m'agkoj pshenicy na produktivnost' v usloviyakh Central'nogo Nechernozem'ya: diss. kand. s.-h. nauk [Source Material for Selection of Spring Soft Wheat for Productivity in the Conditions of the Central Non-Chernozem Region]: Extended abstract of candidate's thesis: 06 01 05: defense of the thesis: 5.10.10/ O. S. Panfilova - M., 2010. - 197 p. [in Russian]
18. Nikitina V. I. Zavisimost' prodolzhitel'nosti vegetacionnogo perioda sortov jarovoj m'agkoj pshenicy ot punkta vozdeystviya [Relation of the Duration of the Growing Season of Spring Soft Wheat Varieties to the Location of Cultivation] / V. I. Nikitina // Vestnik KrasGAU [The Bulletin of KrasGAU]. - 2019. - № 5(146). - pp. 43-49 [in Russian]
19. Chasovskikh, D. V. Produktivnaya kustistost' sortov jarovoj m'agkoj pshenicy na razlichnykh agrokhimicheskikh fonah v usloviyakh Altajskogo Priob'ya [Productive Bushiness of Spring Soft Wheat Varieties on Various Agrochemical Backgrounds in the Conditions of Priobye, Altai Krai] / D. V. Chasovskikh // Vestnik of ASAU [Bulletin of Altai State Agricultural University]. - 2016. - №3 (137). - pp. 9-13 [in Russian]
20. Taranova T. Yu. Ocenka kollekcionnykh obrazcov jarovoj m'agkoj pshenicy na korotkostebel'nost' i ustojchivost' k poleganiju [Evaluation of Collection Samples of Spring Soft Wheat for Short-Stalk and Lodging Resistance] / T. Yu. Taranov, A. I. Kincharov, E. A. Demina et al. // Uspehi sovremennogo estestvoznaniya [Successes of Modern Natural Science]. - 2020. - No. 4. - pp. 48-53 [in Russian]
21. Gabysheva N. S. Genofond RIBESNIGRUM. po ustojchivosti k boleznyam i vreditel'jam v usloviyakh Jakutii [The RIBESNIGRUM Gene Pool On Resistance to Diseases and Pests in Yakutia] / N. S. Gabysheva, A.V. Protopopova, V. N. Sorokopudov // Uspehi sovremennoj nauki [Advances in Modern Science]. - 2017. - Vol. 1. - No. 9. - pp. 174-180 [in Russian]
22. Protopopova A.V. Fitosanitarnoe sostojanie chernoj smorodiny v usloviyakh Central'noj Jakutii [The Phytosanitary Condition of Black Currant in the Conditions of Central Yakutia] / V. A. Protopopova, N. S. Gabysheva, U. K. Everstova et al. // Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta [Scientific Bulletin of the Belgorod State University]. - 2012. - №21-1 (140). - pp. 49-51 [in Russian]
23. Shvyrkina M. A. Molekulyarno-geneticheskie metody otbora ustojchivykh k pochkovomu kleshhu (Cecidophyopsis ribis) genotipov smorodiny chernoj [Molecular Genetic Methods for Selection of Black Currant Genotypes Resistant to the Blackcurrant Gall Mite (Cecidophyopsis Ribis)] Shvyrkina, S. D. Knyazev, A. V. Pikunova // Sovremennoe sadovodstvo [Modern Gardening]. - 2015.- № 4 (16).- pp. 31-35 [in Russian]
24. Stepanova N. A. Osobennosti razvitiya i vredonostnosti pochkovogo kleshha na smorodine chernoj [Aspects of Development and Harmfulness of the Blackcurrant Gall Mite to Black Currant] / N. A. Stepanova // Vestnik agrarnoj nauki [Bulletin of Agrarian Science]. - 2018.- № 3 (72). - pp. 139-144 [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.102.12.020>**СОЗДАНИЕ ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА СМОРОДИНЫ ЧЕРНОЙ (*R. NIGRUM L.*)  
НА БАЗЕ МЕЖВИДОВЫХ ГИБРИДОВ В ЯКУТИИ**

Научная статья

**Габышева Н.С.\***

ORCID: 0000-0003-3307-4156,

Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. М.Г. Сафронова, Якутск, Россия

\* Корреспондирующий автор (nataligabysheva[at]mail.ru)

**Аннотация**

Цель исследований – создать новый исходный селекционный материал смородины черной методом межвидовых скрещиваний в условиях Якутии. Задачи исследований:

1. Провести гибридизацию алтайских сортов с местными сортами смородины черной;
2. Проанализировать полученные результаты межвидовых скрещиваний смородины черной.

Исследования проводились в 2018-2020 гг. в плодово-ягодном питомнике Якутского научно-исследовательского института сельского хозяйства им. М.Г. Сафронова. Климат региона резко-континентальный. Лето короткое, засушливое. В период проведения опытов погодные условия были благоприятными. Гибридизацию проводили в июне в утренние часы. В гибридизации использовали 10 сортов алтайской и 6 сортов местной селекции. Местные сорта созданы на основе дикорастущих форм *R. dikuscha* Fisch. ex Turcz., *R. pauciflorum* Turcz. ex Pojark. и *R. procumbens* Pall. Проведено 55 комбинаций скрещивания. Большинство комбинаций скрещивания смородины черной (76,2 %) имели процент завязываемости ягод более 50, что подтверждает перспективность селекционной работы на базе межвидовых гибридов. Процент гибридных ягод при опылении сортами местной селекции в качестве отцовских форм составил 52,4-69,8. При опылении сортов Геркулес, Наташа и Подарок Кузиору завязываемость ягод была высокой (76,7-80,5 %). Сорт Люция показал себя как лучший опылитель для сортов Подарок Кузиору, Геркулес, Ксюша и Ника (85,2-91,9 % завязываемости ягод); Якутская – сортам Ксюша, Геркулес и Шаровидная (83,8-97 %); Хара Кыталык – сортам Наташа, Ксюша и Алтайская поздняя (83,8-97 %); Памяти Кындыла – сортам Алтайская поздняя, Гармония и Подарок Кузиору (76,9-89,4 %); Мюрючана – сорту Геркулес (81,5 %); Эркээни – сорту Подарок Кузиору (97,8 %). Высокая семенная продуктивность ягод отмечена в комбинациях скрещивания - Подарок Кузиору × Эркээни, Геркулес × Памяти Кындыла и Ксюша × Якутская (60,6-66,0 шт.). Полученные результаты исследований будут использованы в дальнейшей селекционной работе по созданию новых сортов смородины черной в Якутии.

**Ключевые слова:** смородина черная, сорт, дикорастущие формы, межвидовая гибридизация.

**CREATING SOURCE MATERIAL BLACK CURRANT (*R. NIGRUM L.*) IN YAKUTIA**

Research article

**Gabyшева N.S.\***

ORCID: 0000-0003-3307-4156,

Yakut research Institute of agriculture named After M. G. Safronov, Yakutsk, Russia

\* Corresponding author (nataligabysheva[at]mail.ru)

**Abstract**

The purpose of the research is to create a new source breeding material for black currant by interspecific crosses in Yakutia. Research problem:

1. Conduct hybridization of Altai varieties with local varieties of black currant;
2. Analyze the results of interspecific crosses of black currant.

The article presents the results of work on the creation of a selection material of black currant by the method of interspecific distant crosses in the conditions of Yakutia. The studies were held in the fruit and berry nursery of the Yakutsk Scientific Research Institute of Agriculture named after M.G. Safronov 2018-2020. The climate of the region is sharply continental. Summers are short and dry. The condition of weather was favorable during the period of the experiments. Hybridization was carried in of June in the morning. 10 varieties of Altai and 6 varieties of local selection were used in hybridization. Local varieties are based on the wild forms of *R. dikuscha* Fisch. ex Turcz., *R. pauciflorum* Turcz. ex Pojark. and *R. procumbens* Pall. 55 combinations of crossing were held. Most of the combinations of crossing black currants (76.2%) had a percentage of berry setting of more 50, which confirms the promise of breeding work based on interspecific hybrids. Percent of hybrid berries was 52.4-69.8 when pollinated by varieties of local selection as paternal forms. The berry setting was high (76.7-80.5%) for pollination of the varieties Hercules, Natasha and PodarokKuzioru. Variety Lucia has shown itself as the best pollinator for varieties Podarok Kuzioru, Gercules, Ksyusha and Nika (85.2-91.9% of berry setting); Yakutskaya - varieties Ksyusha, Hercules and Sharovidnaya (83.8-97%); Khara Kytalyk - varieties Natasha, Ksyusha and Altayskaya late (83.8-97%); Pamyati Kyndyla - varieties Altaiskaya pozdnyaya, Harmoniya and Podarok Kuzioru (76.9-89.4%); Muruchana - Gercules variety (81.5%); Erkeni - for the variety Podarok Kuzioru (97.8%). High seed productivity of berries was noted in crossing combinations – Podarok Kuzioru × Erkeeni, Hercules × Pamyati Kyndyla and Ksyusha × Yakutskaya (60.6-66.0 pcs.). The obtained research results will be used in further breeding work to create new varieties of black currant in Yakutia.

**Keywords:** black currant, variety, wild-growing forms, interspecific hybridization.

**Введение**

Республика Саха (Якутия) – самый северный регион России, в котором развивается садоводство. Здесь выращивают в основном ягодные культуры (смородина черная, жимолость, малина, земляника), из плодовых культур – только Сибирскую ягодную яблоню и ранетки [10].

Ведущей ягодной культурой здесь, как самой зимостойкой, урожайной, витаминной и распространенной, является черная смородина.

Селекционеры Якутского НИИСХ создали ряд скороспелых, скороплодных сортов смородины черной на основе дикорастущих форм *R. dikuscha* Fisch. Ex Turcz., *R. pauciflorum* Turcz. Ex Pojark и *R. procumbens* Pall., приспособленных к абиотическим и биотическим условиям Крайнего Севера. Они способны переносить зимой температуру до  $-60^{\circ}\text{C}$  и содержат в ягодах до 200 мг/100 г витамина С [9].

В настоящее время ранее созданные сорта обладают слабой устойчивостью к американской мучнистой росе крыжовника. И одной из важнейших задач селекции - выведение сортов смородины черной устойчивой к этому заболеванию. Кроме того, необходимы современные продуктивные сорта с высокими показателями биохимического состава, вкусовыми качествами ягод и устойчивые для суровых условий Якутии [2], [3].

Поэтому актуальным является селекционная работа по созданию нового исходного материала смородины черной путем усовершенствования ранее выведенных адаптированных сортов методом межвидовых отдаленных скрещиваний с алтайскими сортами.

Отдаленная межвидовая гибридизация - основным методом селекции черной смородины - *R. nigrum*. Вовлечение в гибридизацию с черной смородиной дикорастущих видов, обладающих отдельными выдающимися признаками и свойствами, позволяет обогатить наследственность культурных сортов и значительно расширить границы селекции [7].

В алтайских сортах сконцентрирован ценный генетический материал, поэтому они служат перспективными исходными формами, так как унаследовали высокую зимостойкость, урожайность и крупноплодность отборных форм *R. nigrum ssp. sibiricum* и *R. dikuscha*, высокую устойчивость к мучнистой росе - от скандинавского подвида *R. nigrum scandinavicum* с генами  $M_1$  и  $M_2$  [5].

С помощью отдаленных скрещиваний обеспечивается передача генетического материала, определяющего развитие интересующего признака от одного растения к другому. Последующий отбор позволяет устранять нежелательные признаки, привнесенные в организм тем или иным родителем и оставлять лишь ту часть наследственной информации, которая необходима для конструирования нового генотипа [1].

### Цель, условия и методы исследований

Цель исследований - создать новый исходный селекционный материал смородины черной методом межвидовых скрещиваний в условиях Якутии.

Исследования проводились в 2018-2020 гг. в Центральной Якутии в г. Покровск Хангаласского улуса, в 80 км от столицы г. Якутска в плодово-ягодном питомнике Якутского научно-исследовательского института сельского хозяйства им. М.Г. Сафронова.

Климат Центральной Якутии резко-континентальный, амплитуда колебания температур составляет  $90-103^{\circ}\text{C}$ . Лето короткое, засушливое. Средняя температура июля  $18,3^{\circ}\text{C}$ , максимальная  $38,3^{\circ}\text{C}$ . В летние месяцы возможны заморозки (минус  $3^{\circ}$ ,  $4^{\circ}$ ,  $9^{\circ}\text{C}$ ). По среднемноголетним данным, в г. Покровске за май-сентябрь сумма активных температур составляет  $1432^{\circ}\text{C}$ , сумма осадков - 168 мм, ГТК 1,2 [4].

За 2018-2020 гг. проведено и проанализировано 55 комбинаций скрещивания. В создании исходного материала смородины черной методом межвидовой гибридизации принимали участие 10 сортов селекции НИИСС им. М.А. Лисавенко - Лама, Шаровидная, Гармония, Подарок Кузиору, Наташа, Ника, Ксюша, Геркулес, Черный аист, Алтайская поздняя и 6 сортов селекции ЯНИИСХ им. М.Г. Сафронова - Якутская, Хара Кыталык, Эркээни, Мюрючана, Люция и Памяти Кындыла.

Гибридизацию проводили в первой половине июня в утренние часы. В период проведения опытов погодные условия были благоприятными.

### Результаты исследований и их обсуждение

С целью создания разнообразного генетического материала смородины черной провели межвидовые скрещивания с использованием адаптированных отборных форм видов местных популяций *R. dikuscha* Fisch. Ex Turcz., *R. pauciflorum* Turcz. Ex Pojark. и *R. procumbens* Pall. В качестве отцовских форм. В качестве материнских форм в гибридизации участвовали интродуцированные сорта смородины черной селекции НИИСС им. М.А. Лисавенко (см. таблицу 1, 2).

В результате создания исходного материала методом гибридизации, процент завязывания ягод по гибридным комбинациям распределился следующим образом: менее 30 % имела 1 комбинация скрещивания (или 1,8 % от общего числа комбинаций), от 30 до 50 % - 11 (20,0 %), от 51 до 70 % - 20 (36,4 %), от 71 до 90 % - 18 (32,7 %), более 90 % - 5 комбинаций скрещивания (9,1 %). Выявлено, что большинство комбинаций скрещивания смородины черной (76,2 %) имели средний (51-70), высокий (71-90) и очень высокий процент (более 90) завязываемости ягод, что подтверждает перспективность селекционной работы на базе межвидовых гибридов, имеющих в своем генотипе несколько таксонов смородины. Например, при межвидовых скрещиваниях алтайских и местных сортов получен высокий выход гибридных ягод: Подарок Кузиору  $\times$  Эркээни, Ксюша  $\times$  Якутская, Наташа  $\times$  Хара Кыталык, Подарок Кузиору  $\times$  Люция и Геркулес  $\times$  Люция (90,5-97,8 %).

Некоторые комбинации скрещивания имели низкие показатели завязываемости ягод: Подарок Кузиору  $\times$  Мюрючана (21,2 %), Лама  $\times$  Памяти Кындыла (37,8 %) и Лама  $\times$  Хара Кыталык (18,8 %).

Таблица 1 – Результаты гибридизации смородины черной (2018-2020 гг.)

Отцовская форма	Показатели	Материнская форма										
		Лама	Шаровидная	Гармония	Подарок Кузиору	Наташа	Ника	Ксюша	Геркулес	Черный аист	Алтайская поздняя	ср.
Люция	*	22,4	17,1	22,6	39,7	21,3	59,8	38,1	35,2	18,8	24,5	30,0
	**	50,0	55,7	59,4	91,9	75,0	85,2	87,5	90,5	65,2	76,3	69,8
Якутская	*	21,2	28,5	43,6	48,8	23,6	30,3	60,6	40,7	26,3	27,5	35,1
	**	40,5	83,8	69,1	79,1	74,0	69,5	97,0	85,2	59,6	52,1	69,4
Хара Кыталык	*	34,7	27,5	43,6	55,1	41,0	52,9	28,6	41,7	32,3	36,5	39,4
	**	38,2	64,9	45,7	78,1	61,7	82,9	95,8	75,5	64,9	80,0	68,3
Памяти Кындыла	*	35,9	34,4	48,7	42,8	46,5	41,6	65,2	20,1	25,8	-	40,1
	**	37,8	75,3	78,5	76,9	58,2	50,0	73,9	61,3	89,4	-	67,4
Мюрючана	*	40,9	41,5	45,7	59,1	44,8	43,1	60,5	58,4	30,5	23,9	44,8
	**	63,1	66,7	62,1	21,2	60,6	46,0	58,4	81,5	62,5	52,9	57,4
Эркээни	*	8,7	8,3	39,4	66,0	-	-	48,0	-	-	23,1	30,9
	**	44,4	45,7	40,9	97,8	-	-	53,6	-	-	44,0	52,4

Примечание: \* - среднее число семян в 1 ягоде, шт.; \*\* - % завязавшихся ягод, %

Таблица 2 – Группировка сортов смородины черной по генотипам

Генетическая группа	Сорта
ЕСД	Алтайская поздняя, Лама, Ксюша, Черный аист, Геркулес
ЕСДК	Шаровидная, Подарок Кузиору, Ника, Гармония
КБ	Наташа
ЕСДР	Эркээни, Люция
Р	Хара Кыталык
ДМ	Якутская
ЕМ	Мюрючаана
ЕСДМ	Памяти Кындыла

Примечание: Е – европейский подвид смородины черной; С – сибирский подвид смородины черной; К – скандинавский подвид смородины черной; Б – смородина буроватая; Д – смородина дикуша; Р – смородина малоцветковая; М – смородина моховка, ЕС, ЕСК, КБ, ДМ, ЕМ, ЕСДР, ЕСДМ – различные сочетания генотипов

По результатам перекрестного опыления высокий процент завязываемости ягод смородины черной (более 75%) был получен при участии в гибридизации сортов Геркулес, Наташа и Подарок Кузиору (материнская форма) (см. таблицу 3).

Таблица 3 – Средний выход образования завязей при гибридизации смородины черной (2018-2020 гг.)

Комбинация		% полученных завязей
материнская форма	отцовская форма	
Лама	Я, Х.К, Э, М, Л, П.К.	47,7
Шаровидная		68,5
Гармония		56,7
Подарок Кузиору		76,7
Алтайская поздняя		69,7
Ксюша		70,8
Ника	Я, Х.К, М, Л, П.К.	62,1
Геркулес		80,5
Наташа		77,0
Черный аист	Я, Х.К, Э, Л, П.К	63,0

Примечание: Я – Якутская; Х.К. – Хара Кыталык; Э – Эркээни; М – Мюрючаана; Л – Люция; П.К – Памяти Кындыла

Ниже 50 % завязываемость ягод наблюдалась при опылении сорта Лама (47,7 %).

Как показали исследования, в среднем по годам, выход гибридных ягод при опылении сортами местной селекции в качестве отцовских форм составил более 50 % и варьировал в пределах 52,4 (Эркээни) - 69,8 % (Люция) (см. таблицу 1).

В результате анализа было выявлено, что: сорт Люция - лучший опылитель для сортов Подарок Кузиору (91,9 %), Геркулес (90,5), Ксюша (87,5) и Ника (85,2 %); Якутская – сортам Ксюша, Геркулес и Шаровидная (83,8-97 %); ХараКыталык – сортам Наташа, Ксюша и Алтайская поздняя (83,8-97 %); Памяти Кындыла – сортам Алтайская поздняя, Гармония и Подарок Кузиору (76,9-89,4 %); Мюрючаана – сорту Геркулес (81,5 %); Эркээни – сорту Подарок Кузиору (97,8 %). В этих комбинациях скрещивания наблюдался высокий процент завязавшихся ягод.

Среди местных сортов в качестве опылителей хорошие показатели получены у сортов Люция, Якутская, Хара Кыталык и Памяти Кындыла (67,4-69,8).

Число семян – это видовой признак, но в то же время связанный с сортом опылителем, количеством нанесенной на рыльце пыльцы и погодными условиями. Так, среднее число семян в ягоде смородины малоцветковой, европейского и сибирского подвидов, ключевой насчитывает 20-25 шт., у моховки – 15-17 шт., канадской и черешчатой – 8-10 шт. [6]. По данным Т. П. Огольцовой и Е. П. Куминова [8] количество семян в ягодах черной смородины колеблется от 4 до 53 штук.

Среднее число семян в полученных гибридных ягодах при подсчете составило от 8,3 до 66,0 штук (см. таблицу 1).

Многосемянные ягоды были получены при скрещивании сортов Подарок Кузиору × Эркээни (66,0 шт.), Геркулес × Памяти Кындыла (65,2 шт.) и Ксюша × Якутская (60,6 шт.).

Малосемянность – признак, имеющий значение лишь для десертных сортов, ягоды которых потребляются в свежем виде, замораживаются или идут на варенье. Малое количество семян имели ягоды, полученные в комбинациях скрещивания Шаровидная × Эркээни (8,3 шт.) и Лама × Эркээни (8,7 шт.).

### Заключение

Создание исходного материала на базе межвидовых гибридов, имеющих в своем генотипе несколько таксонов смородины, является перспективным направлением в селекционной работе по смородине черной в Якутии, так как 76,2 % комбинаций скрещивания имели процент завязываемости ягод более 50.

Выход гибридных ягод при опылении сортами местной селекции в качестве отцовских форм варьировал в среднем по годам от 52,4 до 69,8 %.

Выделены комбинации скрещивания с высоким выходом гибридных ягод: Подарок Кузиору × Эркээни, Ксюша × Якутская, Наташа × Хара Кыталык, Подарок Кузиору × Люция и Геркулес × Люция (90,5-97,8 %).

Высокий процент завязываемости ягод смородины черной (более 75%) был получен при участии в гибридизации в качестве материнских форм сортов Геркулес, Наташа и Подарок Кузиору. Лучшие опылители – сорта Люция, Якутская, Хара Кыталык и Памяти Кындыла (67,4-69,8 % завязываемости ягод).

Высокая семенная продуктивность ягод отмечена в комбинациях скрещивания - Подарок Кузиору × Эркээни, Геркулес × Памяти Кындыла и Ксюша × Якутская (60,6-66,0 шт.).

Выделенные сорта и комбинации скрещиваний будут использованы в дальнейшей селекционной работе по созданию новых адаптированных сортов смородины черной в Якутии.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Бученков И.Э. Межвидовая отдаленная гибридизация смородины черной (*Ribes nigrum L.*) и смородины красной (*Ribes rubrum L.*) / И. Э. Бученков, А.Г. Чернецкая, И.В. Рышкель и др. // Вестник Полесского государственного университета. - 2014. - № 2. - С. 48-55.
2. Габышева Н.С. Селекция смородины черной в Якутии / Н.С. Габышева, А.В. Протопопова, В.Н. Сорокопудов // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. - 2017. - № 5. - С. 46-50.
3. Габышева Н.С. Экологические аспекты феноритмики сортов смородины черной в условиях Центральной Якутии / Н.С. Габышева, А.В. Протопопова, В.Н. Сорокопудов // Современное садоводство – Contemporary horticulture. – 2017. - № 3. – С. 26-34. DOI: 10.24411/2218-5275-2017-00012.
4. Гаврилова. М. К. Климат Центральной Якутии / М.К. Гаврилова: монография. – Якутск: Книжное издательство, 1973. - 120 с.
5. Калинина И.П. Вклад ученых НИИСС им. М. А. Лисавенко в селекцию черной смородины / И.П.Калинина, Н.И. Назарюк // Достижения науки и техники АПК. - 2008. - № 7. - С. 6-8.
6. Куминов Е. П. Наследуемость признаков черной смородины [The heritability of the characteristics of black currant] / Е. П. Куминов // Садоводство Восточной Сибири. – Красноярск, 1977. – Т. 2. – С. 25-39.
7. Мелехина А. А. Межвидовые скрещивания смородины / А. А. Мелехина. – Рига: Зинатне, 1974. – 120 с.
8. Огольцова Т. П. Селекция черной смородины / Т. П. Огольцова, Е. П. Куминов // Программа и методика селекции плодовых, ягодных и орехоплодных культур. – Орел: ВНИИСПК, 1995. – С. 314-341.
9. Черткова М.А. Ягодные культуры в Республике Саха (Якутия) / М.А.Черткова, Л.П. Готовцева, А.А.Иванов, В.И. Белевцова, Н.С.Сергеева // Достижения науки и техники в Якутии. - 2006. - № 5. - С. 22-23.
10. Черткова М.А. Изучение интродуцированных сортов черной смородины в условиях Центральной Якутии / М.А.Черткова, Л.П. Готовцева, А.А. Иванов и др. // Достижения науки и техники в Якутии. - 2011. - № 5. - С.49-51.

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Buchenkov I.Je. Mezvidovaja otдалennaja gibrizizacija smorodiny chernoj (*Ribes nigrum L.*) i smorodiny krasnoj (*Ribes rubrum L.*) [Interspecific remote hybridization of black currant (*Ribes nigrum L.*) and red currant (*Ribes rubrum L.*)] / I. Je. Buchenkov, A.G. Cherneckaja, I.V. Ryshkel' and others // Vestnik Poleskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of the Polesie state University]. - 2014. - № 2. - P. 48-55. [in Russian]
2. Gabysheva N.S. Selekcija smorodiny chernoj v Jakutii [Black currant breeding in Yakutia] / N.S. Gabysheva, A.V. Protopopova, V.N. Sorokopudov // Vestnik Rossijskoj sel'skohozjajstvennoj nauki [Bulletin of the Russian agricultural science]. - 2017. - № 5. - P. 46-50. [in Russian]
3. Gabysheva N.S. Jekologicheskie aspekty fenoritmiki sortov smorodiny chernoj v uslovijah Central'noj Jakutii [Environmental aspects of panoramic varieties of black currants in the conditions of Central Yakutia ] / N.S. Gabysheva, A.V. Protopopova, V.N. Sorokopudov // Sovremennoe sadovodstvo – Contemporary horticulture [Modern gardening - Contemporary horticulture]. – 2017. - № 3. – P. 26-34. DOI: 10.24411/2218-5275-2017-00012 [in Russian]
4. Gavrilova. M. K. Klimat Central'noj Jakutii [Climate Of Central Yakutia] / M.K. Gavrilova: monografija. – Jakutsk: Publishing house, 1973.- 120 p. [in Russian]
5. Kalinina I.P. Vklad uchenykh NIIS im. M. A. Lisavenko v selekciju chernoj smorodiny [Contribution of scientists of the Lisavenko research INSTITUTE to black currant breeding] /I.P.Kalinina, N.I. Nazarjuk // Dostizhenija nauki i tehniki APK [Achievements of science and technology in agriculture]. - 2008. - № 7. - P. 6-8. [in Russian]
6. Kuminov E. P. Nasleduemost' priznakov chernoj smorodiny / E. P.Kuminov // Sadovodstvo Vostochnoj Sibiri [Gardening in Eastern Siberia]. – Krasnojarsk, 1977. – Vol. 2. – P. 25-39. [in Russian]
7. Melehina A. A. Mezvidovye skreshhivaniya smorodiny [Interspecific crosses of currants] / A. A. Melehina. – Riga: Zinatne, 1974. – 120 p. [in Russian]
8. Ogo'l'cova T. P. Selekcija chernoj smorodiny [Black currant breeding] // Programma i metodika selekcii plodovyh, jagodnyh i orehoplodnyh kul'tur [Program and method of selection of fruit, berry and nut crops] / T. P. Ogo'l'cova, E. P. Kuminov. – Orel: VNIISPK, 1995. – P. 314-341. [in Russian]
9. Chertkova M.A. Jagodnye kul'tury v Respublike Saha (Jakutija) [Berry crops in the Republic of Sakha (Yakutia)] / M.A.Chertkova, L.P. Gotovceva, A.A. Ivanov and others // Dostizhenija nauki i tehniki v Jakutii [Achievements of science and technology in Yakutia]. - 2006. - № 5. - P. 22-23. [in Russian]
10. Chertkova M.A. Izuchenie introducirovannyh sortov chernoj smorodiny v uslovijah Central'noj Jakutii [The study of introduced black currant varieties under conditions of Central Yakutia] / M.A. Chertkova, L.P. Gotovceva, A.A. Ivanov and others // Dostizhenija nauki i tehniki v Jakutii [Achievements of science and technology in Yakutia]. - 2011. - № 5. - P.49-51. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.102.12.021>**БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО  
ПРИ ОСВОЕНИИ ТЕХНОЛОГИИ NO-TILL**

Научная статья

**Гармашов В.М.<sup>1,\*</sup>, Гармашова Л.В.<sup>2</sup>**<sup>1,2</sup> Воронежский федеральный аграрный научный центр им. В.В. Докучаева, Каменная Степь, Россия

\* Корреспондирующий автор (niish1c[at]mail.ru)

**Аннотация**

Рассмотрена динамика изменения микробиологической активности чернозема обыкновенного при переходе на технологию No-till. Установлено, что при освоении технологии No-till снижение активности ценных в агрономическом отношении групп микроорганизмов в черноземе обыкновенном прослеживается в зависимости от группы микроорганизмов 3-5 лет, после чего при восстановлении почвенных процессов активность и аммонифицирующих и амилотических бактерий при нулевой обработке поднимается до уровня обрабатываемой почвы. Большое влияние на интенсивность микробиологических процессов в почве оказывает и гидротермический коэффициент периода вегетации ( $r = 0,25 - 0,66$ ). Микробиологическая активность в почве залежи протекает с меньшей интенсивностью и более стабильно по годам, чем почв, используемых в сельскохозяйственном производстве.

**Ключевые слова:** чернозем обыкновенный, технология no-till, микробиологическая активность, аммонифицирующие микроорганизмы, амилотические бактерии.

**BIOLOGICAL ACTIVITY OF ORDINARY CHERNOZEM UNDER NO-TILL FARMING**

Research article

**Garmashov V.M.<sup>1,\*</sup>, Garmashova L.V.<sup>2</sup>**<sup>1,2</sup> V. V. Dokuchaev Voronezh Federal Agrarian Research Center, Kamennaya Steppe, Russia

\* Corresponding author (niish1c[at]mail.ru)

**Abstract**

The study analyzes the dynamics of microbial activity alteration of ordinary chernozem when switching to the technology of no-till farming. The research finds that when switching to no-till farming, there can be observed a decrease of essential bacteria activity in relation to bacteria groups of ages 3 to 5, after which, during soil restoration with no-till farming, the ammonifying and amylolytic bacteria activity increases to the level of cultivated soil activity. The hydrothermal coefficient of vegetation ( $r = 0,25 - 0,66$ ) greatly affects the intensity of the soil microbial activity. The microbial activity in the fallow soil is less intense but more consistent throughout the years than that of agricultural soil.

**Keywords:** ordinary chernozem, no-till farming, microbial activity, ammonifying bacteria, amylolytic bacteria.

В последнее время в сельскохозяйственном производстве особенно остро встает вопрос энерго- и ресурсосбережения, поэтому многие сельхозтоваропроизводители переходят на технологии, предусматривающие минимизацию основной обработки почвы, и даже полный отказ от нее (прямой сев). При этом технологии на основе No-till вызывают все больший интерес у науки и практики. Однако применение минимализации обработки почвы и технологии No-till в различных почвенно-климатических условиях зоны распространения черноземов часто приводит к получению противоречивых результатов по отношению как к величине получаемого урожая, так и к показателям почвенных процессов [1], [2], [3].

По одним представлениям, регулярный прямой посев (no-till) по прохождению некоего переходного периода приводит к улучшению почвенных режимов и плодородия почвы [4], [5], [6], по другим, наоборот, – к ухудшению этих показателей с возможными негативными экологическими последствиями, которые трудно будет устранить [7], [8].

Во многих научных работах отмечается отставание теоретических и научных обоснований в этом вопросе от запросов практики, и особенно при систематическом применении прямого сева, что определяет высокую востребованность в таких научных исследованиях [9], [10]. Интенсификация земледелия усиливает актуальность проведения научных исследований в изучении изменения показателей плодородия почвы при переходе на нулевую обработку [11].

Микробный пул почвы является одним из наиболее чувствительных индикаторов, быстро отражающих направленность в изменении плодородия почв и их агроэкологического состояния [12], [13], [14].

**Цель исследований**

Изучить динамику и направленность развития микробиологических процессов в черноземе обыкновенном при систематическом прямом посеве (без обработки почвы).

**Условия, материалы и методы**

Для выявления изменения плодородия чернозема обыкновенного в условиях юго-востока ЦЧР при нулевой обработке почвы в условиях стационарного опыта по изучению влияния различных приемов и систем обработки почвы в севообороте на плодородие чернозема обыкновенного и продуктивность культур зернопропашного севооборота (горох – озимая пшеница – кукуруза на зерно – ячмень – однолетние травы – озимая пшеница – подсолнечник – ячмень) нами была изучена активность развития наиболее распространенных групп микроорганизмов при традиционной обработке почвы вспашке на глубину 20-22 см (контроль), прямом посеве и в почве естественной экосистемы (косая залежь – абсолютный контроль).

Мониторинг изменения микробиологической активности почвы проводился в течение шести лет с 2014 по 2020 год с нарастающим сроком применения нулевой обработки почвы на первом поле стационарного опыта.

Объект исследований – чернозем обыкновенный среднегумусный, среднемощный, тяжелосуглинистый, с благоприятными физико-химическими и агрохимическими характеристиками 30-сантиметрового слоя: гумус (по Тюрину в модификации В.Н. Симакова, ГОСТ 2613-91) – 6,48%, общий азот (по Гинзбург) – 0,36%, общий фосфор (по Гинзбург и Щегловой) – 0,35%, общий калий (по Ожигову) – 1,85%, азот гидролизуемый (по Тюрину и Кононовой) – 61,2 мг/кг почвы, сумма поглощенных оснований (ГОСТ 27821-88) – 66,4 мг/кг почвы, рН солевой вытяжки – 6,99, гидролитическая кислотность – 0,57 мг-экв./100 г почвы.

Оценку микробного ценоза почвы проводили в рамках выполнения госзаданий. Для микробиологических анализов отбирали репрезентативные смешанные почвенные образцы с каждого исследуемого объекта из слоя почвы 0-20 см. Анализ проводили на свежих образцах, хранившихся не более 24 часов при температуре 5<sup>0</sup> С. Учет численности изучаемых эколого-трофических групп микробного сообщества определяли классическим методом посева на агаризованные селективные питательные среды различного состава по методике Е.З. Теппер [15]. Численность микроорганизмов-аммонификаторов – деструкторов белка различной природы (посев на мясо-пептонном агаре, МПА), амилотических микроорганизмов – иммобилизаторов легкодоступного углерода, ассимилирующих минеральные формы азота (посев на крахмало-аммиачном агаре, КАА).

Обработку экспериментальных данных осуществляли дисперсионным методом математического анализа (Доспехов, 1985) с использованием программного обеспечения ПК Microsoft Office Excel 2016.

### Результаты исследований и их обсуждение

В рамках настоящего исследования была изучена динамика изменения микробиологической активности почвы по развитию наиболее многочисленных в микробном пуле черноземной почвы групп микроорганизмов аммонификаторов и амилотических бактерий при традиционной и нулевой обработках почвы, и на многолетней косимой залежи (абсолютный контроль) в почвенно-климатических условиях юго-востока ЦЧР.

Аммонифицирующие бактерии, участвуют в трансформации свежего органического вещества, поступающего в почву в виде растительных остатков и отмерших корней растений. Деятельность этой гетеротрофной группы микроорганизмов является определяющей в формировании плодородия черноземной почвы [15].

Амилотические микроорганизмы, ассимилирующие минеральные формы азота, в черноземной почве по количеству в 2-3 раза превосходят микроорганизмы, учитываемые на МПА. Данная группа микроорганизмов для построения собственных клеток использует минеральные формы азота и активно участвует в трансформации органических соединений растительного происхождения. Преобладание этой группы микроорганизмов, обладающих активным комплексом протеолитических ферментов, свидетельствует об интенсивно протекающих в такой почве процессах минерализации [16].

Анализ результатов исследований показал, что микробиологическая активность почвы зависела от гидротермических условий вегетационного периода, способа обработки почвы и высеваемой культуры (рис. 1, 2). Коэффициент корреляции между гидротермическим коэффициентом периода вегетации и активностью микроорганизмов, усваивающих органические формы азота в агрогенной почве равен  $r = 0,36 - 0,37$ , микроорганизмами, усваивающими минеральные формы азота зависимость слабее  $r = 0,25 - 0,66$ .

Активность этих групп микроорганизмов в почве естественной экосистемы (120 летней косимой залежи) имела менее значимую корреляционную зависимость от гидротермических условий вегетационного периода  $r = 0,14 - 0,11$ , по-видимому, более равномерное поступление растительных остатков степного разнотравья и имеющийся мульчирующий слой из дернины на поверхности почвы нивелирует изменение влажностно-температурного режима в течение вегетационного периода и «смягчает» влияние погодных условий. Интенсивность развития рассматриваемых эколого-трофических групп микроорганизмов на залежи была наименьшей с минимальным коэффициентом вариации значений (14%).



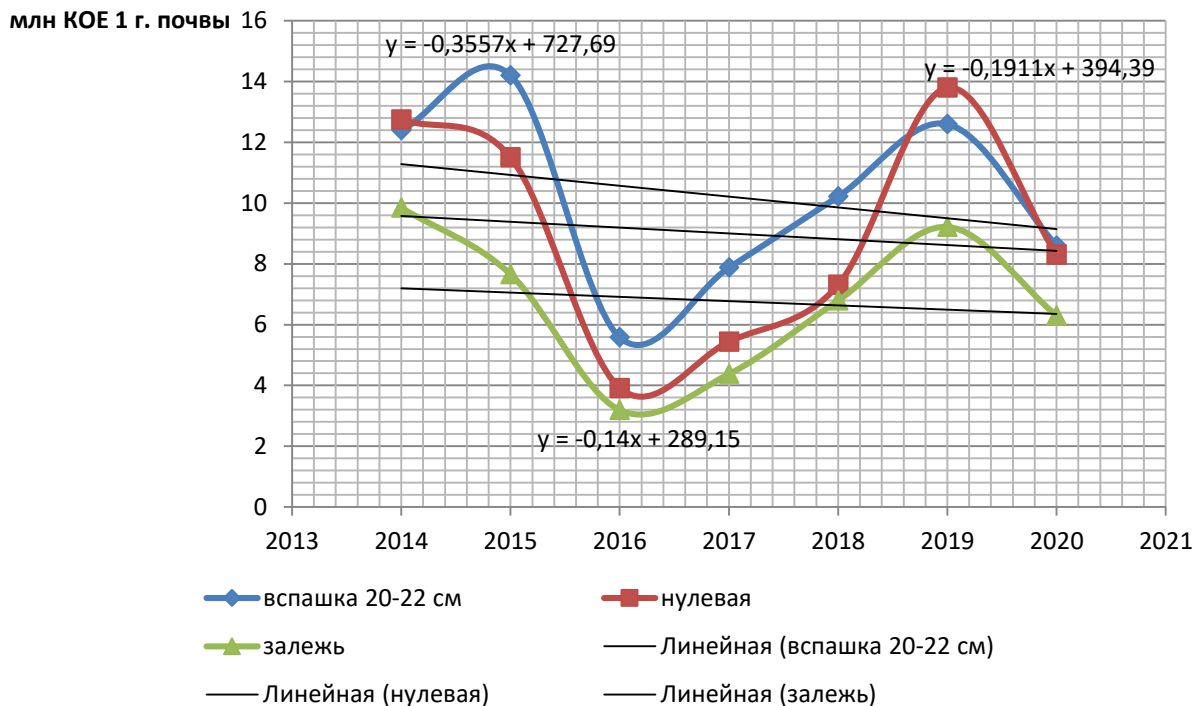


Рис. 1 – Развитие аммонифицирующих микроорганизмов, усваивающих органические формы азота, развивающихся на МПА

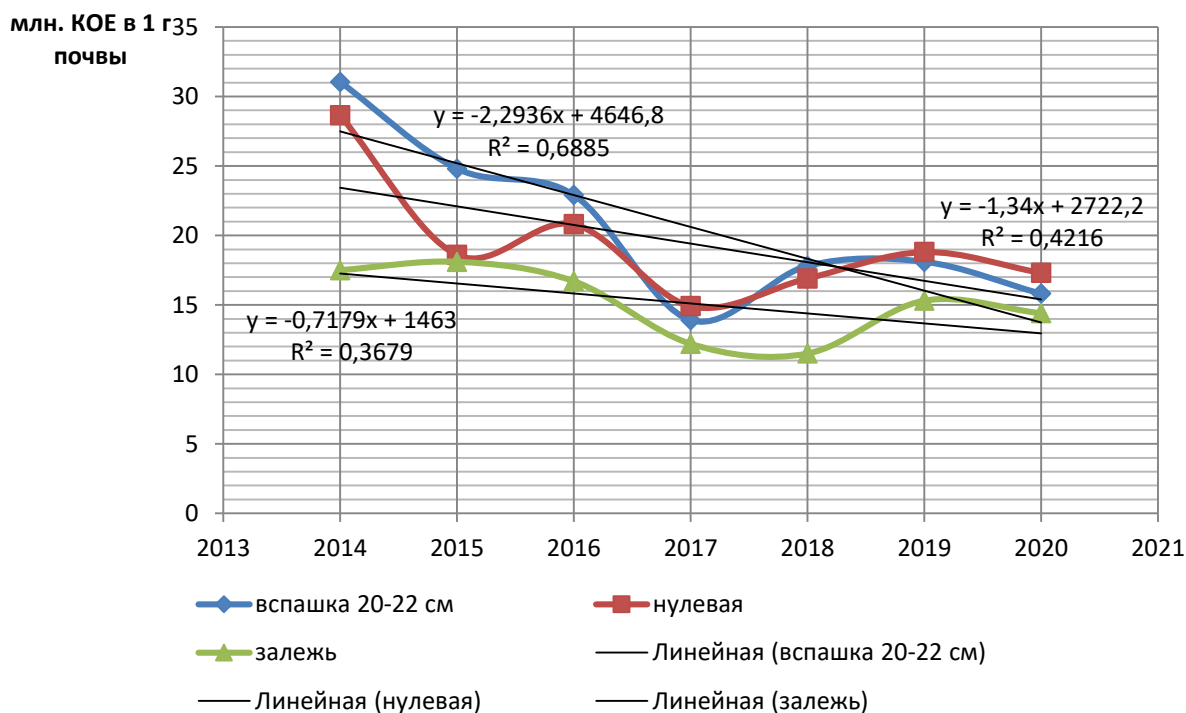


Рис.2 – Развитие микроорганизмов, усваивающих минеральные формы азота, развивающихся на КАА

Рассматривая изменение микробиологической активности почвы во времени, необходимо отметить, что в начале освоения систематического прямого посева, не считая первый год внедрения в последующие четыре года, микробиологическая активность в слое почвы 0-20 см была ниже, чем в ежегодно обрабатываемой почве (вспашке на глубину 20-22 см), особенно это прослеживается по группе микроорганизмов, усваивающих органические формы азота (развивающихся на МПА), что связано с меньшим поступлением в 0-20 см слой почвы свежего органического вещества растительных остатков, которые поступают в почву при проведении вспашки запахивании растительных остатков, остающихся после уборки на поверхности почвы, что не происходит при отказе от обработки почвы.

Если в первый год внедрения прямого посева различий в развитии этой группы микроорганизмов практически не было, то во второй год прямого посева их численность при прямом посеве снизилась на 19,0%, на третий, четвертый и пятый была ниже на 31-28,5%, на шестой и седьмой годы их численность уже была на уровне обрабатываемой почвы (рис. 1). То есть с увеличением продолжительности использования прямого посева различия в активности аммонифицирующих бактерий между традиционной обработкой почвы в севообороте и прямым посевом уменьшаются,

и на шестой год применения активность аммонифицирующих бактерий в черноземе обыкновенном была практически одинакова с интенсивностью их развития при традиционной системе обработки почвы в севообороте.

Анализ развития микроорганизмов, усваивающих минеральные формы азота (рис. 2) свидетельствует, что они меньше изменяют свою активность при переходе на прямой посев и быстрее приходят к уровню активности этой группы микроорганизмов в обрабатываемой почве. В связи с ухудшением физических свойств почвы при освоении нулевой обработки численность амилотических микроорганизмов в первый год нулевой обработки снизилась на 7,7% по сравнению с традиционной обработкой почвы, на второй год – на 25%, на третий год – на 9,2 %, а уже начиная с четвертого года внедрения она стала на уровне интенсивности развития этой группы микроорганизмов как при традиционной системе обработки почвы в севообороте, даже с тенденцией незначительного роста.

В среднем за семь лет исследований максимальная численность аммонифицирующих бактерий в черноземе обыкновенном была при традиционной обработке почвы в севообороте, где количество микроорганизмов, развивающихся на МПА в 1 г абсолютно сухой почвы составило 10,21 млн КОЕ, при нулевой обработке почвы их количество снизилось до 9,00 млн КОЕ или 11,8%. На залежи косимой в 1 г абс. сухой почвы содержалось 6,82 млн. КОЕ меньше, чем в обрабатываемой почве на 3,39 млн КОЕ или на 33,2% и ниже, чем при прямом посеве на 24,2% (на 2,18 млн КОЕ в 1 г абс. сухой почвы).

Аналогичная закономерность была и в изменении амилотических бактерий, усваивающих минеральные формы азота, с несколько меньшими различиями по изучаемым вариантам опыта. Снижение численности этой группы микроорганизмов при нулевой обработке почвы по сравнению с традиционной в среднем за семь лет исследований составило 5,8 %, в почве залежи – 27,1%.

### Заключение

В первый год перехода на технологию No-till снижение микробиологической активности чернозема обыкновенного почвы по сравнению с традиционной обработкой почвы практически не происходит. В дальнейшем снижение микробиологической активности чернозема прослеживается в зависимости от группы микроорганизмов 3-5 лет, после этого при восстановлении почвенных процессов, микробиологическая активность и аммонифицирующих и амилотических бактерий при нулевой обработке поднимается до уровня обрабатываемой почвы. Микробиологическая активность в почве залежи протекает более стабильно по годам и с меньшей интенсивностью, чем почв, используемых в сельскохозяйственном производстве.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Conflict of Interest

None declared.

### Список литературы / References

1. Гармашов В.М. Влияние основной обработки почвы на агрофизические свойства миграционно-мицелярных агрочерноземов / В.М. Гармашов, Ю.И. Чевердин, В.А. Беспалов, В.П. Белобров, А.М. Гребенников, В.А. Исаев // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. – 2017. – № 3. – С.26-29.
2. Дридегер В.К. Динамика изменения агрофизических свойств почвы при возделывании полевых культур по технологии no-till / В.К. Дридегер, В.В. Кулинец, Р.С. Стукалов, Р.Г. Гаджимаров // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2018. – № 5. (73). – С. 35-38.
3. Солодовников А.П. Динамика плотности почвы чернозема южного при минимализации основной обработки / А.П. Солодовников, А.В. Летучий, Д.С. Степанов, Б.З. Шагиев, А.С. Линьков // Земледелие. – 2015. – № 1. – С. 5-7.
4. Гребенников А.М. Микробиологическая активность миграционно-мицелярных агрочерноземов при применении разных способов основной обработки / А.М. Гребенников, В.П. Белобров, О.В. Кутюкова, В.А. Исаев, В.М. Гармашов, Ю.И. Чевердин, В.А. Беспалов / Агрохимия. – 2018. – № 3. – С. 19-25.
5. Кирюшин В.И. Проблемы минимализации обработки почвы: перспективы развития и задачи исследований / В.И. Кирюшин // Земледелие. – 2013. – № 7. – С. 3-6.
6. Дридегер В.К. Методические подходы к изучению систем земледелия без обработки почвы / В.К. Дридегер // Земледелие. – 2014. – № 7. – С. 24-27.
7. Мамбеталин К.Т. Длительность применения нулевой технологии / К.Т. Мамбеталин // Достижения науки и техники АПК. – 2006. – № 5. – С. 30-31.
8. Каличкин В.К. Минимальная обработка почвы в Сибири: проблемы и перспективы / В.К. Каличкин // Земледелие. – 2008. – № 5. – С. 24-27.
9. Дридегер В.К. Особенности проведения научных исследований по минимализации обработки почвы и прямому посеву: методические рекомендации / В.К. Дридегер. – Ставрополь: Сервисшкола, 2020. – 69 с.
10. Кирюшин В.И. Концепция развития земледелия в Нечерноземье. – СПб.: ООО «Квадро», 2020. – 276 с.
11. Кирюшин В.И. Методические рекомендации по разработке минимальных систем обработки почвы и прямого посева / В.И. Кирюшин, В.К. Дридегер, А.Н. Власенко, Н.Г. Власенко, Д.Н. Козлов, С.В. Кирюшин, А.А. Конищев // Почвенный институт имени В.В. Докучаева; Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр. – М.: ООО «Издательство МБА», 2019. – 136 с.
12. Звягинцев, Д.Г. Почва и микроорганизмы / Д.Г. Звягинцев. – М.: МГУ, 1987. – 256 с.
13. Бабьева, И.П. Биология почв / И.П. Бабьева, Г.М. Зенова. – М.: Изд-во МГУ, 1989. – 336 с.
14. Титова В.И. Методы оценки функционирования микробиоценоза почвы, участвующие в трансформации органического вещества / В.И. Титова, А.В. Козлов: науч.-метод. пособие. Н. Новгород: Нижегород. Гос. с.-х. академ., 2012. – 64 с.
15. Теппер Е.З. Практикум по микробиологии: учеб. пособие для вузов / Е.З. Теппер, В.К. Шильникова, Г.И. Переверзева. М. Дрофа, 2004. – 256 с.
16. Аристовская Т.В. Микробиология процессов почвообразования / Т.В. Аристовская. Л.: Наука. 1980. – 187 с.

## Список литературы на английском языке / References in English

1. Garmashov V. M. Vliyanie osnovnoj obrabotki pochvy na agrofizicheskie svojstva migracionno-micel'jarnyhagrochernozev [Influence of primary tillage on agrophysical properties of migration of micel'jarnyhagrochernozev] / V. M. Garmashov, Y. I. Severgin, V. A. Bepalov, V. P. Belobrov, A. M. Grebennikov, and V. A. Isaev // Vestnik Rossijskoj sel'skohoz'jajstvennoj nauki [Bulletin of the Russian agricultural science], 2017, № 3, Pp. 26-29. [in Russian]
2. Dridiger V. K. Dinamika izmenenija agrofizicheskikh svojstv pochvy pri vozdeleyvanii polevykh kul'tur po tehnologii no-til [Dynamics of changes in agrophysical properties of soil when cultivating field crops using no-til technology] / V. K. Dridiger, V. V. Kulintsev, R. S. Stukalov, R. G. Gadzhumarov // Izvestija Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [News of the Orenburg state agrarian University]. – 2018. – № 5. (73). – P. 35-38. [in Russian]
3. Solodovnikov, A. P. Dinamika plotnosti pochvy chernozema juzhnogo pri minimalizacii osnovnoj obrabotki [Dynamics of the density of soil of Chernozem southern at minimizing the basic processing] / A. P. Solodovnikov, A. C. flying D. S. Stepanov, Z. B. Shagiyev, Linkov A. S. // Zemledelie [Agriculture]. – 2015. – № 1. – P. 5-7. [in Russian]
4. Grebennikov, A. M. Mikrobiologicheskaja aktivnost' migracionno-micel'jarnyhagrochernozev pri primenenii raznyh sposobov osnovnoj obrabotki [Microbiological activity of the migration of micel'jarnyhagrochernozev when applying different methods of primary treatment] / A.M. Grebennikov, V.P. Belobrov, A.V. Kutovoi, V.A. Isaev, V.M. Garmashov, Y. I. Severgin, V.A. Bepalov / Agrohimiya [Agrochemistry]. – 2018. – №3. – P. 19-25. [in Russian]
5. Kiryushin V.I. Problemy minimalizacii obrabotki pochvy: perspektivy razvitiya i zadachi issledovanij [Problems of tillage: prospects of development and tasks of the research] / V.I. Kiryushin // Zemledelie [Agriculture]. – 2013. – № 7. – P. 3-6. [in Russian]
6. Dredger V.K. Metodicheskie podhody k izucheniju sistem zemledelija bez obrabotki pochvy [Methodological approaches to study systems of agriculture without soil] / V.K. Didier // Zemledelie [Agriculture]. – 2014. – № 7. – P. 24-27. [in Russian]
7. Mambetalin K.T. Dlitel'nost' primeneniya nulevoj tehnologii [The Duration of application of zero technology] // Dostizheniya nauki i tehniki APK [Achievements of science and technology of the agro-industrial complex], 2006, no. 5, Pp. 30-31. [in Russian]
8. Kalichkin V.K. Minimal'naja obrabotka pochvy v Sibiri: problemy i perspektivy [Minimal tillage in Siberia: problems and prospects] / V.K. Kalichkin // Zemledelie [Agriculture]. – 2008. – № 5. – P. 24.27. [in Russian]
9. Dridiger V.K. Osobennosti provedeniya nauchnyh issledovanij po minimalizacii obrabotki pochvy i prjamomu posevu: metodicheskie rekomendacii [Features of scientific research on minimization of tillage and direct sowing: methodological recommendations] / V.K. Dridiger. – Stavropol: service School, 2020. – 69 p. [in Russian]
10. Kiryushin V.I. Konceptiya razvitiya zemledelija v Nechernozem'e [Concept of development of agriculture in the non-Chernozem region]. – SPb.: LLC "Quadro", 2020. – 276 p. [in Russian]
11. Kirjushin V.I. Metodicheskie rekomendacii po razrabotke minimal'nyh sistem obrabotki pochvy i prjamoego poseva [Methodological recommendations for the development of minimal systems of soil treatment and direct seeding] / V.I. Kiryushin, V.K. Dridiger, A.N. Vlasenko, N.G. Vlasenko, D.N. Kozlov, S.V. Kiryushin, A.A. Konishchev // Pochvennyj institut imeni V.V. Dokuchaeva; Severo-Kavkazskij federal'nyj nauchnyj agrarnyj centr [V.V. Dokuchaev soil Institute; North Caucasus Federal scientific agrarian center], Moscow: IBA Publishing house, 2019, 136 p. [in Russian]
12. Zvyagintsev, D. G. Pochva i mikroorganizmy [Soil and microorganisms] / D. G. Zvyagintsev. – Moscow: MSU, 1987. – 256 p. [in Russian]
13. Babyeva, I.P. Biologiya pochv [Soil Biology] / I.P. Babyeva, G. M. Zenova. – Moscow: MSU publishing House, 1989. – 336 p. [in Russian]
14. Titova V.I. Metody ocenki funkcionirovaniya mikrobocenoza pochvy, uchastvujushhie v transformacii organicheskogo veshhestva [Methods for assessing the functioning of soil microbocenosis involved in the transformation of organic matter] / V.I. Titova, A.V. Kozlov: scientific method. manual. N. Novgorod: Nizhegorod. State agricultural Academy, 2012. 64 p. [in Russian]
15. Tepper E.Z. Praktikum po mikrobiologii [Practical training in Microbiology] / Tepper E.Z., Shil'nikova V.K., Pereverzeva G.I.: textbook. manual for universities. M. Drofa, 2004. 256 p. [in Russian]
16. Aristovskaya T. V Mikrobiologiya processov pochvoobrazovaniya. [Microbiology of soil formation processes] / T.V. Aristovskaja . L.: Nauka. 1980. 187 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.102.12.022>

## СОЗДАНИЕ УСЛОВИЙ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РОСТА И УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Научная статья

Суворова А.В.<sup>1,\*</sup>, Маханова О.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ORCID: 0000-0003-4721-9846;

<sup>2</sup> ORCID: 0000-0002-5383-109X;

<sup>1,2</sup> Бурятская государственная сельскохозяйственная академия им. В.Р.Филиппова, Улан-Удэ, Россия

\* Корреспондирующий автор (anastasiyakar[at]yandex.ru)

### Аннотация

Данная статья освещает проблемы создания условий экономического роста и устойчивого развития сельского хозяйства. Отмечена роль и значение сельского хозяйства в экономической и социальной сферах хозяйствования, влияние сельского хозяйства на развитие многих отраслей промышленности – машиностроение, добычу полезных ископаемых для производства минеральных удобрений, перерабатывающую промышленность. В представленном материале рассмотрен курс на устойчивое развитие сельского хозяйства и сельских территорий, разработана стратегия развития агропромышленного комплекса (АПК), при котором обеспечиваются не только главные потребности населения в продовольствии и активное участие России в международном разделении труда, но и сохраняется окружающая природная среда. Успешная реализация Стратегии развития сельского хозяйства, освещенная в данной статье, предполагает положительные результаты, среди которых – предпосылки к устойчивому росту АПК и сельского хозяйства, существенное сокращение доли нерентабельных предприятий, уменьшение разрывов уровня жизни городского и сельского населения, качественные сдвиги в характере внешнеэкономических связей российского АПК, восстановление материально-технического, кадрового и природно-экологического потенциала аграрного сектора экономики России.

**Ключевые слова:** Сельское хозяйство, устойчивое развитие, многообразие форм собственности, стратегия, отрасль, агропромышленный комплекс, меры поддержки, программа, продукты питания, ресурсы, задача.

## CREATING CONDITIONS FOR ECONOMIC GROWTH AND SUSTAINABLE AGRICULTURAL DEVELOPMENT

Research article

Suvorova A.V.<sup>1,\*</sup>, Makhanova O.V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ORCID: 0000-0003-4721-9846;

<sup>2</sup> ORCID: 0000-0002-5383-109X;

<sup>1,2</sup> V. R. Filippov Buryat State Academy of Agriculture, Ulan-Ude, Russia

\* Corresponding author (anastasiyakar[at]yandex.ru)

### Abstract

The article highlights the problems of creating the conditions for economic growth and sustainable development of agriculture. The study notes the role and importance of agriculture in the economic and social spheres, and the impact of agriculture on the development of many industries such as mechanical engineering, mining for the production of mineral fertilizers, the processing industry. The study examines the course for sustainable development of agriculture and rural areas. The research demonstrates the developed strategy for the agro-industrial complex, which provides not only the basic needs of the population and secures Russia's active participation in the new international division of labor, but also preserves the natural environment. The research predicts positive results of a successful implementation of the proposed agricultural development strategy, including prerequisites for sustainable growth of the agro-industrial complex and agriculture, a significant reduction in the share of unprofitable enterprises, reducing gaps in the standard of living of urban and rural populations, qualitative changes in the nature of foreign economic relations of the Russian agro-industrial complex, restoration of the material, technical, personnel, and environmental potential of the agricultural sector of the Russian economy.

**Keywords:** Agriculture, sustainable development, diversity of ownership forms, strategy, industry, agro-industrial complex, support measures, program, food, resources, task.

### Введение

Наиболее древним занятием человечества является сельское хозяйство. В настоящее время сельское хозяйство является основой существования человечества, обеспечивающая людей пищей и одеждой. Важнейшей является роль сельского хозяйства в социальной сфере, обеспечивающей людей продуктами питания. Следует отметить, что, несмотря на рыболовство и развитие аквакультуры, основная часть продуктов питания производится на суше и именно почвы, то есть сельское хозяйство дает более 90 процентов всего продовольствия (а также других продуктов животноводства и растениеводства).

Многообразны и формы сельского хозяйства – от небольших приусадебных участков до гигантских товарных сельскохозяйственных предприятий. Разнообразие природных условий предопределило развитие производства сотен видов сельскохозяйственной продукции в разных странах мира, со своей агротехникой, сезонностью, сменой сельскохозяйственных культур или особенностями скотоводства.

Трудно найти другую отрасль хозяйства, которая оказывала бы такое широкое и многообразное воздействие на экономику, социальные отношения и состояние окружающей среды.

Использование трудовых ресурсов, изменение благосостояния населения, мировая торговля, миграция населения, геополитика и вооруженные конфликты, использование энергии и водных ресурсов, деградация земель и загрязнение

окружающей среды в значительной степени связаны именно с сельским хозяйством. Сельское хозяйство существенно влияет на развитие многих отраслей промышленности – машиностроение, добычу полезных ископаемых для производства минеральных удобрений, перерабатывающую промышленность.

Важнейшая задача заключается в минимизации негативного воздействия сельского хозяйства на окружающую среду.

Сельское хозяйство России, после почти десятилетнего «переходного» падения, в последние годы находится на подъеме. Кроме восстановления материально-технической базы и освоения рыночных механизмов хозяйствования необходимо внедрять новые, современные технологии в животноводстве и в земледелии.

Однако следует отметить сельскохозяйственное производство на большей части территории России ведется в сравнительно неблагоприятных климатических и почвенно-гидрологических условиях. Большой вред причиняют эрозия почв и засухи. Более 54 процентов сельскохозяйственных угодий и 68 процентов пашни эродировано или эрозионно опасно. На таких землях потери урожая составляют от 10 до 30%, а в отдельных случаях достигают и 90%. Большинство указанных негативных явлений можно ликвидировать на основе использования «труда, науки и капитала».

Россия располагает выдающимися природными ресурсами мира. В условиях увеличивающегося роста мирового населения наша страна становится потенциальным источником производства сельскохозяйственных и продовольственных продуктов. Благодаря применению индустриальных технологий этот источник может быть многократно приумножен.

Самой насущной и немаловажной областью является сельское хозяйство. Его продвижение способствует не только экономическому развитию во внешней среде, но и продовольственной безопасности государства. Поддержка данной отрасли гарантирует субъекту независимость от импортной продукции и сокращение дефицита в продовольственном секторе. Необходимость наращивания продовольственного сектора обеспечивает свободу в торговых отношениях страны, а также способствует улучшению уровня жизни населения.

Необходимо выработать курс на устойчивое развитие сельского хозяйства и сельских территорий, разработать стратегию развития агропромышленного комплекса (АПК), при котором обеспечиваются не только главные потребности населения в продовольствии и активное участие России в международном разделении труда, но и сохраняется окружающая природная среда, становится не просто приоритетным в национальной экономике страны, а всецело определяющим судьбу нашего государства и мирового сообщества.

Успешная реализация Стратегии предполагает и другие положительные результаты, среди которых – предпосылки к устойчивому росту АПК и сельского хозяйства, существенное сокращение доли нерентабельных предприятий, уменьшение разрывов уровня жизни городского и сельского населения, качественные сдвиги в характере внешнеэкономических связей российского АПК, восстановление материально-технического, кадрового и природно-экологического потенциала аграрного сектора экономики России.

Реализация стратегии требует проведения определенных мер программного и непрограммного характера. Первые будут реализовываться в рамках следующих федеральных и ведомственных целевых программ. К федеральным относятся три основные программы: «Повышение эффективности и развития ресурсного потенциала сельского хозяйства и рыболовства», «Социальное развитие села», «Сохранение и восстановление плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения и агроландшафтов как национального достояния России», а также утвержденная программа импортозамещения в сельском хозяйстве.

Утвержденная программа импортозамещения в сельском хозяйстве обусловлена созданием особой государственной системы. К ее основным целям относятся:

- создание государственной автоматизированной информационной системы в сфере обеспечения государственной безопасности;
- подсчет импортной и отечественной продукции, а также определение ее удельного веса;
- увеличение эффективности использования земель сельскохозяйственного назначения;
- реализация Концепции развития государственного мониторинга земель;
- обеспечение населения качественной сельскохозяйственной продукцией и т.д.

Для осуществления вышеизложенных целей необходима хорошо разработанная и подготовленная информационная база, которая поможет охватить все аспекты продовольственной безопасности страны. Предложена схема информационной системы Минсельхоза Российской Федерации в сфере обеспечения продовольственной безопасности на рис. 1.

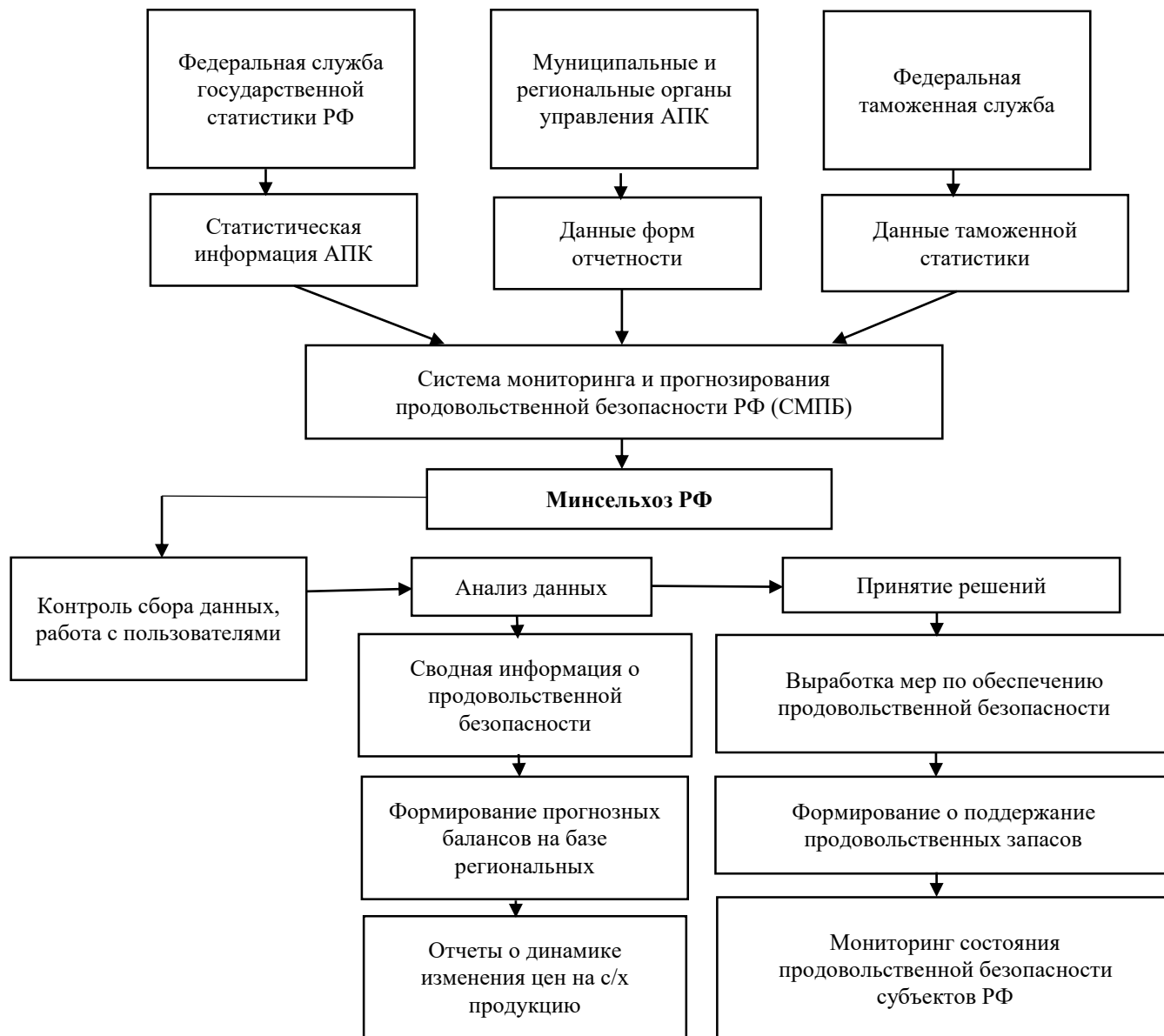


Рис. 1 – Информационная система Минсельхоза РФ в сфере обеспечения продовольственной безопасности

Создание информационной системы Минсельхоза Российской Федерации способствует внедрению комплекса мероприятий:

- комплекса оперативного мониторинга ведомственных, региональных и социально-экономических показателей;
- комплекса анализа внешних рынков (объем экспорта и выявление потенциальных поставщиков);
- комплекса прогнозирования состояния продовольственной безопасности;
- комплекса оценки текущего состояния продовольственной безопасности;
- создание единой государственной информационной базы.

Процесс замещения импортных товаров является стимулом для отечественного производства и способствует:

- росту занятости населения и, как следствие, ведет к снижению безработицы и повышению уровня жизни;
- внедрению научно-исследовательских трудов;
- экономическому росту;
- росту спроса на товары внутреннего производства;
- развитию экономики страны, расширению производственных мощностей;
- увеличению денежных потоков внутри страны, созданию дополнительных резервов.

По мнению ведущего научного сотрудника Всероссийского научно-исследовательского института экономики Осипова А., отечественный рынок сельскохозяйственной продукции имеет высокую импортозависимость и преградой к его устойчивому развитию выступает его проблемная специфика, которая обусловлена высокой себестоимостью и низкими закупочными ценами.

Сельскохозяйственная среда подвержена влиянию природно-климатических факторов, так как большая часть территории России подвержена влиянию циклонов и имеет резко континентальный климат. Важно отметить, что несмотря на все негативные факторы, оказывающие воздействие на развитие агропромышленного комплекса, необходима разработка и усовершенствование целенаправленного и активного управления аграрной политикой.

Влияние государства на рыночную экономику всегда является острой темой для обсуждения. Но роль государства в регулировании аграрной экономики остается неоспоримой. Современная практика развитых стран показывает, что для достижения экономического прогресса необходимо делегировать все доступные для этого меры и механизмы.

Управление предпринимательской деятельности осуществляется на основании нормативно-правовых актов различного уровня, в котором государство в лице различных органов власти, внедряет и ведет контроль за обеспечением законности и правильности их исполнения. Организация АПК имеет свои специфические особенности и условия функционирования, именно поэтому она нуждается в государственном регулировании.

Под государственным регулированием сельского хозяйства понимается целенаправленный процесс, обеспечивающий воздействие государства на организацию АПК путем создания нормативной базы, регулирующей экономическую деятельность субъектов.

Рассмотрим основные причины государственного регулирования сельского хозяйства:

1. На государство возложена необходимость в покрытии изъянов и слабостей рынка;
2. Необходимость урегулирования макроэкономики и микроэкономики.

Первая причина связана со спецификой сельскохозяйственной деятельности, которая обусловлена возникновением высоких затрат на производство, природно-климатическими, социальными проблемами и т.д. Вторая причина связана со столкновением интересов национальной экономики и отдельными предприятиями, а также с тем, чтобы эти интересы взаимно дополняли друг друга и не расходились с интересами населения страны. Обе причины возникли в следствие различных научных обоснований о необходимости государственного регулирования рыночной экономики.

Так, первые обоснования были озвучены первым экономистом России Посошковым И.Т., который сказал: «Труд в промышленности и, главным образом, в сельском хозяйстве является источником национального вещественного богатства» [1].

Доказательства разных ученых теоретиков о государственном регулировании экономической деятельности изменялись на протяжении всего времени, во многом они зависели от текущего состояния рынка, его конъюнктуры, возникающих экономических угроз, а также от необходимости найти пути решения экономических проблем.

На текущий момент среди ученых бытуют разные мнения о роли государства в экономике. В большинстве своем ученые не могут представить развития мировой экономики без государственного регулирования. Данное утверждение доказывает возникновение разных школ и их представителей, высказывающих противоположные мнения [1].

Рассмотрим основные аспекты научных школ о значении государственного регулирования в экономике на рисунке 2.

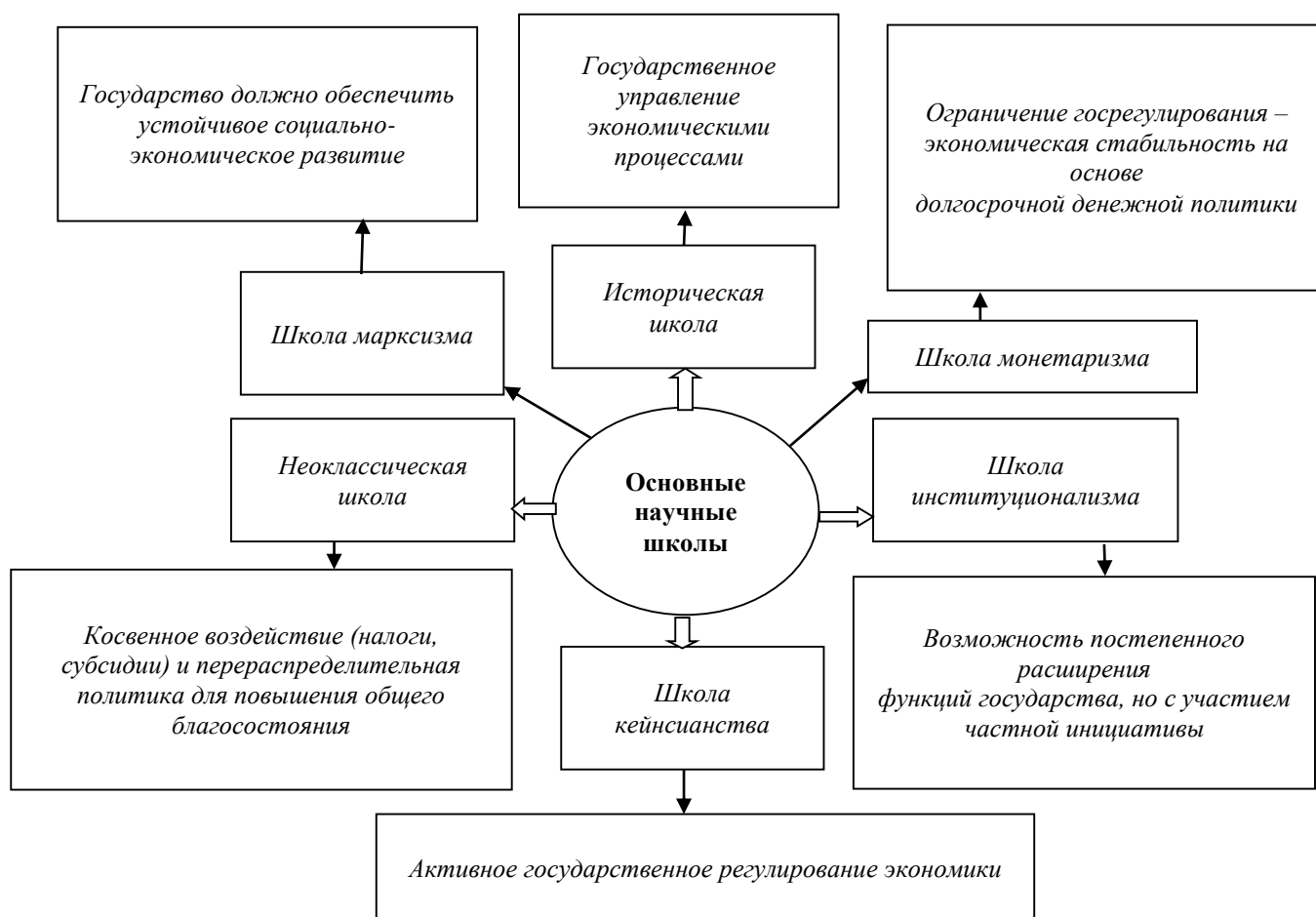


Рис. 2 – Основные аспекты научных школ о значении государственного регулирования в экономике

Общие цели государственного регулирования заключаются в:

1. Стремление к достижению высоких показателей экономического роста государства и его субъектов обеспечивает рост производства, повышение производительности труда, упрочнение структуры спроса и товарного ассортимента;
2. Поддержание стабильности цен на продукцию, недопущение и остановка гиперинфляции, обеспечение получения доходов от экспорта, недопущение дефицита в бюджете, внешнего долга или пассивного сальдо, поддержание баланса между спросом и предложением;
3. Объективное распределение доходов среди членов общества [2].

Фроловой О.А. были предложены основные экономические функции государственного регулирования, которые основываются на:

- Создании и внедрении особых законодательных актов, способных разрешить основные правовые и социальные проблемы рыночной экономики;
- Поддержке «здоровой» конкуренции и сохранности рыночных отношений;
- Перераспределении полученных доходов и материальных благ;
- Рациональном расходовании ресурсов для изменения национального продукта;
- Удерживании стабильности в экономике и поддержании экономического развития страны;
- Поддержке предпринимательства, в особенности малого бизнеса [2].

Также к другим инструментам государственного регулирования относятся: земельная, закупочная, ценовая, кредитная, страховая, внешнеэкономическая политика.

В узком смысле государственная политика может быть направлена только на совершенствование экономических аспектов аграрной политики. А в глобальном отношении государственное регулирование охватывает необходимость создания четкой нормативной базы и системы контролирующих и исполнительных органов, способствующих развитию государственной системы регулирования и развития данной отрасли.

Актуализация государственного регулирования сельского хозяйства обусловлена ответственностью государственной власти перед своими гражданами, которым необходимы нормальные условия жизнедеятельности. Также данная ответственность относится и к представителям крупного, среднего и малого бизнеса. Зависимость государства, представителей бизнеса и населения очень тесная, потому что каждый несет ответственность перед другим звеном. А в целом все работают для процветания страны и продвижения национального продукта.

### **Заключение**

В настоящее время государственное регулирование становится направленным на создание благоприятных условий для функционирования сельского хозяйства, что благоприятно влияет на уровень жизни страны.

Немаловажным фактором развития сельскохозяйственных рынков является привлечение иностранных инвестиций в экономику страны. На основании данных Центрального Банка РФ стремительно ухудшаются условия привлечения иностранных инвестиций в российскую экономику. Иностранные инвесторы видят риски в возможном увеличении экономических санкций против России. Так чистый приток прямых иностранных инвестиций в 2019 г. снизился на 14,3% и составил 27,9 млрд. долл.

Анализ показателей показывает, что производство и потребление продукции в стране увеличивается на 5,3%. Развитие перерабатывающих отраслей и производственной инфраструктуры приводит к росту продукции сельского хозяйства на 2,7%. Реальные располагаемые доходы населения снижаются на 1,2%, по причине повышения инфляции. При этом рост розничных цен на продукты питания не означает аналогичного повышения цен реализации продукции сельского хозяйства. Так в 2019 г. цены на потребительские товары увеличились на 0,9%. Цены на сельскохозяйственную продукцию, без учета наценок, снижаются на 7,8%, что может повлечь за собой существенные экономические риски для фермеров [9], [10].

Развитие агропромышленного комплекса Российской Федерации направлено на выравнивание рыночной инфраструктуры, увеличение темпов роста ВВП и производства сельскохозяйственного продукта, а также на эффективное использование природных ресурсов страны. Основными двумя отраслями выступают отрасли растениеводства и животноводства. Для обеспечения продовольственной безопасности страны необходимо увеличивать производство сельскохозяйственной продукции, а также осваивать новые направления.

Стоит отметить, что Россия имеет большой потенциал развития сельского хозяйства и экономики в целом. Необходима системная работа всех уровней власти и сельскохозяйственных товаропроизводителей. Использование мер государственной поддержки способствуют экономическому развитию страны и сельского хозяйства в целом.

### **Конфликт интересов**

Не указан.

### **Conflict of Interest**

None declared.

### **Список литературы / References**

1. Афанасьев Е.В. Агропродовольственный рынок Сибири: особенности формирования и перспективы развития / Е.В. Афанасьев, С.М.Головатюк, Е.В. Рудой, Т.И. Утенкова // Экономика. -2010.-№2.-С.89-95.
2. Суворова А.В. Государственное регулирование сельского хозяйства и управление его устойчивым развитием / А.В.Суворова, Н.С.Тимофеева// Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции «Современные исследования в области предпринимательства, экономики и бизнеса».- 2020.- С. 57-60.
3. Суворова А.В. Современное состояние сельскохозяйственного производства, методы и формы государственного регулирования и поддержки сельскохозяйственных рынков Бурятии/ А.В.Суворова // Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной Дню российской науки Актуальные вопросы развития аграрного сектора экономики Байкальского региона.- ФГБОУ ВО БГСХА, г.Улан-Удэ, 2020.-С.52-58
4. Суворова А.В. Экономические проблемы развития сельских территорий в России и пути их решения/А.В.Суворова// Всероссийская научно-методическая конференция с международным участием «Аграрная наука в условиях модернизации и инновационного развития АПК России, посвященная 100-летию академика Д.К.Беляева».-Иваново, 2017.- С.139-142.
5. Статистический ежегодник.2016ЮСтатистический сборник / Бурстат.-Улан-Удэ, 2016 – 494 с.
6. Тимофеева Н.С. Стратегическое планирование устойчивого развития сельских территорий региона: монография / Н.С.Тимофеева, О.В.Маханова, А.В.Суворова; ФГБОУ ВО БГСХА имени В.Р.Филиппова.-Улан-Удэ, 2018.-240 с.



7. Тимофеева Н.С. Стратегическое планирование сельского хозяйства региона и аспекты его развития // Молодые ученые – экономике региона: сборник материалов XVI науч.практ.конф.,г.Вологда.-Вологда: ФГБУН ВолНЦ РАН, 2017.-416 с.

8. Федонина О.В., Устойчивое развитие сельских территорий как условие стабильного функционирования АПК Республики Мордовия / О.В. Федонина, Е.В. Ненюкова, Н.В. Ерошкина // Среднерусский вестник общественных наук. -2017,-№4.-С.219-244.

9. Характеристика сельского хозяйства республики в таблицах, графиках, группировках. Статистический сборник / Бурятстат.-Улан-Удэ, 2003.-78 с.

10. Характеристика сельского хозяйства республики в таблицах, графиках, группировках. Статистический сборник / Бурятстат.-Улан-Удэ, 2015.- 74 с.

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Afanasyev E.V. Agropodovol'stvennyj rynek Sibiri: osobennosti formirovaniya i perspektivy razvitiya [Agri-food market of Siberia: features of formation and development prospects] / E.V. Afanasyev, S.M. Golovatyuk, E.V. Rudoy, T.I. Utenkova // Jekonomika [Economics]. -2010.-№2.-p.89-95. [in Russian]

2. Suvorova A.V. Gosudarstvennoe regulirovanie sel'skogo hozjajstva i upravlenie ego ustojchivym razvitiem [State regulation of agriculture and management of its sustainable development] / A.V. Suvorova, N.S. Timofeeva // Sbornik nauchnyh trudov po materialam Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Sovremennye issledovaniya v oblasti predprinimatel'stva, jekonomiki i biznesa» [Collection of scientific papers based on the materials of the International scientific and practical conference "Modern research in the field of entrepreneurship, economics and business."] - 2020.p. 57-60. [in Russian]

3. Suvorova A.V. Sovremennoe sostojanie sel'skohozjajstvennogo proizvodstva, metody i formy gosudarstvennogo regulirovaniya i podderzhki sel'skohozjajstvennyh rynkov Burjatii [The current state of agricultural production, methods and forms of state regulation and support of agricultural markets in Buryatia] / A.V. Suvorova // Materialy Vserossijskoj (nacional'noj) nauchno-prakticheskoj konferencii, posvjashhennoj Dnju rossijskoj nauki Aktual'nye voprosy razvitiya agrarnogo sektora jekonomiki Bajkal'skogo regiona [Materials of the All-Russian (national) scientific and practical conference dedicated to the Day of Russian Science Topical issues of the development of the agricultural sector of the economy of the Baikal region]. - FSBEI HE BSAA, Ulan-Ude, 2020 [in Russian]

4. Suvorova A.V. Jekonomicheskie problemy razvitiya sel'skih territorij v Rossii i puti ih reshenija [Economic problems of the development of rural areas in Russia and ways to solve them] / A.V. Suvorova // Vserossijskaja nauchno-metodicheskaja konferencija s mezhdunarodnym uchastiem «Agrarnaja nauka v uslovijah modernizacii i innovacionnogo razvitiya APK Rossii, posvjashhennaja 100-letiju akademika D.K.Beljaeva [All-Russian scientific and methodological conference with international participation «Agricultural science in the conditions of modernization and innovative development of the agro-industrial complex of Russia, dedicated to the 100th anniversary of Academician D.K. Belyaev»].-Ivanovo, 2017 .- p. 139-142. [in Russian]

5. Statisticheskij ezhegodnik. 2016ju Statisticheskij sbornik [Statistical yearbook. 2016 Statistical collection] / Burstat.-Ulan-Ude, 2016 - 494 p. [in Russian]

6. Timofeeva N.S. Strategicheskoe planirovanie ustojchivogo razvitiya sel'skih territorij regiona [Strategic planning of sustainable development of rural areas of the region]: monograph / N.S Timofeeva, O.V Makhanova, A.V Suvorov; FGBOU VO BSAA named after V.R. Filippov.-Ulan-Ude, 2018.-240 p. [in Russian]

7. Timofeeva N.S. Strategicheskoe planirovanie sel'skogo hozjajstva regiona i aspekty ego razvitiya [Strategic planning of agriculture in the region and aspects of its development] // Molodye uchenye – jekonomike regiona: sbornik materialov XVI nauch.prakt.konf.[Young scientists - to the economy of the region: collection of materials of the XVI scientific practical conference, Vologda]. -Vologda: FGBUN VolRC RAS, 2017.-416 p. [in Russian]

8. Fedonina O.V. Ustojchivoe razvitie sel'skih territorij kak uslovie stabil'nogo funkcionirovaniya APK Respubliki Mordovija [Sustainable development of rural areas as a condition for the stable functioning of the agro-industrial complex of the Republic of Mordovia] / O.V. Fedonina, E.V. Nenjukova, N.V. Erochkina // Srednerusskij vestnik obshhestvennyh nauk [Srednerusskiy Vestnik of Social Sciences]. -2013, -No. 4.- P.219-244. [in Russian]

9. Harakteristika sel'skogo hozjajstva respubliki v tablicah, grafikah, gruppirovkah. Statisticheskij sbornik [Characteristics of agriculture in the republic in tables, graphs, groupings. Statistical collection] / Buryatstat.-Ulan-Ude, 2003.-78 p. [in Russian]

10. Harakteristika sel'skogo hozjajstva respubliki v tablicah, grafikah, gruppirovkah. Statisticheskij sbornik [Characteristics of agriculture in the republic in tables, graphs, groupings. Statistical collection] / Buryatstat. -Ulan-Ude, 2015.- 74 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.102.12.023>**РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУР ПРОДУКТОВ, ОБОГАЩЕННЫХ L-АРГИНИНОМ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ПИТАНИЯ ДЕТЕЙ, СТРАДАЮЩИХ ОЖИРЕНИЕМ**

Научная статья

**Симоненко С.В.<sup>1</sup>, Фелик С.В.<sup>2</sup>, Антипова Т.А.<sup>3</sup>, Мануйлов Б.М.<sup>4,\*</sup>, Симоненко Е.С.<sup>5</sup>**<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Научно-исследовательский институт Детского питания – филиал Федерального исследовательского центра питания и биотехнологии», Истра, Россия

\* Корреспондирующий автор (economy[at]niidp.ru)

**Аннотация**

Статья посвящена перспективному направлению исследований, разработке продуктов для питания детей, страдающих ожирением. Ожирение у детей является актуальной проблемой здравоохранения. Современные методы лечения ожирения не обладают достаточной эффективностью при сохранении безопасности. Изучение метаболически активных нутриентов, которые могут стать основой для обоснованной терапии ожирения. В качестве одного из таких нутриентов может рассматриваться L-аргинин. Однако невысокое содержание аргинина в составе продуктов питания не обеспечивает суточное потребление в данной аминокислоте. Для достижения требуемой суточной нормы в L-аргине наиболее целесообразным является разработка специализированных продуктов, обогащенных аргинином, которые в настоящее время отсутствуют на отечественном рынке. Приводятся результаты исследований по разработке рецептур напитков с использованием аргинина и направления дальнейших исследований.

**Ключевые слова:** диетотерапия, пищевые продукты, аминокислотный состав, ингредиенты, суточное потребление.**DEVELOPMENT OF THE L-ARGININE FORTIFIED FOOD FORMULAS FOR OVERWEIGHT CHILDREN**

Research article

**Simonenko S.V.<sup>1</sup>, Felik S.V.<sup>2</sup>, Antipova T.A.<sup>3</sup>, Manujlov B.M.<sup>4,\*</sup>, Simonenko E.S.<sup>5</sup>**<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Scientific Research Institute of Child Nutrition, the Branch of the Federal Research Center of Nutrition and Biotechnology, Istra, Russia

\* Corresponding author (economy[at]niidp.ru)

**Abstract**

The article analyses a promising direction of research, the design of food. Obesity is a problem of modern healthcare. The modern ways of obesity treatment do not provide a balance between efficiency and safety. The present study provides a research of metabolically active nutrients, which can become a conscious foundation for obesity treatment. L-arginine is considered to be one of such nutrients. However, the daily intake of this amino acid does not ensure its daily consumption due to the lack of arginine in food. In order to meet the required daily intake of L-arginine, it's necessary to design special food fortified with arginine. At the moment, there is no such product in the Russian market. The study provides the development research data for the arginine fortified drinking formula and suggests further research directions.

**Keywords:** diet therapy, food, amino acid composition, food ingredients, daily intake.**Введение**

Ожирение относится к числу наиболее распространенных заболеваний. Во всех странах отмечается прогрессирующее увеличение численности больных как среди взрослого, так и среди детского населения. По оценке Всемирной организации здравоохранения, более миллиарда человек имеют избыточную массу тела, и более 300 млн. человек – ожирение. В разных регионах Российской Федерации распространенность избыточной массы тела у детей и подростков доходит до 11,8%, ожирения – до 5,5% в сельской местности и до 8,5% у городских жителей [1], [2], [3]. Основными причинами развития ожирения считают преобладание потребляемой энергии пищи над ее расходом [4].

Ожирение является фактором высокого риска развития различных заболеваний и осложнений, которые затрагивают практически все органы и системы человеческого организма. Его можно рассматривать как болезнь и как следствие современной цивилизации. Дети и подростки предпочитают нездоровую пищу и чрезмерно увлекаются такими достижениями человечества, как телевизор, компьютер, игровые приставки и др. У них не остается времени, а часто и желания на умеренную и высокую физическую активность, необходимую для нормального роста и развития [5], [6]. При отсутствии лечения ожирение быстро прогрессирует с развитием метаболических нарушений широкого спектра осложнений и сопутствующих заболеваний. Для лечения ожирения у детей может использоваться только лечебное питание и повышение физической активности [7], [8].

Главный принцип диетотерапии ожирения заключается в снижении энергетической ценности питания и достижении отрицательного энергетического баланса. Обязательным элементом лечения ожирения у детей является повышенная двигательная нагрузка, благотворно влияющая на нормализацию обмена веществ и повышение иммунитета [1].

Современные методы лечения ожирения не обладают достаточной эффективностью при сохранении безопасности. Поэтому большой интерес вызывает изучение метаболически активных нутриентов, которые могут стать основой для патогенетически обоснованной терапии ожирения. В качестве одного из таких нутриентов может рассматриваться L-аргинин [1]. В метаболическом отношении аргинин является наиболее универсальной аминокислотой, являющейся источником оксида азота (NO), мочевины, орнитина, цитруллина, креатина, агматина, глутамата, пролина и полиаминов [9]. Растет количество исследований, показывающих, что назначение аргинина может быть новым подходом к лечению ожирения и метаболического синдрома у млекопитающих, в том числе у человека [10], [11]. Исследований, в которых изучалось действие аргинина у детей, к настоящему времени немного, однако в них подтверждена хорошая переносимость назначения аргинина в детской популяции [12], [14].

Российскими исследователями представлены данные экспериментальных и клинических исследований L-аргинина, демонстрирующих эффективность этого нутриента в отношении редукции массы тела, изменения компонентного состава тела, а также улучшения метаболического профиля [15]. Опираясь на эти исследования, возникла идея создания продукта питания с повышенным содержанием аргинина для детей, страдающих ожирением.

В настоящее время такие продукты на отечественном рынке отсутствуют. Аминокислота аргинин выпускается в виде БАД в натуральной L-форме в таблетках и порошках, а также в составе других БАД широкого назначения.

В различных исследованиях даны показатели содержания аргинина в пищевых продуктах, таких как тыквенные семечки – от 8,53 до 10,55 г/100 г, в зависимости от сорта [16]; изолят соевого белка – от 6,7 до 9,4 % [17]; различных видах орехов, в том числе кедровом – от 15,43 до 16,14 г на 100 г белка, в зависимости от вида [18]. Богаты аргинином многие виды рыб, мясо птицы, куриные яйца, гречневая крупа.

Не смотря на высокое содержание в вышеуказанных продуктах аргинина, употребление некоторых из них нежелательно при ожирении.

### Материалы и методы

Целью работы является разработка рецептур продуктов детского питания, обогащенных аргинином. В работе использованы органолептические и физико-химические методы исследований. Содержание аминокислот в образцах определяли методом капиллярного электрофореза. При определении органолептических показателей использовали описательный метод.

### Результаты

Выбор молочной основы при проведении исследований определялся необходимостью употребления в детском возрасте достаточного количества молочных продуктов, которые содержат большое количество необходимых биологически активных веществ, способствуют нормальному формированию костно-мышечной системы и регулируют кислотно-щелочной баланс в организме ребенка [19].

НИИ детского питания проведены исследования аминокислотного состава белка коровьего молока по сезонам года (рис.1)

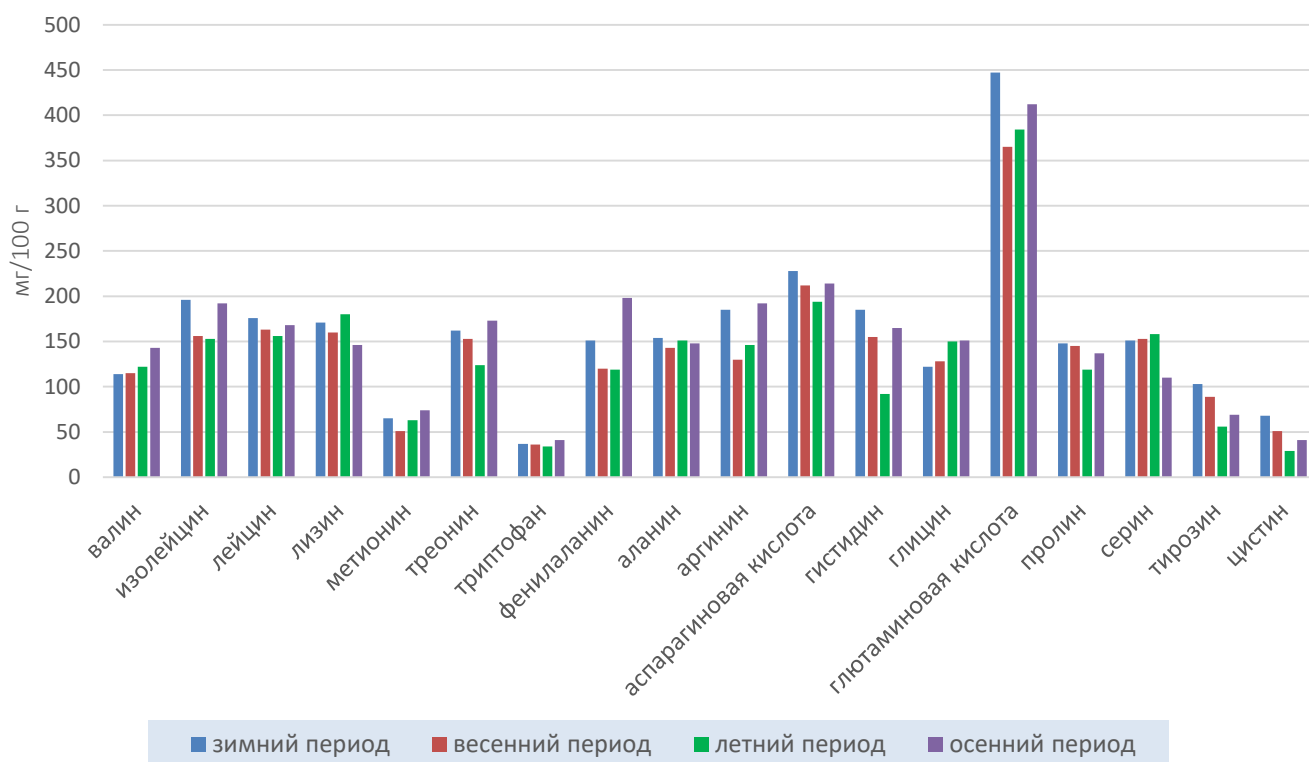


Рис. 1 – Аминокислотный состав белка коровьего молока по сезонам года

Из данных рисунка следует, что количество аргинина в коровьем молоке изменяется от 130,0 мг до 192,0 мг на 100 г. Наиболее высокое количество наблюдалось в осенний период.

Изучение аминокислотного состава белков козьего и кобыльего молока позволило оценить количество аргинина (Таблица 1).

Таблица 1 – Аминокислотный состав белков козьего и кобыльего молока

Аминокислота	Козье молоко, мг/100 г	Кобылье молоко, мг/100 г
валин	169	95
изолейцин	186	103
лейцин	327	151
лизин	197	141
метионин	81	59
треонин	126	94
триптофан	38	29
фенилаланин	115	264
аланин	191	102
аргинин	172	117
аспарагиновая кислота	189	131
гистидин	105	56
глицин	39	41
глутаминовая кислота	426	311
пролин	233	113
серин	122	98
тирозин	87	129
цистин	23	37

Из данных таблицы следует, что козье молоко содержит больше аргинина по сравнению с кобыльим молоком.

Учитывая вышеприведенные данные исследования молочного сырья различных видов сельскохозяйственных животных, следует отметить, что продукты на основе молока будут требовать дополнительного обогащения L – аргинином.

В процессе формирования рецептур экспериментальных образцов с добавленным аргинином были проведены исследования по выбору ассортимента продуктов для обогащения. В качестве экспериментальных образцов использовали: йогурты питьевые (клубника, черника); кисели для детского питания (малина, абрикос); сухие растворимые напитки на основе растительных ингредиентов (шиповник, овес).

Согласно Методическим рекомендациям МР 2.3.1.1915-04 «Рекомендуемые уровни потребления пищевых и биологически активных веществ», рекомендуемая величина суточного потребления аргинина составляет 6,1-9,9 г.

Для проведения исследований выбран сухой порошок L-аргинина с содержанием основного вещества 99,2 %.

Исследование органолептических показателей добавки аргинина выявило наличие горького вкуса и неприятного запаха, что позволило сделать вывод о необходимости существенной корректировки пищевого продукта при использовании данной аминокислоты в его составе.

При подборе количества вносимой добавки аргинина с учетом её специфических органолептических характеристик доза внесения составила 2 г на порцию продукта (200 мл готового продукта).

Дегустационная оценка образцов продуктов с добавлением аргинина показала, что при внесении в йогурты с наполнителями и кисели для детского питания органолептические характеристики, такие как цвет, вкус и консистенция изменились в отрицательную сторону. Цвет продуктов приобрел оттенок, нехарактерный для применяемого наполнителя, вкус – горечь, консистенция неоднородность рыхлость и расслоение. В образцах сухих растворимых напитков отмечено ощущение горьковатого вкуса при отсутствии изменения цвета и прозрачности.

Учитывая, что аргинин является термолабильным ингредиентом, внесение его в продукт на технологических этапах с последующей термообработкой влияет на его сохранность в продукте. Поэтому для проведения дальнейших исследований выбран вариант продукта в виде сухих растворимых напитков на основе растительных ингредиентов (шиповник, овес). Рабочие рецептуры напитков приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Рецептуры напитков на основе растительных ингредиентов

Наименование ингредиента	Рецептура 1	Рецептура 2	Рецептура 3	Рецептура 4
L-Аргинин	+	+	+	+
Изомальт	+	+	+	+
Лимонная кислота	+	+	+	+
Сухой экстракт плодов шиповника	+	-	+	+
Сухой экстракт овса	-	+	+	+
Ароматизатор (лимон)	+	-	+	-
Ароматизатор (ваниль)	-	+	-	+

В результате органолептической оценки образцов получены следующие данные (рис.2):

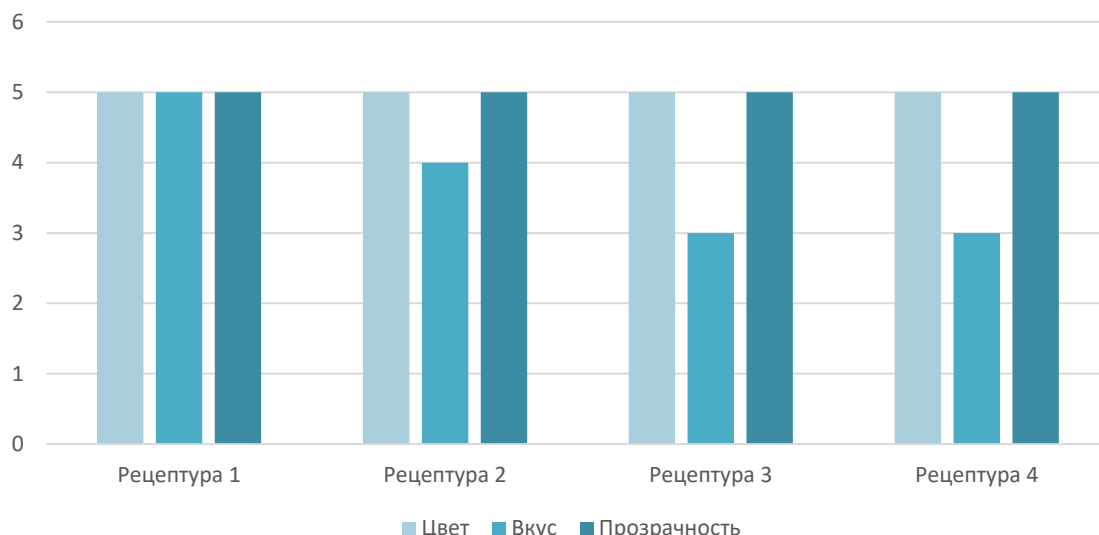


Рис. 2 – Результаты органолептической оценки напитков на основе растительных ингредиентов

Все добавленные компоненты имели хорошую растворимость, поэтому опытные образцы имели приятный цвет и прозрачность

Сочетание ингредиентов в рецептуре 1 выбрано как наиболее приемлемое, так как позволило максимально завуалировать неприятный запах и вкус добавляемого аргинина. В состав рецептуры включены L-аргинин, изомальт, лимонная кислота, натуральный ароматизатор, сухой экстракт плодов шиповника.

Сухой экстракт плодов шиповника содержит разнообразный набор биологически активных веществ, в том числе природных антиоксидантов и других ценных микроингредиентов [20].

Изомальт создает ощущение сладости, очень похожее на сахарозу, однако оно составляет от 45 до 65 % от соответствующего показателя для сахарозы. Энергетическая ценность изомальта ниже сахарозы и составляет 2,4 ккал (10 кДж). Метаболизм изомальта в организме близок к механизму усвоения сахарозы, однако, протекает с использованием другой группы ферментов для осуществления расщепления изомальта на составляющие элементы, т.е. глюкозу и фруктозу [21].

Лимонная кислота и натуральный ароматизатор использованы в рецептуре как корректоры вкуса и запаха продукта. Расчетная калорийность продукта составляет 1,56 ккал.

### Обсуждение

Проведенные исследования свидетельствуют о возможности применения L-аргинина при создании продуктов детского питания. Согласно полученным результатам разработаны рецептуры напитка, предназначенного для использования в питании детьми, страдающими ожирением. По итогам органолептической оценки продукта для проведения дальнейших исследований выбран вариант продукта в виде сухого растворимого напитка на основе экстракта шиповника. В состав рецептуры включены L-аргинин, изомальт, лимонная кислота, натуральный ароматизатор, сухой экстракт плодов шиповника. Сочетание ингредиентов позволило максимально завуалировать неприятный запах и вкус добавляемого аргинина. Оптимальная дозировка L-аргинина составила 2г/200 мл готового к употреблению продукта.

### Заключение

Исследования в данном направлении продолжаются и предусматривают создание новых технологий получения продукта с повышенным содержанием аргинина. Значительное внимание будет уделено выбору сырья и компонентов, содержащих натуральные природные формы L-аргинина, поскольку поступление из натуральных пищевых источников является более приемлемым с точки зрения восприятия организмом.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Conflict of Interest

None declared.

### Список литературы / References

1. Степанова Т.Н. Ожирение и возможности его диетической коррекции у детей / Т.Н.Степанова, Т.Э.Боровик, Н.Н.Семенова, Л.И.Дмитриенко // Медицинский совет. - 2007. - №4. - С. 58-65.
2. ВОЗ. Ожирение и избыточный вес. / WHO. [Электронный ресурс] URL: <https://clck.ru/SPfJt> (дата обращения: 21.10.2020).
3. Петеркова В.А. Ожирение в детском возрасте. / В.А. Петеркова, О.В. Ремизов // Ожирение и метаболизм. – 2004. - №1. - С. 17-23
4. Лир Д.Н. Питание детей дошкольного возраста с ожирением: ретроспективное одномоментное исследование/Д.Н.Лир, В.Г. Новоселов, Т.А.Мишукова//Вопросы современной педиатрии. – 2018. Т. –17, № 3. – С. 221.

5. Каганов Б.С. Осложнения ожирения у детей и подростков / Б.С. Каганов, Е.В. Павловская, А.В. Стародубова и др. // Вопросы практической педиатрии. – 2012. - № 3. - С. 50-58.
6. Васюкова О.В. Рекомендации по диагностике, лечению и профилактике ожирения у детей и подростков / О.В.Васюкова, И.Я.Конь З.Г.Ларионова и др.// М: Практика, 2015. – 136 с.
7. Павловская Е.В. Ожирение у детей дошкольного возраста: метаболические особенности / Е.В. Павловская, Т.В. Строкова и др. // Российский вестник перинатологии и педиатрии. –2013. № 6. – С. 92.
8. Павловская Е.В. Влияние диетотерапии на клинкобиохимические показатели и состав тела у детей с избыточной массой тела и ожирением / Е.В. Павловская, Т.В. Строкова и др. // Альманах клинической медицины. – 2015. - №42. Р. 51-57.
9. Morris S. Enzymes of arginine metabolism / S. M. Morris // J Nutr. 2004 Oct;134(10 Suppl):2743S – 2747S; discussion 2765S – 2767S.
10. Wu G. Arginine metabolism and nutrition in growth, health and disease / G Wu, F. W. Bazer, T. A Davis, S. W. Kim, P. Li, Marc Rhoads J., et al. // Amino Acids. 2009 May;37(1):153–68.
11. McKnight J. R. Beneficial effects of L-arginine on reducing obesity: potential mechanisms and important implications for human health / McKnight J. R., Satterfield M. C., Jobgen W. S., Smith S. B., Spencer T. E., Meininger C. J., et al. // Amino Acids. 2010 Jul;39(2):349–57.
12. Amin H. J. Arginine supplementation prevents necrotizing enterocolitis in the premature infant / H. J. Amin, S.A. Zamora, D. D. McMillan, G. H. Fick, Butzner J. D., Parsons H. G., et al. / J Pediatr. 2002 Apr;140(4):425–31.
13. Bennett-Richards K. J. Oral L-arginine does not improve endothelial dysfunction in children with chronic renal failure / K. J. Bennett-Richards, M. Kattenhorn, A. E. Donald, G. R. Oakley, Z. Varghese, K. R. Bruckdorfer, et al. // Kidney Int. 2002 Oct;62(4):1372–8.
14. Lim D. S. Effect of oral L-arginine on oxidant stress, endothelial dysfunction, and systemic arterial pressure in young cardiac transplant recipients / D. S. Lim, S. J. Mooradian, C. S. Goldberg, C. Gomez, D. C. Crowley, A. P. Rocchini, et al. // Am J Cardiol. 2004 Sep 15;94(6):828–31.
15. Павловская Е.В. Возможности применения аргинина в диетотерапии ожирения / Е.В. Павловская, А.Г. Сурков, Г.Ю. Мальцев, Т.В. Строкова, Т.Б. Сенцова // Вопросы детской диетологии. –2016. Т. –14, № 5. – С. 26-30.
16. Васильева А.Г. Химический состав и потенциальная биологическая ценность семян тыквы различных сортов / А.Г. Васильева, И.А. Круглова // Известия ВУЗов. Пищевая технология. –2007, № 5-6. – С. 31.
17. Рудаков О.Б. Генотипическая изменчивость аминокислотного состава белков животного и растительного происхождения/ О.Б. Рудаков и др.//Сорбционные и хроматографические процессы. –2020. Т.20, № 1. – С. 10.
18. Егорова Е.Ю. Пищевая ценность кедровых орехов дальнего востока / Е.Ю. Егорова, В.М. Позняковский// Известия ВУЗов. Пищевая технология. –2010, №4. – С. 22.
19. Георгиева О.В. Современные продукты для детей старше года / О.В. Георгиева, И.Я. Конь // Молочная промышленность 2011; 8: 54–55
20. Дубцова Г.Н. Оценка биологически активных веществ сухого экстракта шиповника / Г.Н. Дубцова, И.У. Кусова, И.К. Куницина // Пищевая промышленность. –2016, № 5. – С. 32-34.
21. Георгиева О.В. Специализированный шоколад для диетического профилактического детского питания / О.В. Георгиева, Е.А. Пырьева, А.И. Сафронова // Актуальные исследования: электрон. научн. журн. 2020. N 8 (11). [Электронный ресурс] URL: <https://apni.ru/article/601-spetsializirovannij-shokolad-dlya-dieticheskogo> (дата обращения: 5.10.2020).

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Stepanova T.N. Ozhirenie i vozmozhnosti ego dieticheskoy korektsii u detej [Obesity and the possibility of its dietary correction in children] / T.N.Stepanova, T.E.Borovik, N.N.Semenova, L.I.Dmitrienko // Medicinskij sovet [Medical council] №4, 2007. P. 58-65. [in Russian]
2. VOZ. Ozhirenie i izbytochnyj ves. [Obesity and overweight ] WHO. [Electronic resource] URL: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs311/ru/> (accessed: 21.10.2020). [in Russian]
3. Peterkova V.A. Ozhirenie v detskom vozraste [Childhood obesity] / V.A. Peterkova, O.V. Remizov // Ozhirenie i metabolism [Obesity and metabolism]- 2004.- №1. - P. 17-23. [in Russian]
4. Lir D.N. Pitanie detej doskol'nogo vozrasta s ozhireniem: retrospektivnoe odnomomentnoe issledovanie [The nutrition of children of preschool age with obesity: a retrospective cross-sectional study] / D.N.Lir, V.G. Novoselov, T.A.Mishukova // Voprosy sovremennoj pediatrii [Issues of modern Pediatrics]. –2018. - Vol. 17.- № 3. – 221 p. [in Russian]
5. Kaganov B.S. Oslozhneniya ozhireniya u detej i podrostkov / B.S. Kaganov, E.V. Pavlovskaya, A.V. Starodubova and others // Voprosy prakticheskoy pediatrii [Questions of practical Pediatrics]. – 2012. - № 3. P. 50-58. [in Russian]
6. Vasyukova O.V. Rekomendacii po diagnostike, lecheniyu i profilaktike ozhireniya u detej i podrostkov [Recommendations for the diagnosis, treatment, and prevention of obesity in children and adolescents] / O.V.Vasyukova, I.YA.Kon' Z.G.Larionova and others. // M: Praktika. - 2015. – 136 p. [in Russian]
7. Pavlovskaya E.V. Ozhirenie u detej doskol'nogo vozrasta: metabolicheskie osobennosti [Obesity in preschool children: metabolic features] / E.V. Pavlovskaya, T.V. Strokovaya and others. Rossijskij vestnik perinatologii i pediatrii [Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics]. –2013. - № 6. – P. 92. [in Russian]
8. Pavlovskaya E.V. Vliyanie dietoterapii na klinikobiohimicheskie pokazateli i sostav tela u detej s izbytochnoj massoj tela i ozhireniem [Effect of diet therapy on clinical and biochemical parameters and body composition in overweight and obese children] / E.V. Pavlovskaya, T.V. Strokovaya and others. Al'manah klinicheskoy mediciny [Almanac of clinical medicine]. – 2015. - №42. P. 51-57. [in Russian]
9. Morris S. Enzymes of arginine metabolism / S. M. Morris // J Nutr. 2004 Oct;134(10 Suppl):2743S – 2747S; discussion 2765S – 2767S.

10. Wu G. Arginine metabolism and nutrition in growth, health and disease / G Wu, F. W. Bazer, T. A Davis, S. W. Kim, P. Li, Marc Rhoads J., et al. // *Amino Acids*. 2009 May;37(1):153–68.
11. McKnight J. R. Beneficial effects of L-arginine on reducing obesity: potential mechanisms and important implications for human health / McKnight J. R., Satterfield M. C., Jobgen W. S., Smith S. B., Spencer T. E., Meininger C. J., et al. // *Amino Acids*. 2010 Jul;39(2):349–57.
12. Amin H. J. Arginine supplementation prevents necrotizing enterocolitis in the premature infant / H. J. Amin, S.A. Zamora, D. D. McMillan, G. H. Fick, Butzner J. D., Parsons H. G., et al. // *J Pediatr*. 2002 Apr;140(4):425–31.
13. Bennett-Richards K. J. Oral L-arginine does not improve endothelial dysfunction in children with chronic renal failure / K. J. Bennett-Richards, M. Kattenhorn, A. E. Donald, G. R. Oakley, Z. Varghese, K. R. Bruckdorfer, et al. // *Kidney Int*. 2002 Oct;62(4):1372–8.
14. Lim D. S. Effect of oral L-arginine on oxidant stress, endothelial dysfunction, and systemic arterial pressure in young cardiac transplant recipients / D. S. Lim, S. J. Mooradian, C. S. Goldberg, C. Gomez, D. C. Crowley, A. P. Rocchini, et al. // *Am J Cardiol*. 2004 Sep 15;94(6):828–31.
15. Pavlovskaya E.V. Vozmozhnosti primeneniya arginina v dietoterapii ozhireniya [Arginine application possibilities in the diet therapy of obesity] / E.V. Pavlovskaya, A.G. Surkov, G.YU. Mal'cev, T.V. Strokova, T.B. Sencova // *Voprosy detskoj dietologii [Questions of children's nutrition]*. –2016. - Vol. 14. - № 5. – P. 26-30. [in Russian]
16. Vasil'eva A.G. Himicheskij sostav i potencial'naya biologicheskaya cennost' semyan tykvy razlichnyh sortov [Chemical composition and potential biological value of pumpkin seeds of various varieties] / A.G. Vasil'eva, I.A. Kruglova // *Izvestiya VUZov. Pishchevaya tekhnologiya [Izvestiya Vuzov. Food technology]*. –2007. - № 5-6. - P. 31. [in Russian]
17. Rudakov O.B. Genotipicheskaya izmenchivost' aminokislotojnogo sostava belkov zhivotnogo i rastitel'nogo proiskhozhdeniya [Genotypic variability of the amino acid composition of animal and plant proteins] / O.B. Rudakov and others // *Sorbcionnye i hromatograficheskie process [Sorption and chromatographic processes]*. –2020. - Vol.20. - № 1. – P. 10. [in Russian]
18. Egorova E.YU. Pishchevaya cennost' kedrovyh orekhov dal'nego vostoka [Nutritional value of pine nuts of the far East] / E.YU. Egorova, V.M. Poznyakovskij // *Izvestiya VUZov. Pishchevaya tekhnologiya [Izvestiya Vuzov. Food technology]*. – 2010. - №4. – P. 22. [in Russian]
19. Georgieva O.V. Sovremennye produkty dlya detej starshe goda / O.V. Georgieva O.V., I.YA. Kon' / *Molochnaya promyshlennost' [Milk industry]*. – 2011. - №8. P. 54–55[in Russian]
20. Dubcova G.N. Ocenka biologicheskij aktivnyh veshchestv suhogo ekstrakta shipovnika [Evaluation of biologically active substances of dry rosehip extract] / G.N. Dubcova, I.U. Kusova, I.K. Kunicina // *Pishchevaya promyshlennost' [Food industry]*. – 2016. - № 5. – P. 32-34. [in Russian]
21. Georgieva O.V. Specializirovannyj shokolad dlya dieticheskogo profilakticheskogo detskogo pitaniya [Specialized chocolate for dietary preventive baby food] / O.V. Georgieva, E.A. Pyr'eva, A.I. Safronova // *Aktual'nye issledovaniya: elektron. nauchn. Zhurn [Current research: electron. scientific journal]*. - 2020. – №8(11). [Electronic resource] URL: <https://apni.ru/article/601-spetsializirovannij-shokolad-dlya-dieticheskog> (accessed: 05.10.2020). [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.102.12.024>

## ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОЙ ПРОДУКЦИИ ПОЛЕВОДСТВА

Научная статья

Косенко Т.Г.<sup>1,\*</sup>, Турчин В.В.<sup>2</sup>, Пугач Е.И.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ORCID: 0000-0003-3978-3025;

<sup>2</sup> ORCID: 0000-0001-7829-0296;

<sup>3</sup> ORCID: 0000-0002-5912-3043;

Донской государственный аграрный университет, Персиановский, Россия

\* Корреспондирующий автор (markos59[at]yandex.ru)

### Аннотация

В статье дана характеристика получения качественного продовольствия в условиях негативного антропогенного воздействия на окружающую природную среду в процессе сельскохозяйственного производства на основе экологизации систем ведения сельского хозяйства.

Наибольший удельный вес в структуре землепользования предприятий Каменского района Ростовской области занимают сельскохозяйственные угодья. Их доля в ООО «Возрождение» 97,39%, в ООО «Станичник» - 94,88%. Растениеводство ведется преимущественно на пашне с долей 84,05-89,43%.

Для определения плодородия почвы важно исследование её состава, кислотности, отношения к воде и кислороду, проведение оценки интенсивной технологии выращивания сельскохозяйственных культур.

Балл антропогенной нагрузки в ООО «Возрождение» и в ООО «Станичник» равен 4, что свидетельствует о значительной степени нагрузки.

Состояния почв и грунтов характеризует эколого – геохимическая оценка с использованием коэффициента концентрации относительно фона, характеризующего интенсивность техногенной аномалии.

Показатель химического загрязнения составляет 45 мг/кг, что соответствует опасному уровню химического загрязнения почв.

Определение эколого-энергетической эффективности производства экологически чистой продукции полеводства предприятий Каменского района Ростовской области связано с экономическим механизмом природопользования, сочетающим рациональную целесообразность и экологическую безопасность сельскохозяйственного производства.

**Ключевые слова:** продуктивность, структура, факторы эффективности, качество, землепользование.

## ASPECTS OF GREEN CROP PRODUCTION

Research article

Kosenko T.G.<sup>1,\*</sup>, Turchin V.V.<sup>2</sup>, Pugach E.I.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ORCID: 0000-0003-3978-3025;

<sup>2</sup> ORCID: 0000-0001-7829-0296;

<sup>3</sup> ORCID: 0000-0002-5912-3043;

<sup>1, 2, 3</sup> Don State Agrarian University, Sochi, Russia

\* Corresponding author (markos59[at]yandex.ru)

### Abstract

The article describes the characteristics of obtaining high-quality food in the conditions of negative anthropogenic impact on the environment in the process of agricultural production based on the greening of agricultural systems.

The largest percentage of the land use structure of enterprises in the Kamensky district of Rostov Oblast is occupied by agricultural land. Its portion in "Vozrozhdenie" LLC amounts to 97.39%, and in "Stanichnik" LLC it is 94.88%. The crop production is carried out mainly on arable land and takes up to 84.05-89.43%.

To determine the soil fertility, it is important to study its composition, acidity, water and oxygen ratio, and evaluate the intensive technology of growing crops.

The anthropogenic load score in "Vozrozhdenie" LLC and "Stanichnik" LLC is 4, which indicates a significant degree of the load.

The state of soils is characterized by an ecological and geochemical assessment using the concentration ratio relative to the intensity of the anthropogenic anomaly background.

The chemical contamination index is 45 mg/kg, which constitutes as a dangerous level of chemical soil contamination.

Determination of the ecological and energy efficiency of the green agricultural production of the enterprises in the Kamensky district of Rostov Oblast is associated with the economic mechanism of environmental management, which combines rational expediency and environmental safety of agricultural production.

**Keywords:** productivity, structure, efficiency factors, quality, land use.

### Введение

В процессе производственной деятельности человечество выступает все более мощным фактором, вызывающим значительные изменения в природе, нарушения сбалансированной структуры обмена веществ в природных геосистемах [1]. Одновременно происходят изменения естественных параметров среды жизни, от состояния которых зависит здоровье людей [2].

Интенсивное производство сопровождается значительными нарушениями средств природной среды [3].

Получение качественного продовольствия в условиях негативного воздействия на окружающую среду можно решить экологизацией систем ведения сельского хозяйства [4].



Среди новых направлений биотехнологии следует отметить применение микробиологических удобрений [5]. Промышленная переработка бытовых отходов, индустриальная технология компостирования отходов животноводства являются эффективными направлениями получения безопасной продукции [6].

### Объекты и методы исследований

Проведена оценка получения экологически безопасной продукции в условиях предприятий Каменского района Ростовской области.

Обогащение природных вод биогенными элементами является важнейшей проблемой современности [7]. Одним из важных условий недопущения ущерба от использования в пищу продукции, загрязненной вредными соединениями азота, являются определение предельно допустимых количеств этих соединений и регламентирование применения продуктов питания.

Для эколого – геохимической оценки состояния почв и грунтов используется коэффициент концентрации относительно фона. Для сравнения различия в выносе возможных в круговорот биогенных элементов необходимо рассчитать относительный показатель, отражающий долю изымаемого количества к общей сумме биогенов, содержащихся в растительной массе агрофитоценозов.

Таким показателем является коэффициент выноса вовлеченных в круговорот биогенных элементов (КВВБ). Коэффициент рассчитывается для каждого биогенного элемента по отдельности.

### Результаты исследования

Производство – это многофакторный процесс, объединяющий социальный, экологический и экономический аспекты, отвечающий принципам сбалансированного развития агроэкосистем.

Предприятия ООО «Станичник», ООО «Возрождение» расположены на территории северо- западной зоны Ростовской области. Основное направление производства – зерновое.

Наибольший удельный вес в структуре землепользования предприятий занимают сельскохозяйственные угодья. Их доля в ООО «Возрождение» 97,39%, в ООО «Станичник» - 94,88%. Производство продукции растениеводства ведется преимущественно на пашне с долей 84,05-89,43%.

Интенсификация сельскохозяйственного производства определила еще одну проблему – загрязнение почвы, воды и продукции тяжелыми металлами. Зачастую определяющую роль здесь играют удобрения, которые содержат значительное количество примесей тяжелых металлов.

Антропогенная нагрузка представляет собой степень воздействия человека, его деятельности на природу от использования ресурсов популяций видов, входящих в экосистемы [8]. При рациональном природопользовании антропогенная нагрузка регулируется с помощью экологического нормирования до уровня, который безопасен для экосистем.

Данные об основных сельскохозяйственных культурах предприятий представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Коэффициент выноса биогенов для основных полевых культур при их средней урожайности

Агрофитоценоз	Коэффициент выноса биогенов в % для		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Пар чистый	-	-	-
Озимая пшеница	79	75	29
Кукуруза на зерно	56	49	16
Подсолнечник	45	48	8

Наибольшее использование биогенных веществ наблюдается при выращивании озимой пшеницы.

Главной целью экологизации агроландшафта является сохранение и рациональное использование природных ресурсов (почва, вода, воздух, биоресурсы) на основе ведения производственной деятельности в соответствии с законами природы.

Только незначительная и низшая степень антропогенной нагрузки считаются экологически безопасными [9]. Уровень более 3-х баллов вызывает часто необратимые разрушения агроландшафта. Показатель в ООО «Возрождение» и в ООО «Станичник» равен 4, что свидетельствует о значительной степени нагрузки.

Для эколого – геохимической оценки состояния почв и грунтов используется коэффициент концентрации относительно фона, характеризующий интенсивность техногенной аномалии. Уровень химического загрязнения почв и грунтов тяжёлыми металлами и мышьяком по суммарному показателю загрязнения (Zc) составляет 45 мг/кг и соответствует опасному состоянию.

Одним из основных этапов агроландшафтных систем земледелия является разработка и освоение севооборотов, направленных на повышение продуктивности пашни и устойчивое ведение отрасли [10].

Эколого-энергетическая эффективность (табл.2) характеризует совокупную результативность процесса производства сельскохозяйственной продукции с учетом экологического влияния сельского хозяйства на природную среду.

Таблица 2 – Эколого-энергетическая эффективность севооборотов в среднем за 2017-2019 гг.

Показатель	Сельскохозяйственное предприятие	
	ООО «Возрождение», гДж/га	ООО «Станичник», гДж/га
1.Содержание энергии в продукции	70,5	66,2
2.Затраты на производство	16,3	14,8
3.Затраты на восстановление плодородия почвы	5,4	4,6
4.Эколого-энергетический эффект производства	38,2	37,4

Совершенствование структуры посевов в севообороте должно осуществляться в пользу приоритетных культур региона за счет создания условий для их наибольшей продуктивности [11]. Определение ведется в энергетических единицах.

Важно значение долей содержания энергии в урожае к общим затратам энергии. Более энергозатратно производство продукции в ООО «Возрождение». Севооборот как основная организационно-агрономическая категория совершенствуется в связи с изменением затрат предприятий при совершенствовании технологии.

### Заключение

ООО «Станичник», ООО «Возрождение» специализируются на выращивании зерновых, зернобобовых культур и семян масличных культур.

Проведена экологическая оценка интенсивной технологии выращивания сельскохозяйственных культур. Определена степень воздействия человека, его деятельности на природу от использования ресурсов. Уровень антропогенной нагрузки в ООО «Возрождение» и в ООО «Станичник» указывает она значительную степень воздействия.

Определение эколого-энергетической эффективности производства экологически чистой продукции полеводства связано с экономическим механизмом природопользования, сочетающим рациональную целесообразность и экологическую безопасность сельскохозяйственного производства. Энергозатраты в ООО «Возрождение» превышают показатель ООО «Станичник» на 10,13%.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Conflict of Interest

None declared.

### Список литературы / References

1. Экологическое земледелие с основами почвоведения и агрохимии : учебник / Н. С. Матюк [и др.]. - 2-е изд., испр. – Санкт-Петербург : Лань, 2014. - 224 с.
2. Николайкин Н.И. Экология / Н.И., Николайкин, Н.Е. Николайкина. 2-е изд. Учебник для вузов. М.: Дрофа, 2018. - 624 с.
3. Косенко Т.Г. Элементы экологически безопасного производства сельскохозяйственной продукции. / Т.Г. Косенко // Инновационные технологии в АПК: теория и практика Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции. 2018. с. 97-100.
4. Косенко Т.Г. Рациональное использование земельных ресурсов / Т.Г. Косенко, А. Куропаткина // Проблемы и перспективы развития экономических систем в исследованиях студентов и молодых ученых Материалы международной научно-практической конференции. 2013. с. 39-41.
5. Есаулко А.Н. Агрохимическое обследование и мониторинг почвенного плодородия: учебное пособие / А.Н. Есаулко, В.В. Агеев, Л.С. Горбатко [и др.]. – Ставрополь: АГРУС, 2012. – 352 с.
6. Горелов, С.В. Основы научных исследований : учебное пособие / С.В. Горелов, В.П. Горелов, Е.А. Григорьев ; под ред. В.П. Горелова. – 2-е изд., стер. – Москва ; Берлин : ДиректМедиа, 2016. – 534 с.
7. Гривко, Е. Экология: актуальные направления : учебное пособие / Е. Гривко, М. Глуховская. - Оренбург : ОГУ, 2014. - 394 с.
8. Демиденко, Г.А. Сельскохозяйственная экология : учебное пособие / Г. А. Демиденко, Н. В. Фомина. - Красноярск : Красноярский ГАУ, 2007. - 319 с.
9. Иванов А.В. Потенциал и перспективы производства экологически чистой продукции сельского хозяйства в трансграничных регионах Алтая и Монголии / А.В. Иванов, В.А. Кундиус // Вестник Алтайского ГАУ. – 2014. - №11. - с.152-154.
10. Мотузова, Г.В. Экологический мониторинг почв : учебник / Г.В. Мотузова, О.С. Безуглова. - Москва : Академический Проект; Гаудеамус, 2007. - 237 с.
11. Назаренко О.Г. Практикум по общей и сельскохозяйственной экологии / О.Г. Назаренко, В.В.Удалов, А.И. Богачёв, Е.А. Чеботникова, А.И. Сковпень, А.В. Удалов. – пос. Персиановский, ДонГАУ, 2008-216 с.

### Список литературы на английском языке / References in English

1. Jekologicheskoe zemledelie s osnovami pochvovedenija i agrohimii [Ecological agriculture with the basics of soil science and Agrochemistry] : textbook / N. S. Matyuk [et al.]. - 2nd ed., ISPR. – Saint Petersburg : LAN, 2014. - 224 p. [in Russian]
2. Nikolajkin N.I. Jekologija [Ecology] // N. I., Nikolaikin, N.E. Nikolaikina. 2nd ed. Textbook for universities, Moscow: Drofa, 2018, 624 p. [in Russian]
3. Kosenko T. G. Jelementy jekologicheskii bezopasnogo proizvodstva sel'skhozajstvennoj produkcii. [Elements of environmentally safe production of agricultural products]. / T.G. Kosenko // Innovacionnye tehnologii v APK: teorija i praktika Materialy VI Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii [Innovative technologies in agriculture: theory and practice

materials of the VI all-Russian scientific and practical conference]. 2018. p. 97-100. [in Russian]

4. Kosenko T. G. Racional'noe ispol'zovanie zemel'nyh resursov [Rational use of land Resources] / T.G. Kosenko, A. Kuropatkina // Problemy i perspektivy razvitiya jekonomicheskikh sistem v issledovanijah studentov i molodyh uchenyh Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii [Problems and prospects of development of economic systems in the research of students and young scientists materials of the international scientific and practical conference]. 2013. p. 39-41. [in Russian]

5. Esaulko A.N. Agrohimicheskoe obsledovanie i monitoring pochvennogo plodorodija [Agrochemical survey and monitoring of soil fertility]: textbook / A. N. Esaulko, V. V. Ageev, L. S. Gorbato [et al.]. – Stavropol: AGRUS, 2012. – 352 p. [in Russian]

6. Gorelov, S. V. Osnovy nauchnyh issledovanij [Fundamentals of scientific research] : textbook / S. V. Gorelov, V. P. Gorelov, E. A. Grigoriev ; ed. by V. P. Gorelov. – 2nd ed., ster. – Moscow ; Berlin : DirectMedia, 2016. – 534 p.

7. Grivko, E. Jekologija: aktual'nye napravlenija [Ecology: current directions] : textbook / E. Grivko, M. Glukhovskaya. - Orenburg : OSU , 2014. - 394 p. [in Russian]

8. Demidenko, G. A. Sel'skohozjajstvennaja jekologija [Agricultural ecology] : textbook / G. A. Demidenko, N. V. Fomina. - Krasnoyarsk : Krasnoyarsk STATE University, 2007. - 319 p. [in Russian]

9. Ivanov A.V. Potencial i perspektivy proizvodstva jekologicheski chistoj produkcii sel'skogo hozjajstva v transgranichnyh regionah Altaja i Mongolii [Potential and prospects for the production of environmentally friendly agricultural Products in the TRANS-border regions of Altai and Mongolia] / A.V. Ivanov, V.A. Kundius // Vestnik Altaskogo GAU [Vestnik Altaiskogo GAU]. – 2014. - №11.- p. 152-154. [in Russian]

10. Motuzova, G. V. Jekologicheskij monitoring pochv [Ecological monitoring of soils] : textbook / G. V. Motuzova, O. S. Bezuglova. - Moscow : Academic Project; Gaudeamus, 2007. - 237 p. [in Russian]

11. Nazarenko O.G. Praktikum po obshhej i sel'skohozjajstvennoj jekologii [Workshop on General and agricultural ecology] / O.G. Nazarenko, V.V. Udalov, A.I. Bogachjov, E.A. Chebotnikova, A.I. Skovpen', A.V. Udalov – POS. Persianovka, don state agrarian University, 2008-216p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.102.12.025>

## СТРУКТУРНЫЕ АБЕРРАЦИИ ХРОМОСОМ У ТЕЛЯТ ГОЛШТИНСКОЙ ПОРОДЫ

Научная статья

Кровикова А.Н.<sup>1,\*</sup>, Бакай А.В.<sup>2</sup>, Бакай Ф.Р.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ORCID: 0000-0003-0355-3156;

<sup>2</sup> ORCID: 0000-0002-8019-9974;

<sup>3</sup> ORCID: 0000-0002-7417-4308;

Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии –  
МВА имени К.И. Скрябина, Москва, Россия

\* Корреспондирующий автор (anna.krovikova[at]mail.ru)

### Аннотация

Селекционно-племенная работа предусматривает использование только таких животных, которые способны передавать своему потомству только полезные качества. Цитогенетика, вначале ставившая себе целью установление структуры нормального кариотипа, постепенно переносит свой основной интерес к изучению различных кариотипических аномалий, а также частоты их встречаемости. Именно цитогенетические методы, как отмечают многие исследователи, являются ведущими при изучении мутагенности различных факторов и практически единственными при изучении мутабельности в животноводстве. В этой связи ранняя цитогенетическая оценка молодняка крупного рогатого скота позволит выявлять животных с нежелательными изменениями в кариотипе.

**Ключевые слова:** селекция, цитогенетика, клетка, кариотип, хромосома, абберации, крупный рогатый скот, чёрно-пёстрая порода.

## STRUCTURAL ABERRATIONS OF CHROMOSOMES IN HOLSTEIN CALVES

Research article

Krovikova A.N.<sup>1,\*</sup>, Bakay A.V.<sup>2</sup>, Bakay F.R.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ORCID: 0000-0003-0355-3156;

<sup>2</sup> ORCID: 0000-0002-8019-9974;

<sup>3</sup> ORCID: 0000-0002-7417-4308;

K. I. Skryabin Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology -  
MVA named after K.I. Skryabin, Moscow, Russia

\* Corresponding author (anna.krovikova[at]mail.ru)

### Abstract

Selective breeding involves the use of only those animals that are able of transferring only useful qualities to their offspring. With the initial goal of establishing the structure of a normal karyotype, Cytogenetics gradually transfers its main interest to the study of various karyotypic anomalies as well as the rate of their occurrence. According to a number of researchers, it is the cytogenetic methods that are leading in the study of mutagenicity of various factors and are almost the only methods utilized in the study of mutability in animal husbandry. In this regard, early cytogenetic assessment of young cattle will allow for identifying animals with unwanted changes in the karyotype.

**Keywords:** selective breeding, cytogenetics, cell, karyotype, chromosome, aberrations, cattle, the Russian black pied.

### Введение

При изучении воспроизводительных качеств животных в условиях современного животноводства необходимо учитывать кариотипические особенности племенных быков производителей. О степени влияния производителя на качество потомства и распространение кариотипических нарушений сообщалось в исследованиях. Особенностью наследуемости хромосомных аномалий является то, что нарушения в виде поздней оплодотворяемости, ранней эмбриональной смертности, проявляются только у лактирующих дочерей, как правило, имеющих высокую молочную продуктивность.

Таким образом, кариотипические исследования являются наиболее ранней оценкой генотипа и особенно важно изучить показатели кариотипической нестабильности у телок с разным возрастом первого осеменения и выяснить на ранних этапах племенную ценность и потенциальные репродуктивные способности коров. Именно поэтому необходим качественный цитогенетический контроль племенного скота. К основным аномалиям хромосом, которые чаще встречаются у коров, относятся как числовые, так и структурные нарушения хромосом.

Спонтанный мутагенез, действие которого заметно усилилось в последнее время в результате антропогенного воздействия на природную среду, наносит ущерб здоровью человека и животных, заметно осложняет выполнение задач на увеличение продукции животноводства. Необходим строгий контроль и точный учет спонтанного мутагенеза в популяциях сельскохозяйственных животных.

Наиболее перспективным для этого является цитогенетический мониторинг, который имеет достаточно разработанные технические приемы и методические подходы для анализа кариотипа основных видов сельскохозяйственных животных. По сравнению с генными мутациями, геномные и хромосомные мутации, диагностируемые в виде кариотипических аномалий, встречаются на порядок чаще и могут быть выявлены с меньшей затратой времени, сил и средств.

### Основные результаты

Мы поставили перед собой цель исследовать частоту хромосомных аббераций хромосом в соматических клетках у телят голштинской породы разного возраста. Мы исследовали кариотипическую нестабильность в метафазных клетках

культуры лейкоцитов периферической крови у телок чёрно-пёстрой породы принадлежащих ФГУП «Троицкое» Троицкого района Челябинской области.

Нами, по принципу аналогов, было отобрано 30 телок двухмесячного возраста голштинской породы. Кровь для исследований брали в 2,6,9,12 и 18 месяцев

Известны два подхода приготовления препаратов хромосом с помощью прямых и непрямых методов. В первом случае препараты хромосом получают непосредственно сразу после взятия биологического материала, кратковременной инкубации его с последующей обработкой гипотоническим раствором и стандартной фиксацией клеток. При этих методах чаще всего используются клетки костного мозга и эмбриональные фибробласты.

Во втором случае для обработки клеток необходимо продолжительное культивирование их (72 часа) в заданных температурных режимах с использованием питательных сред. Наиболее широко используются при этом методе лейкоциты периферической крови. Именно этот метод мы и использовали в своей работе.

Нередко в кариотипе животных обнаруживаются такие аномалии, как хроматидные и изохроматидные пробелы, разрывы, делеции и образующиеся в результате этого различные фрагменты генетического материала.

Как показывают многие проведенные исследования, пока еще не найден тот уровень наличия спонтанных структурных изменений хромосом, который можно было бы считать своего рода нормой.

У исследованных нами животных клеток со структурными aberrациями хромосом было мало - менее 1%, причем с возрастом их доля проявляет тенденцию к снижению (таблица 1). Различия между возрастными группами статистически не подтверждаются, но все же максимальный уровень спонтанного мутагенеза следует отнести к 2-месячному возрасту. Можно сделать вывод, что по мере взросления телят мутабельность по отношению к факторам внешнего мутагенеза несколько снижается.

Таблица 1 – Уровень спонтанных aberrаций хромосом

Возраст, мес.	Число животных	Число метафаз	Из них с aberrациями клеток, %		Число aberrаций	На 1 клетку с aberrацией	На 100 метафаз
			от общей суммы метафаз	средний показатель			
2	30	2354	19	0,81±0,18	41	2,16	1,74
6	28	2086	12	0,58±0,17	22	1,83	1,05
9	27	2208	17	0,77±0,19	33	1,94	1,49
12	27	2125	13	0,61±0,14	20	1,54	0,94
18	27	2190	16	0,73±0,18	26	1,63	1,19

Что касается различных типов хромосомных перестроек, то мы вели поиск транслокаций (центрические слияний), фрагментов и делеций, а также одиночных и парных разрывов (таблица 2).

Таблица 2 – Типы структурных aberrаций хромосом

Возраст, мес.	Число aberrаций	Фрагменты	Делеции	Монохроматидные разрывы	Изохроматидные разрывы	Всего хроматидных разрывов
2	41	12(29,3)	5 (12,2)	14 (34,1)	10 (24,4)	24 (58,5)
6	22	5(22,7)	3 (13,6)	7 (31,8)	7 (31,8)	14 (63,5)
9	33	8(24,2)	3 (9,1)	10 (30,3)	12 (36,4)	22 (66,7)
12	20	6(30,0)	4 (20,0)	6 (30,0)	4 (20,0)	10 (50,0)
18	26	7(26,9)	3 (11,5)	10 (38,5)	6 (23,1)	16 (61,5)

Примечание: в скобках указаны процентные соотношения типов aberrаций.

В нашем исследовании мы не обнаружили конституциональных перестроек в кариотипе, в том числе и транслокаций Робертсоновского типа. Наблюдались только структурные aberrации хромосом.

Фрагменты составляют более четвертой части от всех обнаруженных aberrаций, их доля примерно одинакова у новорожденных и годовалых телочек (до 30%). В остальные возрастные периоды она ниже (22-26%). Делеции встречаются (могут быть замечены, если они достаточно велики) реже (9-20%). Доля хромосом с разрывами в начале (до 9 месяцев) возрастает (58,3-66,7%), затем снижается.

Соотношение монохроматидных и изохроматидных (хромосомных) разрывов составляет 1:1 только в 9-месячном возрасте. Доля изохроматидных разрывов наиболее низка в 2,12 и 18 месяцев (37,5-41,7%), а максимальная – в 9 месяцев.

Более половины мутантных клеток несут одну aberrацию, треть – две или три, и каждая десятая клетка несет много структурных перестроек (табл.3). Заметно, что клеток с большим числом aberrаций с возрастом становится несколько меньше. Возможно, это связано с укреплением в ходе онтогенеза системы репарации, что сдерживает «размножение мутаций».

Таблица 3 – Распределение клеток по типу aberrаций хромосом

Возраст, мес.	Число абер. клеток	Число хромосомных aberrаций в клетке				
		1	2	3	4	5 и более
2	19	10	3	3	1	2
6	12	8	1	1	1	1
9	17	9	3	3	1	1
12	13	8	4	-	1	-
18	16	9	4	3	-	-

Таким образом, доля клеток со структурными aberrациями хромосом максимальна в 2 мес. (0,8%), после чего снижается до 0,6 – 0,7%. Более 50% aberrаций составляют разрывы хромосом, доля которых среди aberrаций всех типов максимальна в 9 мес. (66,7%)

### Заключение

В результате проведенного цитогенетического анализа структурных aberrаций хромосом у телят голштинской породы мы установили, что доля клеток со структурными aberrациями хромосом максимальна в 2 мес. (0,8%), после чего снижается до 0,6 – 0,7%. Более 50% aberrаций составляют разрывы хромосом, доля которых среди aberrаций всех типов максимальна в 9 мес. (66,7%). Таким образом, использование цитогенетических методов в селекции позволяет говорить о практической возможности массового и всестороннего контроля кариотипической стабильности, которая, будучи характеристикой генетической полноценности племенных животных, сама в то же время находится под генетическим контролем.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Conflict of Interest

None declared.

### Список литературы / References

1. Бакай, А.В. Кариотипическая нестабильность у коров разных генотипов / Бакай А.В., Бакай Ф.Р. // Актуальные проблемы зоотехнии: Сборник научных трудов. – М.: ФГОУ ВПО МГАВМиБ, 2009. С. 55-59.
2. Бакай, А.И. Воспроизводительные качества голштинизированных коров с разным уровнем кариотипической нестабильности: Дис. кандидата биологических наук: 06.02.01 / А.И. Бакай; ФГОУ ВПО Московская Государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии имени К.И. Скрябина. - Москва, 2009.-112.
3. Бич, А.И. Генетические основы создания высокопродуктивного молочного скота черно-пестрой породы путем использования голштинских производителей / А.И. Бич, Е.И. Сакса // Бюл. ВНИИРГЖ. Л., 1987. С. 15-21.
4. Бочков, Н.П. Классификация и методы учета хромосомных aberrаций в соматических клетках / Н.П. Бочков, Ю.С. Демин, Н.В. Лучник // Генетика. 1972. - № 5. - С. 133 - 141.
5. Будевич, И.И. Спонтанная изменчивость хромосом крупного рогатого скота / И.И. Будевич // Повышение эффективности методов генетики и селекции. Байсагола, 1978. — С. 30 - 31.
6. Жигачёв, А.И. Причины распространения транслокации 1/29хромосом у палево-пестрого и ее редкой встречаемости у черно-пестрого скота // Докл. ВАСХНИЛ.- 1986.- № 9.- С.30-31.
7. Зиновьева, Н.А. Генетическая оценка в племенном животноводстве / Н.А. Зиновьева // Современные методы генетики и селекции в животноводстве: материалы междунар. науч. конф., ВНИИРГЖ, 26–28 июня 2007 г. – СПб., 2007. – С. 34–35.
8. Костомахин, Н.М. Воспроизводство стада и выращивание ремонтного молодняка в скотоводстве / Н.М. Костомахин. – М.: КолосС, 2009. – 109с.
9. Мехтиев, С.М. Воспроизводительные качества коров с разной продолжительностью внутриутробного развития / Бакай Ф.Р., Мехтиев С.М., Мехтиева К.С. // Вестник НГАУ. – 2013. - №2 (27) - С.49-52.
10. Семенов, А.С. Цитогенетический скрининг в различных популяциях голштинизированного скота диссертация ... доктора сельскохозяйственных наук : 06.02.07 / Семенов Анатолий Сергеевич; [Место защиты: Новосибир. гос. аграр. ун-т]. - Пермь, 2009. - 232 с.

### Список литературы на английском языке / References in English

1. Bakai, A. V. Kariotipicheskaja nestabil'nost' u korov raznyh genotipov [Karyotypic instability in cows of different genotypes] / Buckeye V. A., Bakay, R. F. // Aktual'nye problemy zootehnii: Sbornik nauchnyh trudov [Actual problems of animal husbandry: Collection of scientific works]. – Moscow: FGOU VPO Mgavmib, 2009. P. 55-59. [in Russian]
2. Bakai, A. I. Vosproizvoditel'nye kachestva golshtinizirovannyh korov s raznym urovnem kariotipicheskoy nestabil'nosti [Reproductive qualities of holsteinized cows with different levels of karyotypic instability]: Dis. candidate of biological Sciences: 06.02.01 / A. I. Bakay; FGOU VPO Moscow State Academy of veterinary medicine and biotechnology named after K. I. Skryabin.- Moscow, 2009. -112. [in Russian]
3. Beach, A. I. Geneticheskie osnovy sozdaniya vysokoproduktivnogo molochnogo skota cherno-pestroj porody putem ispol'zovaniya golshtinskih proizvoditelej [Genetic bases of creation of highly productive dairy cattle of black-and-white breed by using Holstein producers] / A. I. Beach, E. I. Saks // Byul. VNIIRGZH. L., 1987. P. 15-21. [in Russian]
4. Bochkov, N. P. Klassifikacija i metody ucheta hromosomnyh aberracij v somaticheskikh kletkah [Classification and methods of accounting for chromosomal aberrations in somatic cells] / N. P. Bochkov, Yu. s. Demin, N. V. Luchnik // Genetika [Genetics]. 1972. - No. 5. - Pp. 133-141. [in Russian]

5. Budevich, I. I. Spontannaja izmenchivost' hromosom krupnogo rogatogo skota [Spontaneous variability of chromosomes of cattle] / I. I. Budevich // Povyshenie jeffektivnosti metodov genetiki i selekcii [Improving the efficiency of genetics and breeding methods. Baisogala], 1978. P. 30 — 31. [in Russian]
6. Zhigachev, A. I. Prichiny rasprostraneniya translokacii 1/29hromosom u palevo-pestrogo i ee redkoj vstrechaemosti u cherno-pestrogo skota [Reasons for the spread of translocation 1 / 29chromosomes in pale-mottled and its rare occurrence in black-mottled cattle] // Dokl. VASHNIL. - 1986. - no. 9. - P. 30-31. [in Russian]
7. Zinovieva, N. A. GENETICHESKAYA otsenka v plemennom Zhivotnovodstve [Genetic assessment in livestock breeding] / N. A. Zinovieva // Sovremennyye metody genetiki i selekcii v zhivotnovodstve: materialy mezhdunar. nauch. konf., VNIIGRZh [Modern methods of genetics and selection in animal husbandry: materials from the world. scientific Conf., VNIIGRZh], June 26-28, 2007-SPb., 2007. - Pp. 34-35. [in Russian]
8. Kostomakhin, N. M. Vospriizvodstvo stada i vyrashhivanie remontnogo molodnjaka v skotovodstve [Reproduction of the herd and re-breeding of young animals in cattle breeding] / N. M. Kostomakhin. - M.: Koloss, 2009 – - 109 p. [in Russian]
9. Mehdiyev, S. M. Vospriizvoditel'nye kachestva korov s raznoj prodolzhitel'nost'ju vnutriutrobnogo razvitiya [Reproductive qualities of cows with different duration of intrauterine development] / Buckeye F. R., S. M. Mehdiyev, Mehdiyev, K. S. // Vestnik NGAU [Bulletin of Novosibirsk state agrarian University]. – 2013. - №2 (27) - p. 49-52. [in Russian]
10. Semenov, A. S. Citogeneticheskij skringing v razlichnyh populjacijah golshtinizirovannogo skora dissertacija [Cytogenetic screening in different populations holsteinized soon dissertation] ... doctor of agricultural Sciences: 06.02.07 / Anatoly Sergeevich Semenov; [Place of defense: Novosibirsk state University. agrarian. UN-t]. - Perm, 2009. - 232 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.102.12.026>ИЗУЧЕНИЕ КОЛЛЕКЦИИ СОРТОВ ЗЕРНОБОБОВЫХ КУЛЬТУР  
В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

Научная статья

Неустроев А.Н.<sup>1,\*</sup>, Бардеев И.Ф.<sup>2</sup><sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-8527-0178;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0002-0145-6371;<sup>1,2</sup> Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени М.Г. Сафронова, Якутск, Россия

\* Корреспондирующий автор (anneystroevyniisx[at]mail.ru)

## Аннотация

В статье представлены результаты испытания усатых сортообразцов гороха посевного и сортов сои из мировой коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), с целью отбора исходного материала для селекции по выведению сорта устойчивого к полеганию и адаптированного к условиям Якутии. Работы выполнялись по общепринятым методикам ВИР им. Н.И. Вавилова. Полевые работы проведены в 2015...2020 гг. на научно-полевом стационаре Якутского научно-исследовательского института им. М.Г. Сафронова, расположенном на второй надпойменной террасе р. Лена Хангаласского улуса Республики Саха (Якутия). Основными критериями оценки гороха являлись: короткостебельность – здесь выделены 4 сорта (Gousses, Шустрик, Демос, Мадонна); многоплодность на цветоносе – 2 сорта (Батрак и Gousses); многосемянность боба и мелкосемянность отмечается у сорта Ямалский. Из изученных сортов сои в условиях Якутии созрели два сорта – Касатка и Дина, из них скороспелее сорт Касатка. По числу продуктивных узлов и числу бобов на растении вследствие своей высокорослости преобладает сорт Дина (высота 56,3 см, 9 продуктивных узлов, 16 бобов).

**Ключевые слова:** селекция, горох посевной, соя, устойчивость к полеганию, скороспелость.

## A STUDY OF A LEGUMINOUS CROP VARIETY COLLECTION IN CENTRAL YAKUTIA

Research article

Neustroev A.N.<sup>1,\*</sup>, Bardeev I.F.<sup>2</sup><sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-8527-0178;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0002-0145-6371;<sup>1,2</sup> M.G. Safronov Yakut Scientific Research Institute of Agriculture, Yakutsk, Russia

\* Corresponding author (anneystroevyniisx[at]mail.ru)

## Abstract

The article presents the results of testing the leafless pea and soybean varieties from the world collection of the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources with the goal of selecting the source material for breeding the varieties resistant to lodging and that are adapted to the conditions of Yakutia. The work was performed according to the methods accepted by the institute. The fieldwork was carried out in 2015...2020 at the scientific field hospital of the M.G. Safronov Yakut Scientific Research Institute of Agriculture located on the second upland fringe of the Lena river in the Khangalassky district of the Republic of Sakha (Yakutia). The research utilizes the following criteria for the evaluation: short-stature – 4 varieties (Gousses, Shustrik, Demos, Madonna); multiplicity on the floriferous shoot — 2 varieties (Batrak and Gousses); multi-seeded and small-seeded bean — the Yamal variety. Out of all the studied soybean varieties in Yakutia, two varieties have matured-Kasatka and Dina. While the Kasatka variety has been found to be more early-maturing, the Dina variety prevails in the number of productive nodes and the number of beans on the plant (height 56.3 cm, 9 productive nodes, 16 beans).

**Keywords:** breeding, pea, soybean, resistance to lodging, early maturity.

## Введение

В среднем по России в рационах животных на кормовую единицу приходится 85-86 г переваримого протеина, вместо необходимых 105-110 г, то есть обеспеченность составляет примерно 75-80% [1, С.173]. В Якутии эти показатели ещё ниже – 80-82 г на кормовую единицу [2, С.142], иногда и 65-70 г [3, С.3].

Результат этого – ухудшение здоровья животных, снижение продуктивности, перерасход кормов. Наиболее рациональный путь решения проблемы – возделывание богатых белком растений.

Из зернобобовых культур наибольшее распространение по возделыванию в России занимает горох посевной (*Pisum sativum* L.). В 70-е годы в СССР он высевался более чем на 3,5 млн. га – почти столько же, сколько во всех других странах мира [4, С. 258]. В конце 90-х. горох в России возделывался на площади 998 тыс.га, на Украине – 660 тыс., в Белоруссии – 116 тыс., а вместе площадь под этой культурой составляла лишь 26,6% от мировой [5, С. 27-28].

По данным ФАО в последние годы в Российской Федерации посевные площади посева гороха начали медленно возрастать. Так, в 2010 г. площади посева составляли 882 тыс.га, а в 2013 г. – 1160,2 тыс.га и заняли второе место в мире при средней урожайности 1,43 т/га [12].

Это обусловлено тем, что в производство внедряются технологичные сорта гороха, пригодные для однофазной уборки. Для них характерен не обычный листочковый парноперистый, а усатый тип листа в сочетании с более жестким, коротким и, в ряде случаев, уже детерминантным, ограниченным в росте стеблем, заканчивающимся не вегетативной верхушечной почкой, а апикальным соцветием. У таких сортов небольшое число плодущих узлов, компактное размещение бобов на верхней части стебля, и как следствие, сжатые сроки плодообразования и созревания. А сцепление соседних растений усами такое сильное, что стеблестой не полегает и представляет собой сплошной пружинистый слой [6, С.19].



В настоящее время в Якутии посевов гороха практически нет. Основная причина этому отсутствие районированного неполегающего усатого сорта подходящего для местных условий возделывания и пригодного для однофазной уборки.

В связи с этим в Якутском НИИСХ с 2011 г. изучается, полученная из Всероссийского института генетических ресурсов им. Н.И. Вавилова (ВИР), коллекция в основном усатых сортов, как исходный материал для дальнейшей селекции с целью выведения неполегающего сорта, пригодного для однофазной уборки и адаптированного к почвенно-климатическим условиям Якутии. Кроме этого, с 2018 г. для изучения возможности возделывания сои в Якутии, из ВИР были выписаны сорта, включенные в Государственный реестр селекционных достижений РФ. Всего 30 сортов сои.

Соя – самая распространенная зернобобовая культура мирового значения. Специалисты в области питания определяют сою как идеальную пищу для человека. Предполагается, что уже в первой половине XXI века более половины всего производимого объема семян этой культуры будет использоваться как продовольствие [7, С.9].

В условиях Якутии сою впервые предпринимал попытки сеять Г.И. Конюхов в 60-е годы XX века [8, С.50]. Из его опытов, следует что соя в естественных условиях Севера приступает к цветению в конце лета, перед заморозками, и не дает семена. В Якутии определенный интерес к сое может появиться в случае создания форм, не реагирующих отрицательно на длинный световой день [9. С. 315].

Цель исследований – оценка коллекционных сортов образцов гороха и сои, отбор по комплексу хозяйственно-ценных признаков и свойств в условиях Центральной Якутии.

### **Место, условия, объекты и методика исследований**

Исследования проведены в Покровском стационаре ФГБНУ ЯНИИСХ. Почва участка по морфологическому описанию мерзлотно-таежная, осолодевшая. По гранулометрическому составу среднесуглинистая, относится к категории хорошо окультуренных. Содержание гумуса в пахотном слое – 2,91-2,88 %. В среднем на горизонте 0-40 см содержание нитратного азота низкое – 3,8 мг/кг. Содержание подвижного фосфора среднее – 111,8 мг/кг, обменного калия очень высокое – 231,6 мг/кг. Реакция почвенного раствора нейтральная или слабощелочная, pH водн. 7,87 – 8,20, pH сол. 7,00 – 7,62.

Объектом исследований являются сорта гороха посевного и сои из коллекции ФГБНУ Всероссийского института генетических ресурсов им. Н.И. Вавилова (ВИР).

Фенологические наблюдения, учет урожая и анализы растений проведены по методикам ГНУ Всероссийский НИИ растениеводства им. Н.И. Вавилова (1985, 2010) [10], [11], принятой для коллекционного питомника. Площадь делянки 1 м<sup>2</sup>. Посев проводится вручную под ручной маркер под 10 растений. Растения высеваются на расстоянии друг от друга на 10 см. В период вегетации проведены фенологические наблюдения и визуальная оценка образцов. Для структурного анализа образцов коллекции в фазу хозяйственной спелости отобраны 25 растений. Анализ растений проведен по следующим показателям: высота растений, количество бобов, семян на растение, количество семян в бобе, масса 1000 семян с растения (продуктивность). Выделенные из коллекции образцы будут включены в гибридизацию.

### **Основные результаты и обсуждение**

За годы исследований посев коллекционного питомника проводился в третьей декаде мая, в зависимости от спелости почвы. Массовое цветение наблюдалось во второй декаде июля. Созревание в середине и в конце августа.

В коллекционном питомнике в 2015...2017 гг. изучено 16 сортов гороха, в сравнении с районированными сортами Мелкосемянный 2 и Светозар. Эти районированные сорта отличаются высокорослостью. По результатам наших исследований высота у стандарта сорт Мелкосемянный 2 = 95,6 см, у стандарта Светозар = 82,1 см (таблица 1). Из-за высокого роста они полегают. Вместе с тем сорт Мелкосемянный 2 является листочковым сортом.

Основные, выделенные нами признаки отбора наиболее пригодных сортов с целью дальнейшего использования их для селекции в Якутии:

- для технологичности – короткостебельность, усатость;
- для урожайности – максимальное количество узлов с бобами и число бобов на растении, количество семян в бобе.

Кроме этого, для последующего снижения затрат на посевной материал, при распространении нового сорта, мелкосемянность является важным признаком.

По короткостебельности в условиях Якутии отмечаются сорта Gousses = 33,3 см, Шустрик = 37,3 см, Демос = 44,5 см, Мадонна = 49,9 см (таблица 1).

Таблица 1 – Высота растений, семенная продуктивность и масса 1000 семян гороха посевного в коллекционном питомнике в среднем за 2015-2017 гг.

Сорт	Высота растения			Масса семян						Масса 1000 семян		
				на растении			в бобе					
	см	± к стан дарту		г	% к стан дарту		г	% к стан дарту		г	± к стан дарту	
Мелкосемянный 2 (st.1)	95,6	st	-	4,3	st	-	0,7	st	-	141	st	-
Светозар (st.2)	82,1	-	st	5,0	-	st	1,0	-	st	280	-	st
Омский 9	82,1	-13.5	0.0	7,2	167	144	1,3	186	130	271	130	-9
Казанец	60,3	-35.3	-21.8	5,3	123	106	1,2	171	120	328	187	49
Губернатор	54,8	-40.8	-27.3	8,8	104	176	1,3	186	130	251	110	-29
Батрак	45,5	-50.2	-36.7	6,4	149	128	1,2	171	120	316	175	36
Gousses	33,3	-62.4	-48.9	7,4	172	148	1,2	171	120	258	117	-21
Демон	56,9	-38.7	-25.2	6,5	151	130	1,2	171	120	321	180	41
Демос	44,5	-51.1	-37.6	6,3	146	126	1,3	186	130	267	126	-12
Мадонна	49,9	-45.7	-32.2	5,9	137	118	1,4	200	140	327	186	47
Самарец	69,2	-26.4	-12.9	4,9	114	98	1,1	157	110	298	157	18
Мультик	54,2	-41.5	-28.0	5,9	137	118	1,2	171	120	288	147	8
Ямальский	54,9	-40.7	-27.2	5,1	119	102	1,1	157	110	209	68	-71
Шустрик	37,3	-58.3	-44.8	4,9	114	98	0,9	128	90	291	150	12
К-8944 (Швеция)	79,9	-21.7	-8.2	6,5	151	130	1,1	157	110	301	160	22
Флагман 5	54,8	-40.8	-27.3	8,6	200	172	1,1	157	110	232	91	-48
Флагман 7	75,7	-19.9	-6.5	9,1	212	182	1,6	228	160	320	179	40
Флагман 9	58,4	-37.2	-23.7	8,0	186	160	1,6	228	160	316	175	36
НСР <sub>05</sub>		37.1	38.1		6.3	6.4		0.5	0.6		48.4	49.3

По количеству узлов с бобами (5,0 шт.) и по числу бобов на растении (8,6 шт.) выделяется сорт Флагман 5 (таблица 2).

Многоплодность на узлах отмечается у сортов Батрак и Gousses, в среднем за годы исследований эта величина была выше 2-х бобов (см. таблицу 2). Поскольку из-за короткого северного лета рискованно повышать урожайность за счет повышения фертильных узлов на растении, то признак многоплодности является наиболее важным для условий Якутии.

Наибольшее количество семян в бобе выявлено у сорта Ямальский (5,6 шт.). Также у этого сорта наблюдается мелкосемянность (Масса 1000 семян = 209,0 г). У стандарта Мелкосемянный 2, масса 1000 семян составляет 141,0 г (таблица 1).

Таблица 2 – Морфобиологические и хозяйственные признаки изучаемых образцов гороха в коллекционном питомнике, в среднем за 2015...2017 гг.

Сорт	Количество														
	узлов с бобами			бобов						семян					
	шт. на раст.	± к стандарту		на раст.	± к стандарту		на узел	± к стандарту		на раст.	± к стандарту		в бобе	± к стандарту	
		st.1	st.2		st.1	st.2		st.1	st.2		st.1	st.2		st.1	st.2
Мелкосемянный 2 (st.1)	5,6	st	-	6,6	st	-	1,2	st	-	31,4	st	-	4,9	st	-
Светозар (st.2)	3,7	-	st	5,3	-	st	1,7	-	st	18,8	-	st	3,6	-	st
Омский 9	3,9	-1,7	0,2	6,0	-0,6	0,7	1,6	0,4	-0,1	28,4	-2,9	9,8	4,8	-0,1	1,2
Казанец	2,8	-2,8	-0,9	4,5	-2,1	-0,8	1,7	0,5	0,0	16,3	-15,1	-2,5	3,8	-1,1	0,2
Губернатор	4,4	-1,2	0,7	7,5	0,9	2,2	1,8	0,6	0,1	35,6	4,2	16,8	5,2	0,3	1,6
Батрак	2,5	-3,1	-1,2	5,7	-0,9	0,4	2,2	1,0	0,5	20,4	-11,0	1,6	4,0	-0,9	0,4
Gousses	3,4	-2,2	-0,3	6,9	0,3	1,6	2,1	0,9	0,4	31,4	0,0	12,6	4,6	-0,3	1,0
Демон	2,9	-2,7	-0,8	5,4	-1,2	0,1	1,9	0,7	0,2	20,8	-10,6	2,0	4,0	-0,9	0,4
Демос	2,8	-2,8	-0,9	5,2	-1,4	-0,1	1,9	0,7	0,2	24,9	-6,5	6,1	5,1	0,2	1,5
Мадонна	2,7	-2,9	-1,0	4,2	-2,4	-1,1	1,7	0,5	0,0	17,2	-14,2	-1,6	4,2	-0,7	0,6
Самарец	2,9	-2,7	-0,8	4,6	-2,0	-0,7	1,6	0,4	-0,1	17,4	-14,0	-1,4	4,0	-0,9	0,4
Мультик	2,9	-2,7	-0,8	5,2	-1,4	-0,2	2,0	0,8	0,3	21,1	-10,3	2,3	4,2	-0,7	0,6
Ямальский	2,7	-2,9	-1,0	4,9	-1,7	-0,4	2,0	0,8	0,3	26,2	-5,2	7,4	5,6	0,7	2,0
Шустрик	3,3	-2,3	-0,4	6,0	-0,6	0,7	1,9	0,7	0,2	17,3	-14,1	-1,5	3,1	-1,8	-0,5
К-8944 (Швеция)	3,0	-2,6	-0,7	5,8	-0,8	0,5	2,0	0,8	0,3	22,8	-8,6	4,0	4,0	-0,9	0,4
Флагман 5	5,0	-0,6	1,3	8,6	2,1	3,3	1,8	0,6	0,1	38,1	6,7	19,3	4,5	-0,4	0,9
Флагман 7	4,5	-1,1	0,8	6,2	-0,4	0,9	1,5	0,3	-0,2	28,6	-2,8	9,8	4,9	0,0	1,3
Флагман 9	3,3	-2,3	-0,4	5,3	-1,3	0,0	1,7	0,5	0,0	26,9	-4,5	8,1	5,3	0,4	1,7
НСР <sub>05</sub>		2,9	3,0		4,9	4,9		0,4	0,5		24,1	24,4		1,9	1,9

Образцы сои были высеваны в 2018 г. в третьей декаде мая (24 мая), из них созрели два сорта Касатка (Оригинатор: ФГБНУ «Рязанский НИИСХ», включен в Госреестр в 2005 г.) и Дина (Оригинатор: ФГБНУ «Омский аграрный научный центр», включен в Госреестр 2003 г.). В 2019-2020 гг. созревшие сорта были посеяны семенами прошлогоднего урожая, полученного в местных условиях. В 2019 г. посев произведен 28 мая, в 2020 г. – 25 мая. В 2020 году вышеуказанные сорта также дали урожай зерна.

Из таблицы 3 видно, что в среднем за три года сорт Дина более высокорослый. Однако, высота прикрепления нижнего боба у сорта Касатка на 2,3 см выше, что является ценным хозяйственным признаком при уборке.

Таблица 3 – Высота растения, высота прикрепления нижнего боба и число продуктивных узлов на растении сои (2018–2020 гг.)

№	Сорт	Высота растения, см				Высота прикрепления нижнего боба, шт				Число продуктивных узлов, шт.			
		2018	2019	2020	Ср.	2018	2019	2020	Ср.	2018	2019	2020	Ср.
1	Дина	53,9	70,0	44,9	56,3	14,2	14,1	12,9	13,4	9,3	10,2	7,5	9,0
2	Касатка	33,8	43,3	37,8	38,3	11,8	20,5	14,9	15,7	8,6	8,2	9,2	8,7

По числу продуктивных узлов и числу бобов на растении вследствие своей высокорослости преобладает сорт Дина (таблица 3 и 4), но, как следствие, он позднеспелый (дата цветения в 2019 г. у сорта Касатка 16 июля, у сорта Дина 23 июля, дата цветения в 2020 г. у сорта Касатка 12 июля, у сорта Дина 20 июля). На дату уборки (10 сентября 2019 г и 3 сентября 2020 г) сорт Касатка был полностью созревшим, а сорт Дина был убран в фазе восковой спелости и дозрел в валке.

Таблица 4 – Число бобов, вес семян с растения и масса 1000 семян сои (2018...2020 гг.)

Сорт	Число бобов, шт./раст.				Вес семян, г/раст.				Масса 1000 сем, г			
	2018	2019	2020	Ср.	2018	2019	2020	Ср.	2018	2019	2020	Ср.
Дина	16,8	18,8	12,5	16,0	4,9	5,1	3,5	4,5	164	185	126	158
Касатка	17,9	13,4	12,1	14,5	5,2	4,3	3,5	4,3	166	164	124	151
Ср. по сортам	17,4	16,1	12,3	15,3	5,0	4,7	3,5	4,4	165	174	125	155
НСР <sub>05</sub>	4,7	3,1	2,8	1,8	1,2	1,1	1,0	1,0	9,4	7,0	9,4	2,8

### Заключение

1. Изучение коллекции гороха посевного показало, что по короткостебельности выделились сорта Gousses, Шустрик, Демос, Мадонна, многоплодность на узле наблюдается у сортов Батрак и Gousses. По количеству узлов с бобами и по числу бобов на растении выделяется сорт Флагман 5, наибольшее количество семян в бобе и мелкосемянность отмечается у сорта Ямальский.

2. Изучение коллекции сои выявило что в условиях Якутии из изученных сортов способны вызревать сорта Дина и Касатка. Из этих сортов, по предварительным данным, наиболее подходит для местных природно-климатических условий сорт Касатка.

Эти выделенные сорта могут послужить как исходный материал для дальнейшей селекции гороха и сои в Якутии.

### Финансирование

Работа выполнена согласно тематике НИР (0821-2016-0002) Якутского НИИ сельского хозяйства в 2015-2020 гг. в лаборатории селекции и семеноводства кормовых культур.

### Funding

The work was carried out in accordance with the research topic (0821-2016-0002) of the Yakut research Institute of agriculture in 2015-2020 in the laboratory of breeding and seed production of forage s.

### Благодарности

Авторы благодарны своему учителю, наставнику, заслуженному агроному Республики Саха (Якутия) Конюхову Глебу Ивановичу основоположнику и вдохновителю распространения зернобобовых культур в Якутии.

### Acknowledgement

The authors are grateful to their teacher, mentor, honored agronomist of the Republic of Sakha (Yakutia) Konyukhov Gleb Ivanovich, the founder and inspirer of the spread of leguminous crops in Yakutia.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Conflict of Interest

None declared.

**Список литературы / References**

1. Конюхов, Г.И. Земледелие Якутии / Г.И. Конюхов. – РАСХН. Сиб. отд-ние. Якут. НИИСХ. Новосибирск. 2005. – 360 с.
2. Петровская, В.А. Кормление крупного рогатого скота в Якутии / В.А. Петровская. – Якутск: Кн. изд-во, 1967. – 264 с.
3. Барашкова, Н.В. Создание и рациональное использование сеяных травостоев в Центральной Якутии / Н.В. Барашкова, Д.В. Якушев. – РАСХН Сиб. отд-ние. ГНУ Якут. НИИСХ. Новосибирск. 2002. – 156 с.
4. Хангильдин, В.Х. Достижения и задачи в селекции гороха в СССР / В.Х. Хангильдин // Селекция и семеноводство зерновых и кормовых культур: Сб. науч. трудов. – М.: Колос. 1972. – С.258-264.
5. Шпаар, Д. Зернобобовые культуры / Д. Шпаар, Ф. Элмер и др.. – «ФУ Аинформ» Минск. 2000. – 264 с.
6. Конюхов, Г.И. Горох в Якутии. Задачи селекции / Г.И. Конюхов, А.Н. Неустроев // Аprobация – №2 – 2014. – С. 17 – 23.
7. Щегорев, О.В. Соеводство: учебное пособие / О.В.Щегорев. – Благовещенск. 2002. – 432 с.
8. Конюхов, Г. И. Зернобобовые культуры Якутии / Г. И. Конюхов. – Якутск: Якутское книжное издательство, 1963. – 51 с.
9. Конюхов, Г.И. Земледелие Якутии: второе издание, дополненное / Г.И. Конюхов. – СПб. «Гегемон» 2015. – 448 с.
10. Методические указания по изучению мировой коллекции ВИР. Л.. 1985. – 24 с.
11. Вишнякова М.А. Коллекция мировых генетических ресурсов зерновых бобовых культур ВИР: пополнение, сохранение и изучение. Методические указания / М.А. Вишнякова, С.В. Булынец, Т.В.Буравцева, М.О.Бурляева, И.Ф. Сеферова, Г.Т. Александрова, И.И. Янков, Г.П.Егорова, Т.В. Герасимова, Е.В. Другова. СПб: ВИР, 2010. – 141 с.
12. Продовольственная сельскохозяйственная организация Объединенных Наций. – [Электронный ресурс] URL: [www.faostat.fao.org](http://www.faostat.fao.org) (дата обращения: 16.11.2020)

**Список литературы на английском языке / References in English**

1. Konyukhov, G. I. Zemledelie Jakutii [Agriculture Of Yakutia] / G. I. Konyukhov. - RASKHN. Sib. otd-nie. Yakut. Research Institute of agriculture. Novosibirsk. 2005. - 360 p. [in Russian]
2. Petrovskaya, V. A. Kormlenie krupnogo rogatogo skota v Jakutii [Feeding of cattle in Yakutia]. / V. A. Petrovskaya. Yakutsk: publishing House, 1967. – 264 p. [in Russian]
3. Barashkova, N. V. Sozdanie i racional'noe ispol'zovanie sejanyh travostoev v Central'noj Jakutii [Creation and rational use of seeded grass stands in Central Yakutia] / N. V. Barashkova, D. V. Yakushev. - RASKHN Sib. otd-nie. Wildebeest Yakut. Research Institute of agriculture. Novosibirsk. 2002. - 156 p. [in Russian]
4. Khangildin, V. Kh. Dostizhenija i zadachi v selekcii goroha v SSSR [Achievements and challenges in the selection of peas in the USSR] / V. Kh. Khangildin // Selekcija i semenovodstvo zernovyh i kormovyh kul'tur [Selection and seed production of grain and fodder crops]: Collection of scientific works-Moscow: Kolos. 1972. - P. 258-264. [in Russian]
5. Shpaar D. Zernobobovye kul'tury [Leguminous crops] / D. Shpaar, F. Ellmer and others. - "FU Ainform" Minsk, 2000. – 264 p. [in Russian]
6. Konyukhov G. I. Goroh v Jakutii. Zadachi selekcii [Peas in Yakutia. Problems of selection] / G. I. Konyukhov, A. N. Neustroev // Aprobacija [Approbation] - № 2 - 2014. – P. 17-23. [in Russian]
7. Shchegorets, O. V. Soevodstvo [Soyevodstvo] : textbook/ O. V. Shchegorets. - Blagoveshchensk. 2002. – 432 p. [in Russian]
8. Konyukhov, G. I. Zernobobovye kul'tury Jakutii [Leguminous crops of Yakutia] / G. I. Konyukhov. - Yakutsk: Yakut book publishing house, 1963. - 51 p. [in Russian]
9. Konyukhov, G. I. Zemledelie Jakutii [Agriculture of Yakutia]: second edition, supplemented/ G. I. Konyukhov. – SPb. "Hegemon" 2015. - 448 p. [in Russian]
10. Metodicheskie ukazaniya po izucheniju mirovoj kolekcii VIR [Methodological guidelines for the study of the world collection VIR]. L. 1985. – 24 p. [in Russian]
11. Vishnyakova M. A. Kollekcija mirovyh geneticheskikh resursov zernovyh bobovyh kul'tur VIR: popolnenie, sohranenie i izuchenie. Metodicheskie ukazaniya [Collection of world genetic resources of grain legumes VIR: replenishment, conservation and study. Methodical instructions] / M. A. Vishnyakova, S. V. Bulyntsev, T. V. Buravtseva, M. O. burlyaeva, I. F. Seferova, G. T. Alexandrova, I. I. Yankov, G. P. Egorova, T. V. Gerasimova, E. V. Drugova. Saint Petersburg: VIR, 2010. - 141 p. [in Russian]
12. Prodovol'stvennaja sel'skohozjajstvennaja organizacija Ob#edinennyh Nacij [Food and agriculture organization of the United Nations]. – [Electronic resource] URL: [www.faostat.fao.org](http://www.faostat.fao.org) (accessed: 16.11.2020) [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.102.12.027>

## ПРИМЕНЕНИЕ КАРТОГРАФИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕГРАДАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ЗЕМЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

Научная статья

Петрова И.А.<sup>1,\*</sup>, Степкин Ю.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ORCID: 0000-0003-0199-4492;

<sup>1</sup> Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А.К. Кортунова, Новочеркасск, Россия;

<sup>2</sup> Донской государственный аграрный университет, Новочеркасск, Россия

\* Корреспондирующий автор (petroffa\_i[at]mail.ru)

### Аннотация

Земельные ресурсы Российской Федерации почти повсеместно подвержены деградационным процессам, таким, как водная и ветровая эрозия, переувлажнение, заболачивание, засоление, солонцеватость и др.

В связи с этим при планировании использования земельных ресурсов необходимо анализировать имеющуюся и перспективную ситуацию развития этих процессов по различным аспектам. Необходимые данные можно получить в результате мониторинга земельных ресурсов, который представляет собой информационную базу данных наблюдений, анализа и прогноза изменений в их состоянии. Чтобы воспроизвести основные геоэкологические объекты и явления в естественной пространственной последовательности, применяют картографический мониторинг, который состоит в использовании карт для понимания отражаемых на них объектов и явлений: для получения сведений, изучения корреляции, установления их динамики и развития, прогнозирования. В статье приведены необходимые типы карт для оценки состояния земельных ресурсов в условиях деградации, которые необходимы при ведении мониторинга земель, приведена их классификация по способу работы с ними и описаны требования к картам как единой многоуровневой информационной системы.

**Ключевые слова:** деградация земельных ресурсов, мониторинг земель, картографический метод.

## APPLICATION OF CARTOGRAPHIC MONITORING IN IDENTIFYING LAND DEGRADATION PROCESSES

Research article

Petrova I.A.<sup>1,\*</sup>, Stepkin Y.A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ORCID: 0000-0003-0199-4492;

<sup>1</sup> Novocherkassk Land Reclamation Institute named after A.K. Kortunov, Novocherkassk, Russia;

<sup>2</sup> Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russia

\* Corresponding author (petroffa\_i[at]mail.ru)

### Abstract

Land resources of the Russian Federation are almost universally subject to degradation processes, such as water and wind erosion, waterlogging, salinization, salinity, etc.

In this regard, when planning the use of land resources, it is necessary to analyze the current and future situation of the development of these processes in various aspects. The necessary data can be obtained from land resources monitoring, which is an information database of observations, analysis and forecast of changes in their state. To reproduce the main geo-ecological objects and phenomena in a natural spatial sequence, use cartographic monitoring, which consists in using maps to understand the objects and phenomena reflected on them: to obtain information, study the correlation, establish their dynamics and development, and forecast.

**Keywords:** land degradation, land monitoring, cartographic method.

На основании анализа данных Государственного (национального) доклада "О состоянии и использовании земель Российской Федерации" можно сделать вывод, что на территории России почти повсеместно наблюдается деградация земельных ресурсов [1]. Так, в период с 2015 г. по 2019 г. (рисунок 1) количество земель подверженных водной эрозии увеличилось с 39527,8 тыс. га до 45505,31 тыс. га., ветровой эрозии 18653,57 – 21309,80 тыс. га., переувлажнению и заболачиванию 27314,15 – 32852,61 тыс. га., засолению и солонцеватости 44635,33 – 48834,96 тыс. га.



Рис. 1 – Динамика деградационных процессов на территории РФ в период 2015-2019 гг.

Положительная динамика роста деградации земельных ресурсов связана с экстенсивным и нерациональным их использованием.

В связи с этим при планировании использования земельных ресурсов необходимо анализировать имеющуюся и перспективную ситуацию по следующим аспектам:

- состояние природных и земельных ресурсов территории;
- имеются ли на данный момент источники деградации и загрязнения, а также могут ли они появиться в процессе использования земельных ресурсов;
- качественный и количественный состав загрязняющих веществ и интенсивность их выбросов, а также сбросов, масштабы и виды деградационных процессов;
- в каком направлении будет изменяться природная среда, какова будет интенсивность этих изменений;
- влияние предлагаемых воздействий на состояние почвенного покрова и на загрязнение разрабатываемых земель в целом;
- последствия воздействия планируемых мероприятий на состояние земельных ресурсов, водных источников, и на загрязнение воздушной атмосферы;
- какое ожидается влияние на состояние естественных процессов на территориях;
- прогнозирование возможных последствий влияния на перспективу с учетом их экологической и экономической оценки и др.

Перечисленные данные можно получить в результате мониторинга земельных ресурсов, который представляет собой информационную базу данных наблюдений, анализа и прогноза изменений в их состоянии. При мониторинге земельных ресурсов проводят не только наблюдение и фиксацию текущего состояния, но и сравнение состояния в данный момент времени с эталонным, определяют допустимые изменения объекта и анализируют динамику этих изменений в пространстве и во времени. Информационная система создаётся для целей акцентирования влияния антропогенных факторов, влияющих на эти изменения на фоне природных процессов.

При исследовании экологического состояния земельных ресурсов присущий комплексный подход. Поэтому системы показателей, используемые в комплексном мониторинге земель, должны включать в себя наборы показателей, благодаря которым с учетом поставленных задач достаточно полно оценивается состояние земельных ресурсов. Так в настоящее время для проведения анализа состояния земельных ресурсов необходимо полагаться на сгруппированные характеристики окружающей среды, поэтому объема базовой информации необходимо иметь в большом количестве. Данная информация обязана быть систематизирована и быть легко доступной. Наибольшая эффективность достигается при одновременном контроле трех групп показателей (ранней диагностики, краткосрочные и долгосрочные изменения состояния земельных ресурсов), отражающих наиболее значимые их характеристики [2], [3].

Чтобы воспроизвести основные геоэкологические объекты и явления в естественной пространственной последовательности, применяют картографический мониторинг. В целом метод картографических исследований состоит в использовании карт для понимания отражаемых на них объектов и явлений: для получения сведений, изучения корреляции, установления их динамики и развития, прогнозирования.

Картографический мониторинг включает в себя следующие этапы:

- а) образование центра картографической информации с разнообразными видами карт, сделанных на основе материалов, имеющихся на момент начала организации наблюдений;
- б) накопление сведений, анализ и группирование данных аэрокосмических и наземных наблюдений с целью их картографирования;
- в) преобразование проанализированных данных в картографическом виде, т. е. создание динамических карт исследуемых процессов;

г) проведение анализа полученных карт для выявления закономерностей распространения различных явлений, оценки и прогнозирования состояния природной среды [5], [6], [7].

Особое значение имеют крупномасштабные карты негативных процессов, сформированные в масштабе 1:100000 – 1:1000000. Они основаны на аэрокосмических снимках и позволяют проанализировать закономерности распространения и развития наблюдаемых явлений.

В зависимости от цели и задач проведения мониторинга земель, необходимо определить конкретный перечень карт, их структуру, систематическое и технологическое обеспечение их создания и использования. Так, для выявления деградации земельных ресурсов необходима подготовка следующих типов карт:

Фактические карты:

- цифровые ортофотопланы (М 1:2000; подготавливаются на основе аэро- и космоснимков, обновляются ежегодно; показывают воссозданную максимально достоверную земную поверхность);

- цифровые топографические планы (М 1:2000; подготавливаются на основе аэроснимков, обновляются с периодичностью исходных ортофотопланов; служат готовой основой, на которую накладываются различные слои о деградационных процессах и т.д.);

- цифровая картографическая основа (М 1:10000; подготавливаются на основе аэро- и космоснимков, обновляется с периодичностью исходных ортофотопланов);

- карта фактического содержания в почве химических веществ (М 1:25000, съемка происходит по специальному заказу; показывает воздействие загрязнения на различные контактирующие среды);

- карта фактического уровня грунтовых вод (М 1:25000; съемка происходит по специальному заказу; показывает уровень залегания грунтовых вод);

- карта фактической эродированности земель (М 1:25000; отражает контура земельных участков с разной степенью эродированности).

Аналитические карты:

- карта зон загрязнения земель химическими веществами (выделяет контуры и уровни загрязнения);

- карта подтопления земель (отображает степень риска подтопления территорий грунтовыми водами);

- карта засоления (показывает площади, занимаемые под засоленными почвами и возможное их распространение);

- карта категории эрозионно-опасных земель (отражает контура земельных участков с разной категорией эрозионной опасности).

Карты динамики:

- карта динамики загрязнения земель (отображает разницу содержания количества вредных веществ и степени загрязнения земель в течении нескольких периодов);

- карта динамики подтопления земель (отображает изменения в размерах зон подтопления территорий в течении нескольких периодов);

- карта динамики засоления (показывает изменение степени и количества засоления почв в течении нескольких периодов);

- карта динамики развития эрозионных процессов (показывает развитие эрозионных процессов в различных направлениях в течении нескольких периодов).

Оценочные карты:

- карта опасности загрязнения земель (отображает возможную опасность и оценку земель по их загрязнению);

- карта опасности подтопления земель (отображает оценку степени опасности подтопления территорий грунтовыми водами);

- карта опасности засоления земель (показывает сравнение и ранжирование различных областей засоления земель по приоритетности);

- карта опасности развития эрозионных процессов (показывает потенциальную опасность развития процессов эрозии).

Полученная различными методами информация об изменении состояния земельных ресурсов, произошедшем за несколько периодов наблюдений, отражается на картах динамики, которые могут быть как аналоговыми, так и статистическими. Информация на таких картах должна отвечать на вопросы, что и где происходило с земельными ресурсами с течением времени, каковы тенденции и скорость изменений, а также информацию о причинах, объясняющих различные изменения, связанные с земельными ресурсами. Все это получается путем синтеза информации из карт изменений, которые для целей выявления деградации земель представляют собой топографические карты масштабов 1:100000 и 1:200000, на которых отображены данные, показывающие произошедшие изменения местности (эрозионные процессы; земли, подверженные загрязнению; затопленные и заболоченные участки местности и т. п.) [8], [9].

Так как карты имеют определенный диапазон точности и детальности содержания, а также задачи пользователей различны, то необходима система группировки мониторинговых карт деградационных процессов земельных ресурсов по способу работы с ними.

В этом отношении их можно разделить на обзорные, операционные и измерительные (метрические). К первой группе относятся преимущественно мелкомасштабные карты, предназначенные для визуального восприятия и анализа, а также для принятия решений. Ко второй группе - карты среднего масштаба, с содержанием которых можно выполнять различные аналитико-синтетические операции графическими, математическими и геоинформационными методами для получения новых сведений и знаний, производных карт и для подготовки плановых решений и экспертных оценок. К третьей группе относятся крупномасштабные карты, по которым можно выполнять измерительные и проектные работы ручными или геоинформационными средствами [9].

Все карты, представляют собой часть единой многоуровневой информационной системы, поэтому применительно для них были разработаны следующие принципиальные требования:



1. Требование нормативной обеспеченности. Разработка различных карт необходимо осуществлять в соответствии с установленными законодательством нормативно-правовых документов.

2. Требование последовательности. Проведение процессов картографирования рассчитывает следующий порядок действий: построение карт регистрации свойств и карт анализа состояния – до создания прогнозных карт.

3. Требование определённости. Картографирование должно выполняться таким способом, чтобы на каждой отдельно полученной карте гарантировалось единственное относительно другой части территории к какой-либо одной и только одной учетной или же ориентировочной, прогнозной зоне по сформированному признаку.

4. Требование непрерывности. Обновление всех мониторинговых карт, происходит при помощи обновления данных по учету различных свойств земельных ресурсов в рабочем режиме.

5. Требование информационной совместимости. Необходимо применять только государственные или местные системы координат, едины коды и единицы, что позволит использовать полученные данные в других самостоятельных системах.

6. Требование доступности. Полученная информация о состоянии земельных ресурсов должна быть систематизирована и доступна для конкретных пользователей [9], [10].

Обобщая сказанное, отметим, что картографический метод отображения и представления мониторинговой информации о состоянии и использовании земельных ресурсов представляется весьма эффективным на всех стадиях процесса мониторинга земель.

Различаясь по своему содержанию и практической направленности, карты, сформированные в результате его применения, в целом формируют массив базы данных для фиксации и прогнозирования развития деградационных процессов земельных ресурсов.

В перспективе картографической составляющей должна быть отведена адекватная ее возможности основополагающая роль в организации и функционировании системы мониторинга земель по выявлению, фиксации и прогнозирования развития деградационных процессов.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель Российской Федерации // Федеральная служба государственной регистрации, кадастра и картографии, 2020. [Электронный ресурс] URL: <https://rosreestr.gov.ru/site/activity/gosudarstvennyy-natsionalnyy-doklad-o-sostoyanii-i-ispolzovanii-zemel-rossiyskoy-federatsii/> (дата обращения: 24.10.2020).
2. Башоров, В.А. Эколого-экономический мониторинг земельных ресурсов / В.А. Башоров. - М: ГП УСЗМинсельхозпрод России. - 1998. - 97с.
3. Шаповалов, Д.А. Методические основы мониторинга земель: учебное пособие / Д.А. Шаповалов, П.В. Ключин, А.А. Мурашева; Гос. ун-т по землеустройству. - М., 2010.
5. Шубин М.А. Картографическое обеспечение мониторинга инженерно-геологических процессов на основе ГИС-технологий / М.А. Шубин // Природные системы и ресурсы, 2018, №4. - С. 64-69.
6. Николаева О.Н. Роль картографического метода исследования в экологическом мониторинге окружающей среды / О.Н. Николаева, А.Л. Ромашова // Интерэкспо Гео-Сибирь, 2009, №2. - С. 69-72.
7. Николаева О.Н. Роль картографического метода исследования в решении проблем радиационной обстановки окружающей среды / О.Н. Николаева, А.Л. Ромашова, О.А. Волкова // Вестник СГГА, 2012, - Вып. 1 (17). - С. 104-108.
8. Сизов А.П. Новые подходы к картографированию результатов мониторинга земель сверхкрупного города / А.П. Сизов // Изв. высш. учеб. завед. Геодезия и аэрофотосъемка, 2010, № 5. - С. 63-71.
9. Неганова, И.И. Использование планово-картографических материалов при ведении государственного мониторинга земель / И.И. Неганова // Молодой ученый. - 2018. - № 50 (236). - С. 48-51.
10. Лебедев П.П. Карты в системе мониторинга земель (СМЗ) / П.П. Лебедев, А.П. Сизов, А.В. Донцов // Московский экономический журнал, 2018, №5 (1). - С. 66-74.

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Gosudarstvennyj (nacional'nyj) doklad o sostojanii i ispol'zovanii zemel' Rossijskoj Federacii [State (national) report on the state and use of land in the Russian Federation] // Federal'naja sluzhba gosudarstvennoj registracii, kadastra i kartografii [Federal service for state registration, cadastre and cartography], 2020. [Electronic resource] URL: <https://rosreestr.gov.ru/site/activity/gosudarstvennyy-natsionalnyy-doklad-o-sostoyanii-i-ispolzovanii-zemel-rossiyskoy-federatsii/> (accessed: 24.10.2020). [in Russian]
2. Bashorov, V. A. Jekologo-jekonomicheskij monitoring zemel'nyh resursov [Ecological and economic monitoring of land resources] / V. A. Bashorov. - M: GP Essentialist Russia. - 1998. - 97p. [in Russian]
3. Shapovalov, D. A. Metodicheskie osnovy monitoringa zemel' [Methodical bases of monitoring of lands]: a textbook / D. A. Shapovalov, P. V. Klyushin, A. A., Murasheva; GOS. University of land management. - M., 2010. [in Russian]
5. Shubin M. A. Kartograficheskoe obespechenie monitoringa inzhenerno-geologicheskikh processov na osnove GIS-tehnologij [The Cartographic monitoring of engineering-geological processes on the basis of GIS-technologies] / M. A. Shubin // Prirodnye sistemy i resursy [Natural systems and resources], 2018, No. 4. - P. 64-69. [in Russian]
6. Nikolaev O. N. Rol' kartograficheskogo metoda issledovaniya v jekologicheskom monitoringe okružhajushhej sredy [The role of cartographic method of research in the ecological monitoring of environment] / O. N. Nikolaev, L. A. Romashova // Interjekspo Geo-Sibir' [Interexpo Geo-Siberia], 2009, No. 2, Pp. 69-72. [in Russian]

7. Nikolaeva O. N. Rol' kartograficheskogo metoda issledovaniya v reshenii problem radiacionnoj obstanovki okruzhajushhej sredy [The Role of cartographic research method in solving problems of radiation environment] / O. N. Nikolaeva, A. L. Romashova, O. A. Volkova // Vestnik SGGA, 2012, - Issue 1 (17). - Pp. 104-108. [in Russian]
8. Sizov A. P. Novye podhody k kartografirovaniyu rezul'tatov monitoringa zemel' sverhkrupnogo goroda [New approaches to mapping the results of monitoring the land of a super-large city] / A. P. Sizov // Izv. vyssh. ucheb. zaved. Geodezija i aerofotos'emka [Izv. studies'. no. Geodesy and aerial photography], 2010, no. 5. - Pp. 63-71. [in Russian]
9. Neganova, I. I. Ispol'zovanie planovo-kartograficheskikh materialov pri vedenii gosudarstvennogo monitoringa zemel' [Use of planning and cartographic materials in the conduct of state land monitoring] / I. I. neganova // Molodoj uchenyj [Young scientist]. - 2018. - № 50 (236). - Pp. 48-51. [in Russian]
10. Lebedev P. P. Karty v sisteme monitoringa zemel' (SMZ) [Maps in the land monitoring system (SMZ)] / P. P. Lebedev, A. P. Sizov, A.V. Dontsov // Moskovskij jekonomicheskij zhurnal [Moscow economic journal], 2018, №5 (1). - Pp. 66-74. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.102.12.028>

## РЕПРОДУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ КОРОВ САХАЛИНСКОЙ ПОПУЛЯЦИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРОДУКТИВНЫХ И НАСЛЕДСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ

Научная статья

Ревина Г.Б.\*

ORCID: 0000-0002-8998- 2826,

Сахалинский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Южно-Сахалинск, Россия

\* Корреспондирующий автор (cuznetsoff.viktor[at]yandex.ru)

### Аннотация

В статье изложены материалы оценки репродуктивных особенностей коров голштинской породы в зависимости от продуктивных и наследственных факторов в условиях Сахалинской области. Изучена воспроизводительная способность коров в сельскохозяйственных предприятиях области. В результате исследований выявлено влияние различных факторов на показатели воспроизводительной способности и молочной продуктивности коров в племенных репродукторах Сахалинской области. При изучении соотношения сезона года с оплодотворяемостью коров было выяснено, что сезон отела оказывал существенное влияние на результаты плодотворного осеменения животных. Наибольшее количество плодотворных осеменений регистрировали в октябре и ноябре 75 %. Самую низкую эффективность осеменения наблюдали в феврале – 12,5 %. Выявлены существенные различия по показателям молочной продуктивности и плодовитости коров дочерей отдельных быков – производителей, принадлежащих к разным родственным группам.

**Ключевые слова:** сахалинская популяция, голштинская порода, репродуктивные особенности, молочная продуктивность.

## REPRODUCTIVE CHARACTERISTICS OF COWS OF THE SAKHALIN POPULATION BASED ON THE PRODUCTIVE AND HEREDITARY FACTORS

Research article

Revina G.B.\*

ORCID: 0000-0002-8998- 2826,

Sakhalin research Institute of agriculture, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

\* Corresponding author (cuznetsoff.viktor[at]yandex.ru)

### Abstract

The article presents materials for evaluating the reproductive characteristics of Holstein cows depending on productive and hereditary factors in the Sakhalin region. The reproductive capacity of cows in agricultural enterprises of the region was studied. As a result of research, the influence of various factors on the indicators of reproductive ability and milk productivity of cows in breeding reproductors of the Sakhalin region was revealed. When studying the correlation of the season of the year with the fertilization of cows, it was found that the calving season had a significant impact on the results of fruitful insemination of animals. The largest number of fruitful inseminations was registered in October and November by 75 %. The lowest efficiency of insemination was observed in February-12.5 %. Significant differences in indicators of milk productivity and fecundity of cows of daughters of individual bulls – producers belonging to different related groups were revealed.

**Keywords:** the sakhalin population, holstein, reproduction characteristics, dairy performance.

Увеличение производства продуктов животноводства — одна из важных и сложных проблем в экономике сельхозпроизводителей острова.

Спецификой отрасли скотоводства в регионе является транспортная отдаленность ее от мест с интенсивным животноводством, а также районов производства смежных отраслей, необходимых для производства молочных продуктов.

Сложная транспортная логистика острова и предприятий на всей ее территории.

В результате производство молока и молочных продуктов стало ограниченным способом обеспечения жизненно необходимым, а также слабым сдерживающим фактором на импортный ассортимент товаров из молока, а также завезенных из других регионов страны.

Интенсивное развитие молочного скотоводства в сахалинской области повлекло за собой проблемы, связанные с нарушением репродуктивной функции у коров. Эти нарушения проявляются в увеличении сервис – периода и периода между отелами у коров, частоты возникновения гинекологических патологий ведущих к бесплодию особенно высокопродуктивных коров .

Высокая интенсивность производственного использования коров приводит к несоответствию между уровнем кормления и потребностями организма в необходимых питательных веществах [1, С.48], [2, С.5], [3, С. 59].

В результате постоянного недополучения в рационах коров необходимых белков, жиров, углеводов и витаминов значительно сокращается срок производственного использования особенно высокопродуктивных коров. Высокая продуктивность при несбалансированном уровне кормления оказывает негативное влияние на способность к воспроизводству у племенных животных. Из-за длительного периода бесплодия высокопродуктивные животные выбраковывают из стада [4, С. 28], [5, С.4], [6, С.18].

Также существенный ущерб репродукции приносят аборт и мертворожденный приплод. В результате сельхозпредприятия теряют около 10% телят. В последние 10 лет в разведение молочных пород скота добавилась серьезная проблема репродукции новых поколений животных, что напрямую зависит от выхода телят на 100 коров, который составляет только 76%, а сервис-период соответственно увеличился до 174 дней. Прямым следствием низкой

репродукции в стадах молочного скота является экономический ущерб от снижения среднегодовой продуктивности и сокращения количества телят, а косвенным – уменьшение потенциального селекционного дифференциала в результате ослабления интенсивности отбора животных. Большинство отечественных исследователей склонны считать низкую степень передачи признаков воспроизводительной способности от поколения к поколению. Особенность репродукции голштинской породы на предприятиях Сахалинской области и интенсификация селекции по этим признакам возможна путем повышения отбора маточного поголовья по и ускоренному выращиванию телок. веществах [8, С.38], [9], [10, С 10].

Цель исследований – изучить особенности проявления признаков репродукции и лактационного периода крупного скота у голштинов сахалинской селекции.

### Методика эксперимента

Исследования выполнены на предприятиях селекционного профиля, занимающихся выращиванием и реализацией племенного молодняка животных. Оценка генетического разнообразия по основным селекционным признакам, включая лактационные особенности воспроизводства и резистентность к гинекологическим заболеваниям, изучена на основе оценки качества потомства, полученного от быков-производителей из разных родственных групп.

Для оценки селекционно-генетических параметров популяции коров разного возраста и происхождения изучены показатели: продуктивность за 305 дней лактации, продолжительность сервис и межотельного периодов. При оценке патологий репродуктивных органов животных было учтено число заболевших коров, а также выбракованных из стада с диагнозами патологий органов воспроизводства. Учет заболевших коров осуществлен в соответствии с разницей в возрасте и происхождению по отцовской линии. Исследования по изучению гинекологических патологий проведены по основным заболеваниям: персистентное желтое тело яичников, гипофункция яичников, субинволюция матки, кистоз яичников и эндометрит.

### Результаты исследований

В целях выявления индивидуальной изменчивости воспроизводительной способности быков мы провели их оценку по плодовитости дочерей. Одним из показателей воспроизводительной способности коров является продолжительность интервала между отелами.

Нормальным является интервал не более 365 дней, который экономически выгоден и сохраняет цикл от лактации к лактации. Увеличение этого периода более 365 дней увеличивает расходы по обслуживанию животных. Лучшее время оплодотворения коров при прохождении последующего отела находится в пределах 8-10 недель. С увеличением молочной продуктивности, как правило, удлиняется сервис – период. Сокращение межотельного периода у коров на 1 день способствует повышению удоя на 4,5 кг и выход телят на 0,0027 голов в год. В связи с этим осеменение коровы в первую охоту экономически выгодно. Для разработки способа создания адаптированных стад с высокими показателями молочной продуктивности и хорошими воспроизводительными качествами в сельхозпредприятиях Сахалинской области проведен анализ воспроизводительной способности коров.

Он показал, что выход телят в среднем по Сахалинской области в 2019 г. составил 76%, продолжительность сервис - периода – 174 дня, в то время как в репродукторах -154 дня (табл.1).

Таблица 1 – Признаки репродукции у коров в сельскохозяйственных предприятиях области в 2019 г.

Наименование сельхозпредприятия	Продолжительность сервис-периода	Продолжительность сухостойного периода	Выход телят от 100 коров, %
ЗАО «Заречное»	132	61	83
СПК «Соколовское»	163	55	82
АО«Южно- Сахалинский»	154	58	76

Выход телят в племенных репродукторах составил 82,5 %, что на 6,5 % больше, чем в среднем по сельскохозяйственным предприятиям, а продолжительность межотельного периода меньше на 30 дней (рис.1).

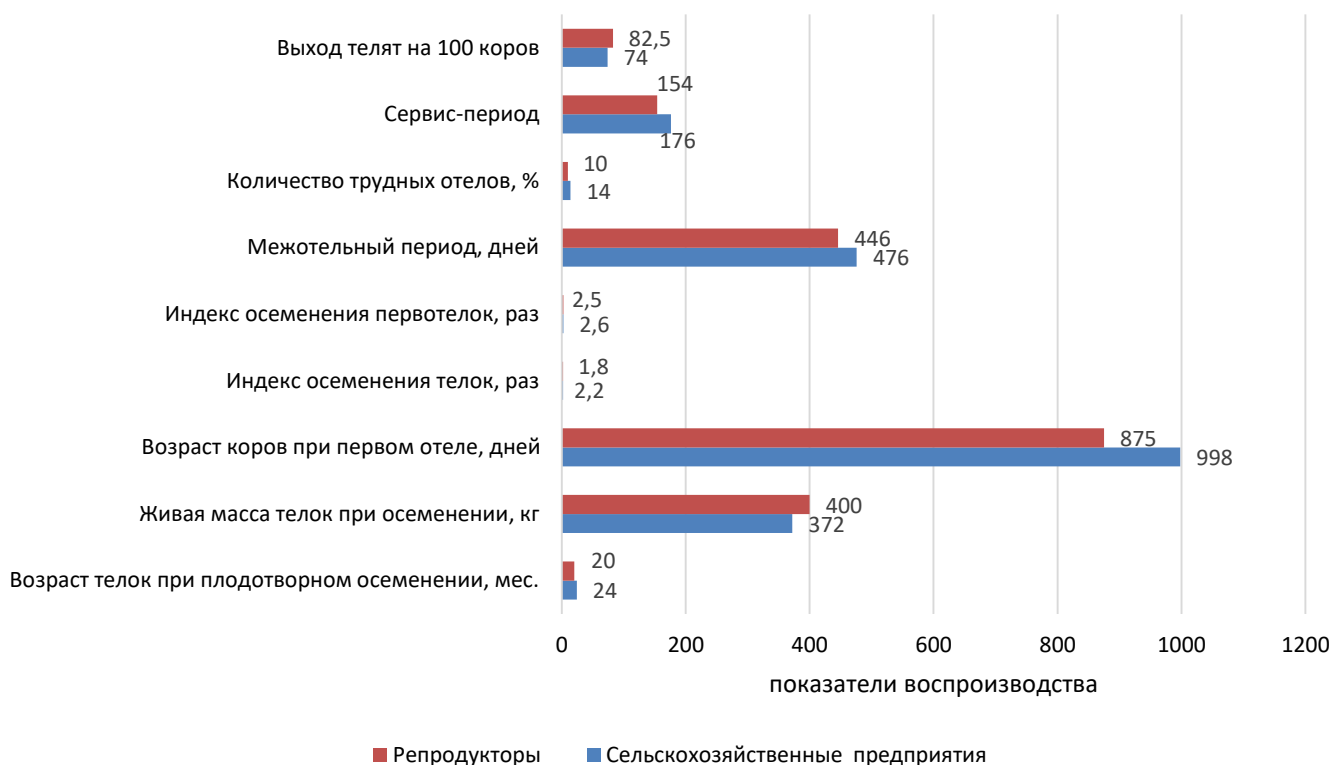


Рис. 1 –Воспроизводительная способность коров и телок в сельскохозяйственных предприятиях

Коэффициенты повторяемости отелов по месяцам за последние пять лет находились в пределах от 0,32 до 0,92.

Исследования показали, что на плодовитость коров в условиях островного региона влияли как генетические, так и паратипические факторы. При изучении соотношения сезона года с оплодотворяемостью коров было выяснено, что сезон отела оказывал существенное влияние на результаты плодотворного осеменения животных. Наиболее короткие промежутки времени между отелами отмечались в тех случаях, когда предыдущие роды протекали в осенний период. Наибольшее количество плодотворных осеменений регистрировали в октябре и ноябре 75 %. Самую низкую эффективность осеменения в 2017 г. наблюдали в феврале – 12,5 % (табл. 1). Средняя эффективность осеменения за отчетный период составила 39,7 %. Наибольшее количество отелов у коров стада АО «Южно-Сахалинский» проходило с августа по ноябрь, а наименьшее в феврале (рис. 2). Исследования показали, что на воспроизводительную способность коров наряду с другими большую долю влияния оказывали паратипические факторы. Наибольшее количество отелов у коров стада АО «Южно-Сахалинский» проходило с августа по ноябрь, а наименьшее в марте и апреле.

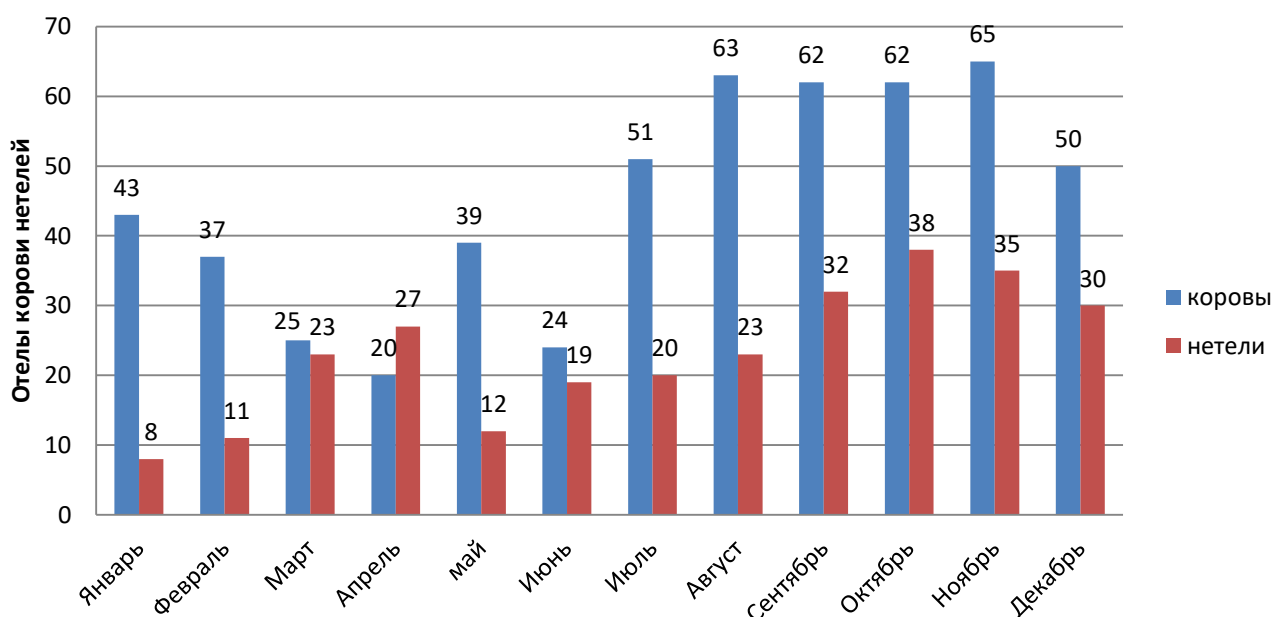


Рис. 2 – Динамика отелов коров и нетелей по месяцам года в АО «Южно-Сахалинский» в 2019 г.

На основе выполненных экспериментов установлено, что генеалогическое происхождение коров оказывает влияние на их восприимчивость к гинекологическим патологиям. В наибольшей степени к гинекологическим заболеваниям были восприимчивы коровы, происходящие из линии Вис Бек Айдиал 1013415 (табл. 3)

Таблица 2—Воспроизводительная способность коров-дочерей оцениваемых быков-производителей в 2019 г.

Линия	Кличка, индивидуальный № быка	Количество дочерей, голов	Продуктивность дочерей за 305 дней	Межотельный период, дни	Сервис-период, дни
Вис Бек Айдиал 1013415	Маркиз 49567	40	5673±217	445±27,8	162±25
	Жемчуг 48939	25	5833±250	492±20,5	216±19
	Лотос 456	46	5376±237	482±26,9	198±27
	Орлан 3376	42	5548±350	407±17,3	138±27
	Калифорно 463324	18	4843±282	439±18,5	155±24
	Опал 5376	20	4722±363	449±21,4	168±19
Рефлекшн Соверинг 198998	Мираж 49025	35	5840±221	536±35,6	258±35
	Гордый 48650	86	5364±190	483±26,2	214±33
	Ног Бадус 490459	57	5266±289	375±21,1	95±45
	Шекспир 4713	18	5397±271,	418±24,8	137±23
	Бриз 48810	27	5774±207,9	461±24,37	185±24
	Граф 49519	71	4942±389	508±31	207±42
	Ласковый 82	26	5436±252	386±17,2	105±18
Монтвик Чифтейн 95679	Дракон 85	64	5677±274	406±12,9	130±13
	Восток 730	10	5543±287	474±33,3	200±33
	Ломакс 4820	14	6421±284	412±22,3	234±35

Потомки лактирующих коров линии Монтвик Чифтейн 95679 с удоем за 305 дней лактации 5244 кг молока, оказались наиболее устойчивыми к гинекологическим заболеваниям (23 %).

Таблица 3 – Гинекологические заболевания в стаде АО «Южно-Сахалинский»

Линия отца	Всего		Гинекологические заболевания							
	голов	в т.ч. больных, %	эндометрит		гипофункция		кисты яичников		персистентное желтое тело	
			голов	%	голов	%	голов	%	голов	%
Вис Бек Айдиал 1013415	213	31,5	37	29,8	32	25,8	38	30,6	17	13,8
Рефлекшн Соверинг 198998	320	30,6	76	40,6	47	25,1	41	22,0	23	12,3
Монтвик Чифтейн 95679	98	23,0	19	32,8	6	10,3	27	46,6	6	10,3

Дочери быков-производителей линии Рефлекшн Соверинг 198998 при удое за 305 дней – 5115 кг молока за лактацию характеризовались наибольшей частотой встречаемости гинекологических заболеваний (31,8 %). Среди отдельных быков – производителей необходимо отметить быков Бриз 48810 и Лотос 456. Дочери этих быков при удое за 305 дней лактации – 5774 и 5376 кг молока соответственно, оказались устойчивыми к гинекологическим заболеваниям (18,5% и 26 %) (табл. 20).

Таблица 4 – Гинекологические заболевания у коров-дочерей оцениваемых быков-производителей в 2019 г.

Линия	Кличка, индивидуальный № быка	Количество голов	Удой за 305 дней, кг	Частота гинекологических заболеваний у дочерей, %
Вис Бек Айдиал 1013415	Маркиз 49567	40	5673	27,5
	Жемчуг 48939	25	3647	28,0
	Лотос 456	46	5376	26,0
	Орлан 3376	42	5548	35,7
	Калифорно 463324	18	4843	55,5
	Опал 5376	20	4722	25,0
	Винфилд 431903363	22	4984	31,8
В среднем		213	5115	31,5
Рефлекшн Соверинг 198998	Мираж 49025	35	2933	25,7
	Гордый 48650	86	4773	13,9
	Ног Бадус 490459	57	6266	61,4
	Шекспир 4713	18	5397	33,3
	Бриз 48810	27	5774	18,5
	Ласковый 82	26	5436	26,9
	Граф 49519	71	3679	35,2
В среднем		320	4768	30,6
Монтвик Чифтейн 95679	Дракон 85	64	5026	25,0
	Восток 730	10	5543	10,0
	Ломакс 4820	14	6421	57,0
	1008991	10	4690	10,0
В среднем		98	5244	23,0

Таким образом, наши исследования показали, что на плодовитость коров голштинской породы сахалинской популяции влияли как генетические факторы, так и акушерско- гинекологические заболевания, как один из средовых факторов, и происхождение коров- дочерей от отцов определенных линий и родственных групп.

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Conflict of Interest**

None declared.

**Список литературы / References**

1. Харламов Е. Ю. Воспроизводство стада – важнейший технологический фактор повышения конкурентноспособности молочного скотоводства / Е. Ю. Харламов // Зоотехния № 12 – 2013- С 25-27
2. Болгов А.Е. воспроизводительной способности молочных коров / А.Е. Болгов, Е.П. Карманова, Хакана и др.. – Петрозаводск, 2003. – С. 5
3. Кузнецов В.М. Селекция коров голштинской породы разного генеалогического происхождения / В.М. Кузнецов // Вестник российской академии сельскохозяйственных наук. – 2003. - №3. – С.59 – 62.
4. Фролова Е.М. Влияние некоторых факторов на воспроизводительные способности высокопродуктивных коров и телок / Е.М. Фролова, Д. М. Евстафьев, А. М. Гавриков // Зоотехния. – 2014. - № 10 С. – 28-29.
5. Нежданов, А.Г. Профилактика бесплодия и воспроизводство крупного рогатого скота / А.Г. Нежданов, В.П. Иноземцев, //Ветеринария. – 1999. - № 5. – С. 3-7.
6. Леонов К .Решение проблем воспроизводства в скотоводстве / К Леонов // Молочное и мясное скотоводство – 2005 - № 8 – С. 17- 19
7. Шаталина О.С. Влияние генотипа быков на получение приплода и продуктивный потенциал дочерей: сб. науч. тр. ФГБНУ «Уральский НИИСХ», посвящ. 60-летию института / О.С. Шаталина. — Екатеринбург: ООО «Уральское издательство», 2016. — С. 299—305.
8. Сервах Б. Нужны новые оценки воспроизводства / Б. Сервах, Е. Оликович // Животноводство России. — 2011. — №8. — С. 37—38.
9. Сакса Е.А. Влияние уровня молочной продуктивности на плодовитость стада / Е.А. Сакса, О.Е. Барсукова // Зоотехния. — 2007. — №2. — С. 27—29.
10. Шкуратова И.А. Нормализация обменных процессов и воспроизводительной функции племенных первотелок / И.А. Шкуратова, М.В. Ряпосова, И.А. Рубинский. // Ветеринария. — 2011. — №8. — С. 11—13.

**Список литературы на английском языке / References in English**

1. Kharlamov E. Yu. Vosproizvodstvo stada – vazhnejshij tekhnologicheskij faktor povysheniya konkurentnosposobnosti molochnogo skotovodstva [Herd Reproduction – the most important technological factor in increasing the competitiveness of dairy cattle breeding] / E. Yu. Kharlamov // Zootechnia No. 12-2013-P. 25-27 [in Russian]
2. Bolgov A. E. Povyshenie vosproizvoditel'noj sposobnosti molochnyh korov [Reproductive capacity of dairy cows] / A. E. Bolgov, E. p. Karmanova, khakana et al.. - Petrozavodsk, 2003. - P. 5 [in Russian]

3. Kuznetsov V. M. Selekcija korov golshtinskoj porody raznogo genealogicheskogo proiskhozhdeniya [Selection of Holstein cows of different genealogical origin] / V. M. Kuznetsov // Vestnik Rossijskoj akademii sel'skhozajstvennyh nauk [Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences]. - 2003. - no. 3. - P. 59-62. [in Russian]
4. Frolova E. M. Vliyanie nekotoryh faktorov na vosproizvoditel'nye sposobnosti vysoproduktivnyh korov i telok [Influence of some factors on the reproductive abilities of highly productive cows and heifers] / E. M. Frolova, D. M. Evstafiev, a.m. Gavrikov // Zootechnia. - 2014. - No. 10 P. - 28-29. [in Russian]
5. Nezhdanov, A. G. Profilaktika besplodiya i vosproizvodstvo krupnogo rogatogo skota [Prevention of infertility and reproduction of cattle] / A. G. Nezhdanov, V. P. Inozemtsev, // Veterinariya [Veterinary medicine]. - 1999. - No. 5. - P. 3-7. [in Russian]
6. Leonov K. Reshenie problem vosproizvodstva v skotovodstve [Solving problems of reproduction in cattle breeding] / K. Leonov // Molochnoe i myasnoe skotovodstvo [Dairy and meat cattle breeding]-2005-No. 8-P. 17-19 [in Russian]
7. Shatalina O. S. Vliyanie genotipa bykov na poluchenie priploda i produktivnyj potencial docherej [Influence of the genotype of bulls on obtaining offspring and productive potential of daughters]: SB. nauch. Tr. fgbnu "Ural research Institute", vol. 60th anniversary of the Institute / O. S. Shatalina. - Yekaterinburg: Ural publishing house, 2016. - P. 299-305. [in Russian]
8. Servakh B. Nuzhny novye ocenki vosproizvodstva [Need new estimates of reproduction] / B. Servakh, E. Olikshevich // animal Husbandry of Russia. - 2011. - No. 8. - Pp. 37-38. [in Russian]
9. Saksa E. A. Influence of the level of milk productivity on the fecundity of the herd / E. A. Saksa, O. E. Barsukova // Zootechnia. - 2007. - No. 2. - Pp. 27-29. [in Russian]
10. Shkuratova I. A. Normalizaciya obmennyh processov i vosproizvoditel'noj funkcii plemennyh pervotelok [Normalization of metabolic processes and reproductive function of breeding heifers] / I. A. Shkuratova, M. V. Ryaposova, I. A. Rubinsky. // Veterinariya [Veterinary science]. - 2011. - No. 8. - P. 11-13. [in Russian]



DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.102.12.029>**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПИЩЕВЫХ ВОЛОКОН (ПОРОШКА ЛАМИНАРИИ) НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ХЛЕБА ИЗ ПШЕНИЧНОЙ МУКИ**

Научная статья

**Сагдеева Г.С.<sup>1,\*</sup>, Айсина Р.И.<sup>2</sup>**<sup>1,2</sup> Нижнекамский химико-технологический институт – филиал Казанского национального исследовательского технологического университета, Нижнекамск, Россия

\* Корреспондирующий автор (sagdeeva\_g[at]mail.ru)

**Аннотация**

Йод необходим для осуществления нормального функционирования щитовидной железы и выработки синтезируемых ею гормонов. Организм человека самостоятельно йод не вырабатывает, его возможно получить лишь с пищей извне. Источниками могут стать йодосодержащие продукты питания. Они позволяют привнести в рацион полиненасыщенные жирные кислоты, биогенные элементы, йодсодержащие соединения. Содержание йода в обычных пищевых продуктах - невелико, тогда как в морепродуктах, в ламинарии - 0,14%–0,3% от массы сухого веса, при этом йод связан с органическими молекулами, поэтому легко усваивается человеком [1]. Биологически активные вещества водорослей обладают многоаспектным положительным действием на организм человека. Нами исследовано влияние порошка ламинарии на органолептические и физико-химические свойства хлеба, подобрана оптимальная концентрация пищевых волокон в рецептуре хлеба из пшеничной муки.

**Ключевые слова:** порошок ламинарии, хлеб из пшеничной муки, однофазный способ.**A STUDY OF THE DIETARY FIBER (KELP POWDER) EFFECTS ON THE QUALITY OF WHEAT FLOUR BREAD**

Research article

**Sagdeeva G.S.<sup>1,\*</sup>, Aisina R.I.<sup>2</sup>**<sup>1,2</sup> Nizhnekamsk Institute of chemical technology-branch of Kazan National Research Technological University, Nizhnekamsk, Russia

\* Corresponding author (sagdeeva\_g[at]mail.ru)

**Abstract**

Iodine is necessary for the normal functioning of the thyroid gland and the production of hormones synthesized by it. The human body does not produce iodine on its own and can only be obtained through the consumption of iodine-containing food that will allow for introducing polyunsaturated fatty acids, biogenic elements, and iodine-containing compounds into the diet. The content of iodine in ordinary food products is low, whereas in seafood, such as kelp, it contains 0.14%-0.3% of iodine to the dry weight. Iodine is bound to organic molecules and therefore is easily absorbed by humans [1]. Biologically active substances of algae have a multidimensional positive effect on the human body. The study examines the effect of kelp powder on the organoleptic and physicochemical properties of bread, and selects the optimal concentration of dietary fiber in the recipe of wheat flour bread.

**Keywords:** kelp powder, wheat flour bread, single-phase method.**Введение**

Хлебобулочные изделия — это продукт ежедневного питания человека, поэтому его качество должно соответствовать всем медико-биологическим требованиям. Недостаточно удовлетворена потребность населения в изделиях лечебно-диетического и профилактического назначения.

Потребление в пищу ламинарии обогащает питание важными элементами, помогает организму противостоять сердечно-сосудистым заболеваниям, выведению из организма лишнего холестерина, рассасыванию склеротических бляшек, которые могут образовать тромб и привести к инсульту или инфаркту, улучшить показатели крови, нормализовать обмен веществ, очистить клетки и ткани от табачных смол. Также в ламинарии содержатся полисахариды, фруктоза, альгиновая, аскорбиновая кислоты, микро- и макроэлементы – Cu, Mg, Co, Ag, Ca, B, K, Zn, витамины В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>12</sub>, D. При этом витамина С в 4 раза больше чем в цитрусах [1], [10].

Ламинария - содержит полисахариды, белковые вещества, витамины, йод, минеральные соли, а также микроэлементы. В медицине ламинарию применяют в виде порошка, капсул или геля для профилактики зоба, атеросклероза, как слабительное средство при хронических запорах и колитах. Получают в форме гранул суммарный препарат «Ламинарид», содержащий смесь полисахаридов с белковым компонентом и соли альгиновых кислот [2], [9].

ГУНИИ питания РАМН совместно с МГУПП и МГТА были проведены комплексные исследования по развитию технологий производства хлебобулочных изделий, обогащенных йодом. Полученные итоги позволяют утверждать, что йодосодержащие добавки совершеннее, т.к. не обязательно использование дополнительного оборудования, разработки новой технологии [3].

Донченко Л.В. считает, йодированная соль угнетает рост микрофлоры и оказывает наибольшее ингибирующее действие. Это связано с присутствием в хлебе йода в виде соединения КЮ<sub>3</sub>, которое может тормозить развитие бактерий *Bacillus subtilis* и мицелия плесневых грибов *Penicillium* [4]. Следовательно, использование соли, йодированной КЮ<sub>3</sub>, способствует предупреждению развития картофельной болезни и плесневения хлеба и повышает микробиологическую безопасность хлебобулочных изделий [5].

Кодзокова М.Х. утверждает, что при добавлении в рецептуру хлеба из муки пшеничной ламинарии было отмечено ускорение брожения тестовых заготовок, что является следствием большого содержания в составе водоросли белков, жиров, углеводов и минеральных веществ. Добавление ламинарии оказало положительное влияние на качество

подового хлеба - хлеб имел развитую пористость, высокий объем и мякиш с мелкими вкраплениями порошка ламинарии [3]. Использование бурой водоросли в рецептурах хлебобулочных изделий придает им оригинальные вкусовые свойства, улучшает физико-химические свойства готового продукта, снижает интенсивность процессов очерствения при хранении, а также обогащает хлебобулочные изделия минеральными веществами [6].

В исследованиях Донченко Л.В. указано, что при введении больших количеств добавок (более 3—5% от массы муки) происходит существенное ухудшение органолептических свойств и потребительских качеств готовой продукции [4]. Исходя из данных были проведены пробные лабораторные выпечки образцов хлеба пшеничного однофазным способом с добавлением порошка ламинарии в опытные образцы - 0,5%, 1% и 1,5% от общей массы муки [7]. В качестве основы рецептур опытных продуктов (контроль), была выбрана рецептура хлеба из пшеничной муки (см. табл. 1).

Таблица 1 – Рецептура хлеба пшеничного с добавлением порошка ламинарии

Ингредиенты	Количество, г
Мука	300
Дрожжи	15
Соль	4,5
Сахар	3
Вода	162

При измерении влажности, кислотности и пористости получили следующие значения (см. табл.2).

Таблица 2 – Влажность, кислотность и пористость исследуемых образцов

	Контроль	0,5%	1%	1,5%
Влажность, %	35,84	34,35	37,33	36,08
Кислотность, град.	2,5	2,5	2,4	2,0
Пористость, %	77,11	78,43	79,09	79,39

При увеличении концентрации порошка ламинарии в рецептуре хлеба пшеничного пористость опытных образцов увеличивается, но остается в диапазоне, указанном в ГОСТ Р 56631-2015 [8].

Показатели влажности и кислотности тестовых заготовок опытных образцов во время брожения (см. табл. 3).

Таблица 3 – Влажность и кислотность теста во время брожения

Образец	0 мин		30 мин		60 мин		90 мин	
	W, %	K, град	W, %	K, град	W, %	K, град	W, %	K, град
Контроль	35,74	1,6	32,56	1,8	31,04	2	30,47	2,1
0,5%	34,8	1,5	32,41	1,8	30,85	1,9	29,98	2
1%	36,81	1,7	34,53	1,9	32,97	2	31,74	2,2
1,5%	37	1,5	35,26	1,9	32,46	2,1	31,89	2,2

Изменения массы изделий в процессе приготовления представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Масса изделий в процессе приготовления

Наименование показателя	Значение, г			
	Контроль	0,5%	1%	1,5%
Масса теста до брожения	331	340	340	341
Масса теста после брожения	326	335	332	338
Масса теста после расстойки	317	326	332	326
Масса хлеба после выпечки	306	301	289	284
Масса остывшего хлеба	293	296	278	276

Технологические затраты — это невосполнимая потеря массы в процессе приготовления изделий. Технологические затраты на приготовление хлеба представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Технологические затраты при выработке хлеба

Наименование показателя	Технологические затраты, %		
	На брожение	На упек	На усушку
Контроль	1,51	7,66	2,65
0,5%	1,47	7,67	1,6
1%	2,4	12,95	3,81
1,5%	4,34	16,45	2,82

Таким образом, физико-химические показатели с увеличением концентрации порошка ламинарии могут улучшаться, и они удовлетворяют требованиям ГОСТ Р 56631-2015 [8].

С точки зрения качественных показателей продукт должен в первую очередь удовлетворять сенсорные потребности человека. Поэтому была проведена органолептическая оценка готовых изделий. Результаты органолептических показателей представлены в таблице 6. Органолептические показатели оценивались в баллах по десяти балльной шкале умноженной на коэффициент весомости по следующим показателям: форма изделий, окрас корки, запах, состояние корки, пористость, крошковатость, вкус.

Внесение порошка ламинарии привело к улучшению органолептических свойств при концентрации 0,5 – 1% к массе муки и к ухудшению при большей концентрации. Максимальную оценку получил образец с концентрацией порошка ламинарии 0,5% к массе муки (11,43 баллов). Этот образец отличался приятными ароматами и вкусом.

Таблица 6 – Органолептические показатели исследуемых образцов

Показатели качества хлеба	Коэффициент весомости	Контрольный образец	0,5%	1%	1,5%
Форма изделий	1	9	10	10	7
Окрас корки	0,8	9	9	9	9
Запах	2	8	10	8	6
Состояние корки	1	7	9	8	8
Пористость	1	8	9	9	8
Крошковатость	0,6	7	8	8	6
Вкус	2	9	10	9	7
Средний бал		8,68	11,43	10,57	8,54

На основании проведенных исследований можно рекомендовать использование порошка ламинарии в производстве хлеба пшеничного при концентрации 0,5% к массе муки. При этом наблюдаются наилучшие органолептические и хорошие физико-химические свойства (см. табл. 7).

Таблица 7 – Результаты комплексной оценки исследуемого хлеба

Наименование показателя	Характеристика и норма				
	Показатель	Результат			
		Контроль	0,5%	1%	1,5%
Внешний вид					
форма	Округлая, овальная или продолговато-овальная, не расплывчатая, без притисков.				
поверхность	Без крупных трещин и подрывов. Гладкая или шероховатая.				
цвет	Светло-желтый				
Состояние мякиша					
мякиш	Пропеченный, не влажный на ощупь. Эластичный, после легкого надавливания пальцами мякиш принимает первоначальную форму				
промес	Без комочков и следов непромеса				
пористость	Развитая, без пустот и уплотнений.				
Вкус	Свойственный данному виду изделия, без постороннего привкуса.			Не сильно выраженный горьковато-соленый привкус	
Запах	Свойственный данному виду изделия, без постороннего запаха				
Влажность, %	49	35,84	34,35	37,33	36,08
Кислотность, не более, град	7	2,5	2,5	2,4	2,0
Пористость, не менее, %	54	77,11	78,43	79,09	79,39

В результате исследования были получены следующие результаты.

1. Присутствие порошка ламинарии в концентрации более 1,5% изменяются органолептические свойства: хлебобулочные изделия приобретают неприятный горько-соленый вкус.

2. Определена оптимальная концентрации порошка ламинарии в рецептуре хлеба из пшеничной муки высшего сорта - 0,5% от общей массы муки высшего сорта, при этой концентрации получается продукт с высокими качественными характеристиками.

4. При добавлении порошка ламинарии 0,5, 1% и 1,5% физико-химические свойства претерпевают незначительные изменения.

5. Установлено, что при увеличении концентрации порошка ламинарии пористость готовых изделий увеличивается.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

**Список литературы / References**

1. Арсеньева, Л.Ю. Медицина и фармация-2003 / Л.Ю. Арсеньева, Л.А.Герасименко, М.Н. Антонюк // Сб. матер. Междунар. конф. стран СНГ. Одесса. 2003 г. – С. 16 - 20.
2. Щеплягина, Л.А. В XX веке без йодного дефицита. Программа действий для правительственных и неправительственных организаций /Л.А. Щеплягина // Здоровье для всех. - Всё для здоровья в России.- Серия докладов по политике в области охраны здоровья населения. 2000. – № 6. – С. 119 - 122.
3. Кодзокова М.Х. Влияние пищевых добавок из морских водорослей на качество хлебобулочных изделий / М.Х.Кодзокова, Ж.М. Кунашева // Известия ДВФУ. Экономика и управление., 2015.- №2. - С.90-102
4. Донченко Л.В. Технология функциональных продуктов питания.: учеб. пособие для СПО /под общ. ред. Л. В. Донченко. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: Издательство Юрайт,2018 — 176 с. — (Серия : Профессиональное образование).
5. Зачиняев Я.В. Улучшение технологии производства хлебобулочных изделий с использованием морских водорослей как основа продовольственной безопасности / Я.В. Зачиняев // Технические науки. -2016. - №41-2, с.6-9.
6. Усов А.И. Химические исследования водорослей / А.И.Усов, О.С. Чижов // Химия. –1988. –№ 5. –48 с
7. Сагдеева Г.С. Общая технология пищевых производств: учебное пособие / Г.С.Сагдеева, Н.У. Мухаметчина. – Санкт-Петербург: Свое издательство. – 2019. – 92с.
8. ГОСТ Р 56631- 2015. Изделия хлебобулочные из пшеничной хлебопекарной муки. Общие технические условия. — Введ. 2015–09–10.— М.: Стандартинформ, 2016.— 17 с.
9. Матвеева Т.В. Физиологически функциональные пищевые ингредиенты для хлебобулочных и кондитерских изделий / Т.В. Матвеева, С.Я. Корячкина: монография. Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК». - 2012.- с.140
10. Маслов А.В. Влияние добавки растительного происхождения на потребительские свойства хлебобулочного изделия из пшеничной муки с крепкой клейковиной и пониженной сахарообразующей способностью / А.В. Маслов, З.Ш. Мингалеева, О.В. Старовойтова, А.Г. Чартинова // Молодежь и наука в XXI веке: знания и инновации. 2019, т.3, с.242-245.

**Список литературы на английском языке / References in English**

1. Arsenieva, L. Yu. Medicina i farmacija-2003 [Medicine and Pharmacy-2003] / L. Y. Arsenyeva, L. A. Gerasimenko, M. N. Antonyuk // Sb. mater. Mezhdunar. konf. stran SNG. Proceedings of International Conference of The CIS Countries. Odessa. 2003 – pp. 16 - 20. [in Russian]
2. Shalagina, L. A. V XX veke bez jodnogo deficita. Programma dejstvij dlja pravitel'svennyh i nepravitel'svennyh organizacij [In the Twentieth Century Without Iodine Deficiency. Action Program for Governmental and Non-Governmental Organizations] / L. A. Shalygina // Zdorov'e dlja vseh. - Vsjo dlja zdorov'ja v Rossii. - Serija dokladov po politike v oblasti ohrany zdorov'ja naselenija. [Health for All. - Everything for Health in Russia. - A Series of Reports on Public Health Policy.]. 2000. - No. 6. - pp. 119-122. [in Russian]
3. Vlijanie pishhevyh dobavok iz morskikh vodoroslej na kachestvo hlebobulochnyh izdelij [Influence of Food Additives from Seaweed on The Quality of Bakery Products] / M. Kh. Kodzokova, Zh. m. Kunasheva // Izvestija DVFU. Jekonomika i upravlenie. [News of the FEPU. Economics and Management.], 2015, no. 2, pp. 90-102 [in Russian]
4. Donchenko L. V. Tehnologija funkcional'nyh produktov pitaniya [Technology of Functional Food Products]: Textbook Manual For SPO. / Edited by L. V. Donchenko - 2nd ed., revised and updated: Yurait publ. house, 2018-176 p. - (Series: Professional Education). [in Russian]
5. Zachinyaev Ya. V. Uluchshenie tehnologii proizvodstva hlebobulochnyh izdelij s ispol'zovaniem morskikh vodoroslej kak osnova prodovol'stvennoj bezopasnosti. [Improving the production technology of bakery products using seaweed as the basis of food security] / V. Ya Zachinyaev // Tehnicheskie nauki. [Technical Sciences.]-11.02.2016. - №41-2, pp. 6-9. [in Russian]
6. Usov A. I. Himicheskie issledovaniya vodoroslej [Chemical Research of Algae] / A. I. Usov, O. S. Chizhov // Himija. [Chemistry.]-1988. - No 5. -48 P. [in Russian]
7. Sagdeev, G. S. Obshhaja tehnologija pishhevyh proizvodstv: uchebnoe posobie [General Technology of Food Production: Textbook] / G. S. Sagdeev, N. From. Muhametshina. - Saint Petersburg: Svoe publishing house. - 2019 - 92 p. [in Russian]
8. GOST R 56631 - 2015. Izdelija hlebobulochnye iz psheichnoj hlebopekarnoj muki. Obshhie tehnicheskie uslovija. [Bakery Products Made from Wheat Flour. General Specifications.]- introduced 2015-09-10. - Мю: Standartinform, 2016. - 17 p. [in Russian]
9. Matveeva T. V. Fiziologicheski funkcional'nye pishhevyje ingredienty dlja hlebobulochnyh i konditerskih izdelij: monografija. [Physiologically Functional Food Ingredients for Bakery and Confectionery Products: Monograph] / T. V. Matveeva, S. Y. Karachkina. Oryol: Oryol State University. - 2012. - p. 140 [in Russian]
10. Maslov A.V. Vlijanie dobavki rastitel'nogo proishozhdenija na potrebitel'skie svojstva hlebobulochnogo izdelija iz psheichnoj muki s krepkoj klejkovinoj i ponizhennoj saharoobrazujushhej sposobnost'ju [Influence of Plant-Based Additives On Consumer Properties Of Bakery Products Made Of Wheat Flour With Strong Gluten And Reduced Sugar-Forming Capacity]/ A. V. Maslov, Z. Sh. Mingaleeva, O. V. Starovoitova et al. // Molodezh" i nauka v XXI veke: znaniya i innovacii. [Youth and Science in The XXI Century: Knowledge and Innovation.] 2019, vol. 3, pp. 242-245 (RINC) [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.102.12.030>

# ОЦЕНКА ВОЗДУШНО-СУХОЙ МАССЫ ВИКО-ЗЛАКОВЫХ ТРАВосМЕСЕЙ ПО ОПТИМАЛЬНОСТИ В СООТНОШЕНИИ НЕЙТРАЛЬНО-ДЕТЕРГЕНТНОЙ (НДК/ NDF) И КИСЛОТНО-ДЕТЕРГЕНТНОЙ КЛЕТЧАТКИ (КДК/ ADF).

Научная статья

Скамарохова А.С.\*

ORCID: 0000-0001-6821-429X,

Краснодарский научный центр по зоотехнии и ветеринарии, Краснодар, Россия

\* Корреспондирующий автор (rskamarokhov[at]mail.ru)

## Аннотация

NDF (нейтрально детергентная клетчатка) сегодня рассматривается как самый подходящий параметр для характеристики клетчатки, потому что NDF содержит самые важные составляющие стенок клеток растений (целлюлоза, гемицеллюлоза и лигнин) и, тем самым, делает возможным разделение углеводов на структурные и неструктурные (FC, NFC). Большой вызов в кормлении высокопродуктивных коров – обеспечить потребность животных в энергии и при этом предоставить рубцу достаточное количество волокнистых веществ, чтобы была возможна нормальная стабильная работа рубца.

Из-за ограниченного потребления корма рационы высокопродуктивных коров богаты высокопереваримыми неструктурными углеводами (NFC), чья ферментация ведет к образованию в рубце большого количества пропионовой кислоты с сильным кислотным действием и, наоборот, ферментация NDF происходит медленнее и в меньшем масштабе. Содержание клетчатки и концентрации энергии находятся в обратной зависимости. Кроме того, клетчатка играет важную функцию при образовании слоев содержимого рубца (мат из грубых частиц, который плавает на жидкости с мелкими частицами).

**Ключевые слова:** нейтрально детергентная клетчатка, кислотно детергентная клетчатка, структурные и неструктурные углеводы, кормовые травосмеси, озимая вика, тритикале, пшеница.

## EVALUATION OF THE AIR-DRY MASS OF VETCH-CEREAL HERBAGE MIXTURES ACCORDING TO THE OPTIMAL RATIO OF NEUTRAL-DETERGENT (NDF) AND ACID-DETERGENT FIBERS (ADF).

Research article

Skamarokhava A.S.\*

ORCID: 0000-0001-6821-429X,

Krasnodar Research Center for Animal Husbandry and Veterinary Medicine, Krasnodar, Russia

\* Corresponding author (rskamarokhov[at]mail.ru)

## Abstract

NDF (neutral detergent fiber) is now considered the most suitable parameter for fiber characterization due to the fact that NDF contains the most important components of plant cell walls (cellulose, hemicellulose and lignin) and therefore makes it possible to divide carbohydrates into structural and non-structural (FC, NFC). A big challenge in feeding high producing cows is supply the animals with the needed amounts of energy and at the same time provide the tripe with enough fibrous substances to ensure its stable operation.

Due to limited feed intake, the diets of high producing cows are rich in highly digestible non-structural carbohydrates (NFC), whose fermentation leads to the formation of a large amount of propionic acid with a strong acidic effect in the tripe, while the NDF fermentation is slower and happens on a smaller scale. Fiber content and energy concentrations are inversely related. In addition, fiber possesses an important function in the formation of layers in the tripe's content (a mat out of coarse particles that floats on a liquid with small particles).

**Keywords:** neutral detergent fiber, acid-detergent fiber, structural and non-structural carbohydrates, feed herbage mixtures, winter vetch, triticale, wheat.

## Введение

Исследования по решению проблемы производства кормов и получению растительного белка по разным агроэкологическим зонам, экономическим районам и отдельным областям Российской Федерации проводили много авторов, которыми было установлено, что в каждой почвенно-климатической зоне существует какой-либо определяющий фактор минимума, при наступлении которого наблюдается резкое снижение продуктивности большинства сельскохозяйственных культур. В частности, в степных районах Краснодарского края этим фактором является влага. Точно спрогнозировать распределение осадков по отдельным периодам вегетации практически невозможно. В отдельные годы недостаток влаги приводит к резкому снижению урожая кукурузы, сокращению до критических объемов заготовки силоса, а также к снижению его качества [1].

За счет выращивания на силос и сенаж многолетних и однолетних бобово-злаковых травосмесей можно свести к минимуму ущерб от засух.

Хорошей альтернативой посевам многолетних трав являются однолетние злаково-бобовые смеси, состоящие из озимой вики и озимой пшеницы или тритикале. Вика озимая относится к числу основных молокогонных кормовых культур в озимых посевах, используемых в молочном животноводстве. По кормовым достоинствам она не уступает люцерне, клеверу, гороху и другим бобовым травам. Кроме того, вика озимая является промежуточной культурой, поэтому не занимает самостоятельного поля севооборота, позволяя интенсивно использовать пашню в хозяйствах животноводческого направления, и, к тому же, улучшает плодородие почвы благодаря симбиотическому усвоению

атмосферного азота. Она является поставщиком дефицитных для животных каротина (57-78 мг/кг в зелёной массе, 37 мг/кг в сене) и лизина (5 % от общего количества белка) [4].

Современное состояние полевого кормопроизводства в Краснодарском крае характеризуется экстенсивным уровнем ведения вследствие нерациональной структуры посевных площадей, высокой долей зерновых и пропашных культур низкой долей многолетних трав, прежде всего, бобовых, недостаточным внесением удобрений [4]. Низкая продуктивность кормовых на пашне и преобладание злаков в их видовом составе определяют незначительную эффективность кормовых культур в системе земледелия и севооборотов. Для обеспечения кормами одной коровы с удоем 7500 кг молока в год [5] требуется не менее 2,0 га пашни. В связи с недостаточным удельным весом бобовых обеспеченность животных удовлетворена в недостаточной степени, а расход кормов на производство животноводческой продукции в 1,3-1,4 раза превышает нормативы. Увеличение доли бобового и бобово-злакового растительного сырья до 70 % обеспечит повышение содержания сырого протеина в сухом веществе объёмистых кормов до 14-15 %.

Повышение протеиновой питательности и качества кормов на основе оптимизации структуры посевных площадей позволит сократить их расход на производство животноводческой продукции на 20-25 % [9].

### Методы и принципы исследования

На опытном поле ФГБНУ КНЦЗВ с 01.10.2018 по 10.07.2019 года был заложен опыт по изучению продуктивности двух видов озимых вик: вика паннонская (*Viciapannonica Granz*) сорта Орлан и Черноморская и вика мохнатая (*Viciavilossa op Roth*) сорта Луговская 2 и Глинковская. Вики высевались в смеси с озимой пшеницей (*Triticumaestivum L.*) сорт Таня. Вносились различные дозы минеральных удобрений ( $N_{20}P_{20}K_{20}$ ,  $N_{40}P_{40}K_{40}$ ,  $N_{60}P_{60}K_{60}$ ) по вариантам. Фосфор (суперфосфат) и калий (калий хлористый) вносились при посеве, азот (кальциевая селитра) в качестве ранневесенней подкормки. В качестве контроля изучался сорт вики мохнатой Луговская 2, так как это наиболее востребованный в Краснодарском крае сорт озимой вики. Почвы опытных делянок представлены чернозёмом выщелоченным слабогумусным тяжелосуглинистым мощным.

Исследования проводились согласно «Методике полевого опыта» Б. А. Доспехова и Методическим указаниям ВНИИ кормов им. В. Р. Вильямса [2], [3]. Оценка воздушно-сухой массы вико-злаковых травосмесей в соотношении нейтрально-детергентной (НДК/ NDF) и кислотно-детергентной клетчатки (КДК/ ADF) производилась *in vitro*.

Целью данного исследования является изучение, какая из представленных травосмесей наиболее оптимальна по соотношению NDF/ADF в вико-злаковом сене для наиболее качественного кормления высокопродуктивного молочного КРС.

Из-за ограниченного потребления корма рационы высокопродуктивных коров богаты высокопереваримыми неструктурными углеводами (NFC), чья ферментация ведет к образованию в рубце большого количества пропионовой кислоты с сильным кислотным действием и, наоборот, ферментация NDF происходит медленнее и в меньшем масштабе. Содержание клетчатки и концентрации энергии находятся в обратной зависимости. Кроме того, клетчатка играет важную функцию при образовании слоев содержимого рубца (мат из грубых частиц, который плавает на жидкости с мелкими частицами).

Если количество структурной клетчатки ниже критического значения, снижается время жевания жвачки и, как следствие, – секреция слюны. Из-за этого снижается показатель pH и соотношение ацетата к пропионату, что ведет к снижению содержания молочного жира. Низкое содержание NDF в рационе влияет на здоровье рубца и здоровье коровы. Краткосрочно слишком мало клетчатки ведет к субклиническому ацидозу или клиническому ацидозу. Долгосрочно недостаточное обеспечение клетчаткой ведет к проблемам с копытами и смещению сычуга. Содержание NDF и показатель pH рубца имеют обратную зависимость, поскольку NDF (из грубых кормов), с одной стороны, имеет структурное действие и стимулирует секрецию слюны. С другой стороны, NDF ферментируется медленнее и меньше, чем NFC [6], [8].

### Основные результаты

Для того чтобы выяснить, какая травосмесь наиболее сбалансирована для кормления КРС, проводился анализ воздушно-сухой массы (сена) травосмесей по методу Ван Соеста. Данный метод лабораторным путем определяет количество нейтрально детергентной клетчатки (НДК), а затем и кислотно детергентной клетчатки (КДК) (см. таблицу 1) [7], [10].

Таблица 1 – Требования к показателям НДК и КДК для рациона КРС

Показатель	Минимальное значение	Максимальное значение
НДК, % в сухом веществе рациона	28	40
НДК из основного корма, % в сухом веществе основного корма	22	32
КДК, % в сухом веществе рациона	16	24

Баланс КДК и НДК в исследуемых травосмесях без внесения удобрений представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Содержание КДК и НДК в воздушно-сухой массе однолетних вико-злаковых травосмесях (контроль)

Вариант травосмеси	НДК, %	КДК, %
Фаза начало колошения злаков-бутонизация вики (06.05.2019 г.)		
Озимая тритикале Сват + озимая вика Луговская 2	50,8	29,9
Озимая пшеница Таня + озимая вика Луговская 2	46,4	33,0
Озимая тритикале Сват + паннонская вика Орлан	28,1	19,2
Озимая пшеница Таня + паннонская вика Орлан	51,5	31,0
Фаза цветения злаков - начало бобообразования вики (26.05.2019 г.)		
Озимая тритикале Сват + озимая вика Луговская 2	38,8	31,9
Озимая пшеница Таня + озимая вика Луговская 2	45,0	36,4
Озимая тритикале Сват + паннонская вика Орлан	44,6	32,3
Озимая пшеница Таня + паннонская вика Орлан	45,6	28,4

Основываясь на результатах таблицы 2, можно сделать заключение, что самый оптимальный баланс НДК и КДК (основываясь на данных таблицы 1) содержит травосмесь озимая тритикале Сват + вика паннонская Орлан в фазу бутонизации, который составил (НДК/КДК) 28,1/19,2. Это соотношение структурных углеводов наиболее приближено к оптимуму. К вариантам с негативным соотношением клетчатки относятся все другие опытные образцы. Содержание КДК и НДК в воздушно-сухой массе однолетних вико-злаковых травосмесях с внесением минеральных удобрений (см. таблицу 3)

Таблица 3 – Содержание КДК и НДК в воздушно-сухой массе однолетних вико-злаковых травосмесях с внесением минеральных удобрений

Вариант травосмеси	НДК, %	КДК, %
Фаза начало колошения злаков - бутонизация вики (06.05.2019 г.)		
Озимая тритикале Сват + озимая вика Луговская 2, N <sub>20</sub> P <sub>20</sub> K <sub>20</sub>	49,8	29,5
Озимая пшеница Таня + озимая вика Луговская 2, N <sub>20</sub> P <sub>20</sub> K <sub>20</sub>	50,4	30,5
Озимая тритикале Сват + озимая вика Луговская 2, N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub>	48,7	38,3
Озимая пшеница Таня + озимая вика Луговская 2, N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub>	34,5	25,8
Фаза цветения злаков-начало бобообразования вики (26.05.2019 г.)		
Озимая тритикале Сват + озимая вика Луговская 2, N <sub>20</sub> P <sub>20</sub> K <sub>20</sub>	36,4	23,9
Озимая пшеница Таня + озимая вика Луговская 2, N <sub>20</sub> P <sub>20</sub> K <sub>20</sub>	45,1	34,0
Озимая тритикале Сват + озимая вика Луговская 2, N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub>	40,3	31,8
Озимая пшеница Таня + озимая вика Луговская 2, N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub>	48,5	30,0

Варианты с применением минеральных удобрений менее близки по оптимальному соотношению НДК/КДК для КРС. Наиболее сбалансированным по содержанию клетчатки из всех представленных вариантов следует считать вариант озимая пшеница Таня + озимая вика Луговская 2, N<sub>40</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub>. (КДК/НДК) 34,5/25,8, полученный при укосе в фазу колошения злаков - бутонизации вики и вариант озимая тритикале Сват + озимая вика Луговская 2, N<sub>20</sub>P<sub>20</sub>K<sub>20</sub> (укос в фазу цветения злаков – бобообразования вики) (КДК/НДК) 36,4/23,9. В других опытных образцах наблюдается завышение КДК, что ведет к дальнейшему снижению качества корма. Биометрическая обработка полученных результатов в первом укосе (см. таблицу 4)

Таблица 4 – Биометрическая обработка полученных результатов в первом укосе

Варианты	Травосмеси	Колошение-бутонизация	
		НДК, %	КДК, %
Контроль	Озимая тритикале Сват +паннонская вика Орлан	28,1±0,31	19,2±0,19
N <sub>20</sub> P <sub>20</sub> K <sub>20</sub>	Озимая тритикале Сват +паннонская вика Орлан, N <sub>20</sub> P <sub>20</sub> K <sub>20</sub>	49,73±0,2	29,6±0,7
N <sub>20</sub> P <sub>20</sub> K <sub>20</sub>	Озимая тритикале Сват +паннонская вика Орлан, N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub>	48,9±0,56	38,37±0,32***
Контроль	Озимая пшеница Таня + озимая вика Луговская 2	46,37±0,91	32,47±0,79
N <sub>20</sub> P <sub>20</sub> K <sub>20</sub>	Озимая пшеница Таня + озимая вика Луговская 2, N <sub>20</sub> P <sub>20</sub> K <sub>20</sub>	45,27±7,3	36,43±0,3***
N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub>	Озимая пшеница Таня + озимая вика Луговская 2, N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub>	34,53±0,64*	25,27±1,52

Примечание: \*  $p < 0,1$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$

Степень достоверности результатов отражают данные таблицы 4, в которой приведена статистическая обработка данных по укосам. Среди вико-тритикалевых травосмесей наиболее качественное содержание структурных углеводов содержится в образце озимая тритикале Сват + паннонская вика Орлан -  $28,1 \pm 0,31/19,2 \pm 0,19$ , что на 43,5 % ( $N_{20}P_{20}K_{20}$ ) и 42,5 % ( $N_{20}P_{20}K_{20}$ ) меньше по НДК и на 35,1 % ( $N_{20}P_{20}K_{20}$ ) и 49,9 % ( $N_{20}P_{20}K_{20}$ ) меньше по КДК. Варианты вико-пшеничных травосмесей также имеют отрицательный баланс клетчатки, что неприемлемо для кормления высокопродуктивного КРС. Биометрическая обработка полученных результатов во втором укосе (см. таблицу 5)

Таблица 5 – Биометрическая обработка полученных результатов во втором укосе

Варианты	Травосмеси	Цветение-бобообразование	
		НДК, %	КДК, %
Контроль	Озимая тритикале Сват + озимая вика Луговская 2	$38,77 \pm 0,9$	$36,5 \pm 0,68$
$N_{20}P_{20}K_{20}$	Озимая тритикале Сват + озимая вика Луговская 2, $N_{20}P_{20}K_{20}$	$36,5 \pm 0,68$	$23,63 \pm 0,35$
$N_{40}P_{40}K_{40}$	Озимая тритикале Сват + озимая вика Луговская 2, $N_{40}P_{40}K_{40}$	$40,8 \pm 0,25^{***}$	$31,4 \pm 1,74^{***}$
Контроль	Озимая пшеница Таня + озимая вика Луговская 2	$28,03 \pm 0,54$	$19,07 \pm 0,52$
$N_{20}P_{20}K_{20}$	Озимая пшеница Таня + озимая вика Луговская 2, $N_{20}P_{20}K_{20}$	$45,5 \pm 0,53^{***}$	$34,07 \pm 0,58^{***}$
$N_{40}P_{40}K_{40}$	Озимая пшеница Таня + озимая вика Луговская 2, $N_{40}P_{40}K_{40}$	$48,43 \pm 0,85^{***}$	$29,87 \pm 1,52^{***}$

Примечание: \*  $p < 0,1$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$

Статистическая обработка полученных данных показывает достоверность всех вариантов, кроме варианта озимая тритикале Сват + озимая вика Луговская 2 ( $N_{20}P_{20}K_{20}$ ) во втором укосе ( $36,5 \pm 0,68/23,63 \pm 0,35$ ). Наиболее оптимальным соотношением следует считать соотношение НДК/КДК в контрольном варианте озимая пшеница Таня + озимая вика Луговская 2 во втором укосе ( $28,03 \pm 0,54/19,07 \pm 0,52$ ). Так же можно считать оптимальным вариант озимая тритикале Сват + озимая вика Луговская 2  $N_{20}P_{20}K_{20}$  во втором укосе ( $36,5 \pm 0,68/23,63 \pm 0,35$ ), так как данные показатели не выходят за пределы референсного значения.

### Заключение

Приближен к оптимуму в большей степени во втором укосе вариант озимая пшеница Таня + озимая вика Луговская 2 -  $28,03 \pm 0,31/19,07 \pm 0,19$ . Остальные опытные варианты вико-пшеничных и вико-тритикалевых травосмесей так же имеют отрицательный баланс клетчатки, что неприемлемо для кормления высокопродуктивного молочного КРС. Оптимальным также является вариант озимая тритикале Сват + озимая вика Луговская 2  $N_{20}P_{20}K_{20}$  во втором укосе ( $36,5 \pm 0,68/23,63 \pm 0,35$ ), так как данные показатели не выходят за пределы максимального значения (по Ван Соесту).

### Конфликт интересов

Не указан.

### Conflict of Interest

None declared.

### Список литературы / References

- Горковенко, Л. Г. Новая технологическая культура кормовой базы – основа высокой продуктивности животных / Горковенко Л. Г., Морозов Н. П. – Краснодар: Диапазон-В, 2011. – С. 22-23.
- Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Колос, 1985. – 416 с.
- Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами ВНИИ кормов имени В.Р. Вильямса. – М., 1987. – С. 17-25.
- Данные с официального сайта Росстат. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://clck.ru/SPvHk> (дата обращения 17.11.2020).
- Романенко, А.А. Сорты и гибриды: каталог КНИИСХ им. П.П. Лукьяненко; / сост. А.А. Романенко и др. – Краснодар: ЭДВИ. – 2017. – 128 с.
- Полноценное кормление молочного скота – основа реализации генетического потенциала продуктивности / В. И. Волгин, Л. В. Романенко, П. Н. Прохоренко, З. Л. Федорова, Е. А. Корочкина. – М.: РАН, 2018. – 260 с.
- Manukyan I. R. The Sources of Economically Valuable Traits of Winter Wheat Varieties in the Conditions of the Forest-steppe Zone of the Central Caucasus / I. R. Manukyan, M. A. Basieva, V. B. Abiyev, N. A. Yurina, A. N., Gneush Y. N. Ashinov // Annals of Agri-Bio Research 24 (2) : 242-245, 2019.
- Manukyan I. R. Complex evaluation of productivity and environmental plasticity of the winter wheat breeding material for the conditions of the Submontane Zone of Central Caucasus / I.R. Manukyan, M. A. Basieva, A. N. Gneush, G. Y. Arutyunova, M. M. Udychak, D. A. Yurin // Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development Vol. 19, Issue 4, 2019. PP. 159-166.
- Borisenko V.V. Effect of "ECOSS" BioGumate on the Growth and Development of Winter Wheat of Various Varieties / V.V. Borisenko, I.S. Zholobova, A.I. Petenko, A.N. Gneush, N.A. Yurina // Journal of Pharmaceutical Sciences and Research. – Vol. 10(10), 2018; 2626-2627.
- Yilmaz S. Effects of seeding rates on competition indices of barley and vetch intercropping systems in the eastern mediterranean / S. Yilmaz, A.Özel, M. Atak, M. Erayman // Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 2015. Vol. 39. № 1. P. 135-143.



**Список литературы на английском языке / References in English**

1. Gorkovenko, L. G. Novaja tehnologicheskaja kul'tura kormovoj bazy – osnova vysokoj produktivnosti zhivotnyh [New Technological Culture of the Forage Reserve — the Basis of High Productivity of Animals]/ L. Gorkovenko G., Morozov N. P.- Krasnodar: Range-V, 2011. - pp. 22-23 [in Russian]
2. Dospekhov, B. A. Metodika polevogo opyta [Methods of Field Experience] / B. A. Dospekhov. - M.: Kolos, 1985 – 416 p. [in Russian]
3. Metodicheskie ukazaniya po provedeniju polevyh opytov s kormovymi kul'turami VNII kormov imeni V.R. Vil'jamsa. [Methodological Guidelines for Conducting Field Experiments With Forage Crops at the All-Russian Williams Fodder Research Institute]. - M., 1987. - pp. 17-25 [in Russian]
4. Dannye s oficial'nogo sajta Rosstat [Data from the official website of the Federal State Statistic Service]. – [Electronic resource]. – URL: <https://clck.ru/SPvHk>. (accessed 17.11.2020) [in Russian]
5. Romanenko, A. A. [Varieties and Hybrids: Catalog of the Federal State Budgetary Scientific Institution P. P. Lukyanenko National Center of Grain]; compiled by A. A. Romanenko et al. - Krasnodar: EDVI. - 2017. - 128 p. [in Russian]
6. Polnocennoe kormlenie molochnogo skota – osnova realizacii geneticheskogo potenciala produktivnosti [Full-Fledged Feeding of Dairy Cattle — the Basis for Realizing the Genetic Potential of Productivity]/ V.I. Volgin, L.V. Romanenko, P.N. Prokhorenko et al. - Moscow: RAS, 2018. - 260 p. [in Russian]
7. Manukyan I. R The Sources of Economically Valuable Traits of Winter Wheat Varieties in the Conditions of the Forest-steppe Zone of the Central Caucasus / I. R Manukyan, M. A. Basieva, V. B. Abiyev, N. A. Yurina, A. N., Gneush Y. N. Ashinov // Annals of Agri-Bio Research 24 (2) : 242-245, 2019.
8. Manukyan I. R. Complex evaluation of productivity and environmental plasticity of the winter wheat breeding material for the conditions of the Submontane Zone of Central Caucasus / I.R. Manukyan, M. A. Basieva, A. N. Gneush, G. Y. Arutyunova, M. M. Udychak, D. A. Yurin // Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development Vol. 19, Issue 4, 2019. PP. 159-166.
9. Borisenko V.V. Effect of "ECOSS" BioGumate on the Growth and Development of Winter Wheat of Various Varieties / V.V. Borisenko, I.S. Zholobova, A.I. Petenko, A.N. Gneush, N.A. Yurina // Journal of Pharmaceutical Sciences and Research. – Vol. 10(10), 2018; 2626-2627.
10. Yilmaz S. Effects of seeding rates on competition indices of barley and vetch intercropping systems in the eastern mediterranean / S. Yilmaz, A.Özel , M. Atak, M. Erayman // Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 2015. Vol. 39. № 1. P. 135-143.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.102.12.031>

## РАННЕСПЕЛЫЙ СОРТ СОИ КОРА

Научная статья

Устарханова Э.Г.<sup>1,\*</sup>, Мацола Н.А.<sup>2</sup>, Черезов Р.Н.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-2809-4462;

<sup>1, 2, 3</sup> Армавирская опытная станция – филиал Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур им. В. С. Пустовойта, Армавир, Россия

\* Корреспондирующий автор (elmira.ustarhanova[at]mail.ru)

### Аннотация

Важнейшей задачей селекционеров является создание нового высококонкурентоспособного сорта сои с улучшенными характеристиками по таким показателям, как продуктивность, технологичность, приспособленности для возделывания в конкретной почвенно-климатической зоне. Районированный в 2020 году сорт сои Кора отличается повышенной устойчивостью к засухе, имеет более укороченный период вегетации (95-100 суток), стебель растения данного сорта упругий, грубый, что делает их устойчивыми к полеганию. По итогам сортоиспытания (2016-2019 гг.) сорт Кора по урожаю превзошел сорт стандарт (Дуар) на 0,12 т/га. Масса 1000 семян составила более 160 г. Бобы имеют в основном 2-3 семени, устойчивы к растрескиванию при перестое.

**Ключевые слова:** селекция, раннеспелость, соя, урожайность, засухоустойчивость, сорт, содержание белка, вегетационный период.

## KORA, AN EARLY MATURING VARIETY OF SOYBEAN

Research article

Ustarkhanova E.G.<sup>1,\*</sup>, Matsola N.A.<sup>2</sup>, Cherezov R.N.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-2809-4462;

<sup>1, 2, 3</sup> Armavir Experimental Station, the Branch of the V.S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil crops, Armavir, Russia

\* Corresponding author (elmira.ustarhanova[at]mail.ru)

### Abstract

The most important task of crop breeders is to create a new, highly competitive soybean variety with improved productive and technological characteristics that is adapted for cultivation in specific soil and climate zones. Zoned in 2020, the "Kora" soybean variety is characterized by increased resistance to drought and has a shorter growing season (95-100 days). The plant stem of this soybean variety is elastic, rough, which makes it resistant to lodging. According to the results of variety testing (2016-2019), the Kora variety exceeded the standard (Duar) variety by 0.12 t/ha in yield. The weight of 1000 seeds amounted to more than 160 g. The beans have mainly 2-3 seeds and are resistant to cracking when over mature.

**Keywords:** crop breeding, early ripening, soybean, yield, drought resistance, variety, protein content, growing season.

### Введение

Одним из главных резервов получения высоких урожаев сои является внедрение в сельскохозяйственное производство новых продуктивных сортов сои [1].

Повышение приспособляемости вновь создаваемых сортов к условиям произрастания, при которых растения максимально использовали бы имеющиеся ресурсы среды для создания качественной, востребованной продукции – одна из главных задач, стоящих перед селекционерами [2], [3], [4].

Период вегетации является важным фактором характеристики сорта.

Актуальность состоит в создании скороспелых сортов во всех современных и перспективных районах соевосаждения. Сорта с коротким периодом вегетации способствуют расширению ареала сои, дают больший выход товарных семян, являются одними из лучших предшественников в севообороте, а также менее фоточувствительны [5], [6], [7].

Основным методом селекции послужила внутривидовая гибридизация с непрерывным улучшающим отбором по комплексу биологических и хозяйственно ценных признаков.

Объектом исследований послужил новый раннеспелый сорт сои Кора с продолжительностью вегетационного периода 95-100 суток. Сорт получен от скрещивания сортов (Лань × Рента) × (Дуниза × Быстрица 2). Испытание сорта сои Кора в 2016-2019 гг. показало, что урожайность его превысила сорт стандарт на 0,12 т/га и составила 1,97 т/га. Максимальная прибавка относительно сорта стандарта Дуар была отмечена в условиях 2017 года и составила 0,61 т/га. Для нового сорта сои Кора характерен крепкий устойчивый к полеганию стебель и стойкий к преждевременному вскрытию боб. Максимальная масса 1000 семян за годы исследований составила 182 г. содержание белка 42,5 %.

Как показывает практика, сорта иностранной селекции, пришедшие к нам с благоприятно складывающихся там климатических условий не способны сформировать рентабельных урожаев во многих почвенно-климатических зонах нашей страны.

Повышенная урожайность сортов зарубежной селекции в тех странах, где они были выведены (США, Канада, Страны Западной Европы) объясняется благополучно складывающимися погодными-климатическими условиями, в фазы вегетации сои. Отсюда следует, что при селекции данной культуры в этих странах, отбор на устойчивость к засухе практически не ведется, так как дефицита влаги в почве нет и ее количества в почве достаточно для реализации всех имеющихся потребностей растений [1], [2].

Большая часть иностранных сортов принадлежит к среднеспелой, невысокого роста детерминантной и полудетерминантной группам, что объясняется тем, что максимальное внимание при их выведении уделяется стойкости растений к полеганию. В нашей стране сою возделывают как в северных регионах (на широтах 54–56°), так и на юге

России, где складывающиеся погодно-климатические условия далеки от благоприятных для возделывания данной культуры [5], [7], [8].

Селекция сои ВНИИМК на сегодняшний день ориентирована на непрерывное улучшение основных хозяйственно-ценных признаков с целью увеличения объемов производства, расширения ареала возделывания, увеличения территориальной приспособленности к основным зонам возделывания культуры. Сорта сои, районированные в различных зонах, как правило, приспособлены к ним и являются наиболее продуктивными [9], [10].

Цель наших исследований состояла в создании раннеспелого сорта сои с комплексом хозяйственно полезных признаков, устойчивого к полеганию и растрескиванию бобов, адаптивного для возделывания в зонах неустойчивого увлажнения Северного Кавказа.

#### Условия и методика

Исследования проводили на базе лаборатории селекции и семеноводства сои АОС – филиал ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК в соответствии с «Методиками государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур» [11], [12].

Почвенный покров опытной станции представлен черноземом типичным, обыкновенным, малогумусным, тяжелосуглинистым, сформированным на лессовидном карбонатном суглинке. Мощность гумусового горизонта составляет 90-110 см.

Зона проведения исследований характеризуется неустойчивым, недостаточным увлажнением. Годовая сумма осадков, по многолетним данным, составляет 577 мм, выпадающих в течение года неравномерно. Грунтовые воды залегают глубже 10 м и практического влияния на формирование урожая сельскохозяйственных культур не оказывают. По многолетним данным, гидротермический коэффициент (ГТК) за вегетационный период культуры (май-август) составляет 1,0.

В годы проведения исследований ГТК за период вегетации культуры (май-август) был различным. Так гидротермический коэффициент (ГТК) в 2016 г. составил 0,9, 2018 г.-0,7; 2019 г.-0,8, характеризующие условия увлажнения недостаточными. Лишь в 2017 г. данный показатель составил 1,5.

#### Результаты и обсуждение

В условиях юга Краснодарского края максимальное количество осадков выпадает во время цветения – формирования бобов (май-июнь), способствуя созданию положительных условий для роста и развития растений сои. Однако последующие месяцы (июль-август) характеризуются как засушливые, число осадков сокращается, а последующие частые ветра благоприятствуют развитию воздушной и почвенных засух в поздний летний период, что отрицательно сказывается на наливе и созревании семян.

Введение в сельскохозяйственное производство раннеспелых высокопродуктивных сортов сои, характеризующихся высокой адаптивной реакцией на стрессовые факторы, позволит увеличить производство сои.

Кора – сорт ранней группы спелости. Получен в лаборатории селекции и семеноводства сои АОС-филиал ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК 2007-2017 году от скрещивания сортов (Лань<sup>х</sup>Рента)<sup>х</sup>(Дуниза<sup>х</sup>Быстрица 2) методом многократного индивидуального отбора.

Сотообразец прошёл комплексную оценку на продуктивность, устойчивость к засухе и другие хозяйственно-ценные признаки.

В результате проведенных исследований была выделена перспективная линия ЛА-16-1145, которая в дальнейшем получила название Кора.

На протяжении всего периода изучения сорт сои Кора стабильно превышал сорт (Дуар) по урожайности. Так, в среднем продуктивность его за 2016-2019 гг. составила 1,97 т/га, и превысила стандарт на 0,12 т/га (таблица 1).

Таблица 1 – Характеристика сорта сои Кора по результатам испытаний  
АОС-филиал ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК, 2016-2019 гг.

Наименование сорта, линии	Вегетационный период, сутки	Высота, м		Масса 1000 семян, г.	Урожайность, т/га
		растений	прикрепления боба		
Дуар	110	1,05	0,11	122,1	1,85
Кора	98	0,83	0,11	166,3	1,97
НСР <sub>05</sub>					0,10

Максимальная прибавка урожая относительно раннеспелого сорта – Дуар была отмечена в условиях 2017 г. и составила 0,61 т/га.

Вегетационный период у сорта Кора на широте (45 °), в зависимости от погодных условий года изменялся от 95 до 100 дней, и в среднем за 2016-2019 гг. составил 98 дней, тогда как продолжительность периода вегетации у раннеспелого сорта Дуар составила 110 дней.

Одними из важных селекционных признаков, характеризующих технологичность сорта, являются;

- высота растения,
- высота прикрепления нижнего боба.

Максимальная высота растений сорта Кора за годы испытаний составила 0,96 м., максимальная высота расположения нижнего боба от поверхности почвы составила 14 см. В среднем же за 2016-2019 гг. эти показатели составили 0,83 и 0,14 м.

Одним из важных хозяйственно ценных признаков является масса 1000 семян, у представленного сорта она составляет 156-170 г. Однако в годы с достаточным количеством осадков в фазу налива семян масса их достигала 183 г.

Тип развития растения сорта Кора индетерминантный. Растение средней высоты. Форма куста растения полупрямостоячее. Окраска венчика цветка имеет фиолетовый окрас. Опушение главного стебля растения сорта Кора – рыжевато-коричневой (рисунок 1).

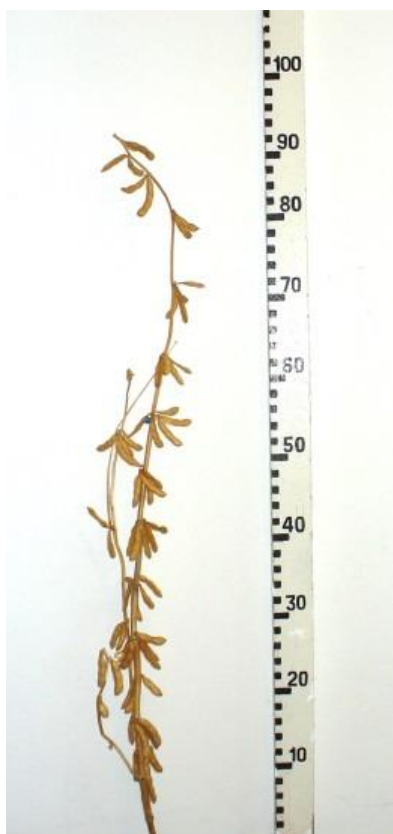


Рис. 1 – Растение сорта Кора

Интенсивность коричневой окраски бобов от средней до темной. Бобы среднего размера, имеют слабоизогнутую форму, двух-трехсеменные (рисунок 2).



Рис. 2 – Боб и семя сорта сои Кора

Основная окраска семенной кожуры (исключая рубчик) желтая без пигментаций. Рубчик семени окрашен и имеет темный цвет (рисунок 2).

Масличность семян раннеспелого сорта сои Кора по годам исследований варьировала от 22,3 до 22,8 %, и в среднем составила 22,6 %. При выращивании сорта в условиях юго-восточной зоны Краснодарского края содержание белка в семенах составляет 39,0-42,4 %, в среднем содержание его за 2016-2019 гг. – 41,0 % (таблица 2).

Таблица 2 – Биохимическая характеристика семян сорта Кора АОС-филиал ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК, 2016-2019 гг.

Наименование сорта, линии	Содержание белка, %	Масличность семян, %
Дуар (стандарт)	41,9	21,9
Кора	41,0	22,6

### Заключение

Сорт сои Кора технологичен, имеет резерв продуктивности, устойчивости к негативным природным факторам, таким как засуха, растение имеет грубый упругий стебель, что делает его стойким к полеганию. Створки бобов прочные устойчивы к растрескиванию. Содержание масла и белка в семенах говорит о высоком качестве зерна.

В 2020 году сорт сои Кора включен в Государственный реестр селекционных достижений РФ, допущенных к использованию по Северо-Кавказскому региону.

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Conflict of Interest**

None declared.

**Список литературы / References**

1. Ала А.Я. Проблемы и перспективы интерогрессивной селекции у сои. / Итоги исследований по сое за годы реформирования и направления НИР на 2005-2010 гг. / А.Я. Ала, В.А. Тильба // Сборник статей координационного совещания, (Краснодар, 8-9 сентября 2004 г.) – 2004 г. – С. 23-32.
2. Кочегура А.В. Результаты и перспективы НИР по селекции сои. / Итоги исследований по сое за годы реформирования и направления НИР на 2005-2010 гг. / А.В. Кочегура // Сборник статей координационного совещания, (Краснодар, 8-9 сентября 2004 г.) – 2004 г. – С. 7-10.
3. Кочегура А.В. Признаки адаптивности растений сои к условиям недостаточного увлажнения / А.В. Кочегура, М.В. Мирошниченко // Масличные культуры. Науч.-тех. бюл. ВНИИМК. – 2007. – Вып. 2 (137). – С. 84-87.
4. Белявская Л.Г. Оценка экологической стабильности и пластичности сортов сои / Л.Г. Белявская, Ю.В. Белявский, А.А. Диянова // Научно-производственный журнал «Зернобобовые и крупяные культуры». – 2018. – №4(28). – С. 42-48.
5. Лукомец В.М. Создание сортов сои с расширенной адаптацией к изменяющемуся климату Западного Предкавказья / В.М. Лукомец, Н.И. Бочкарев, С.В. Зеленцов, Е.В. Мошненко // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2012. Т. 1. - № 35. – С. 248-254.
6. Васильчиков А.Г. Адаптация сортов сои с различным вегетационным периодом к почвенно-климатическим условиям орловской области / А.Г. Васильчиков, Г.П. Гурьев // Научно-производственный журнал «Зернобобовые и крупяные культуры». – 2018. – №4(28). – С. 49-53.
7. Зайцев Н.И. Перспективы и направления селекции сои в России в условиях реализации национальной стратегии импортозамещения / Н.И. Зайцев, Н.И. Бочкарев, С.В. Зеленцов // Масличные культуры. Науч.-тех. бюл. ВНИИМК. – 2016. – Вып. 2 (166). – С. 3-11.
8. Зеленцов С.В. Пути адаптации сельского хозяйства России к глобальным изменениям климата на примере экологической селекции сои / С.В. Зеленцов, Е.В. Мошненко // Научный диалог. Естествознание и экология. -2012. – №7. – С. 40-59.
9. Устарханова Э.Г. Экологическое испытание нового среднеспелого сорта сои Зара / Э.Г. Устарханова, Н.А. Мацола // Международный научно-исследовательский журнал. – 2019. – № 12-2 (90). – С. 151-155.
10. Устарханова Э.Г. Оценка новых перспективных сортов сои Армавирской опытной станции ВНИИМК / Э.Г. Устарханова, Р.Н. Зайцев, Р.Н. Черезов // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 12-1 (54). – С. 151-154.
11. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 1. Общая часть / Гос. комиссия по сортоиспытанию с.-х. культур при МСХ СССР; Под общ. ред. М.А. Федина – М.: Колос, 1985. — 264 с.
12. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 3 Масличные, эфиромасличные и технические культуры, шелковица, шелкопряд // Гос. комис. по сортоиспытанию с.-х. культур при МСХ СССР / Под общ. ред. М.А. Федина – М.: Колос, 1983. – 184 с.

**Список литературы на английском языке / References in English**

1. Ala A. Ya. Problemy i perspektivy interogressivnojj selekcii u soi [Problems and Prospects of Inter-Aggressive Breeding in Soybeans] / Itogi issledovaniij po soe za gody reformirovaniya i napravleniya NIR na 2005-2010 gg. [Results of Research on Soybean During the Years of Reform and Research Directions for 2005-2010] / A. Ya. Ala, V. A. Tilba // Sbornik statejj koordinacionnogo soveshhanija, (Krasnodar, 8-9 sentjabrja 2004 g.) [Proceedings of the Coordination Meeting, (Krasnodar, September 8-9, 2004)] - 2004-pp. 23-32 [in Russian]
2. Kochegura A. V. Rezul'taty i perspektivy NIR po selekcii soi. [Results and Prospects of Research on Soybean Breeding] / Itogi issledovaniij po soe za gody reformirovaniya i napravleniya NIR na 2005-2010 gg. [Results of Research on Soybean During the Years of Reform and Research Directions for 2005-2010] / A. V. Kochegura // Collection of articles of the coordination meeting, (Krasnodar, September 8-9, 2004) - 2004— pp. 7-10 [in Russian]
3. Kochegura A. V. Priznaki adaptivnosti rastenij soi k uslovijam nedostatochnogo uvlazhnenija [Signs of Adaptability of Soybean Plants to Conditions of Insufficient Moisture] / A. V. Kochegura, M. V. Miroshnichenko // Maslichnye kul'tury. Nauch.-tekh. bjul. VNIIMK [Oil Crops. Scientific-Technical Bulletin. V.S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops]. - 2007. - Issue 2 (137). - pp. 84-87 [in Russian]
4. Belyavskaya L. G. Ocenka ehkologicheskoijs stabil'nosti i plastichnosti sortov soi [Assessment of Ecological Stability and Plasticity of Soybean Varieties] / L. G. Belyavskaya, Yu. V. Belyavsky, A. A. Diyanova // Nauchno-proizvodstvennyjj zhurnal «Zernobobovye i krupjanye kul'tury [Scientific and Production Journal "Legumes and cereals" ]. – 2018. - №4(28). – pp. 42-48 [in Russian]
5. Lukomets V. M. Sozdanie sortov soi s rasshirenojj adaptaciejj k izmenjajushhemusja klimatu Zapadnogo Predkavkaz'ja [Creation of soybean varieties with extended adaptation to the changing climate of the Western Caucasus] / V. M. Lukomets, N. I. Bochkarev, S. V. Zelentsov et al. // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Proceedings of the Kuban state agrarian University]. 2012. Vol. 1. - No. 35. - pp. 248-254 [in Russian]
6. Vasilchikov A. G. Adaptacija sortov soi s razlichnym vegetacionnym periodom k pochvenno-klimaticheskim uslovijam orlovskoj oblasti [Adaptation of Soybean Varieties With Different Vegetation Periods to the Soil and Climatic Conditions of the Oryol Region] / A. G. Vasilchikova, G. P. Guryev // Nauchno-proizvodstvennyjj zhurnal «Zernobobovye i krupjanye kul'tury» [Scientific and Production Journal "Legumes and Cereals" ]. – 2018. - №4(28). – pp. 49-53 [in Russian]
7. Zaitsev N. I. Perspektivy i napravleniya selekcii soi v Rossii v uslovijakh realizacii nacional'noj strategii importozameshhenija [Prospects and Directions for Soybean Breeding in Russia in the Context of Implementation of the National Import Substitution Strategy] / N. I. Zaitsev, N. I. Bochkarev, S. V. Zelentsov // [Oil crop. Scientific-Technical Bulletin. V.S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops. - 2016. - Issue 2 (166). - pp. 3-11 [in Russian]

8. Zelentsov S.V. Puti adaptacii sel'skogo khozajjstva Rossii k global'nym izmenenijam klimata na primere ehkologicheskoi selekcii soi [Methods of Adaptation of Russian Agriculture to Global Climate Changes on the Example of Ecological Selection of Soybeans] / S. V. Zelentsov, E. V. Moshnenko // Nauchnyj dialog. Estestvoznaniye i ehkologiya [Scientific Dialogue. Natural Science and Ecology]. -2012. - No. 7. - pp. 40-59 [in Russian]

9. Ustarkhanova E. G. Ehkologicheskoe ispytanie novogo srednespelogo sorta soi Zara [Ecological Testing of a New Medium-Ripened Variety of the Zara Soybean] / E. G. Ustarkhanova, N. A. Matsola // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Research Journal]. – 2019. - № 12-2 (90). – pp. 151-155 [in Russian]

10. Ustarkhanova E. G. Ocenka novykh perspektivnykh sortov soi Armavirskoj opytnoj stancii VNIIMK [Evaluation of New Promising Soybean Varieties at the Armavir Experimental Station Vniimk] / E. G. Ustarkhanova, R. N. Zaitsev, R. N. Cherezov // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Research Journal]. – 2016. - № 12-1 (54). – pp. 151-154 [in Russian]

11. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozajjstvennykh kul'tur. Vyp. 1. Obshhaja chast' [Methods of State Variety Testing of Agricultural Crops. Issue 1. General part] / [State Commission for Variety Testing of Agricultural Crops Under the Ministry of Agriculture of the USSR]. Edited by M. A. Fedina — M.: Kolos, 1985. -- 264 p. [in Russian]

Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozajjstvennykh kul'tur. Vyp. 1. Obshhaja chast' [Methods of State Variety Testing of Agricultural Crops. Issue 3 oil, essential oil and technical crops, mulberry, silkworm] // komis. po sortoispytaniyu s.-kh. kul'tur pri MSKh SSSR [State Commission. on Variety Testing of Agricultural Crops Under the Ministry of Agriculture of the USSR]. Edited by M. A. Fedina-M.: Kolos, 1983. - 184 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.102.12.032>**НОВЫЙ СОРТ СОИ ПАРУС**

Научная статья

**Устарханова Э.Г.<sup>1,\*</sup>, Мацола Н.А.<sup>2</sup>, Черезов Р.Н.<sup>3</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-2809-4462;<sup>1, 2, 3</sup> Армавирская опытная станция – филиал Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур им. В. С. Пустовойта, Армавир, Россия

\* Корреспондирующий автор (elmira.ustarhanova[at]mail.ru)

**Аннотация**

Предметом наших исследований служил новый раннеспелый сорт сои, Парус, с продолжительностью вегетационного периода 100-105 суток, выведен из гибридной популяции от скрещивания сортов (Бой 45 х Лань) х (Весточка х Руно). По результатам сортоиспытания 2016-2019 гг. сорт сои Парус превысил по урожайности ранний сорт-стандарт Дуар на 0,26 т/га и среднеспелый сорт Вилана – 0,20 т/га. Среднее содержание белка в семенах составило – 40,7 %. Сорт характеризуется повышенной засухоустойчивостью, высокорослостью, раннеспелостью (вегетационный период 100-105 суток), устойчивостью к полеганию растений и растрескиванию бобов. Высота растений в условиях неустойчивого увлажнения Краснодарского края за (2016-2019) составила 1,12 м.

**Ключевые слова:** соя, урожайность, засухоустойчивость, сорт, раннеспелость, высота растений.**PARUS, A NEW VARIETY OF SOYBEAN**

Research article

**Ustarkhanova E.G.<sup>1,\*</sup>, Matsola N.A.<sup>2</sup>, Cherezov R.N.<sup>3</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-2809-4462;<sup>1, 2, 3</sup> Armavir Experimental Station, the Branch of the V.S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil crops, Armavir, Russia

\* Corresponding author (elmira.ustarhanova[at]mail.ru)

**Abstract**

The subject of the research is a new early-maturing variety of soy, Parus, with a growing period of 100-105 days. The variety is bred from a hybrid population via crossing (Boy 45 x Lan') x (Vestochka x Runo). According to the results of the crop variety testing in 2016-2019, the Parus soybean variety exceeded the yield of the earlier standard variety, Duar, by 0.26 t/ha and the mid-ripening Vilana variety by 0.20 t / ha. The average protein content in the seeds amounts to 40.7 %. The variety is characterized by increased drought resistance, height, early maturity (vegetation period of 100-105 days), resistance to lodging and cracking of beans. The height of the plants in unstable moisture in Krasnodar Krai during the period from 2016 to 2019 amounted to 1.12 m.

**Keywords:** soybean, yield, drought resistance, variety, early maturity, plant height.**Введение**

Результативность селекционной работы с соей, во многом решается наличием обширного и разнообразного материала. Создание его представляет собой очень важный этап селекционного процесса. Эффективность проделанных работ по селекции сои в большей своей степени зависит от объемов и уровня теоретических работ по генетике данной культуры [1].

Проанализировав эффективность работ селекции, ряд стран говорят о том, что основной задачей, которая стоит перед ней, должна быть приспособленность выводимых сортов к почвенно-климатическим, погодным условиям [2].

Большая часть посевов сои в России расположена в неблагоприятных для возделывания культуры климатических зонах. Одним из частых длительных негативных явлений на юге России — это засухливые периоды во второй половине лета.

Уровень урожайности сои в большей степени зависит от запасов продуктивной влаги в почве и количества эффективных осадков, выпадающих в критический период (цветения и налива семян) развития растений. Так, при острой засухе в сопровождении с высокой температурой воздуха в летние периоды, реакция у чувствительных растений сои к длительным воздействиям стресса проявляется в виде существенного снижения урожая семян [3], [4], [5].

Продолжительность периодов развития и фаз созревания семян сои зависит от условий произрастания и сортовых особенностей. Создание приспособленного спектра новых сортов и их выращивание, своевременная сортомена и обновление сортов являются одними из главных составляющих устойчивости сельского хозяйства [6], [7].

Так, Кочегура А.В. анализируя производство сои в Краснодарском крае, характеризует его как нестабильное. Основной причиной этой ситуации он объясняет острым дефицитом осадков в летние месяцы, которые приводят к снижению урожая семян [11].

В связи с экологической ситуацией, а именно увеличением среднесуточных температур и острым дефицитом осадков во второй половине вегетации культуры, негативно отражающихся на продуктивности среднеспелой группы сортов сои заставляет задуматься о перенаправлении на создание скороспелых сортов с широкой экологической приспособленностью [8], [9].

Так переориентация на выведение скороспелых сортов сои в условиях Краснодарского края позволит стабилизировать уровень урожайности, за счет использования ими весенних почвенных запасов влаги и ухода от июльско-августовских засух.

Согласно селекционной программе сорта сои пищевого направления отличаются от обычного более крупного размера семян, их улучшенным видом и более высокой питательной ценностью [10].



Проанализировав многолетнюю селекционную работу во ВНИИМК, в процессе ее осуществления, получен значимый научный результат в увеличении продуктивности сои наряду с одновременным сокращением длительности вегетационного периода [8], [9], [10].

При создании новых сортов сои на экспериментальной базе ВНИИМК использовали ступенчатую гибридизацию 4 и более сортообразцов сои сочетающих в себе ряд положительных признаков.

В 2020 году в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию, включен новый раннеспелый сорт сои Парус.

Сорт сои зернового направления Парус создан на Армавирской опытной станции – филиал ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК в 2007-2017 гг. Сорт получен индивидуальным отбором от скрещивания сортов (Бой <sup>x</sup> Лань) <sup>x</sup> (Весточка <sup>x</sup> Руно).

По результатам исследований в предварительном и конкурсном сортоиспытании была выделена линия ЛА-15-625, превосходящая по своим характеристикам сорта стандарты – Вилана (St 1) и Дуар (St 2), в последующем данная линия была передана на Государственное сортоиспытание под коммерческим наименованием «Парус».

Основными селекционными признаками при отборе элитного гибридного растения послужили: продолжительность периода вегетации, устойчивость к полеганию и растрескиванию бобов, высота прикрепления нижнего боба.

Сорт сои Парус раннеспелый, продолжительность вегетационного периода в условиях юго-восточной зоны Краснодарского края в среднем за годы испытаний составила 101 суток (у стандарта Вилана – 115 суток, Дуар – 111 суток).

Наиболее совокупным показателем устойчивости сорта к засухе является их продуктивность, которая складывается из ряда признаков, свойств и генетических особенностей растения. Так, урожай семян сорта Парус в среднем за годы исследований превышал аналогичный показатель стандарта-сорт Вилана на 0,20 т/га, сорт Дуар на 0,26 т/га (табл. 1).

Таблица 1 – Характеристика раннего сорта Парус АОС-филиал ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК, 2016-2019 гг.

Наименование сорта, линии	Вегетационный период, сутки	Высота, м		Масса 1000 семян, г.	Урожайность, т/га
		растений	прикрепления боба		
Вилана (стандарт 1)	115	1,17	0,10	132,9	1,88
Дуар (стандарт 2)	111	0,98	0,13	141,2	1,82
Парус	101	1,12	0,12	172,2	2,08
Откл. от стандарта, ± Вилана	-15	-0,05	+0,02	+39,3	+0,20
Откл. от стандарта, ± Дуар	-11	+0,19	-0,01	+31,0	+0,26

Масса 1000 семян составила 172,2 г., однако в оптимальные по увлажнению годы она достигала 188,4 г. минимальное значение составило 164,0 г. и было отмечено в условиях 2017 г.

Высота растений сорта Парус в зависимости от погодных условий варьировала от 0,90 до 1,24 м, высота расположения нижних бобов над поверхностью почвы – 0,11-0,15 м.

Растения сорта имеют неограниченный (индетерминантный) тип роста главного стебля. Стебель упругий, устойчивый к полеганию. Венчик цветка имеет белую окраску, окраска опушения главного стебля растения серая (рис.1).



Рис. 1 – Растение сорта Парус



Окраска бобов растения от светло-бежевой до бежевой. Бобы двух-трех семенные, слабоизогнутые, устойчивы к преждевременному вскрытию. Семена среднего размера удлинено-приплюснутые. Окраска семенной оболочки желтая без пигментации. Окраска семяножки рубчика как у семенной кожуры. Рубчик семени желтый (рис. 2).

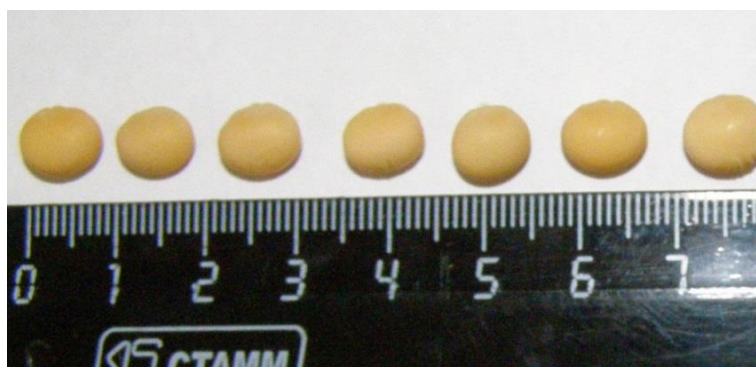


Рис. 2 – Форма и размер семени сорта Парус

Биохимическая характеристика сорта Парус характеризует его как сорт с повышенным качеством зерна, о чем свидетельствует содержание белка в семенах, которое составило 40,7 %, масла 22,6 % (таблица 2).

Таблица 2 – Биохимическая характеристика семян сорта Парус АОС-филиал ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК, 2016-2019 гг.

Наименование сорта, линии	Содержание, %	
	белка	масла
Вилана (стандарт 1)	42,5	20,1
Дуар (стандарт 2)	41,9	21,9
Парус	40,7	22,6

Сочетание таких положительных характеристик, как сокращенный период вегетации (до 110 суток); высокорослость (до 124 см); высокое содержание белка (40,7 %); высокий урожай семян; устойчивость к полеганию растений; устойчивость к растрескиванию бобов при перестое на корню, определяют коммерческую привлекательность сорта «Парус» для сельхозпроизводителей.

В 2020 году сорт сои Парус включен в Государственный реестр селекционных достижений РФ, допущенных к использованию по Северо-Кавказскому региону.

Итогом создания сортов сои с новыми характеристиками за счет повышенной их приспособленности к специфическим условиям произрастания и технологическим приемам позволит получать более высокие и стабильные урожаи в производстве. Выведенные сорта расширят область возделывания сои в различных аграрно-производственных ситуациях – в основных и повторных посевах, в полевых и рисовых севооборотах, с ограниченным использованием гербицидов, в ранневесенних посевах. Все перечисленное будет не только помогать в развитии производства высокобелкового зерна сои, но и увеличит и без того важное значение культуры в системе разного рода севооборотов [10].

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы/ References

1. Сичкарь В.И. Повышение адаптивности сои в засушливых условиях – основное направление селекционной работы на юге Украины / В.И. Сичкарь, О.И. Ганжело, Г.Д. Лаврова // Современные проблемы селекции и технологии возделывания сои (Сборник статей 2-й Международной конференции по сое, Россия, Краснодар, 9-10 сентября 2008 г.). – Краснодар, 2008. – С. 155-161.
2. Ала А.Я. Проблемы и перспективы интерогрессивной селекции у сои. / Итоги исследований по сое за годы реформирования и направления НИР на 2005-2010 гг. / А.Я. Ала, В.А. Тильба // Сборник статей координационного совещания, (Краснодар, 8-9 сентября 2004 г.) – 2004 г. – С. 23-32.
3. Зайцев Н.И. Перспективы и направления селекции сои в России в условиях реализации национальной стратегии импортозамещения / Н.И. Зайцев, Н.И. Бочкарев, С.В. Зеленцов // Масличные культуры. Науч. - тех. бюл. ВНИИМК. – 2016. – Вып. 2 (166). – С. 3-11.
4. Зайцев Н.И. Влияние погодных условий на продуктивность перспективных линий сои в зоне неустойчивого увлажнения / Н.И. Зайцев, В.Ю. Ревенко, Э.Г. Устарханова // Масличные культуры. – 2020. Вып. 2 (182). – С. 62-69.
5. Устарханова Э.Г. Новый среднеспелый сорт сои Зара / Э.Г. Устарханова, Н.А. Мацола, С.С. Фролов, Н.И. Зайцев // Масличные культуры. – 2019. – Вып. 3 (179). – С. 165-167.
6. Мякушко Ю.П. Соя / Ю.П. Мякушко, В.Ф. Баранов. – М.: Колос, 1984. – 332 с.
7. Ревенко В.Ю. Экологическая пластичность линий сои в зависимости от погодных условий зоны неустойчивого увлажнения / В.Ю. Ревенко, Н.А. Мацола. // Вестник АПК Ставрополя, № 3(35), - 2019. – С. 61-65.
8. Зеленцов С.В., Мошненко Е.В. Пути адаптации сельского хозяйства России к глобальным изменениям климата на примере экологической селекции сои / С.В. Зеленцов, Е.В. Мошненко // Научный диалог. – 2012. - №7: Естествознание и экология. – С. 40-59.

9. Баранов В.Ф. Соя на Кубани: научно-производственное издание / В.Ф. Баранов, А.В. Кочегура, В.М. Лукомец. – ГНУ ВНИИМК РАСХН: Краснодар, 2009. – 321 с.

10. Кочегура А.В. Результаты и перспективы НИР по селекции сои / А.В. Кочегура // Итоги исследований по сое за годы реформирования и направления НИР на 2005-2010 гг. (Сборник статей координационного совещания, Краснодар, 8-9 сентября 2004 г.). – Краснодар, 2004. – С. 7-15.

11. Кочегура А.В. Основные результаты НИР по селекции, семеноводству и технологии возделывания сои и перспективы направления исследований / А.В. Кочегура // Современные проблемы селекции и технологии возделывания сои (Сборник статей 2-й международной конференции по сое, Россия, Краснодар, 9-10 сентября, 2008 г.) – Краснодар, 2008. – С.8-14.

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Sichkar V. I. Povyshenie adaptivnosti soi v zasushlivykh usloviyakh – osnovnoe napravlenie selekcionnojj raboty na jube Ukrainy [Improving the Adaptability of Soybeans in Arid Conditions-the Main Direction of Breeding Work in the South of Ukraine] / V. I. Sichkar, O. I. Ganzhelo, G. D. Lavrova // Sovremennyye problemy selekcii i tekhnologii vozdel'nyvanija soi (Sbornik statejj 2-jj Mezhdunarodnojj konferencii po soe, Rossiya, Krasnodar, 9-10 sentjabrja 2008 g.) [Modern Problems of Soybean Breeding and Cultivation Technologies (Proceedings of the 2nd International Conference on Soybean, Russia, Krasnodar, September 9-10, 2008)]. - Krasnodar, 2008. - pp. 155-161 [in Russian]

2. Ala A. Ya. Problemy i perspektivy interogressivnojj selekcii u soi [Problems and Prospects of Inter-Aggressive Breeding in Soybeans] / Itogi issledovanijj po soe za gody reformirovanija i napravlenija NIR na 2005-2010 gg. [Results of Research on Soybean During the Years of Reform and Research Directions for 2005-2010] / A. Ya. Ala, V. A. Tilba // Sbornik statejj koordinacionnogo soveshhanija, (Krasnodar, 8-9 sentjabrja 2004 g.) [Proceedings of the Coordination Meeting, (Krasnodar, September 8-9, 2004)] - 2004-pp. 23-32 [in Russian]

3. Zaitsev N. I. Perspektivy i napravlenija selekcii soi v Rossii v usloviyakh realizacii nacional'nojj strategii importozameshhenija [Prospects and Directions for Soybean Breeding in Russia in the Context of Implementation of the National Import Substitution Strategy] / N. I. Zaitsev, N. I. Bochkarev, S. V. Zelentsov // [Oil Crops. Scientific-Technical Bulletin V.S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops. - 2016. - Issue 2 (166). - pp. 3-11 [in Russian]

4. Zaitsev N. I. Vlijanie pogodnykh uslovijj na produktivnost' perspektivnykh linijj soi v zone neustojichivogo uvlazhnenija [Influence of Weather Conditions on the Productivity of Promising Soybean Lines in the Zone of Unstable Moisture] / N. I. Zaitsev, V. Yu. Revenko, E. G. Ustarkhanova // Maslichnye kul'tury [Oil Crops]. – 2020. Issue 2 (182). - pp. 62-69 [in Russian]

5. Ustarkhanova E. G. Novyyj srednespelyj sort soi Zara [Zara, The New Medium-Ripened Variety of Soybean] / E. G. Ustarkhanova, N. A. Matsola, S. S. Frolov et al. // Maslichnye kul'tury [Oil Crops]. - 2019. - Issue 3 (179). - pp. 165-167 [in Russian]

6. Myakushko Yu. P. Soja [Soybean] / Yu. P. Myakushko, V. F. Baranov - M.: Kolos, 1984 – 332 p. [in Russian]

7. Revenko V. Yu. Ehkologicheskaja plastichnost' linijj soi v zavisimosti ot pogodnykh uslovijj zony neustojichivogo uvlazhnenija [Ecological Plasticity of Soybean Lines Depending on Weather Conditions Zones of Unstable Moisture] / V. Yu. Revenko, N. A. Matsola, O. G. Shabalda // Vestnik APK Stavropol'ja [Bulletin of the Stavropol Agro-Industrial Complex], № 3(35), - 2019. – pp. 61-65 [in Russian]

8. Zelentsov S. V. Puti adaptacii sel'skogo khozjajstva Rossii k global'nym izmenenijam klimata na primere ehkologicheskoy selekcii soi [Ways of Adaptation of Russian Agriculture to Global Climate Changes on the Example of Ecological Selection of Soybeans] / S. V. Zelentsov, E. V. Moshnenko // Nauchnyj dialog [Scientific Dialogue]. - 2012. - no. 7: Estestvoznaniye i ehkologiya [Natural Science and Ecology]. - pp. 40-59 [in Russian]

9. Baranov V. F. Soja na Kubani [Soybeans in Kuban] / V. F. Baranov, A. V. Kochegura, V. M. Lukomets scientific and production edition. – All-Russian Research Institute of Oil Crops: Krasnodar, 2009. - 321 p. [in Russian]

10. Kochegura A.V. Rezul'taty i perspektivy NIR po selekcii soi [Results and Prospects of Research on Soybean Breeding] / A.V. Kochegura // Itogi issledovanijj po soe za gody reformirovanija i napravlenija NIR na 2005-2010 gg. (Sbornik statejj koordinacionnogo soveshhanija, Krasnodar, 8-9 sentjabrja 2004 g.). [Results of Research on Soy During the Years of Reform and Research Directions for 2005-2010. (Proceedings of the Coordination Meeting, Krasnodar, September 8-9, 2004)]. - Krasnodar, 2004. - pp. 7-15 [in Russian]

11. Kochegura A.V. Osnovnye rezul'taty NIR po selekcii, semenovodstvu i tekhnologii vozdel'nyvanija soi i perspektivy napravlenija issledovanijj [The Main Results of Research on Selection, Seed Production and Technology of Soybean Cultivation and Prospects for Research] / A. V. Kochegura // Sovremennyye problemy selekcii i tekhnologii vozdel'nyvanija soi (Sbornik statejj 2-jj mezhdunarodnojj konferencii po soe, Rossiya, Krasnodar, 9-10 sentjabrja, 2008 g.) [Modern Problems of Selection and Technology of Soybean Cultivation (Proceedings of the 2nd International Conference on Soy, Russia, Krasnodar, September 9-10, 2008)] - Krasnodar, 2008. - pp. 8-14 [in Russian]

## ВОПРОСЫ ГУМАНИТАРНОСТИ АРХИТЕКТУРНОГО ПРОСТРАНСТВА

Научная статья

Горшкова Г.Ф.\*

Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, Нижний Новгород, Россия

\* Корреспондирующий автор (gal-gorshk[at]yandex.ru)

## Аннотация

Пространственный фактор для развития архитектуры является ведущим и определяющим. Архитектура, как показывает история цивилизации, для человека стала наряду с природной второй средой его жизнедеятельности. Однако человечество пока не имеет однозначно точного ни понимания, ни научного определения такому фактору своего существования, каким является его естественная или искусственная пространственная среда. Данное исследование ставит целью наглядно показать пространственно-временную непрерывность и взаимную преемственность между пространствами разной масштабности – индивидуальной, социальной и локальной. Единая геометрическая структура есть пространственная матрица, определяющая все жизненные процессы объективно-субъективных отношений между человеком, бытием и формой на земле.

**Ключевые слова:** жизненное пространство человека; геометрическая матрица пространства.

## ON THE HUMANITY OF ARCHITECTURAL SPACE

Research article

Gorshkova G.F.\*

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, Nizhny Novgorod, Russia

\* Corresponding author (gal-gorshk[at]yandex.ru)

## Abstract

The spatial factor is the major and determining factor for the development of architecture. As the history of civilization shows, architecture has become a second environment for human activity along with nature. However, humanity does not yet have an accurate understanding or scientific definition of such a factor of its existence as its natural or artificial spatial environment. This study aims to demonstrate the spacetime and mutual continuities between spaces at different scales – individual, social and local. A single geometric structure is a spatial matrix that defines all the life processes of objective-subjective relations between man, being and form on earth.

**Keywords:** human living space; geometric matrix of space.

Архитектура как художественный феномен пространства стала осознаться с начала прошлого, XX, века. Условие зарождения любого художественного произведения заключается, прежде всего, в возникновении сложных образов, т. е. уже некоей формы, которая проявляется и осуществляется в эскизах, а затем корректируется опытом и жизнью. «Справедливо указывают, что человек не только лицезрит архитектурную форму, но как бы воплощается в ней. Как бы поддерживает ее, несет или увенчивает, выступает или растворяется в ней» [1, С.290].

Тогда же уже становится известным утверждение, что «...представления «время» само по себе и «пространство» само по себе перестанут существовать, и только объединение этих двух представлений сохранит независимую реальность» [2, С.32]. Как раз в это время во Франции и Италии художники — кубисты и футуристы создали художественный эквивалент непрерывности «пространства-времени» в своих поисках современных *средств выражения чувственного восприятия*.

Но только к концу XX века в качестве основы семантического языка архитектуры более оправданным предлагалось рассматривать насыщенную объективным смыслом и подчиненную определенной функциональной значимости *структуру пространства* [3].

## Человек и архитектурное пространство

В настоящее время можно утверждать, что они находятся в объективно-субъективных отношениях между собой. Форма тела человека подчиняется структурному построению вдоль вертикали как доминантной направленности трёхмерного жизненного пространства на Земле. Вертикаль изначально определяет смысловую иерархию человеческого существа, как это принято в современном бытийном сознании человечества, «по образу и подобию», «от земли – к небу».

В теории архитектуры многими авторами признается, что «вертикаль – основная ось человеческого тела. Вертикаль является основным внешним признаком человека, который отличает его с точки зрения его внешнего вида от животных» [4, С.27].

Чертёжная проекция (рис. 1) структурной модели жизненного пространства [5], как изображение пространственной фигуры на плоскости, фиксирует вертикальное распределение белого света на частные горизонтальные цветные уровни.

Наряду с перпендикулярными прямолинейными связями в проекции участвуют окружности, символизирующие небесные сферы. При этом горизонтальные цветные уровни в диапазоне от фиолетового до красного, охватывая верхнюю часть тела, составляют экзистенциальную, т.е. внутреннюю содержательную часть, связанную с бытийным существованием человека и его рациональным поведением. Все вместе они активируют верхнюю часть построения, в которой происходит работа человеческого сознания, связанная с внутренним переживанием жизненного пространства. Нижняя часть пространства обеспечивает механику движения и перемещения тела.

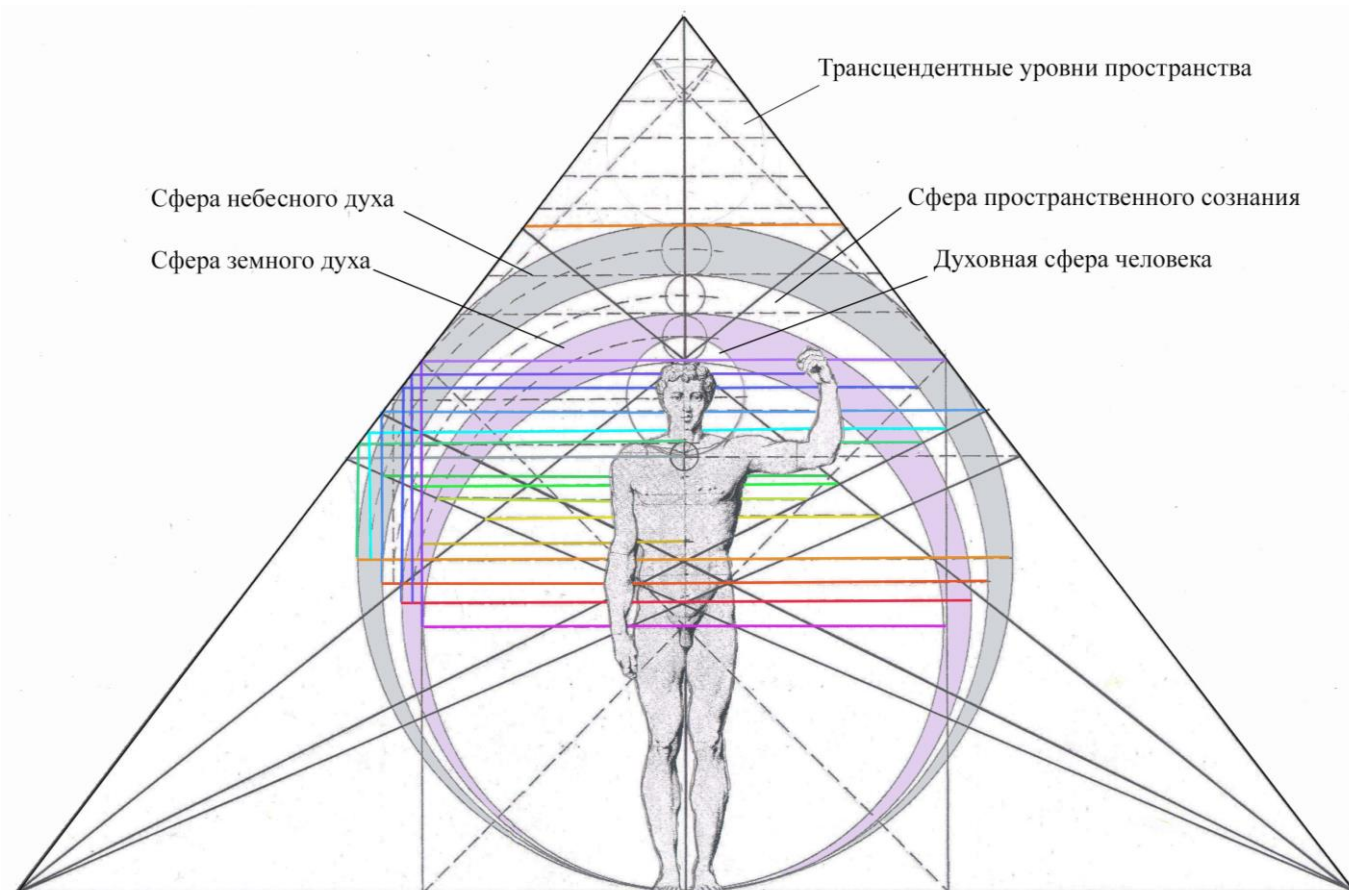


Рис. 1 – Иерархическая структура жизненного пространства человека

Из рисунка также видно, что «...вертикальная линия составляет основу понимания человеческой фигуры, которую человек, так или иначе, учитывает в своем строительстве. Но горизонталь есть линия движения самого человека, его позиции на земле. Когда человек еще совершенно не умел представлять пространство, он уже располагал фигуры по горизонтали» [1, С.360]. Таким образом, сообразно проекции времени в пространство Земли через архитектуру человек по своему образу и подобию создает свою новое идеальное природное окружение. Утверждается, что в идеальном архитектурном объекте «должен быть цельный организм, где каждая часть лежит в наиболее удобном месте из всех возможных мест! Как в организме человека» [6, С.189]. При этом «вертикаль в архитектуре необходима для расширения кругозора. Она поможет все мелкие детали работы наблюдать с высоты – они станут виднее и понятнее» [6, С.190].

Тело человека исторически служило ему инструментом измерения освоенного пространства. Время и человек особенно заметно взаимодействуют в моменты, когда качественно изменяется пространственное осознание и восприятие человеком самого себя в качестве пространственного объекта. Как показывает историческая память, эти временные изменения синхронно закрепляются в графических рисунках изображений человека. Так, поиски гармонизированного построения человеческого тела были закреплены в каноне рисунка, зафиксированного в анналах [7, С.15] Санкт-Петербургской Академии художеств, созданной в XVIII веке в России. Будучи применимым выше в рисунке 1, этот канон даёт возможность наглядно увидеть общие закономерности структурного построения тела человека и пространства трёхмерного бытия в их единстве и целостности.

Ниже, на рисунке 2, сопоставлены две фигуры человека, обозначающие семантические изменения в пространственном сознании архитектурного человека. В части «а» на примере Витрувианского человека Леонардо да Винчи изображен момент возрождения гуманистического начала в творчестве. Человек-творец изображен одновременно в двух ипостасях: как ремесленник, рационально владеющий трехмерным пространством, прочно стоящий на поверхности Земли, и как творческая сущность, которая, оторвавшись от бытийной материальности, сливается со сферой небесной духовности, постигая мир идеальных отношений в пространстве.

В части «б» фиксируется момент технологического освоения земного бытия. В XX веке научно-технический прогресс позволил человеку методически освоить не только наземное пространство, но и выйти за пределы собственного пространственного сознания, физически поднявшись сначала к границам земного Неба, а затем и в орбитальное пространство планеты.



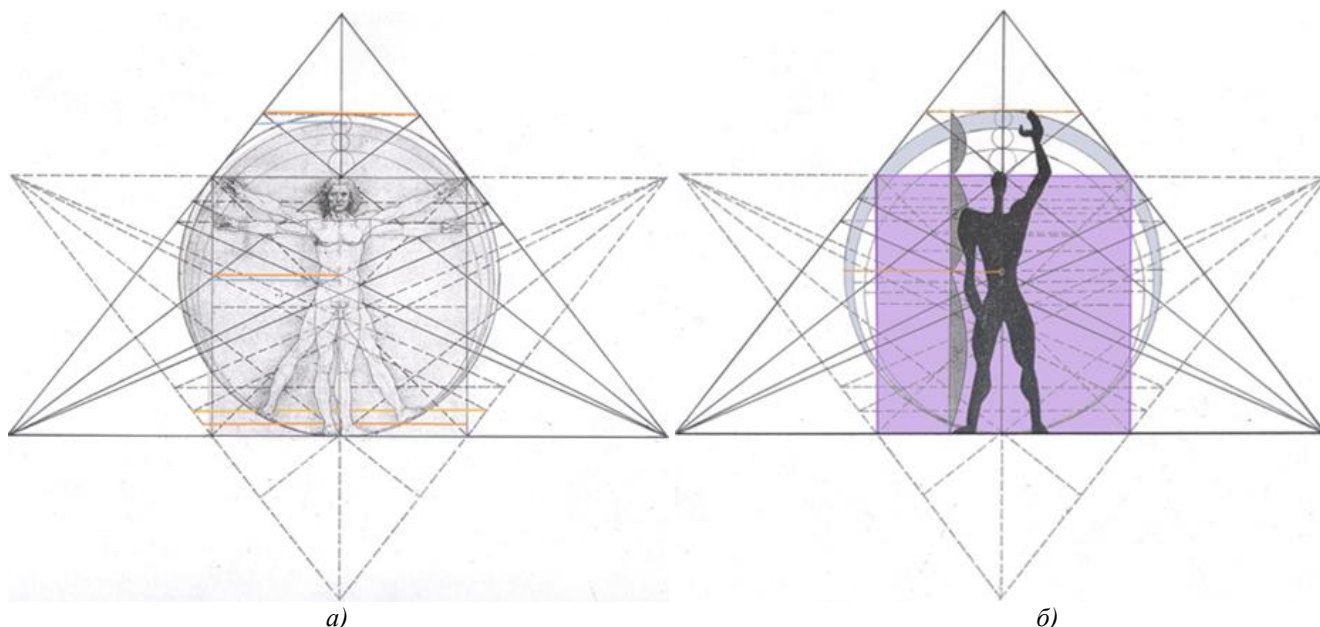


Рис. 2 – Креативная эволюция структурного пространства человека:  
а) Витрувианский человек Леонардо да Винчи; б) «Модулёр» Ле Корбюзье

Включение человеческой фигуры в геометрическую модель проекционного пространства, иллюстрирует всеобщую объективно-субъективную согласованность иерархического формообразования человека и его жизненного пространства вдоль вертикальной оси, неразрывность их пространственного взаимодействия.

Архитектура и технология пространства в своем вертикальном взаимодействии активно заявили себя новым шагом пространственного формообразования в конце XIX века и на протяжении всего XX века. Как заметил историк архитектуры З. Гидион в своей работе «Пространство, время, архитектура» [2], через архитектуру дается безошибочное представление о том, что действительно происходило в определенный период. Организующими элементами XIX в. явились новая техника строительства, массовое производство в промышленности, изменившаяся организация общественных отношений. Новые возможности, появившиеся в XIX в., проявились более ярко в инженерных конструкциях, чем в архитектуре. Свидетельству этому явилась в 1889 году Эйфелева башня в Париже (рис. 3). Её высота 300м. Конструкция сооружения определена выше названным историком «подсознательным» элементом архитектуры.

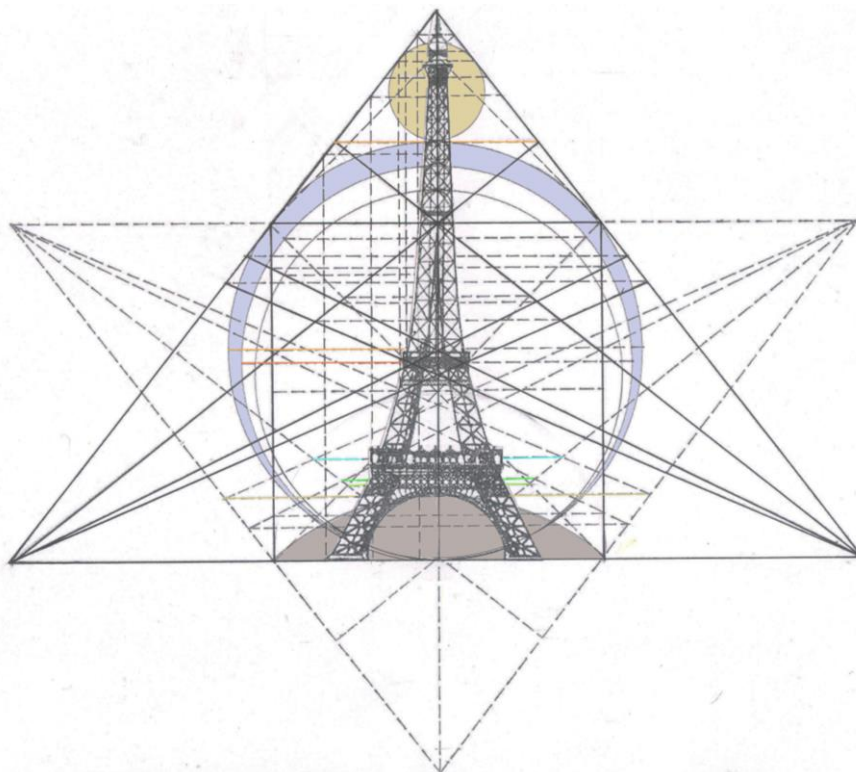


Рис. 3 – Статическое пространство технократической цивилизации: смотровая Эйфелева башня в Париже

Действительно, это башенное сооружение, не имея определенного функционального назначения, послужило не только рекламной акцией новых возможностей металлических материалов и конструкций, но неожиданно, устремившись к недостижимым ранее воздушным высотам, стало для городских жителей прообразом грядущей эпохи – эпохи

виртуального пространства, связанной с развитием радиотехники. При этом прозрачность материальной формы сооружения благодаря пластически изящной линейно-стержневой структуре послужила намёком на многосложность воздушной пространственной среды.

Анализ направления инженерного мышления, как показал потом XX век, позволяет почти пророчески предсказывать будущие архитектурные решения. И, действительно, как физический объем формальная идеология высотных небоскрёбов в 1931 году была представлена в «Эмпайр Стэйт билдинге» в Нью-Йорке, достигнув высоты 381м (рис. 3). Однако здесь линейный каркас сооружения уходит во внутреннее пространство, и объемная масса здания приобретает черты закрытости и монументальности, статичной связанности с уровнем земного притяжения.

В обоих случаях зафиксированы моменты, когда, по мнению теоретиков и историков архитектуры [8], конструкции и технология строительного производства выступали как активный фактор формирования архитектурных организмов. Проблемным стержнем архитектурных концепций конца XIX в. — начала XX в. стало отношение внешней формы и функции в произведениях архитектуры.

Темпы технического прогресса во второй половине XX столетия настолько ускорились, что стереотипы не успевают укорениться в сознании. Однако контакты с формами техномира раздвинули круг привычных ассоциаций. Как формулирует архитектор А. Иконников «...«Хай-тек» расширил наши представления о художественных возможностях взаимодействия вещи и контекста. В его опытах обнаружились знаково-символические и эстетические ценности, которые ранее как-то не замечали. И, что главное, оказались умножены возможности эмоционального освоения техномира. Многие в специфических формах стало неожиданно выразительным, несущим сложные, многозначные метафоры» [8, С.97].

Структурные закономерности архитектурного формообразования, по материалам современных исследований [9], утверждают, что процессы построения архитектурных объектов сопряжены с требованиями естественной геометрии пространства, но архитектурными они становятся благодаря проявлению человеческих факторов. Каждый конкретный объект, «закрепленный» совокупностью устойчивых характеристик своего построения, олицетворяет собой пример целостной и завершенной пространственной структуры, успешно противостоящей внешним (средовым) факторам, провоцирующим общие процессы изменения и эволюции.

Социум и творческий потенциал архитектурного пространства могут соприкасаться в поисках новой эстетики формообразования при смене цивилизационных идеалов. Из анализа искусствоведческой литературы [10] следует, что в художественном творчестве «познание» человеческой сути действительности одновременно имеет характер и творчества, и духовной практики, такое познание является и фактом формирования действительности, ее преобразования. При этом «Произведение искусства — факт самой действительности, результат творческого открытия и средство борьбы человека за жизненную правду. Общественное самосознание человека, понимание им исторического момента своего собственного бытия и своих возможностей составляет единство с его пониманием исторического состояния развития общества и потребностей его дальнейшего развития. Собственная семантика искусства — это семантика эстетического и идейного смыслового вклада в развитие общества» [10, С.121].

Иллюстрацией этому сформулированному тезису служит нижеприведённый пример с башней В. Татлина (рис. 4).

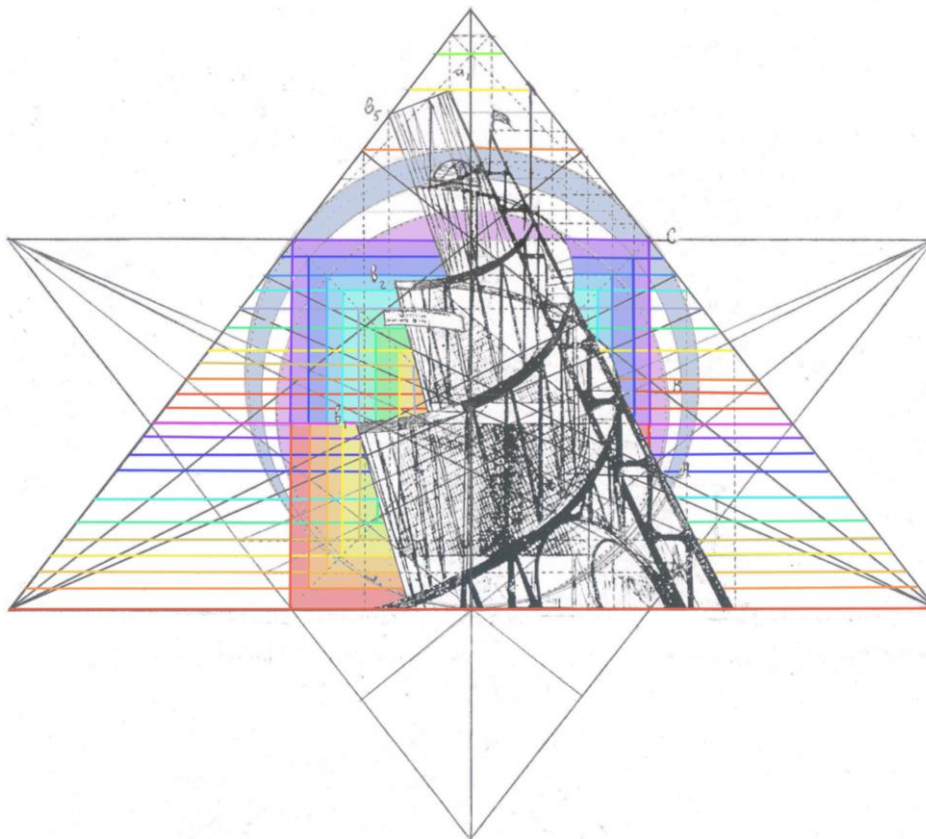


Рис. 4 – Динамическое освоение планетарного пространства

Приведённое здесь творческое произведение художника В. Татлина, послужившее эскизом монумента III-му Интернационалу международных пролетариев, оценивалось современниками вроде художественного манифеста или декларации новой революционной архитектуры. Сама конструкция этой башни полностью бесполезна с инженерно-технической точки зрения. Автор, как художник лишь изображает конструкции. Он опирается на интуицию и эстетическое чувство. Одета в «конструктивную» форму художественная идея произведения не нуждалась в символике, так как спираль сама есть активный символ революционного подъёма, декларирующая готовность исторического момента попытаться совместными усилиями человечества осуществить отрыв от существующей действительности. Интересно, что осевой наклон башни к нижней плоскости световой проекции соответствует углу наклона земной оси к плоскости эклиптики, который равен  $66^{\circ}33'$ .

Такая согласованность пространственной формы в интуитивном поиске отдельного художника и в объективных параметрах пространства планеты подтверждает единство геометрических свойств жизненного пространства человека. Получается, что осознаваемая все большим числом людей современная точка зрения, что Земля – это живая и разумная природная система, была обозначена еще в начале XX века. А интуитивная возможность и способность предвидеть, предчувствовать, предугадывать объективные законы и закономерности свойственно акту художественного творчества в большей степени, чем прогнозирование будущего на рациональной основе.

Рассматривая архитектурные объекты как образные и структурные элементы пространственной коммуникации, т.е. связанные взаимообменом информацией, заложенной в земной пространственной среде, можно выделить три подтекста её проявления, обозначенные в научных исследованиях [11]:

- 1) *продуцирование смыслов* при переводе пространственных форм в интерпретационном процессе;
- 2) *условие для социального взаимодействия*, где смысл появляется как результат вступления в социальные отношения с другими людьми;
- 3) *гипотетическая возможность проявления события*, смыслы порождающий эффект событийной стороны зодчества.

Процесс коммуникации в зодчестве имеет двойственную природу - через форму, организующую пространство и через событие, возможное в организованном пространстве и происходит посредством семиотических механизмов. Геометрически выраженная структурная модель пространства через проекцию архитектурных объектов исполняет роль, своего рода, генома пространственного формообразования. Она позволяет считывать пространственную информацию не только в состоявшихся, но и в эскизных поисках будущих объектов, предвидеть направленность искомого формального произведения.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Некрасов, А. И. Теория архитектуры / А. И. Некрасов ; вступ. ст. И. Кызласовой, В. В. Кириллова. - М. : Стройиздат : Галерея-91, 1994. - 477 с.
2. Гидион, З. Пространство, время, архитектура / З. Гидион ; сокр. пер. с нем. М. В. Леонене, И. Л. Черня. – 3-е изд. - М. : Стройиздат, 1984. - 455 с.
3. Страутманис, И. А. Информативно-эмоциональный потенциал архитектуры / И. А. Страутманис. – М. : Стройиздат, 1978. - 120 с. : ил.
4. Брунов, Н. И. Очерки по истории архитектуры. Т.1 / Н. И. Брунов. – М.: Центрополиграф, 2003. – С.27.
5. Горшкова, Г.Ф. Геометрическая структура архитектурного пространства / Г.Ф. Горшкова. – ННГАСУ, Н. Новгород, 2007. – 237 с.
6. Буров, А. К. Андрей Константинович Буров : Письма. Дневники. Беседы с аспирантами. Суждения современников / А. К. Буров ; сост., вступ. ст. и примеч. Р. Г. Буровой, О. И. Ржехиной. – М. : Искусство, 1990. – 297 с. : ил.
7. Учебный рисунок в Академии художеств : альбом / автор-сост. Д. А. Сафаралиева ; науч. ред. СССР Б. С. Угаров. – М.: Изобр. искусство, 1990. -159 с. : ил.
8. Иконников, А. В. Функция, форма, образ в архитектуре / А. В. Иконников. – М. : Стройиздат, 1986. - 286 с. : ил.
9. Шубенков, М. В. Структурные закономерности архитектурного формообразования / Шубенков М. В.: Учеб. Пособие. – «Архитектура-С», 2006. – 320 с., ил.
10. Шимунек, Е. Эстетика и всеобщая история искусств / Е. Шимунек ; пер. с чеш. В. А. Каменской ; послесл. А. С. Доценко ; ред. О. А. Сахарова. – М. : Прогресс, 1980. – 247 с. : ил.
11. Янковская, Ю. С. Архитектурный объект : образ и морфология : автореф. дис. ... д-ра архитектуры : 18.00.01 / Моск. архитектур. ин-т. – М., 2006. – 56 с.

#### Список литературы на английском языке / References

1. Nekrasov, A. I. Teoriya arkhitektury [Theory of architecture] / A. I. Nekrasov ; vstup. st. I. Kyzlasovoj, V. V. Kirillova]. - M. : Strojizdat : Galereya-91, 1994. - 477 p. : il. [in Russian]
2. Gidion, Z. Prostranstvo, vremya, arkhitektura [Space, time, architecture] / Z. Gidion ; sokr. per. s nem. M. V. Leonene, I. L. Chernya. – 3-rd ed. - M. : Strojizdat, 1984. - 455 p. [in Russian]
3. Strautmanis, I. A. Informativno-ehmocional'nyj potencial arkhitektury [Informative and emotional potential of architecture] / I. A. Strautmanis. – M. : Strojizdat, 1978. - 120 p. : il. [in Russian]
4. Brunov, N. I. Ocherki po istorii arkhitektury [Sketches on architecture stories]. Vol.1 / N. I. Brunov. – M.: Centropoligraf, 2003. – P.27. [in Russian]
5. Gorshkova, G.F. Geometricheskaya struktura arkhitekturnogo prostranstva [Geometric structure of architectural space] / G.F. Gorshkova. – NNGASU, N. Novgorod, 2007. – 237 p. [in Russian]

6. Burov, A. K. Andrej Konstantinovich Burov : Pis'ma. Dnevnik. Besedy s aspirantami. Suzhdeniya sovremennikov [Andrey Konstantinovich Burov: Letters. Diaries. Conversations with graduate students. Judgments of contemporaries] / A. K. Burov ; sost., vstup. st. i primech. R. G. Burovoj, O. I. Rzhikhinoy. – M. : Iskusstvo, 1990. – 297 p. : il. [in Russian]
7. Uchebnyj risunok v Akademii khudozhestv : al'bom [Educational drawing in Academy of Arts: album] / D. A. Safaraliev; ed. SSSR B. S. Ugarov. – M.: Izobr. iskusstvo, 1990. -159 p. : il. [in Russian]
8. Ikonnikov, A. V. Funkciya, forma, obraz v arkhitekture [Function, form, image in architecture] / A. V. Ikonnikov. – M. : Strojizdat, 1986. - 286 p. : il. [in Russian]
9. Shubenkov, M. V. Strukturnye zakonomernosti arkhitekturnogo formoobrazovaniya [Structural regularities of an architectural shaping] / Shubenkov M. V.: textbook. – «Arkhitectura-S», 2006. – 320 p., il. [in Russian]
10. Shimunek, E. Ehstetika i vseobshchaya istoriya iskusstv [Aesthetics and General art history] / E. Shimunek ; per. s chesh. V. A. Kamenskoj ; poslesl. A. S. Docenko ; ed. O. A. Sakharova. – M. : Progress, 1980. – 247 p. : il. [in Russian]
11. Yankovskaya, YU. S. Arkhitekturnyj ob"ekt : obraz i morfologiya [Architectural object : image and morphology] : avtoref. dis. ... d-ra arkhitektury : 18.00.01 / Mosk. arkhitektur. in-t. – M., 2006. – 56 p. [in Russian]



DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.102.12.034>**ЗАЩИТА ДОШКОЛЬНЫХ И ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ В ЖИЛЫХ РАЙОНАХ ОТ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ТРАНСПОРТА**

Научная статья

**Балакин В.В.<sup>1</sup>, Смоленцева А.А.<sup>2</sup>, Зима Е.А.<sup>3,\*</sup>, Гаврилова Н.С.<sup>4</sup>, Желтоногова А.А.<sup>5</sup>, Мартынова Е.В.<sup>6</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-7303-1372;<sup>1, 2, 3, 4, 5, 6</sup> Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия

\* Корреспондирующий автор (elizavetka.zima[at]mail.ru)

**Аннотация**

Рассмотрены приемы планировки и застройки микрорайонов (кварталов), препятствующие распространению транспортного шума и выбросов автомобильного транспорта на территорию дошкольных образовательных и общеобразовательных организаций. Наиболее эффективными являются замкнутые группы жилых домов с минимальными разрывами, заполненными вставками в виде балконов и лоджий, объектами торговли или культурно-бытового назначения, коммунальными предприятиями. Формулируется комплекс архитектурно-планировочных и строительно-акустических мероприятий по обеспечению нормативных уровней шума и концентраций отработавших газов автомобилей на участках образовательных организаций, размещаемых в жилых кварталах и микрорайонах.

**Ключевые слова:** транспортный шум, выбросы автомобилей, детские дошкольные и общеобразовательные организации, фронтальная застройка, акустические экраны, полосы озеленения.

**PROTECTION OF SCHOOLS AND PRESCHOOL ESTABLISHMENTS LOCATED IN CIVILIAN AREAS FROM NEGATIVE IMPACT OF URBAN TRANSPORT**

Research article

**Balakin V.V.<sup>1</sup>, Smolentseva A.A.<sup>2</sup>, Zima E.A.<sup>3,\*</sup>, Gavrilova N.S.<sup>4</sup>, Zheltonogova A.A.<sup>5</sup>, Martynova E.V.<sup>6</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-7303-1372;<sup>1, 2, 3, 4, 5, 6</sup> Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

\* Corresponding author (elizavetka.zima[at]mail.ru)

**Abstract**

The paper analyses the development of site plans that prevent the noise and environmental pollution produced by urban transport from getting to the territory of schools and preschool establishments. The most effective in achieving this goal are the group home buildings with minimal breaks which are filled with balconies and sun porches, retail outlets, and social infrastructure and amenities, utility facilities. The article suggests planning and construction arrangements in order to sustain the appropriate level of noise and environmental pollution in the preschool establishments and schools located in civil areas.

**Key words:** traffic noise, transport emissions, school and preschool establishments, frontal construction, noise barriers, landscaping area.

**Введение**

В настоящее время застройка жилых зон в городских поселениях осуществляется в основном путем организации микрорайонов (кварталов) с группами жилых домов различной этажности и протяженности. Причем размеры и конфигурация в плане таких групп устанавливаются с учетом максимально допустимых радиусов обслуживания населения дошкольными образовательными организациями (ДОО) 0,3 км [1]. При этом ситуационное расположение общеобразовательных организаций (далее школ) в жилых районах городских поселений, расположенных в климатических районах (подрайонах) IА, IБ, II и III, регулируется радиусом обслуживания (пешеходной доступности) в пределах 0,3–0,5 км в зависимости от категории обучающихся (уровня общего образования). Минимальное расстояние от стен зданий ДОО и школ до красных линий установлено равным 25 м.

При отсутствии препятствий на пути распространения звука на таком расстоянии уровень транспортного шума составляет 55–65 дБА с превышением нормативного уровня на 10–20 дБА, а концентрации токсичных веществ, содержащихся в отработавших газах (ОГ) автомобилей, при неблагоприятных метеорологических условиях – штилевых значениях скорости ветра, инверсиях температуры превышают гигиенические нормативы. Здесь следует также учесть тот факт, что в районах старой, исторически сложившейся застройки в большинстве случаев участки ДОО находятся всего в 10–20 м от красных линий. В таких условиях размещается не менее 30% ДОО и 50% школ, при этом уровни шума превышают нормативные значения на 17–23 дБА [2].

Поэтому указанные территориальные разрывы оказываются явно недостаточными, с точки зрения обеспечения чистоты атмосферы и шумозащиты. Удаление же объектов ДОО от магистралей на расстояние порядка 250–300 м связано с превышением нормативных радиусов обслуживания для зданий, расположенных по углам жилых групп. Это также не обеспечит достижения требуемого снижения шума на площадках для игр детей (45 дБА [3]). В таких условиях возникает необходимость поиска путей и средств снижения уровня транспортного шума и концентраций выбросов автомобильного транспорта на территории детских дошкольных и общеобразовательных организаций.

**Основной текст**

При застройке кварталов и микрорайонов нормативные уровни звука и концентрации компонентов ОГ автомобилей на участках ДОО и школ могут быть обеспечены приемами планировки окружающей их застройки, ограничивающими проникание звука и поллютантов в дворовое пространство. Наиболее комфортные условия для функционирования этих объектов и проживания населения в микрорайонах (кварталах) создаются в условиях фронтальной застройки магистралей зданиями высотой более трех этажей с минимальным числом и величиной разрывов между ними,

заполненных балконами и лоджиями. Например, в замкнутых группах с 9-этажной застройкой с минимальными разрывами между зданиями площадь зоны с комфортным состоянием акустической среды оказывается достаточной для размещения ДОО и школ, с учетом доли площади, которую они занимают в общем балансе территории микрорайона [2].

При использовании приемов торцевой строчной застройки или застройки под углом звуковые волны после многократного отражения в условиях коридора беспрепятственно проникают вглубь территории. В этом случае для защиты от шума между торцами зданий устраивают «вставки» в виде экранов из фронтальной застройки нежилого назначения. Участки территории между внешними по отношению к дворовым пространствам фасадами могут трактоваться как зоны сплошного озеленения с элементами групповых посадок и развитием во внутриквартальные территории в направлении участков ДОО, школ и зон отдыха. При необходимости стимулирования аэрационного режима такая схема размещения насаждений может иметь расчлененную структуру [4].

При расположении вблизи магистралей высоких категорий зданий башенного типа с повышенной этажностью в дворовых пространствах может возникнуть неблагоприятная экологическая ситуация. По оценкам отдельных проектных решений планировки и застройки микрорайонов Москвы с точечной строчной застройкой повышенной этажности более половины населения, а также участки ДОО и школ оказываются в зоне акустического дискомфорта [2]. При таком композиционном решении застройки возникает необходимость разработки специальных мероприятий по защите дошкольных и общеобразовательных организаций от негативного воздействия транспорта. К ним относятся:

- а) зонирование примагистральных территорий;
- б) изоляция объектов защиты зданиями нежилого назначения;
- в) применение многосекционных шумозащищенных зданий;
- г) экранирование транспортного шума акустическими экранами;
- д) формирование зеленых насаждений средозащитного назначения.

При зонировании примагистральных территорий вблизи магистралей располагаются здания пониженной этажности (1–2 этажа), предназначенные для временного пребывания людей, где допускается относительно высокий уровень шума – объекты культурно-бытового назначения, административно-хозяйственные учреждения, коммунальные предприятия. Во втором эшелоне в порядке возрастания этажности размещаются жилые здания. Более удаленная и тихая зона отводится для детских образовательных организаций, лечебных учреждений, организации отдыха. По отдельным оценкам шумозащитная эффективность такого рода решений составляет 8–16 дБА [2].

Одним из эффективных приемов шумозащиты является звукоизоляция участков ДОО и школ зданиями нежилого назначения, когда вдоль линии застройки размещаются объекты торговли и культурно-бытового обслуживания – магазины, супермаркеты, кафе, рестораны, а также гаражи, автомобильные стоянки и т.п.

При застройке участков территории, прилегающей к дорогам с высокими шумовыми характеристиками, необходимо применять многосекционные шумозащищенные жилые здания с архитектурно-планировочным решением, обеспечивающим расположение со стороны источника шума подсобных помещений квартир и внеквартирных коммуникаций, а также не более одной комнаты общего пользования. Спальные комнаты располагаются со стороны двора. Такие здания обеспечивают защиту от шума и ОГ автомобилей жилых домов повышенной этажности, располагаемых в глубине кварталов, играя роль экранов. За счет дополнительных боковых объемов, перекрывающих углы видимости участков магистрали в разрывах застройки, исключается дифракция звука в дворовое пространство и в жилых группах создается благоприятная акустическая среда.

Протяженность шумозащищенных зданий по фронту должна быть не менее 100 м, а боковых объемов – не менее 20 м при расположении ниже или на одном уровне с защищаемой территорией. Если же улица располагается выше территории застройки, то высоту здания следует обосновывать расчетом [5].

На магистральных дорогах и улицах, где «хорошо прослеживаются линейные формы загрязнения» [6, С. 11], для снижения шума и концентраций ОГ автомобильного транспорта на территории микрорайонов и кварталов широко используются линейно-полосные структуры зеленых насаждений в виде «стен». По газозащитным свойствам наиболее выгодной является непродуваемая полоса древесно-кустарниковых насаждений с коэффициентом ажурности  $K_{аж}$  (отношение площади, занимаемой препятствиями на пути распространения газов к общей площади фронтальной проекции полосы) в нижнем ярусе, равным 0,7...1 при постепенном уменьшении плотности к вершине [7]. Для снижения шума наиболее эффективны полосы зеленых насаждений шириной 25–30 м, состоящие из обособленных рядов деревьев (5–6 рядов) с подлеском и кустарником [2].

Эффективность шумозащитных экранов, определяемая их отражающими и поглощающими свойствами, зависит от применяемого материала, высоты, длины и может достигать 10–20 дБА. Отражающие экраны-стенки представляют собой однослойную конструкцию, выполненную из бетона, асбестоцементных панелей, кирпича, дерева, пластика, стекла, металла. В Волгограде в пределах эстакадного участка транспортной развязки Самарский разъезд на III Продольной магистрали построен экран из сборно-разборных гофрированных металлических панелей высотой 2,5 м эффективностью 9 дБА для шумозащиты квартала № 216, где расположены детский сад, школа и несколько игровых площадок для детей в жилых группах [8].

Наиболее эффективны экраны в виде панелей двух- или трёхслойной конструкции, обеспечивающей высокий коэффициент звукопоглощения за счёт введения специальных материалов – шлаковаты, капронового волокна, латекса и пр. [9]. Естественно и эффективно выглядят экранирующие сооружения, заслоненные посадкой из деревьев и кустарника или задекорированные вьющимися растениями [10].

## Заключение

Таким образом, для обеспечения комфортных условий для функционирования ДОО и школ имеется возможность применения системы эффективных архитектурно-планировочных и строительно-акустических мероприятий по снижению негативного воздействия транспорта на здоровье детей. Зонирование примагистральных территорий позволяет разместить жилые и общественные здания, в том числе образовательные организации, в порядке возрастания

их требований к качеству жилой и производственной среды по мере удаления от транспортного потока. Звукоизоляция участков ДОО и школ зданиями нежилого назначения в первом эшелоне, многосекционными шумозащищенными жилыми домами и акустическими экранами-стенками необходима при застройке территории, прилегающей к транспортным коммуникациям с высокими шумовыми характеристиками. Защита дошкольных и общеобразовательных учреждений от негативного воздействия транспорта также возможна путем формирования между проезжей частью магистралей и объектами защиты линейно-полосных структур зеленых насаждений в виде чередующихся сплошных плоскостей различной ширины (плотности) и высоты.

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Conflict of Interest**

None declared.

**Список литературы / References**

1. СП 42.13330.2016(19.09.2019) Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89\*. [Электронный ресурс]. URL: <https://mooml.com/d/normativno-pravovye-dokumenty/proektirovanie-inzhenernye-izyskaniya/45556/> (дата обращения: 18.11.2020).
2. Сидоренко В.Ф. Учет экологических факторов при размещении и функционировании детских дошкольных и общеобразовательных учреждений в жилых районах / В.Ф. Сидоренко, В.В. Балакин // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования Российской академии архитектуры и строительных наук по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2018 году: науч. тр. РААСН. – Москва, 2019. – Т. 1. – С. 444–460.
3. СП 276.1325800.2016 Здания и территории. Правила проектирования защиты от шума транспортных потоков. – М., 2016. – 146 с.
4. Городков А. В. Ландшафтно-средозащитное озеленение и его влияние на экологическое состояние крупных городов Центральной России: дис. ... докт. с. - х. наук: 03.00.16: защищена 21.12.00: утв. 04.05.01 / Городков Александр Васильевич. – Санкт - Петербург, Брянск, 2000. – 443 с.
5. Яхкинд С. И. Объемно-планировочные решения планировочно шумозащищенных объектов – жилых домов и общественно жилых зданий / Яхкинд С. И., Генкина И. С. // Новое в экологии и безопасности жизнедеятельности: докл. междунар. экологического конгр., Санкт-Петербург, 2000. – СПб: БГТУ, 2000. – Т. 2. – С. 457–459.
6. Кочуров Б. И. Городские ландшафты Москвы: от традиционных до гармоничных и сбалансированных / Б. И. Кочуров, И. В. Ивашкина // Экология урбанизированных территорий. – 2012. – №1. – С. 6–11.
7. Balakin V.V. Formation of linear-strip greening objects in urban environmental systems / V.V. Balakin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 451, № 1. International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety (ICCATS 2018) 26-28 September 2018, South Ural State University, Russian Federation / eds A. A. Radionov, D.V. Ulrikh. – [Publisher : IOP Publishing Ltd], 2018. – P. –1–7. [Electronic resource] URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/451/1/012166/pdf/> doi:10.1088/1757-899X/451/1/012166 (accessed: 18.11.2020)
8. Балакин В. В. Экологическая оценка вариантов трассы городских дорог и транспортных развязок / В. В. Балакин // Транспортное строительство. – 1998. – № 1. – С. 16–17.
9. Балакин В. В. Шумозащитные сооружения в дорожно-мостовом и городском строительстве / В. В. Балакин // Актуальные вопросы строительства. Вторые Соломатовские чтения: материалы Всерос. науч.-техн. конф., Саранск, 2003. – Саранск: Изд-во Морд. ун-та, 2003. – С. 442–445.
10. Иванов Н. И. Акустическое загрязнение от автомобильных потоков / Н. И. Иванов // Экологизация автомобильного транспорта: передовой опыт России и стран Европейского Союза: Тр. II Всерос. научн.-практ. симп. с междунар. участ. – Санкт-Петербург: МАНЭБ, 2004. – С. 78–81.

**Список литературы на английском языке / References in English**

1. SP 42.13330.2016(19.09.2019) Gradostroitelstvo. Planirovka i zastroyka gorodskikh i selskikh poseleniy. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.07.01-89\* [City building. Planning and development of urban and rural settlements. Updated version of SNiP 2.07.01-89\*]. – [Electronic resource] URL: <https://mooml.com/d/normativno-pravovye-dokumenty/proektirovanie-inzhenernye-izyskaniya/45556/> (accessed: 18.11.2020). [in Russian]
2. Sidorenko V.F. Uchyot ekologicheskikh faktorov pri razmeshchenii i funktsionirovani detskikh doshkolnykh i obshcheobrazovatelnykh uchrezhdeniy v zhilykh rayonakh [Consideration of environmental factors when arranging and functioning of children's preschool and general education institutions in residential areas] / Sidorenko V.F., Balakin V.V. // Fundamentalnye, poiskovye i prikladnye issledovaniya Rossiyskoi akademii arkhitektury i stroitelnykh nauk po nauchnomu obespecheniyu razvitiya arkhitektury, gradostroitelstva i stroitelnoi otrasli Rossiyskoi Federatsii v 2018 godu: nauchnye trudy RAASN [Fundamental, search and applied research of the Russian Academy of architecture and construction Sciences on scientific support for the development of architecture, urban planning and the construction industry of the Russian Federation in 2018: scientific works of the RAASN] . – М., 2019. – pp. 444–460. [in Russian]
3. SP 276.1325800.2016 Zdaniya i territorii. Pravila proyektirovaniya zashchity ot shuma transportnykh potokov [The building and grounds. Design guidelines protection from noise of transport streams]. – М., 2016. – 146 p. [in Russian]
4. Gorodkov A. V. Landshaftno-sredozashchitnoye ozeleneniye i ego vliyaniye na ekologicheskoye sostoyaniye krupnykh gorodov Centralnoy Rossii [Landscape and environmental protection gardening and its impact on the ecological state of large cities in Central Russia] dis. ... of doctor of agricultural Sciences: 03.00.16: defense of the thesis 21.12.00: approved 04.05.01 / Gorodkov Aleksandr Vasilevich. – Sankt - Peterburg, Bryansk, 2000. – 443 p. [in Russian]
5. Yakhkind S. I. Obyomno-planirovochnyye resheniya planirovochno shumozashchishchyonnykh obektov – zhilykh domov i obshchestvenno-zhilykh zdaniy [Space-planning solutions for noise-protected objects-residential buildings and public buildings] / Yakhkind S. I., Genkina I. S. // Novoye v ekologii i bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti: dokl. mezhdunar.

ekologicheskogo kongr., Sankt-Peterburg, 2000 [New in ecology and life safety: reports of the international environmental Congress, Saint Petersburg, 2000]. – Saint Petersburg: BG TU, 2000. – Vol. 2. – pp. 457–459. [in Russian]

6. Kochurov B. I. Gorodskie landshafty Moskvy: ot traditsionnykh do garmonichnykh i sbalansirovannykh [Moscow's urban landscapes: from traditional to harmonious and balanced] / B. I. Kochurov, I. V. Ivashkina I. V. // *Ekologiya urbanizirovannykh territoriy* [Ecology of urbanized territories]. – 2012. – №1. – P. 6–11. [in Russian]

7. Balakin V.V. Formation of linear-strip greening objects in urban environmental systems / V.V. Balakin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 451, № 1. International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety (ICCATS 2018) 26-28 September 2018, South Ural State University, Russian Federation / eds A. A. Radionov, D.V. Ulrikh. – [Publisher : IOP Publishing Ltd], 2018. – P. –1–7. [Electronic resource] URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/451/1/012166/pdf> doi:10.1088/1757-899X/451/1/012166(accessed: 18.11.2020).

8. Balakin V. V. Ekologicheskaya otsenka variantov trassy gorodskikh dorog i transportnykh razvyazok [Environmental assessment of route options for urban roads and transport interchanges] / V. V. Balakin // *Transportnoe stroitelstvo* [Transport construction]. –1998. – № 1. – P. 16–17. [in Russian]

9. Balakin V. V. Shumozashchitnyye sooruzheniya v dorozhno-mostovom i gorodskom stroitelstve [Noise protection structures in road and bridge construction and urban construction] / V. V. Balakin // *Aktualnye voprosy stroitelstva. Vtorye Solomatovskie chteniya: Materialy. Vseros. nauch.-tekhn. konf., Saransk, 2003* [Current issues of construction. Second Solomatov readings: materials of the all-Russian conference. scientifically technical conferences, Saransk, 2003]. – Saransk, publishing house of the Mordovian University, 2003. – pp. 442–445. [in Russian]

10. Ivanov N. I. Akusticheskoye zagryazneniye ot avtomobilnykh potokov [Acoustic pollution from automobile streams] / N. I. Ivanov // *Ekologizatsiya avtomobilnogo transporta: peredovoy opyt Rossii i stran Evropejskogo Soyuza: Tr. II Vseros. nauchn.-prakt. simp. s mezhdunar. uchast.* [Greening road transport: best practices in Russia and the European Union: Proceedings of the II all-Russian scientific and practical Symposium with international participation] – Sankt-Peterburg: MANEB, 2004. – pp. 78–81. [in Russian]