

№ 7 (97) ▪ 2020

Часть 1 ▪ Июль

---

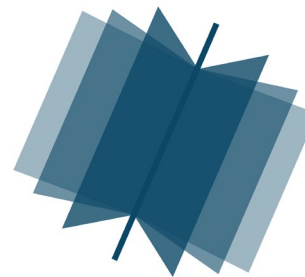
**МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ЖУРНАЛ**

***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+

**№ 7 (97) 2020  
Часть 1  
Июль**

---

Дата выхода 17.07.2020  
Подписано в печать 11.07.2020  
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);  
*Брылев В.А.* д-р геогр. наук, проф., Волгоградский государственный социально-педагогический университет (Волгоград, Россия);  
*Огуреева Г.Н.* д-р геогр. наук, проф., МГУ имени М.В. Ломоносова (Москва, Россия).

**Биологические науки:**

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

**Архитектура:**

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

**Ветеринарные науки:**

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

**Медицинские науки:**

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

**Исторические науки:**

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

**Культурология:**

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

**Искусствоведение:**

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

**Философские науки:**

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

**Юридические науки:**

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

**Сельскохозяйственные науки:**

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

**Социологические науки:**

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

**Химические науки:**

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

**Науки о Земле:**

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

**Экономические науки:**

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

**Политические науки:**

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

**Фармацевтические науки:**

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

**Екатеринбург  
2020**

# ОГЛАВЛЕНИЕ

---

## ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHYSICS AND MATHEMATICS

---

Лыу Тхи Ньян ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НАНОЧАСТИЦ $\text{BiFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$ В РАЗЛОЖЕНИИ МЕТИЛЕНОВОГО СИНЕГО .....	6
--	---

Трощев Ю. В. ИССЛЕДОВАНИЕ МОНОТОНИЗИРОВАННЫХ РАЗНОСТНЫХ СХЕМ .....	11
---	----

Щербань В. Л. КАК ИЗ ТРЕУГОЛЬНИКА ПАСКАЛЯ ИЗВЛЕЧЬ ФОРМУЛЫ ДЛЯ НАХОЖДЕНИЯ ВСЕХ ПРОСТЫХ ЧИСЕЛ .....	19
---	----

---

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING

---

Балалаев А.Н., Коркина С.В., Плохов Е.М. СИСТЕМА ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ РЕФРИЖЕРАТОРНОГО КОНТЕЙНЕРА НА ОСНОВЕ ВЕТРОГЕНЕРАТОРОВ И СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ.....	30
--	----

Баландина О.А., Филатова Е.Б., Пуриг С.М. К ВОПРОСУ О МЕТОДАХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КИНЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОКИСЛИТЕЛЬНЫХ РЕАКЦИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ РТ КАТАЛИЗАТОРА .....	39
--	----

Вдовичев А.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ НАСТИЛАЮЩИХСЯ НА ПОТОЛОК ПРИТОЧНЫХ СТРУЙ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ВОЗДУХООБМЕНА В ОФИСНОМ ПОМЕЩЕНИИ С НИЗКИМИ ПОТОЛКАМИ .....	45
---	----

Ермаков С.Р., Пустошилов Д.В., Рыжанов М.В. РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ МЕХАТРОННЫМ МОДУЛЕМ.....	56
--	----

Емец С.В., Кудаяров В.Н., Прахова М.Ю. АЛГОРИТМ АВТОМАТИЧЕСКОГО ФОРМИРОВАНИЯ ТЕРМОБАРИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ ГАЗОВОГО ШЛЕЙФА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫСЛОМ.....	62
---	----

Ласкин И.А. ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ТРУБЧАТОГО РЕКУПЕРАТОРА.....	67
---	----

Магомадов В.С. ТЕХНОЛОГИЯ «ЦИФРОВОЙ БЛИЗНЕЦ» ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА .....	72
--	----

Музаев А.К. ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВИЭ ДЛЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ АВТОНОМНЫХ ОБЪЕКТОВ В ПРЕДГОРНЫХ И ВЫСОКОГОРНЫХ РАЙОНАХ.....	76
---	----

Мурзинов В.Л., Мурзинов П.В., Мурзинов Ю.В., Попов С.В., Татарина Ю.В. МЕТОД СНИЖЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ПОДАВЛЕНИЕМ ШУМА ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ.....	80
---	----

Сдвижков О. А., Мацнев Н.П. ПРИМЕНЕНИЕ EXCEL В КРИПТОГРАФИИ.....	87
---	----

Сергиенко М. А., Данилова И.В. ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К ФОРМИРОВАНИЮ БАЗЫ ЗНАНИЙ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ.....	96
---	----

Миронова Ю.А., Цвяк А.В., Наумов С.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕННИКОВ В НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕЙ И НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТЯХ .....	104
---	-----

Шангареева З.А, Уразбахтина Ю.О. ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ПРИ ОЦЕНКЕ ДАННЫХ БРОНХИАЛЬНОЙ АСТМЫ У ДЕТЕЙ .....	109
--	-----

Шестаков А.К., Садыков Р.М., Петров П.А. СОСТОЯНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ПЕРВИЧНОГО АЛЮМИНИЯ НА НАЧАЛО 2020 Г.....	114
--	-----

Ширшавина А.С. РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ МОНИТОРИНГА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПУБЛИКАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ.....	120
--	-----

Юдаков В.С., Деканондзе Э.М., Мухтаров М.Ш. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФИЛЬТРАТА БУРОВОГО РАСТВОРА НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОРНЫХ ПОРОД .....	125
---	-----



---

**АРХИТЕКТУРА / ARCHITECTURE**

---

Алеус М.М., Щербина Е.В.

**ОСТАТЪЯ ИЗЪЯТА: ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА СОЛНЕЧНЫХ И ВЕТРОВЫХ РЕСУРСОВ В ПУСТЫННОМ РЕГИОНЕ СИРИИ** ..... 130

---

**СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ / AGRICULTURAL SCIENCES**

---

Вайс А.А., Пономаренко Д.В.

**СТАНДАРТИЗИРОВАННАЯ ФОРМА КРИВЫХ ВЫСОТ ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ В УСЛОВИЯХ ЮЖНОЙ ТАЙГИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**..... 136

Турусов В.И., Гармашов В.М.

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ ПРИЕМОМ И СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ ПОД ОДНОЛЕТНИЕ ТРАВЫ В УСЛОВИЯХ ЮГО-ВОСТОКА ЦЧР** ..... 141

Рахимжанов А.Н., Залесов С.В., Зарубина Л.В.

**ОПЫТ МЕЛИОРАЦИИ ТЕМНО-КАШТАНОВЫХ СЛИТНЫХ ПОЧВ ЛЕСНОГО ПИТОМНИКА «АК КАЙЫН»**..... 145

Золотарёва Р.И., Максимов В.А.

**СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ОЗИМОЙ РЖИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОРТА И ВНЕСЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕНИЯ**..... 151

Ивлева О.Е.

**ВЛИЯНИЕ ЖМЫХА ПЛОДОВ ОБЛЕПИХИ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БУЛКИ СДОБНОЙ** ..... 156

Литвиненко Н.В., Куртова А.В., Грехова И.В.

**ВЛИЯНИЕ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ КУЛЬТУР ПРЕДПОСАДОЧНОЙ И НЕКОРНЕВОЙ ОБРАБОТОК ГУМИНОВЫМ ПРЕПАРАТОМ РОСТОК**..... 160

Ибадуллаева С.Дж., Ахундова С.Т., Мовсумова Н.В.

**РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ОДНОЛЕТНИХ И ДВУЛЕТНИХ РАЗНОТРАВНЫХ КОРМОВЫХ РАСТЕНИЙ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ МАЛОГО КАВКАЗА** ..... 164

Тукташева К.А.

**ВЛИЯНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ «ЭНЕРМИКС ПЛЮС» НА БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ КОРОВ**..... 170

---

**НАУКИ О ЗЕМЛЕ / SCIENCE ABOUT THE EARTH**

---

Котельников А.Е., Корлосама Ф.Х., Котельникова Е.М., Ибрахим М.А.А., Хассан М.А.

**ВЫЯВЛЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ УЧАСТКОВ МЕДНО-ПОРФИРОВОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ В РАЙОНЕ КАЗАХСКОГО МЕЛКОСОПОЧНИКА НА ОСНОВЕ ДЗЗ** ..... 174

---

**ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ / CHEMISTRY**

---

Istomina E.E., Shataschkeev A.V.

**RESEARCH OF PROCESSES OF DETERMINATION OF GOLD CONTENT IN PRODUCTS OF GOK "NEVSKY "LLC " DRUZA"** ..... 178

---

**ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHARMACEUTICS**

---

Бобок М.Н., Краснюк И.И., Козлова Ж. М.

**РЕГУЛЯЦИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ РИТМОВ. СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ КОРРЕКЦИИ ДЕСИНХРОНОЗОВ** ..... 182

Кузьмичева Н.А., Михайлова И.В., , Иванова Е.В., Филиппова Ю.В., Винокурова Н.В., Воронкова И.П., Шостак Е.И., Таренкова И.В.

**ПОЛИФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ПЛОДОВ ЧЕРЕМУХИ ВИРГИНСКОЙ (*PADUS VIRGINIANA MILL.*)**... 189

## ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHYSICS AND MATHEMATICS

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.97.7.001>ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОКАТАЛИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НАНОЧАСТИЦ  $\text{BiFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$   
В РАЗЛОЖЕНИИ МЕТИЛЕНОВОГО СИНЕГО

Научная статья

Лыу Тхи Ньян \*

Ханойский индустриальный университет, Ханой, Вьетнам

\* Корреспондирующий автор (luunhan20686[at]gmail.com)

## Аннотация

Объектами исследования выступили наноразмерные мультиферроические порошки  $\text{BiFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$ , синтезированные золь-гель методом. Образцы кальцинировали при соответствующих температурах и в заданный период времени. Исследование спектров поглощения в УФ-видимой области изготовленных образцов было показано, что легирование Mn уменьшило ширину запрещенной зоны (от 2,11 эВ до 1,94 эВ). Это увеличит фотокаталитическую активность системы материалов BFO, что сделает применение более практическим. Полученные результаты показывают, что наночастицы  $\text{BiFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$  в этой работе дает способность разложения метиленового синего. При легировании Mn в BFO эффективность разложения увеличивается. Однако, эффективность не высокая.

**Ключевые слова:** феррит висмута, мультиферроик, спектр поглощения, фотокаталитическая активность, метиленовый синий.

RESEARCH OF PHOTOCATALYTIC ACTIVITY OF  $\text{BiFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$  NANOPARTICLES  
IN DECOMPOSITION OF METHYLENE BLUE

Research Article

Luu Thi Nhan\*

Hanoi Industrial University, Hanoi, Vietnam

\* Corresponding author (luunhan20686[at]gmail.com)

## Abstract

The nanosized multiferroic powders  $\text{BiFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$ , synthesized by the sol-gel method, are the studied objects. The samples are calcined at appropriate temperatures and within a given period. A study of the absorption spectra in the UV-visible area of the fabricated samples showed that doping with Mn reduces the bandgap (from 2.11 eV to 1.94 eV). This will increase the photocatalytic activity of the BFO material system, which will make the application more practical. The results obtained show that  $\text{BiFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$  nanoparticles in this work provide the possibility to decompose methylene blue. When doping Mn in BFO, the decomposition efficiency increases. However, this efficiency is not high.

**Keywords:** bismuth ferrite, multiferroic, absorption spectrum, photocatalytic activity, methylene blue.

## Введение

В настоящее время фотокаталитические материалы с возможностью обработки окружающей среды представляют собой большой интерес исследователей. Ранее основным исследованным фотокаталитическим материалом был  $\text{TiO}_2$  с такими преимуществами, как недорогой, менее токсичный, высокая фотохимическая стойкость и т. д. Однако этот материал имеет недостатки - это фотокаталитическая активность  $\text{TiO}_2$  низка в области видимого света из-за большой ширины запрещенной зоны (~3,2 эВ) и ее трудно восстановить для повторного использования. Поэтому, исследование приготовления новых фотокаталитических материалов с энергией запрещенной зоны менее 3 эВ представляет собой большое внимание ученым. Одним из таких материалов является феррит висмута –  $\text{BiFeO}_3$  (BFO).

Феррит висмута BFO, является одним из наиболее известных сегнетомагнетиков – материалов, одновременно сочетающих магнитные и сегнетоэлектрические свойства [1], [2]. Эти материалы перспективны для новой области квантовой электроники – спиновой электроники, основанной на транспорте спин-поляризованных электронов, сенсорной техники, магнитной памяти [3], [6]. С другой стороны, наночастицы BFO также показывают хорошую фотокаталитическую активность в области видимого света из-за узкой ширины запрещенной зоны (2,1-2,7 эВ) [7]. Такие материалы могут использоваться в качестве новых фотокаталитических материалов, реагирующих на видимый свет, для разложения органических загрязнителей или для образования  $\text{H}_2$  из воды [8].

В последние годы исследовательское направление очень заинтересовано в легировании редкоземельных элементов или 3d-групп в нанобразцах BFO для улучшения электромагнитных свойств, улучшения фотокаталитической способности, легкого восстановления и повторного использования. Однако, оптические свойства сегнетомагнитных материалов на основе  $\text{BiFeO}_3$  слабо исследованы как экспериментально, так и теоретически. В представленной работе описывают результаты исследования фотокаталитической активности наночастиц  $\text{BiFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$  в разложении метиленового синего (МБ).

## Образцы и методика измерений

Объектами исследования выступили наноразмерные мультиферроические порошки  $\text{BiFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$ , синтезированные золь-гель методом с использованием нитрата висмута  $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (чистота  $\geq 99\%$ ), нитрата железа  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  (чистота  $\geq 98,5\%$ ), моногидрат лимонной кислоты  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (чистота  $\geq 99,5\%$ ), раствора нитрата марганца  $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2$  50% и  $\text{NH}_3$  ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ). Образцы кальцинировали при соответствующих температурах и в заданный период времени.

В спектре излучения солнечного света энергия ультрафиолетового излучения составляет всего около 8%, а энергия излучения видимого света составляет 48% от общей энергии. Поэтому изучение использования энергии света видимой

области в фотокаталитическом процессе очень необходимо, поскольку возможно использовать источник солнечного света для процесса реакции. В этой работе по оценке фотокаталитической способности полученных образцов мы использовали источник света, подобный солнечному свету.

Раствор метиленового синего (МВ) и образцы подают в реакционную камеру, освещают видимым светом и перемешивают реакционную систему магнитной мешалкой во время испытания. После реакции определяют концентрацию МВ, и рассчитывается эффективность разложения метиленового синего образцов.

Чтобы определить концентрацию МВ в растворе после разложения, мы строим калибровочную кривую метиленового синего в диапазоне концентраций 0 мг/л - 10 мг/л.

Смесь после фотокаталитической обработки отфильтровывают раствор. Фотометрические измерения определяют спектры поглощения раствора МВ после использования катализатора. Из калибровочной кривой рассчитывают оставшуюся концентрацию МВ после фотокаталитического разложения.

Эффективность разложения МВ образцов рассчитывается следующим образом:

$$H(\%) = \frac{C_o - C_f}{C_o} \cdot 100\% \quad (1)$$

где:

H: Эффективность разложения МВ образцов (%)

C<sub>o</sub>: Концентрация МВ до реакции (мг/л)

C<sub>f</sub>: Концентрация МВ после реакции (мг/л)

#### Экспериментальные результаты и обсуждений

Порошки BiFe<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>O<sub>3</sub> с соотношением x = 0%, 5% и 7,5% успешно получили. Результаты исследования влияния концентрации Mn на фазоформирование, размеры и оптические свойства наночастиц BiFe<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>O<sub>3</sub> показаны в [9]. Так же в [9] мы определяли ширины запрещенной области полученных образцов. Результаты показаны на таблице 1.

Таблица 1 – Ширина запрещенной зоны наночастиц BiFe<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>O<sub>3</sub>

Образец	Энергия (эВ)
BiFeO <sub>3</sub>	2,11
BiFe <sub>0,95</sub> Mn <sub>0,05</sub> O <sub>3</sub>	1,97
BiFe <sub>0,925</sub> Mn <sub>0,075</sub> O <sub>3</sub>	1,94

И так, исследование спектров поглощения в УФ-видимой области изготовленных образцов было показано, что легирование Mn уменьшило ширину запрещенной зоны [9]. Это увеличивает фотокаталитическую активность системы материалов BFO, что делает применение более практичным.

В этой работе мы выбрали только образцы BiFeO<sub>3</sub>, BiFe<sub>0,95</sub>Mn<sub>0,05</sub>O<sub>3</sub> для исследования фотокаталитической активности полученных образцов в разложении метиленового синего, потому что, в [9] было показано, что микроскопическая структура исследуемого образца BiFe<sub>0,925</sub>Mn<sub>0,075</sub>O<sub>3</sub> является неоднородной по форме и размеру.

Образцы BiFeO<sub>3</sub>, BiFe<sub>0,95</sub>Mn<sub>0,05</sub>O<sub>3</sub> и раствор МВ с начальной концентрацией C<sub>0</sub> были добавлены в фотокаталитическую систему для проведения реакции. Полученные смеси освещались видимым источником света в течение 2 часов. Результаты исследования способности разлагать раствор МВ образцов с течением времени показаны на рисунке 1.

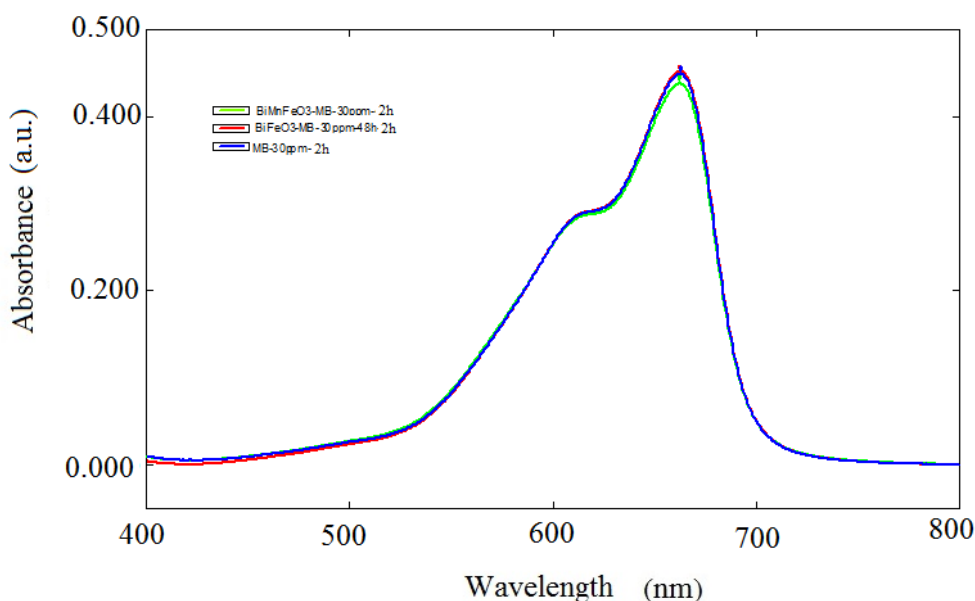


Рис. 1 – Спектры поглощения нанопорошка Bi<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>FeO<sub>3</sub> при освещении видимым светом в течение 2ч.

Видно, что эффективность разложения метиленового синего  $\text{BiFeO}_3$  и  $\text{BiFe}_{0,95}\text{Mn}_{0,05}\text{O}_3$  при освещении видимым светом: не сильно отличается.

При увеличении времени освещения видимым светом до 24 часов и 48 часов эффективность разложения МВ материала  $\text{BiFeO}_3$  и  $\text{BiFe}_{0,95}\text{Mn}_{0,05}\text{O}_3$  увеличивает. Полученные результаты показаны на рисунке 2, рисунке 3.

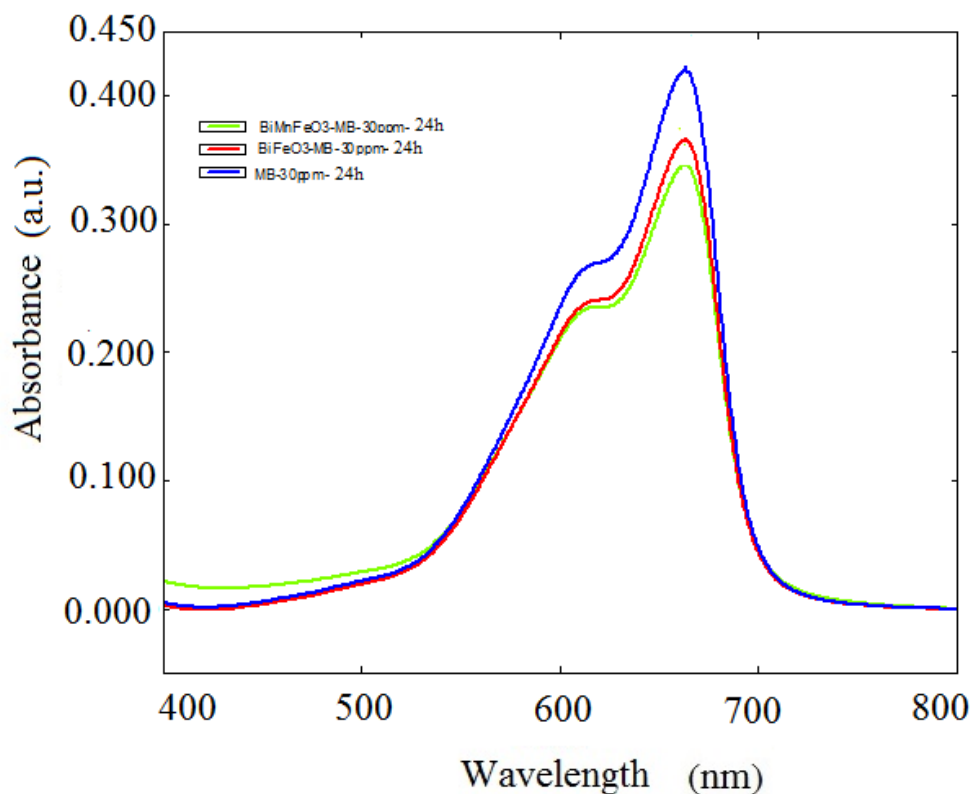


Рис. 2 – Спектры поглощения нанопорошка  $\text{Bi}_{1-x}\text{Mn}_x\text{FeO}_3$  при освещении видимым светом в течение 24ч.

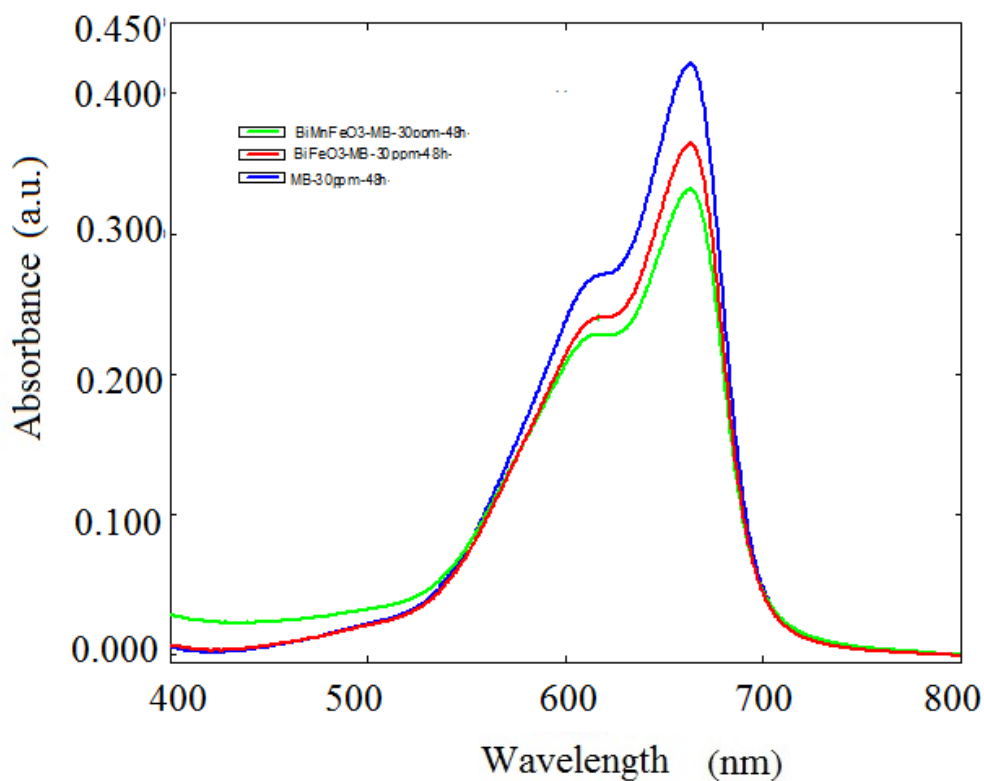


Рис. 3 – Спектры поглощения нанопорошка  $\text{Bi}_{1-x}\text{Mn}_x\text{FeO}_3$  при освещении видимым светом в течение 48ч.

На рис. 4. показана зависимость эффективности от времени разложения МВ образцов  $\text{BiFeO}_3$  и  $\text{BiFe}_{0,95}\text{Mn}_{0,05}\text{O}_3$  при освещении видимым источником света.

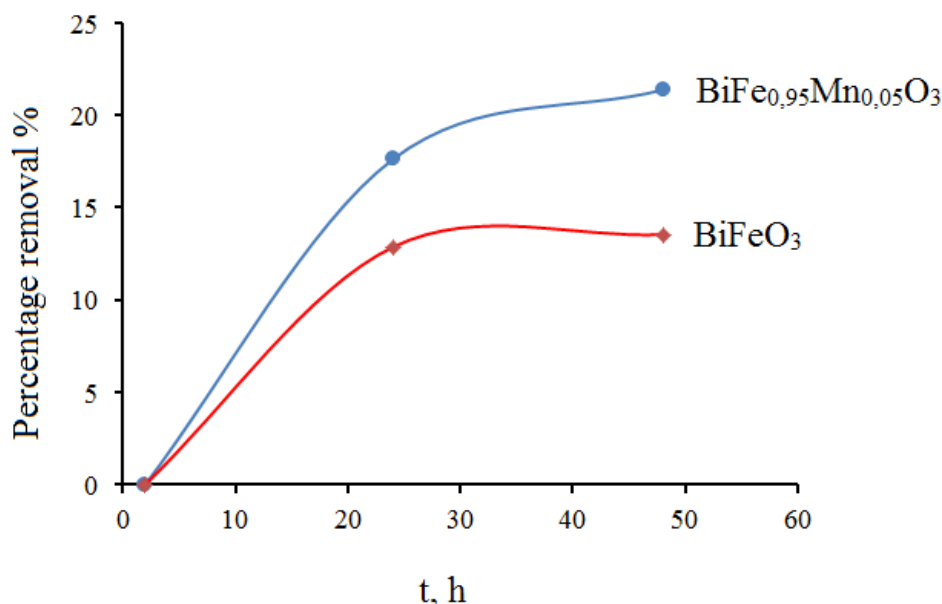


Рис. 4 – Зависимость эффективности от времени разложения МВ образцов  $\text{BiFeO}_3$  и  $\text{BiFe}_{0,95}\text{Mn}_{0,05}\text{O}_3$  при освещении видимым источником света.

Видно, что полученные образцы показывают способность разложения метиленового синего. При легировании Mn эффективность разложения метиленового синего увеличивается. Однако, эффективность в этой работе намного меньше чем результат исследования других исследователей [10], [11]. Чтобы повысить эффективность разложения, необходимо продолжить изучение большего количества факторов, влияющих на фотокаталитическую активность материала: морфология частиц, размер частиц, условия синтеза образца, pH, .... Мы продолжим изучение по этому вопросу в ближайшее время.

#### Заключение

Таким образом, полученные результаты показывают, что наночастицы  $\text{BiFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$  в этой работе дает способность разложения метиленового синего. При легировании Mn в BFO эффективность разложения увеличивается. Однако, эффективность не высокая.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Смоленский Г.А. Успехи физических наук / Г.А. Смоленский, И.Е. Чупис. – 1982. – Т. 137. – № 3. – С. 415 – 448.
2. Звездин А.К. Магнитоэлектрические материалы и мультиферроики // УФН / А.К. Звездин, А.П. Пятаков. – 2012. – Т. 182. – № 6. – С. 593-620.
3. Eerenstein W. Multiferroic and magnetoelectric materials // Nature / W. Eerenstein, N. D. Mathur, J.F. Scott. – 2006. – Vol. 442. – P.759 – 765.
4. Ramesh R. Multiferroics: progress and prospects in thin films // Nature Mater / R. Ramesh, N.A. Spaldin.. – 2007. – Vol. 6. – P. 21.
5. Catalan G. Physics and Applications of Bismuth Ferrite // Adv. Mater / G. Catalan, J.F. Scott.. – 2009. – Vol. 21. – P. 2463.
6. Пятаков А.П. Магнитоэлектрические материалы и мультиферроики // УФН / А.П. Пятаков, А.К. Звездин. – 2012. – Т. 182. – С. 593.
7. Gao T. Preparation of bismuth ferrite nanoparticles and its applications in visible-light induced photocatalyses // Rev. Adv. Mater. Sci / T. Gao, Z. Chen, Q. Huang, F. Niu, X. Huang, L. Qin, Y.Huang. – 2015. – Vol. 40. – P. 97-109.
8. Deng J. Bismuth iron oxide nanoparticles as photocatalyst for solar hydrogen generation from water// J. Fundam. Renew. Energy Appl / J. Deng, S. Banerjee, S.K. Mohapatra, Y.R. Smith, M. Misra. – 2011.–Vol. 1. – P. 1.
9. Luu Thi Nhan Study of Mn concentration effect on phase- formation, dimensions and optical properties of  $\text{BiFeMnO}$  nanoparticles / Luu Thi Nhan et al // International Research Journal. 2019. – Vol. 16. – P. 128–131. – URL: <https://research-journal.org/en/physicsandmath/issledovanie-vliyaniya-koncentracii-mn-na-fazoformirovanie-razmery-i-opticheskie-svoystva-nanochastic-bife1-xmno3/> (accessed 20.06.2020)
10. Nguyễn Thị Hà Chi. “Tổng hợp và nghiên cứu tính chất quang xúc tác của vật liệu  $\text{BiFeO}_3$  kích thước nanomet” / Nguyễn Thị Hà Chi // Luận văn thạc sĩ khoa học, Khoa hóa học, ĐH. Khoa học Tự Nhiên ĐHQGHN, Hà Nội, 2015.
11. Hajar Atiqah Mohd Azmy et al. Visible Light Photocatalytic Activity of  $\text{BiFeO}_3$  Nanoparticles for Degradation of Methylene Blue / Hajar Atiqah Mohd Azmy et al. // Journal of Physical Science, 2017, Vol. 28(2), P. 85–103.

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

1. Smolensky G.A. Uspekhi fizicheskikh nauk [Successes of physical sciences] / G.A. Smolensky, I.E. Chupis – 1982. – V. 137. – No. 3. – P. 415 – 448. [in Russian]
2. Zvezdin A.K. Magnitojelektricheskie materialy i mul'tiferroiki [Magnetoelectric materials and multiferroics] UFN [UFN]

/ A.P. Pyatakov, A.K. Zvezdin. – 2012. – V. 182. – No. 6. – P. 593-620. [in Russian]

3. Eerenstein W. Multiferroic and magnetoelectric materials // Nature / W. Eerenstein, N. D. Mathur, J.F. Scott. – 2006. – V. 442. – P. 759 – 765.

4. Ramesh R. Multiferroics: progress and prospects in thin films // Nature Mater / R. Ramesh, N.A. Spaldin.. – 2007. – V. 6. – P. 21.

5. Catalan G. Physics and Applications of Bismuth Ferrite // Adv. Mater / G. Catalan, J.F. Scott.. – 2009. – V. 21. – P. 2463.

6. Pyatakov A.P. Magnitoelektricheskie materialy i mul'tiferroiki [Magnetoelectric materials and multiferroics] UFN [UFN] / A.P. Pyatakov, A.K. Zvezdin. – 2012. – V. 182. – P. 593. [in Russian]

7. Gao T. Preparation of bismuth ferrite nanoparticles and its applications in visible-light induced photocatalyses // Rev. Adv. Mater. Sci / T. Gao, Z. Chen, Q. Huang, F. Niu, X. Huang, L. Qin, Y. Huang. – 2015. – V. 40. – P. 97-109.

8. Deng J. Bismuth iron oxide nanoparticles as photocatalyst for solar hydrogen generation from water// J. Fundam. Renew. Energy Appl / J. Deng, S. Banerjee, S.K. Mohapatra, Y.R. Smith, M. Misra. – 2011. – V. 1. – P. 1.

9. Luu Thi Nhan Study of Mn concentration effect on phase- formation, dimensions and optical properties of BiFeMnO nanoparticles / Luu Thi Nhan et al // International Research Journal. 2019. – T. 16. – P. 128–131. – URL: <https://research-journal.org/en/physicsandmath/issledovanie-vliyanie-koncentracii-mn-na-fazoformirovanie-razmery-i-opticheskie-svojstva-nanochastice-bife1-xmno3/> (accessed 20.06.2020)

10. Nguyễn Thị Hà Chi. Sintez i issledovanie fotokataliticheskikh svoystv materialov BiFeO<sub>3</sub> nanometr [Tổng hợp và nghiên cứu tính chất quang xúc tác của vật liệu BiFeO<sub>3</sub> kích thước nanomet] / Nguyễn Thị Hà Chi // Luận văn thạc sĩ khoa học, Khoa hóa học, ĐH. Khoa học Tự Nhiên ĐHQGHN, Hà Nội, 2015. [in Chinese]

11. Hajar Atiqah Mohd Azmy et al. Visible Light Photocatalytic Activity of BiFeO<sub>3</sub> Nanoparticles for Degradation of Methylene Blue / Hajar Atiqah Mohd Azmy et al. // Journal of Physical Science, 2017, Vol. 28(2), P. 85–103.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.97.7.002>

## ИССЛЕДОВАНИЕ МОНОТОНИЗИРОВАННЫХ РАЗНОСТНЫХ СХЕМ

Научная статья

Трошчиев Ю. В. \*

ORCID: 0000-0001-6805-7001,

МГУ, Москва, Россия

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

**Аннотация**

В статье исследуются возможности практического применения ранее предложенных автором монотонизированных разностных схем. Выведено условие монотонности для немонотонизированной схемы. Показано, что монотонизированные схемы могут как совсем удалять осцилляции, так и уменьшать амплитуду колебаний без изменения условия монотонности. Доказаны некоторые свойства монотонизированных схем. Приведены примеры монотонизирующих операторов. Построена удобная конструкция для решения задач, зависящих от времени. Результаты могут быть обобщены и для более широкого множества задач.

**Ключевые слова:** разностные схемы, монотонность, аппроксимация, устойчивость, сходимость.

## STUDY OF MONOTONIZED DIFFERENCE SCHEMES

Research article

Troshchiev Yu.V. \*

ORCID: 0000-0001-6805-7001,

Moscow State University, Moscow, Russia

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

**Abstract**

The paper considers the possibilities of the practical application of monotonized difference schemes previously proposed by the author. The author introduced the monotonicity condition for a nonmonotonic scheme. It is shown that monotonized schemes can both completely remove oscillations and reduce the amplitude of oscillations without changing the condition of monotony, besides some properties of monotonized schemes are proved. The author provides examples of monotonizing operators and develops a convenient design for solving time-dependent tasks. The results can be generalized to a wider variety of tasks.

**Keywords:** difference schemes, monotonicity, approximation, stability, convergence.

**Введение**

При решении дифференциальных уравнений с помощью разностных схем довольно часто появляются осцилляции решений от точки к точке сетки [1], [2]. Это явление вызывается свойствами схемы и называется немонотонностью. Если решается задача, имеющая физический смысл, то это явление также называют нефизическими осцилляциями. Наиболее универсальный метод избавиться от этих осцилляций – сглаживание полученных решений [1], но при этом обычно нарушаются законы сохранения и быстро нивелируется влияние начальных условий. Возможно и построение монотонных схем, например, [3], но универсального метода, видимо, нет.

В работах [4], [5], [6] автором была предложена алгебраическая конструкция, с помощью которой можно улучшать свойства монотонности существующих разностных схем. Идея состоит в том, чтобы встраивать в схемы монотонизирующие операторы. Если задача имеет физический смысл, то и законы сохранения при таком встраивании не нарушаются. В результате появляется возможность в несколько раз (в 3-5 раз) увеличить шаг сетки, что для двумерных и трехмерных задач приводит к многократному уменьшению времени счета и требуемой оперативной памяти. При этом немонотонность сохраняется «внутри» разностной схемы: у производных решения и у вспомогательного решения (если осцилляций нет и там, то можно решать по немонотонизированной схеме). Таким образом, метод несколько расширяет круг задач, которые возможно решить на имеющемся компьютере.

В данной работе рассматриваются практические принципы применения метода, т.е. методы выбора шага сетки и монотонизирующих операторов. Хотя основное внимание уделяется линейному одномерному уравнению и одной разностной схеме для этого уравнения, но область применения этих принципов существенно более широкая. Условие монотонности таким же способом можно выводить и для других разностных схем. Если уравнение нелинейное, то отображение можно разложить по формуле Тейлора с помощью производных Фреше и проверять условие монотонности для линеаризованного уравнения. Если уравнение многомерное, задачу часто можно свести к множеству одномерных задач методами расщепления.

**Линейное уравнение**

В дальнейшем будет неоднократно рассматриваться уравнение вида

$$\frac{\partial u}{\partial t} = k_0 + k_1 u + k_2 \frac{\partial u}{\partial x} + k_3 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}, \quad u(x_0, t) = a, u(x_1, t) = b, u(x, 0) = u_0(x), k_3 \neq 0. \quad (1)$$

Все числа в (1) действительные. Если рассматривать стационарное уравнение ( $\partial u / \partial t = 0$ ), то его решением будет

$$u(x) = K_0 + K_1 \exp(s_1 x) + K_2 \exp(s_2 x),$$

$$K_0 = -\frac{k_0}{k_3 s_1 s_2}, \quad (2)$$

Где

$$s_{1,2} = \frac{-k_2 \pm \sqrt{k_2^2 - 4k_3 k_1}}{2k_3}, \quad (3)$$

а константы  $K_1$  и  $K_2$  находятся из граничных условий:

$$K_i = \frac{(-1)^{i+1}(a - K_0) \exp(s_{3-i} x_l) + (-1)^i(b - K_0) \exp(s_{3-i} x_0)}{\exp(s_1 x_0 + s_2 x_l) - \exp(s_1 x_l + s_2 x_0)}. \quad (4)$$

В стационарном случае можно без ограничения общности считать  $k_3 = 1$ .

Будем отличать разностное решение от непрерывного по наличию индексов. Т.е. непрерывное решение  $u = u(x)$ , а разностное  $\{u_i\}$  или  $\{u_i^j\}$ . Запишем для уравнения (1) разностную схему:

$$\begin{aligned} \frac{u_i^{j+1} - u_i^j}{\Delta t} = k_0 + \\ + \sigma \left( k_1 u_i^{j+1} + k_2 \frac{u_{i+1}^{j+1} - u_{i-1}^{j+1}}{2h} + k_3 \frac{u_{i-1}^{j+1} - 2u_i^{j+1} + u_{i+1}^{j+1}}{h^2} \right) + \\ + (1 - \sigma) \left( k_1 u_i^j + k_2 \frac{u_{i+1}^j - u_{i-1}^j}{2h} + k_3 \frac{u_{i-1}^j - 2u_i^j + u_{i+1}^j}{h^2} \right). \end{aligned} \quad (5)$$

Такая схема, видимо, может считаться наиболее естественной в смысле записи аппроксимаций дифференциальных операторов. Здесь  $\sigma \in [0, 1]$ ,  $h = l/(N + 1)$ ,  $u_i^j$  соответствует значению функции в точке  $(x, t) = (x_0 + ih, j\Delta t)$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$ ,  $j = 0, 1, \dots$ , граничные значения  $a$  и  $b$  будем также обозначать  $u_0$  и  $u_{N+1}$ . Схема имеет второй порядок аппроксимации по  $x$ . При  $\sigma = 0$  аппроксимация по времени первого порядка, но вычислительный алгоритм заметно упрощается. При  $\sigma = 1$  аппроксимация по времени первого порядка, но схема абсолютно устойчива. При  $\sigma = 0.5$  аппроксимация по времени второго порядка.

Для стационарного случая соответствующая разностная схема выглядит так:

$$k_0 + k_1 u_i + k_2 \frac{u_{i+1} - u_{i-1}}{2h} + \frac{u_{i-1} - 2u_i + u_{i+1}}{h^2} = 0. \quad (6)$$

Рассмотрим на примере этой схемы немонотонность по пространству. На рис. 1 показаны решения для двух различных наборов значений параметров.



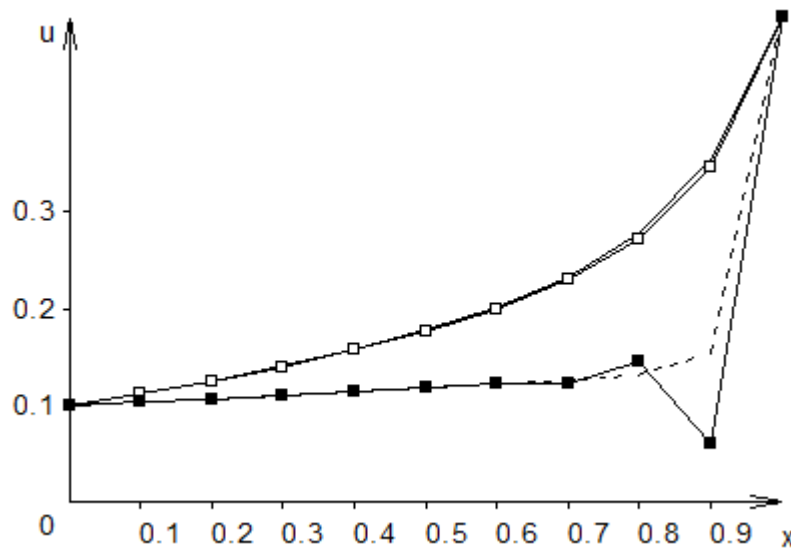


Рис. 1 – Решения по схеме (6).  $x_0 = 0, x_l = 1, a = 0.1, b = 0.5, N = 9$ . а)  $k_0 = 0, k_1 = 10, k_2 = -10$ . Сплошная линия соединяет значения точного решения в узлах сетки, прозрачные маркеры – решение по схеме. б)  $k_0 = 0, k_1 = 10, k_2 = -30$ . Пунктир соединяет значения точного решения в узлах сетки, черные маркеры – решение по схеме.

Вариант а) представляет адекватное приближение точного решения сеточным, а в варианте б) у правой границы видны осцилляции сеточного решения. Это называется немонотонностью. Если бы мы решали физическую задачу, то сеточное решение в этом случае было бы нефизичным. При измельчении шага сетки сеточное решение будет сходиться к точному, и немонотонность исчезнет. Но измельчение шага сетки во многих случаях неприемлемо, особенно для многомерных задач, так как возрастает время счета, требуется значительно больше оперативной памяти. И вообще не очень естественно задавать решение с шагом, в несколько раз меньшим, чем реально необходимо.

Более целесообразно монотонизировать разностную схему. Слово монотонизация подразумевает, что монотонизированная схема строится на основе существующей, но обладает более хорошими свойствами монотонности решений. Если в исходной схеме аппроксимированы физические законы сохранения, то они окажутся аппроксимированы и в монотонизированной схеме. В отличие, например, от сглаживания решений. С практической точки зрения монотонизация позволяет внести в уже написанную компьютерную программу для разностной схемы небольшие изменения и получить программу с более хорошей разностной схемой.

В этой статье выводятся условия монотонности решений для стационарных задач. В соответствии с [7] их можно назвать условиями практической устойчивости, но там практической неустойчивостью называется бесконечное нарастание каких-нибудь компоненты решения при решении нестационарных задач. А для стационарных задач бесконечного нарастания нет. Кроме того, и при счете по времени бесконечного нарастания может не быть, а по пространству сеточное решение может все же оказаться немонотонным.

#### Условия монотонности для линейного уравнения

Сначала выведем условие монотонности для схемы (6). Для этого ее удобнее записать в виде

$$r_0 + r_1 u_i + r_2 (u_{i+1} - u_{i-1}) + u_{i-1} - 2u_i + u_{i+1} = 0, \quad (7)$$

где  $r_0 = k_0 h^2, r_1 = k_1 h^2, r_2 = k_2 h/2$ .

Для уравнения (7) выполнены соотношения

$$\begin{aligned} u_{i+1} &= \frac{-r_0 - (1 + r_1 - r_2)u_{i-1} - 2(r_1 - 1)u_i}{1 + r_1 + r_2}, \\ u_{i-1} &= \frac{-r_0 - (1 + r_1 + r_2)u_{i+1} - 2(r_1 - 1)u_i}{1 + r_1 - r_2}. \end{aligned} \quad (8)$$

При достаточно малых значениях  $h$  величинами  $r_0$  и  $r_1$  можно пренебречь. Тогда получатся формулы:

$$\begin{aligned} u_{i+1} &= \frac{-(1 - r_2)u_{i-1} - 2u_i}{1 + r_2}, \\ u_{i-1} &= \frac{-(1 + r_2)u_{i+1} - 2u_i}{1 - r_2}. \end{aligned} \quad (9)$$

Если бы значение  $h$  можно было менять непрерывно, то появление максимума или минимума на разностном решении происходило бы через равенство значений в соседних узлах сетки. Значение  $u_{i+1}$  равно  $u_i$  при  $r_2 = 1$ , а  $u_{i-1} = u_i$  при  $r_2 = -1$ . Т.е. решение будет монотонным, если  $|r_2| < 1$ . Возвращаясь к переменным  $k_i$  получаем приблизительное достаточное условие монотонности:

$$\begin{aligned} |k_2|h &< 2, \\ |k_1|h^2 &\ll 1, \\ |k_0|h^2 &\ll |u_i| \text{ при } |u_i| \gg 0 \text{ и } |k_0|h^2 \sim 0 \text{ при } |u_i| \sim 0. \end{aligned} \quad (10)$$

При достаточно малых значениях  $h$  все неравенства будут выполнены. Последнее неравенство системы (10) предполагает, что при решении, близком к нулю, близкие к нулю колебания несут существенны. Подразумевается нуль в вычислительном смысле, например, когда точность сходимости каких-нибудь итераций сравнима величиной решения, или решение почти равно нулю по физическому смыслу решаемой задачи.

#### Метод монотонизации

Если получено немонотонное решение, а возможности измельчить шаг сетки нет, то часто решение сглаживается [1]. Но сглаживание почти всегда нарушает какие-нибудь законы сохранения. Кроме того, для задач, решаемых по времени, оно довольно быстро уничтожает влияние начальных условий.

В работах [4], [5], [6] был предложен метод встраивания монотонизирующих операторов в разностные схемы. Монотонизирующие операторы можно было бы назвать и сглаживающими, но сглаживание по смыслу относится к решению, а монотонизирующие операторы улучшают свойства монотонности разностных схем. Кроме того, для встраивания их обычно лучше представить именно в виде операторов для выполнения с ними различных алгебраических действий. Метод состоит в следующем.

Пусть

$$\mathbf{A}(\mathbf{u}) = 0, \mathbf{u} \in R^n, \mathbf{A}: R^n \rightarrow R^n \quad (11)$$

разностная схема.  $R^n$  – действительное  $n$ -мерное пространство. Схема может быть нелинейной, многомерной по пространству и в каждой точке сетки могут быть заданы как одна, так и несколько переменных. Будем считать, что в аппроксимируемое уравнение входят производные порядка не более, чем  $m$ , причем производная порядка  $m$  входит существенно. Тогда разностную схему (11) можно представить в виде

$$\mathbf{F}(\mathbf{u}, \mathbf{D}_1 \mathbf{u}, \dots, \mathbf{D}_m \mathbf{u}) = 0, \quad (12)$$

где  $\mathbf{D}_i$  – оператор вычисления  $i$ -й производной. Пусть  $\mathbf{M}$  монотонизирующий оператор, тогда монотонизированная схема имеет вид

$$\begin{aligned} \mathbf{F}(\mathbf{M}\mathbf{v}, \mathbf{D}_1 \mathbf{v}, \dots, \mathbf{D}_m \mathbf{v}) &= 0, \\ \mathbf{y} &= \mathbf{M}\mathbf{v}. \end{aligned} \quad (13)$$

Здесь  $\mathbf{y}$  – решение,  $\mathbf{v}$  – вспомогательная функция. Первое уравнение в (13) будем называть вспомогательной разностной схемой. Под улучшением свойств монотонности будем понимать, как получение монотонного решения, так и уменьшение амплитуды колебаний.

Монотонизирующий оператор может быть, как вырожденным, так и невырожденным. Если он невырожден, то схему (13) можно записать в виде

$$\mathbf{F}(\mathbf{y}, \mathbf{D}_1 \mathbf{M}^{-1} \mathbf{y}, \dots, \mathbf{D}_m \mathbf{M}^{-1} \mathbf{y}) = 0. \quad (14)$$

Порядок аппроксимации схем (13), (14) больше или равен меньшему из двух чисел: порядок аппроксимации схемы (12) и порядок аппроксимации монотонизирующего оператора.

**Утверждение 1.** Пусть схема (12) линейна и обладает аппроксимацией. Если существует  $h_0 > 0$ , при котором для любого положительного  $h < h_0$  оператор  $(\partial \mathbf{F} / \partial \mathbf{D}_m)(d \mathbf{D}_m / dv)$  невырожден и монотонизирующий оператор обладает аппроксимацией, то решения схем (13) и (14) сходятся к решению непрерывной задачи. В случае многомерных схем  $h$  это максимум из шагов по каждому из направлений.

**Доказательство.** Производная Фреше левой части схемы (12) может быть записана в виде

$$\frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{u}} + \sum_{i=1}^m (\partial \mathbf{F} / \partial \mathbf{D}_i) \mathbf{D}_i. \quad (15)$$

а производная Фреше левой части вспомогательной схемы

$$\frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{u}} \frac{d\mathbf{M}}{d\mathbf{v}} + \sum_{i=1}^m \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{D}_i} \frac{d\mathbf{D}_i}{d\mathbf{v}}. \quad (16)$$

Первые слагаемые в обеих производных не зависят от  $h$ , остальные – порядка  $h^{-i}$ . Оператор  $(\partial \mathbf{F} / \partial \mathbf{D}_m)(d\mathbf{D}_m / d\mathbf{v})$  при  $h < h_0$  невырожден. Следовательно, при достаточно малых  $h$  невырождены и производные Фреше и схемы (12) и вспомогательной схемы. Следовательно, эти схемы устойчивы, и их решения сходятся. Монотонизирующий оператор обладает аппроксимацией, поэтому решение  $\mathbf{y} = \mathbf{M}\mathbf{v}$  также сходится к непрерывному решению.

Следующее утверждение, доказанное в [6], формулирует достаточное условие того, чтобы свойства монотонности монотонизированной схемы были лучше, чем свойства монотонности схемы (12).

*Утверждение 1.* Пусть при некотором  $h$  выполнены следующие условия.

1) Неотрицательный функционал  $f(\mathbf{u})$  является некоторой мерой немонотонности сеточных функций (чем меньше значение  $f(\mathbf{u})$ , тем меньше немонотонность).

2) Этот функционал является Липшиц непрерывным в норме  $\|\cdot\|_C$ :

$$|f(\mathbf{u}) - f(\mathbf{v})| \leq K \|\mathbf{u} - \mathbf{v}\|. \quad (17)$$

3) Для решения по схеме (12) выполнены соотношения  $f(\mathbf{u}) = \delta > 0$ ,  $f(\mathbf{M}\mathbf{u}) = k\delta$ , где  $0 < k < 1$ .

4) Для решения по вспомогательной схеме выполнены соотношения  $\|\mathbf{u} - \mathbf{v}\|_C = \varepsilon > 0$ ,  $\varepsilon < \delta$ ,  $K \|\mathbf{M}\|_C \varepsilon < k\delta$ .

Тогда  $f(\mathbf{M}\mathbf{v}) = k_1\delta$ , где

$$\frac{k\delta - K \|\mathbf{M}\|_C \varepsilon}{\delta + \varepsilon} < k_1 < \frac{k\delta + K \|\mathbf{M}\|_C \varepsilon}{\delta - \varepsilon}. \quad (18)$$

Для выполнения условий утверждения, по существу, нужны два условия: немонотонность решения по схеме (12) и малость  $\varepsilon$ . При  $\varepsilon = 0$   $k_1 = k$ . Но  $\varepsilon$  стремится к нулю, как  $h^m$ . Поэтому условия утверждения часто оказываются выполненными. Они могут оказаться невыполненными, например, если схема (12) обладает хорошими свойствами монотонности.

Теперь выпишем монотонизированную схему для решения нестационарных задач. Для этого удобнее сначала считать монотонизирующий оператор невырожденным. Тогда из (14) получаем аналогичную запись для нестационарной схемы:

$$\frac{\mathbf{y}^{n+1} - \mathbf{y}^n}{\tau} = \sigma \mathbf{F}(\mathbf{y}^{n+1}, \mathbf{D}_1 \mathbf{M}^{-1} \mathbf{y}^{n+1}, \dots, \mathbf{D}_m \mathbf{M}^{-1} \mathbf{y}^{n+1}) + (1 - \sigma) \mathbf{F}(\mathbf{y}^n, \mathbf{D}_1 \mathbf{M}^{-1} \mathbf{y}^n, \dots, \mathbf{D}_m \mathbf{M}^{-1} \mathbf{y}^n) \quad (19)$$

Теперь преобразуем эту запись в аналог схемы (13):

$$\frac{\mathbf{M}\mathbf{v}^{n+1} - \mathbf{y}^n}{\tau} = \sigma \mathbf{F}(\mathbf{M}\mathbf{v}^{n+1}, \mathbf{D}_1 \mathbf{v}^{n+1}, \dots, \mathbf{D}_m \mathbf{v}^{n+1}) + (1 - \sigma) \mathbf{F}(\mathbf{y}^n, \mathbf{D}_1 \mathbf{v}^n, \dots, \mathbf{D}_m \mathbf{v}^n), \quad \mathbf{y}^{n+1} = \mathbf{M}\mathbf{v}^{n+1}. \quad (20)$$

Здесь оператор  $\mathbf{M}$  уже может быть и вырожденным, но тогда при  $\sigma \neq 1$  на первом шаге (при  $n = 0$ ) вектор  $\mathbf{v}^0$  определен неоднозначно. А при  $\sigma = 0$  и вектор  $\mathbf{v}^{n+1}$  определен неоднозначно на каждом шаге.

Если монотонизирующий оператор любую функцию преобразует в монотонную, то решение по схеме (13) всегда будет монотонным. Из этого следует, что схема (13) не является решением всех проблем немонотонности, так как осцилляции вспомогательной функции  $\mathbf{v}$  могут сохраняться. Из (14) видно, что вместо осцилляций решения могут существовать осцилляции производных. Но большинство основных физических величин (масса, энергия, импульс) обычно выражаются через функцию, а не через производные. Поэтому монотонизированные схемы позволяют решить довольно много проблем.

#### 4. Монотонизирующие операторы.

Если монотонизирующий оператор любую функцию преобразует в монотонную, то он вырожденный. Но можно использовать и невырожденные операторы. Монотонизированные схемы применялись для расчетов движения жидкости в ячейке фильтра [8], для расчетов движения тороидальных вихрей в [9,10], для расчетов переноса начального

импульса, а также для расчетов движения расплава в алюминиевом электролизере (все эти задачи с гладкими решениями без ударных волн).

Чтобы не понижать порядок аппроксимации, лучше использовать монотонизирующие операторы с таким же порядком аппроксимации, как у исходной схемы, или выше. Рассмотрим два оператора для схемы (6). Первый оператор вычисляет значения по трем точкам и имеет второй порядок аппроксимации.

$$\mathbf{M}_1: \begin{cases} (\mathbf{Mu})_1 = (u_0 + u_1 + u_2)/3, \\ (\mathbf{Mu})_i = (u_{i-1} + 2u_i + u_{i+1})/4, i = 2, 3, \dots, N-1, \\ (\mathbf{Mu})_N = (u_{N-1} + u_N + u_{N+1})/3. \end{cases} \quad (21)$$

У схемы (6) тоже второй порядок точности, но увеличение числа точек для вычисления значений монотонизирующего оператора все равно имеет смысл. Если осцилляции происходят с переменной амплитудой, как на рис. 1, то в трех точках нет информации об изменении этой амплитуды.

Второй оператор вычисляет значения по четырем или пяти точкам:

$$\mathbf{M}_2: \begin{cases} (\mathbf{Mu})_1 = (60u_0 + 105u_1 + 90u_2 - 15u_3)/240, \\ (\mathbf{Mu})_2 = (4u_0 + 4u_1 + 7u_2 + 6u_3 + 3u_4)/24, \\ (\mathbf{Mu})_i = (-u_{i-2} + 4u_{i-1} + 10u_i + 4u_{i+1} - u_{i+2})/16, \\ \quad i = 3, \dots, N-2, \\ (\mathbf{Mu})_{N-1} = (3u_{N-3} + 6u_{N-2} + 7u_{N-1} + 4u_N + 4u_{N+1})/24, \\ (\mathbf{Mu})_N = (-15u_{N-2} + 90u_{N-1} + 105u_N + 60u_{N+1})/240. \end{cases} \quad (22)$$

В точках от  $i = 3, 4, \dots, N-2$  порядок аппроксимации четвертый, в точках  $i = 2$  и  $N-1$  – второй, в точках  $i = 1$  и  $N$  – третий. Суммарный порядок аппроксимации второй. Оба оператора являются «линейными неоднородными», т.е. могут быть представлены в виде  $\mathbf{M}_n \mathbf{v} = \mathbf{A}_n \mathbf{v} + \mathbf{b}_n$ , где  $\mathbf{A}_n$  – квадратная матрица,  $\mathbf{b}_n$  – вектор-столбец ( $n = 1, 2$ ). Оба оператора невырождены.

На рис. 2 изображены решения, полученные по схеме (14) с этими операторами, для варианта (б) рис. 1.

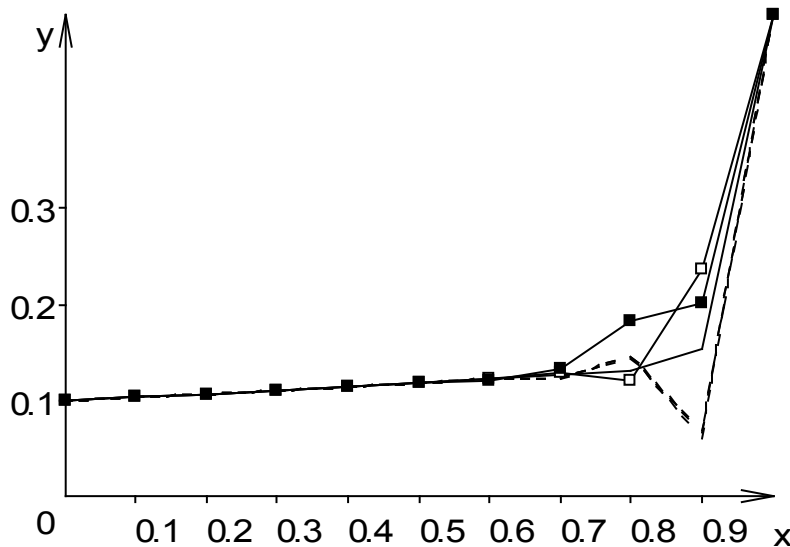


Рис. 2 – Решения по схеме (14). Сплошная линия соединяет значения точного решения в узлах сетки. Пунктирные линии решения по схеме (12) и вспомогательным схемам. Прозрачные маркеры – решение по схеме (14) с оператором  $\mathbf{M}_1$ . Черные маркеры – решение по схеме (14) с оператором  $\mathbf{M}_2$ .

Решения  $\mathbf{u}$  по схеме (12) и  $\mathbf{v}$  по вспомогательным схемам, как и говорится в утверждении 2, почти не отличаются (сливающиеся пунктирные линии). Решение  $\mathbf{y}$  с оператором  $\mathbf{M}_2$  монотонно, а с оператором  $\mathbf{M}_1$  – нет. В смысле точности, в точке  $x = 0.8$  решение с оператором  $\mathbf{M}_1$  точнее, а в точке  $x = 0.9$  точнее решение с оператором  $\mathbf{M}_2$ . У обоих решений по монотонизированной схеме видны осцилляции вторых производных.

Если считать, что  $\mathbf{u}$  и  $\mathbf{v}$  отличаются мало, то для исследования монотонности решения  $\mathbf{y} = \mathbf{Mv}$  достаточно исследовать монотонность функции  $\mathbf{Mu}$ . Из формул (9) и (21) получаем, что для схемы (6) и оператора  $\mathbf{M}_1$

$$\begin{aligned}
y_{i+1} - y_i &\approx \frac{u_i - u_{i-1}}{(1 + k_2)^2}, i = 2, 3, \dots, N - 2; \\
y_N - y_{N-1} &\approx \frac{k_2^2 - k_2 + 6}{6(1 + k_2)^2} (u_{N-1} - u_{N-2}); \\
y_{N+1} - y_N &\approx \frac{(k_2 - 1)(k_2 - 3)}{3(1 + k_2)^2} (u_{N-1} - u_{N-2}).
\end{aligned} \tag{23}$$

Из этих формул следует, что если решение по исходной схеме немонотонно, то и решение по монотонизированной схеме с оператором  $\mathbf{M}_1$  немонотонно. Но амплитуда колебаний уменьшится (см. рис. 2).

Из формул (9) и (22) получаем, что для схемы (6) и оператора  $\mathbf{M}_2$

$$\begin{aligned}
y_{i+1} - y_i &\approx \frac{(1 - k_2)}{(1 + k_2)^3} (u_{i-1} - u_{i-2}), i = 3, 4, \dots, N - 3; \\
y_{N-1} - y_{N-2} &\approx \frac{(k_2^4 - 3k_2^3 - 3k_2^2 - 19k_2 + 12)}{12(1 + k_2)^4} (u_{N-3} - u_{N-4}); \\
y_N - y_{N-1} &\approx \frac{-k_2^3 - 4k_2^2 + 5k_2 + 24}{24(1 + k_2)^3} (u_{N-2} - u_{N-3}); \\
y_{N+1} - y_N &\approx \frac{(1 - k_2)(3k_2^2 - 13k_2 + 8)}{8(1 + k_2)^3} (u_{N-2} - u_{N-3}).
\end{aligned} \tag{24}$$

Из первой формулы в (24) следует, что если решение по исходной схеме немонотонно, то и решение по монотонизированной схеме с оператором  $\mathbf{M}_2$ , вообще говоря, немонотонно. Но в точках около границы значения оператора вычисляются по другим формулам, поэтому на рис. 2 решение получилось монотонным.

Заметим, что вспомогательная функция  $\mathbf{v}$  не обязана удовлетворять тем же граничным условиям, что и функции  $\mathbf{u}$  и  $\mathbf{y}$ . Например, можно доопределить  $v_{-1}$  и  $v_{N+2}$ . После этого значения  $y_0, y_1, y_N$  и  $y_{N+1}$  можно находить по тем же формулам, что и во внутренних точках для оператора  $\mathbf{M}_1$ . А граничные условия для  $\mathbf{v}$  будут определяться тем, что  $y_0 = a$  и  $y_{N+1} = b$ . Монотонизированная разностная схема в этом случае будет такой

$$\begin{aligned}
k_0 + k_1 \frac{v_{i-1} + 2v_i + v_{i+1}}{4} + k_2 \frac{v_{i+1} - v_{i-1}}{2h} + \frac{v_{i-1} - 2v_i + v_{i+1}}{h^2} &= 0, \\
i &= 0, 1, \dots, N + 1; \\
\frac{(v_{-1} + 2v_0 + v_1)}{4} &= a, \frac{(v_N + 2v_{N+1} + v_{N+2})}{4} = b; \\
y_i &= \frac{v_{i-1} + 2v_i + v_{i+1}}{4}, i = 0, 1, \dots, N + 1.
\end{aligned} \tag{25}$$

Из первой формулы (23) следует, что если решение по немонотонизированной схеме (6) немонотонно, то и решение по схеме (25) будет немонотонно (но амплитуда колебаний уменьшится). Кроме того, монотонизирующий оператор в (25) вырожденный, т.к. он отображает  $N + 4$  - мерные векторы в  $N + 2$  - мерные.

#### Заключение

В статье рассмотрены основные принципы практического применения монотонизированных разностных схем, доказаны некоторые теоретические свойства. Выведено приблизительное достаточное условие монотонности для немонотонизированной схемы. Показано, что в результате монотонизации амплитуда осцилляций может уменьшаться без изменения условия монотонности. Возможно и получение монотонных схем. Рассмотрены примеры монотонизирующих операторов. Все это существенные инструменты для практического решения многих вычислительных задач.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

**Список литературы / References**

1. Самарский А.А. Устойчивость разностных схем / А.А. Самарский, А.В. Гулин. – М.: «Наука», 1973, 415 с.
2. Godunov S.K. Difference Schemes: An Introduction to the Underlying Theory / S.K. Godunov, V.S. Ryabenkii // Elsevier Science Ltd (1987)
3. Трошчиев В.Е. Монотонные разностные схемы с весом для уравнения переноса в плоском слое / В.Е. Трошчиев, Ю.В. Трошчиев // Математическое моделирование, т. 15, № 1, 2003, с. 3-13.
4. Трошчиев Ю.В. Монотонизация разностных схем внедрением специального оператора // Тихоновские чтения, 14 июня 2011 г., М: МАКС Пресс, Тезисы докладов, стр. 73-74.
5. Трошчиев Ю.В. Монотонизация разностных схем встраиванием монотонизирующих операторов // Москва, МАКС Пресс, 2012, 12 стр.
6. Troshchiev Yu. V. Improvement of the monotonicity properties of the difference schemes by building in them of the monotonicizing operators // Cornell University, arxiv:1403.3046, USA, 2014, 18 p.
7. Рихтмайер Р. Разностные методы решения краевых задач / Р. Рихтмайер, К. Мортон. – М.: Мир, 1972, 418 с.
8. Трошчиев Ю.В. Исследование процессов внутри пористого фильтра // Труды восьмой Всероссийской научной конференции с международным участием «Математическое моделирование и краевые задачи» 15-17 сентября 2011 г., Часть 2, Секция: Моделирование и оптимизация динамических систем и систем с распределенными параметрами, Самара 2011, с. 104-115.
9. Юсупалиев У. Вихревые кольца и плазменные тороидальные вихри в однородных неограниченных средах. II. Исследование процесса образования вихря / У. Юсупалиев, Н.П. Савенкова, Ю.В. Трошчиев и др. // Краткие сообщения по физике ФИАН, № 9, 2011 г., с. 46-58.
10. Юсупалиев У. Численное моделирование процесса образования тороидальных вихрей / У. Юсупалиев, Р.Н. Кузьмин, Н.П. Савенкова и др. // Сб. тезисов докладов конф. Ломоносовские чтения, Секция физики, 14-23 ноября 2011 г., стр. 209-217.

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

1. Samarskij A.A. Ustojchivost' raznostnyh shem [Numerical Methods] / A.A. Samarskij, A.V. Gulin. – М.: «Nauka», 1973, 415 p. [in Russian]
2. Godunov S.K. Difference Schemes: An Introduction to the Underlying Theory / S.K. Godunov, V.S. Ryabenkii // Elsevier Science Ltd (1987)
3. Troshchiev V.E. Monotonnye raznostnye shemy s vesom dlja uravnenija perenosa v ploskom sloe [Monotonous Difference Schemes with a Weight for Transport Equation in the Flat Layer] / V.E. Troshchiev, Ju.V. Troshchiev // Matematicheskoe modelirovanie [Math. Modeling] V. 15, 1, P. 3-13. ( 2003) [in Russian]
4. Troshchiev Ju.V. Monotonizacija raznostnyh shem vnedreniem special'nogo operatora [Monotonization of Difference Schemes by Building in Them of Special Operator] // Tihonovskie chtenija [Book of Theses of sci. conf. Tikhonov Sess]., (June 2011) P. 73-74. [in Russian]
5. Troshchiev Ju.V. Monotonizacija raznostnyh shem vstraivaniem monotonizirujushhih operatorov [Monotonization of Difference Schemes by Integration in Them of Monotonizing Operators]. Maks-Press, Moscow ( 2012) [in Russian]
6. Troshchiev Yu. V. Improvement of the monotonicity properties of the difference schemes by building in them of the monotonicizing operators. Cornell University, arxiv:1403.3046, USA, 2014, 18 p.
7. R.D. Richtmyer, K.W. Morton Difference Methods for Initial-Value Problems. – Interscience Publishers, John Wiley & Sons, New York, London, Sydney, 1967.
8. Troshchiev Ju.V. Issledovanie processov vnuti poristogo fil'tra [Investigation of Processes in Porous Filter] // Trudy vos'moj Vserossijskoj nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem «Matematicheskoe modelirovanie i kraevye zadachi» [Proc. of VIII conf. "Mathematical Modeling and Boundary-Value Problems"], Part 2, Samara 104-115 (2011) [in Russian]
9. Jusupaliev U. Vihrevye kol'ca i plazmennye toroidal'nye vihri v odnorodnyh neogranichennyh sredah. II. Issledovanie processa obrazovaniya vihrja [Vortex rings and plasma toroidal vortices in homogeneous unbounded media. II. The study of vortex formation process] / U. Jusupaliev, N.P. Savenkova, Ju.V. Troshchiev i dr. // Kratkie soobshhenija po fizike FIAN [Bulletin of the Lebedev Physics Institute], V. 38, No. 9, 2011, P. 275-282. DOI: 10.3103/S1068335611090065 [in Russian]
10. Jusupaliev U. Chislennoe modelirovanie processa obrazovaniya toroidal'nyh vihrj [Numerical modeling of toroidal vortices forming] / U. Jusupaliev, R.N. Kuz'min, N.P. Savenkova i dr. // Sb. tezisov dokladov konf. Lomonosovskie chtenija, Sekcija fiziki [Book of theses of sci. conf. Lomonosov Readings, Section of Physics], November 14-23 (2011), P. 209-217. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.97.7.003>**КАК ИЗ ТРЕУГОЛЬНИКА ПАСКАЛЯ ИЗВЛЕЧЬ ФОРМУЛЫ ДЛЯ НАХОЖДЕНИЯ  
ВСЕХ ПРОСТЫХ ЧИСЕЛ**

Научная статья

**Щербань В. Л. \***

ORCID: 0000-0002-5631-9681,

Центр дополнительного математического образования, Курган, Россия

\* Корреспондирующий автор (sherba-q[at]ya.ru)

**Аннотация**

В настоящем арифметическом исследовании представлены ранее не известные числовые свойства прямоугольного треугольника Паскаля и впервые даны основные результаты нахождения его вещественного дискриминанта. В точности, обнаружены числовые свойства усеченного треугольника Паскаля для отыскивания всех простых чисел. После этого, в конечном итоге, представлены арифметические формулы для прямого нахождения всех простых чисел. Все сказанное и выше перечисленное стало возможным только после успешной расшифровки всего класса числовых таблиц усеченных треугольников в криптографической системе. И далее, после всех достигнутых результатов стал доступным общий метод установления простейших числовых свойств симметричных многочленов степенных сумм. Следует особо отметить, что для обобщения таблиц и бесспорно определить те правила вещественных действий, которые для таблиц должны иметь место, задействованы только рекуррентные числовые ряды.

**Ключевые слова:** треугольник Паскаля; числа Фибоначчи; простые числа; возвратные (рекуррентные) числовые последовательности;

**GETTING FORMULAS FOR THE EXTRACTION OF ALL PRIME NUMBERS  
FROM THE PASCAL'S TRIANGLE**

Research article

**Shcherban V. L. \***

ORCID: 0000-0002-5631-9681,

Centre for Continuous Mathematical Education, Kurgan, Russia

\* Correspondent author (sherba-q[at]ya.ru)

**Abstract**

The following arithmetic study presents previously unknown numerical properties of the Pascal's right-angled triangle and gives the main results of finding its real discriminant for the first time. Precisely, the numerical properties of the truncated Pascal's triangle for the extraction of all prime numbers were discovered. Then, arithmetic formulas are presented for the direct extraction of all prime numbers. All of the above is possible after the entire class of numerical tables of truncated triangles has been successfully decoded in the cryptographic system. After these results had been achieved, the general method of establishing the simplest numerical properties of symmetric polynomials of power sums became available. It should be specially noted that only recurrent numerical series are used for the generalization of tables and precise determination of the rules for these tables.

**Keywords:** Pascal's triangle; Fibonacci numbers; prime numbers; recurrent numerical sequences

**Введение**

Ниже изложенное арифметическое исследование покажет непосредственную связь чисел «треугольника Паскаля» с симметричными многочленами от  $(n)$ -переменных. В точности, найдено числовое решение всего усеченного треугольником Паскаля – это положения (7) и (11). Вслед за этим устанавливаются арифметические формулы для прямого нахождения всех простых чисел (5) и (14), [1]. Логическая структура материала довольно сложна, однако при этом, нет нужды в особых предварительных знаниях, кроме умения осуществлять несложные тождественные преобразования.

**Числовые таблицы как предмет рассмотрения**

До первоначального знакомства с арифметическими таблицами необходимо обстоятельно ознакомиться с простейшими симметричными многочленами степенных сумм [2, С. 20–22]. Для этого необходимы следующие обозначенные многочлены:

$$A_q(x) \equiv 0 \pmod{q} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} A_q(x) &= a_1 x^{n-1} + a_2 x^{n-2} + a_3 x^{n-3} + \dots + a_n, \\ A'_q(x) &= \binom{1}{1} a_1 x^{n-1} + \binom{1}{2} a_2 x^{n-2} + \binom{1}{3} a_3 x^{n-3} + \dots + \binom{1}{n} a_n, \\ A''_q(x) &= \binom{1}{1} a_1 x^{n-1} + \binom{1}{3} a_2 x^{n-2} + \binom{1}{5} a_3 x^{n-3} + \dots + \binom{1}{2n-1} a_n, \end{aligned}$$

$Dis(A_q)$  – числовой дискриминант многочлена:  $A_q(x)$ , [3].

$Res(A_q; A_{q-1})$  – числовой результат многочленов:  $A_q(x); A_{q-1}(x)$ , [4].

Решить арифметическое сравнение (1), это значит найти все значения неизвестного числа ( $x$ ), ему удовлетворяющие [5]. Два сравнения (или более), которым удовлетворяют одни и те же значения ( $x$ ), называются равносильными или эквивалентными.

Раньше всего необходимо отметить, что числовые последовательности, в которых каждый член определяется как некоторая функция предыдущих, называются возвратными или рекуррентными [6]. Последовательное нахождение таких чисел определяется при помощи возвратного уравнения.

Представим известную числовую таблицу, которую называют треугольником Паскаля в прямоугольной форме [7]. Суммы чисел, лежащих последовательно на фиксированных восходящих диагоналях, являются рядом Фибоначчи [8]. Ряды чисел, заполняющие последовательно отдельные вертикали треугольника Паскаля называются многоугольными числами. Для нахождения многоугольных чисел служит таблица, в которой каждое число образуется посредством сложения двух чисел, стоящих непосредственно перед ним и над ним, (табл. 1).

Таблица 1 – Многоугольные числа

1	1	1	1	1	1
2	3	4	5	6	7
3	6	10	15	21	28
4	10	20	35	56	84
5	15	35	70	126	210
6	21	56	126	252	462
7	28	84	210	462	924
8	36	120	330	792	1716
9	45	165	495	1287	.....

### Общий метод построения арифметических таблиц

Вертикальные возвратные (рекуррентные) числовые ряды, для которых осуществимы посредством правил вычислений (сложения, вычитания и числового сравнения) нахождение простейших свойств целых чисел, являются арифметическими таблицами. Основное числовое свойство таблиц размещается посредством действий (операций) над числами, лежащими на фиксированных горизонталях. В таких таблицах отсутствует операция «деления» чисел. По этому, сравнимость чисел ( $a$ ) и ( $b$ ) по числовому модулю ( $q$ ), означает только возможность представить ( $a$ ) в виде ( $a = b + qt$ ), где число ( $t$ ) целое.

Рассмотрим простейший пример создания арифметической таблицы.

Воспользуемся формулой Варинга [9, С. 53–55] для получения степенной суммы от двух переменных через элементарные многочлены.

$$S_q = x_1^q + x_2^q; \sigma_1 = x_1 + x_2, \sigma_2 = x_1 x_2.$$

$$S_4 - \sigma_1^4 = -4\sigma_1^2 \sigma_2 + 2\sigma_2^2,$$

$$S_5 - \sigma_1^5 = -5\sigma_1^3 \sigma_2 + 5\sigma_1 \sigma_2^2,$$

$$S_6 - \sigma_1^6 = -6\sigma_1^4 \sigma_2 + 9\sigma_1^2 \sigma_2^2 - 2\sigma_2^3, \dots;$$

Правая часть последних уравнений позволяет образовать таблицу числовых коэффициентов в абсолютных величинах (табл. 2). После расшифровки последует установление ее главного арифметического свойства. \*Метод дешифровки таблицы универсален для всех последующих таких таблиц.

Таблица 2 – Фрагмент коэффициентов степенной суммы от двух переменных

$q$	$-Y-$
4	$4 + 2$
5	$5 + 5$
6	$6 + 9 + 2$
7	$7 + 14 + 7$
8	$8 + 20 + 16 + 2$
9	$9 + 27 + 30 + 9$
10	$10 + 35 + 50 + 25 + 2$
11	$11 + 44 + 77 + 55 + 11$
12	$12 + 54 + 112 + 105 + 36 + 2$
13	$13 + 65 + 156 + 182 + 91 + 13$
14	$14 + 77 + 210 + 294 + 196 + 49 + 2$
15	$15 + 90 + 275 + 450 + 378 + 140 + 15$
16	.....

Горизонтальные числа, исключая порядковые номера ( $q$ ), надлежит кодировать, следующим способом (табл. 2):



$$Y_q(x) \equiv 0 \pmod{2^{q-1} - 1}, Y_q(x) = y_1 x^{n-1} + y_2 x^{n-2} + y_3 x^{n-3} + \dots + y_n \quad (2)$$

Число  $(q)$  – обозначенный порядковый номер многочлена.

Число  $(n)$  – обозначенное количество чисел  $(y)$ , стоящих на фиксированных горизонталях.

Примеры:

$$\begin{aligned} Y_7(x) &= 7x^2 + 14x + 7 \equiv 0 \pmod{7}; \\ Y_{13}(x) &= 13x^5 + 65x^4 + 156x^3 + 182x^2 + 91x + 13; \\ Y_{15}(x) &= 15x^6 + 90x^5 + 275x^4 + 450x^3 + 378x^2 + 140x + 15. \end{aligned}$$

Для всех нечетных чисел  $(q)$ , многочлен (2) имеет только одно не тривиальное решение:

$$\text{Res}(Y_q; x+4) \equiv 0 \pmod{2^{q-1} - 1} \quad (3)$$

Примеры:  $\text{Res}(Y_{13}; x+4) \equiv 0 \pmod{2^{12} - 1}$ ,  $\text{Res}(Y_{15}; x+4) \equiv 0 \pmod{2^{14} - 1}$ ,

$\text{Res}(Y_{103}; x+4) \equiv 0 \pmod{2^{102} - 1}$ ,  $\text{Res}(Y_{105}; x+4) \equiv 0 \pmod{2^{104} - 1}$ .

Осталось показать, как степенную сумму от двух переменных найти и извлечь из треугольника Паскаля при установленном условии:  $(\sigma_1^2 + x\sigma_2) \equiv 0 \pmod{2^{q-1} - 1}$ , но с помощью формулы (4).

Расположим числа прямоугольного треугольника Паскаля иным образом. Все числа, лежащие на фиксированных восходящих диагоналях, разместим по отдельным горизонталям. В этом случае, суммы чисел, лежащих последовательно на фиксированных горизонталях, окажутся числами Фибоначчи (табл. 3 – С). Каждую отдельную горизонталь обозначим порядковым номером  $(q)$ . Определим теоретико-числовые свойства этой таблицы и производной от нее, числовой таблицы  $(B)$ .

Таблица 3 – Основная таблица числовых сравнений

$q$	$-B-$	$-C-$
4	3 + 1	1 + 1
5	4 + 3	1 + 2
6	5 + 6 + 1	1 + 3 + 1
7	6 + 10 + 4	1 + 4 + 3
8	7 + 15 + 10 + 1	1 + 5 + 6 + 1
9	8 + 21 + 20 + 5	1 + 6 + 10 + 4
10	9 + 28 + 35 + 15 + 1	1 + 7 + 15 + 10 + 1
11	10 + 36 + 56 + 35 + 6	1 + 8 + 21 + 20 + 5
12	11 + 45 + 84 + 70 + 21 + 1	1 + 9 + 28 + 35 + 15 + 1
13	12 + 55 + 120 + 126 + 56 + 7	1 + 10 + 36 + 56 + 35 + 6
14	13 + 66 + 165 + 210 + 126 + 28 + 1	1 + 11 + 45 + 84 + 70 + 21 + 1
15	14 + 78 + 220 + 330 + 252 + 84 + 8	1 + 12 + 55 + 120 + 126 + 56 + 7
16	15 + 91 + 286 + 495 + 462 + 210 + 36 + 1	1 + 13 + 66 + 165 + 210 + 126 + 28 + 1
17	.....	.....

Горизонтальные числа, исключая порядковые номера  $(q)$ , станем кодировать уже известным способом (табл. 3). В точности, таблица  $(B)$ :

$$B_q(x) \equiv 0 \pmod{q}, B_q(x) = b_1 x^{n-1} + b_2 x^{n-2} + b_3 x^{n-3} + \dots + b_n;$$

Число  $(q)$  – обозначенный порядковый номер многочлена.

Число  $(n)$  – обозначенное количество чисел  $(b)$ , стоящих на фиксированных горизонталях.

Соответственно, таблица  $(C)$ :

$$C_q(x) \equiv 0 \pmod{q}, C_q(x) = c_1 x^{n-1} + c_2 x^{n-2} + c_3 x^{n-3} + \dots + c_n; (c_1 = 1).$$

$k = c_1 + c_2 + c_3 + \dots + c_n$ ; Число  $(k)$ , является числом Фибоначчи.

Зафиксируем непосредственную связь между числовыми многочленами:

$$B_q(x) - B_{q-1}(x) = C_q(x); 2B_q(x) - B_{q-1}(x) = Y_q(x) \quad (4)$$

Отметим только простейшие числовые свойства таблиц  $(B)$  и  $(C)$ .

Система сравнений многочленов:  $B_q(x) \equiv 0 \pmod{q}$ ;  $C_q(x) \equiv 0 \pmod{q}$ , равносильна для всех простых чисел  $(q)$ . Доказательством этого утверждения является условие формул (3) и (4).

Соответствующие примеры.

$$B_7(x) = 6x^2 + 10x + 4 \equiv 0(\bmod 7), x + 1 \equiv 0(\bmod 7);$$

$$C_7(x) = x^2 + 4x + 3 \equiv 0(\bmod 7), x + 1 \equiv 0(\bmod 7).$$

Система сравнений:  $C_q(x) \equiv 0(\bmod q); C_{2q-1}(x) \equiv 0(\bmod q); B_{2q-1}(x) \equiv 0(\bmod q)$ , равносильна для всех простых чисел ( $q$ ). Пример:

$$C_{13}(x) = 1x^5 + 10x^4 + 36x^3 + 56x^2 + 35x + 6 \equiv 0(\bmod 91);$$

$$x + 1 \equiv 0(\bmod 7), x + 1 \equiv 0(\bmod 13).$$

После всего выше подтвержденного необходимо обратить внимание на следующий многочлен:

$$C'_q(x) = \binom{1}{1}c_1x^{n-1} + \binom{1}{2}c_2x^{n-2} + \binom{1}{3}c_3x^{n-3} + \dots + \binom{1}{n}c_n \quad (5)$$

Этот многочлен имеет все целые числовые коэффициенты только тогда, когда ( $q$ ) – число простое, (табл. 3 – С) или (табл. 6).

Статус данного арифметического положения – формула, служащая для нахождения всех простых чисел (то есть, не способ для тестирования). Плюс, несложное числовое свойство алгоритма представленной формулы, допускает ее компьютерную реализацию.

В точности,  $c_1 + c_2 + c_3 + \dots + c_n = k$  – конкретное число Фибоначчи. Примеры:

$$C_{11}(x) = 1x^4 + 8x^3 + 21x^2 + 20x + 5,$$

$$C'_{11}(x) = \binom{1}{1}x^4 + \binom{8}{2}x^3 + \binom{21}{3}x^2 + \binom{20}{4}x + \binom{5}{5} = 1x^4 + 4x^3 + 7x^2 + 5x + 1.$$

$$C_{13}(x) = 1x^5 + 10x^4 + 36x^3 + 56x^2 + 35x + 6,$$

$$C'_{13}(x) = \binom{1}{1}x^5 + \binom{10}{2}x^4 + \binom{36}{3}x^3 + \binom{56}{4}x^2 + \binom{35}{5}x + \binom{6}{6} = 1x^5 + 5x^4 + 12x^3 + 14x^2 + 7x + 1.$$

Для краткого доказательства этого утверждения достаточно закрепить простые или составные числа в две очевидные формулы:  $qC'_q(x) = Y_q(x); Y_q(x) = \pm(2^{q-1} - 1)$ . Затем подвергнуть анализу степенную сумму в качестве системы. Полное доказательство не приводиться ввиду его громоздкости и фактической схожести с доказательством для следующего многочлена такого же типа:  $F''_q(x) - (14)$ .

#### Усеченный треугольник Паскаля и его дешифровка

Для нечетных чисел ( $q$ ) разложим по формуле Варинга степенную сумму от трех переменных такого вида:

$$S_q = x_1^q + x_2^q + x_3^q \equiv 0(\bmod \sigma_1) \quad (6)$$

$$\sigma_1 = x_1 + x_2 + x_3, \sigma_2 = x_1x_2 + x_1x_3 + x_2x_3, \sigma_3 = x_1x_2x_3.$$

$$S_9 = \dots - 9\sigma_2^3\sigma_3 + 3\sigma_3^3,$$

$$S_{11} = \dots + 11\sigma_2^4\sigma_3 - 11\sigma_2^2\sigma_3^3,$$

$$S_{13} = \dots - 13\sigma_2^5\sigma_3 + 13\sigma_2^2\sigma_3^3,$$

$$S_{15} = \dots + 15\sigma_2^6\sigma_3 - 50\sigma_2^3\sigma_3^3 + 3\sigma_3^5.$$

Правая часть последних уравнений позволяет создать таблицу числовых коэффициентов в абсолютных величинах (табл. 4 – G) и производную от нее таблицу (U). После расшифровки установим основные их арифметические свойства.

Таблица 4 – Фрагмент коэффициентов степенной суммы от трех переменных

$q$	$-U-$	$-G-$
9	24 + 3	9 + 3
11	35 + 14	11 + 11
13	48 + 40	13 + 26
15	63 + 90 + 3	15 + 50 + 3
17	80 + 175 + 20	17 + 85 + 17
19	99 + 308 + 77	19 + 133 + 57
21	120 + 504 + 224 + 3	21 + 196 + 147 + 3
23	143 + 780 + 546 + 26	23 + 276 + 322 + 23
25	168 + 1155 + 1176 + 126	25 + 375 + 630 + 100
27	195 + 1650 + 2310 + 450 + 3	27 + 495 + 1134 + 324 + 3
29	224 + 2288 + 4224 + 1320 + 32	29 + 638 + 1914 + 870 + 29
31	255 + 3094 + 7293 + 3366 + 187	31 + 806 + 3069 + 2046 + 155
33	.....	.....

Горизонтальные числа, исключая порядковые номера ( $q$ ), надлежит кодировать следующим способом (табл. 4):  $U_q(x) \equiv 0(\bmod q)$ ,  $G_q(x) \equiv 0(\bmod 2^{q-1} - 1)$ . Примеры:

$$U_{15}(x) = 63x^2 + 90x + 3 \equiv 0(\bmod 15), G_{15}(x) = 15x^2 + 50x + 3 \equiv 0(\bmod 2^{14} - 1).$$

Перечислим только бесспорные (стало быть – невозможно опровергнуть) числовые свойства указанных таблиц.

$$\text{Re } s(G_q; 4x - 27) \equiv 0(\bmod 2^{q-1} - 1) \quad (7)$$

Примеры:  $\text{Re } s(G_{15}; 4x - 27) \equiv 0(\bmod 2^{14} - 1)$ ,  $\text{Re } s(G_{105}; 4x - 27) \equiv 0(\bmod 2^{104} - 1)$ .

Система сравнений:  $U_q(x) \equiv 0(\bmod q)$ ;  $U_{2q-1}(x) \equiv 0(\bmod q)$ , равносильна для всех простых чисел ( $q$ ).

Система сравнений:  $U_q(x) \equiv 0(\bmod q)$ ;  $U_{q-2}(x) \equiv 0(\bmod q)$ ;  $\text{Dis}(U_q; U_{q-2}) \equiv 0(\bmod q)$ , равносильна для всех простых чисел ( $q$ ). Например:

$$U_{17}(x) = 80x^2 + 175x + 20 \equiv 0(\bmod 17 \times 19), \text{Dis}(U_{17}) \equiv 0(\bmod 17 \times 19), x \equiv 9(\bmod 17 \times 19).$$

Далее покажем, как степенную сумму (6) обнаружить и извлечь из треугольника Паскаля при установленном условии:  $(\sigma_2^3 + x\sigma_3^2) \equiv 0(\bmod 2^{q-1} - 1)$ , но с помощью формул (8).

Рассмотрим ряды чисел, заполняющие отдельные вертикали прямоугольного треугольника Паскаля (табл. 3 – С). Только теперь повторно выстраивается подобный числовой треугольник, но в котором отсутствуют все вертикальные числовые ряды под четными номерами, а каждая последующая числовая вертикаль поднимается вверх на одну позицию предыдущей порядковой горизонтали. В полученном усеченном треугольнике ( $F$ ) и производном от него треугольнике ( $E$ ), каждая фиксированная горизонталь обозначена порядковыми нечетными номерами ( $q$ ), (табл. 5). Из многих числовых свойств указанных таблиц выберем только несколько основных.

Предварительно зафиксируем два очевидных уравнения:

$$3E_q(x) - E_{q-2}(x) = G_q(x); E_q(x) - E_{q-2}(x) = F_q(x) \quad (8)$$

Таблица 5 – Усеченный треугольник Паскаля ( $F$ )

$q$	$-E-$	$-F-$
9	4 + 1	1 + 1
11	5 + 4	1 + 3
13	6 + 10	1 + 6
15	7 + 20 + 1	1 + 10 + 1
17	8 + 35 + 6	1 + 15 + 5
19	9 + 56 + 21	1 + 21 + 15
21	10 + 84 + 56 + 1	1 + 28 + 35 + 1
23	11 + 120 + 126 + 8	1 + 36 + 70 + 7
25	12 + 165 + 252 + 36	1 + 45 + 126 + 28
27	13 + 220 + 462 + 120 + 1	1 + 55 + 210 + 84 + 1
29	14 + 286 + 792 + 330 + 10	1 + 66 + 330 + 210 + 9
31	15 + 364 + 1287 + 792 + 55	1 + 78 + 495 + 462 + 45
33	16 + 455 + 2002 + 1716 + 220 + 1	1 + 91 + 715 + 924 + 165 + 1
35	17 + 560 + 3003 + 3432 + 715 + 12	1 + 105 + 1001 + 1716 + 495 + 11
37	18 + 680 + 4368 + 6435 + 2002 + 78	1 + 120 + 1365 + 3003 + 1287 + 66
39	.....	.....

Горизонтальные числа, исключая порядковые номера ( $q$ ), следует кодировать, в том числе и способом обратных арифметических прогрессий (1). Примеры:

$$E_{19}(x) = 9x^2 + 56x + 21 \equiv 0(\text{mod } 19); E'_{19}(x) = \binom{9}{1}x^2 + \binom{56}{2}x + \binom{21}{3} \equiv 0(\text{mod } 19);$$

$$F_{21}(x) = 1x^3 + 28x^2 + 35x + 1 \equiv 0(\text{mod } 21);$$

$$F''_{21}(x) = \binom{1}{1}x^3 + \binom{28}{3}x^2 + \binom{35}{5}x + \binom{1}{7} \equiv 0(\text{mod } 21).$$

Отметим только необходимые свойства таблиц ( $E$ ) и ( $F$ ), для чисел ( $q > 13$ ) – (табл. 5).

Система сравнений:  $E_q(x) \equiv 0(\text{mod } q); F_q(x) \equiv 0(\text{mod } q)$ , равносильна для всех простых чисел ( $q$ ). Примеры:

$$E_{19}(x) \equiv 0(\text{mod } 19); F_{19}(x) \equiv 0(\text{mod } 19); x \equiv 8, 9(\text{mod } 19).$$

Система сравнений:  $E'_q(x) \equiv 0(\text{mod } q); F'_q(x) \equiv 0(\text{mod } q); Dis(E'_q; F'_q) \equiv 0(\text{mod } q)$ , равносильна только тогда, когда ( $q$ ) – число простое. Примеры:

$$E'_{19}(x) = \binom{9}{1}x^2 + \binom{56}{2}x + \binom{21}{3} \equiv 0(\text{mod } 19); x_1 = x_2 \equiv 9(\text{mod } 19);$$

$$F'_{19}(x) = \binom{1}{1}x^2 + \binom{21}{2}x + \binom{15}{3} \equiv 0(\text{mod } 19); x_1 = x_2 \equiv 9(\text{mod } 19);$$

$$Dis(E'_{19}) \equiv 0(\text{mod } 19); Dis(F'_{19}) \equiv 0(\text{mod } 19).$$

Система сравнений:  $E_q(x) \equiv 0(\text{mod } q); E_{2q-1}(x) \equiv 0(\text{mod } q)$ , равносильна для всех простых чисел ( $q$ ). Примеры:

$$E_{17}(x) \equiv 0(\text{mod } 17), E_{33}(x) \equiv 0(\text{mod } 17), x \equiv 94(\text{mod } 17^2).$$

Дальше будут рассмотрены только арифметические свойства треугольника ( $F$ ).

Если число ( $q$ ) – составное, тогда при условии (7) и (11):

$$\text{Re } s(F''_q; 4x - 27) \equiv 0(\text{mod } 2^{q-1} - 1) \quad (9)$$

Если число ( $q$ ) – простое, тогда и лишь только ( $a = 3^{n+1}q$ ):

$$\text{Re } s(aF''_q; 4x - 27) \equiv 0(\text{mod } 2^{q-1} - 1) \quad (10)$$

Примеры:

$$F''_{33}(x) = \binom{1}{1}x^5 + \binom{91}{3}x^4 + \binom{715}{5}x^3 + \binom{924}{7}x^2 + \binom{165}{9}x + \binom{1}{11}; 4x - 27 \equiv 0(\text{mod } 2^{32} - 1).$$

$$(459)F''_{17}(x) = \binom{1}{1}x^2 + \binom{15}{3}x + \binom{5}{5} = 1x^2 + 5x + 1; 4x - 27 \equiv 0(\text{mod } 2^{16} - 1).$$

Для чисел ( $q > 13$ ) арифметическая система (6) и (8) эквивалентна при установленном условии:

$$(\sigma_2^3 + x\sigma_3^2) \equiv 0(\text{mod } q); qF''_q(x) = G_q(x) \quad (11)$$

Первый пример:

$$S_{33}(x) = \dots + 33x^5 + 1001x^4 + 4719x^3 + 4356x^2 + 615x + 3 \equiv 0(\text{mod } 33);$$

$$\binom{1}{1}x^5 + \binom{91}{3}x^4 + \binom{715}{5}x^3 + \binom{924}{7}x^2 + \binom{165}{9}x + \binom{1}{11} = F''_{33}(x); S_{33} = \dots + 33(F''_{33}).$$

Второй пример:

$$S_{37}(x) = \dots + 37(x^5 + 40x^4 + 273x^3 + 429x^2 + 143x + 6) \equiv 0(\text{mod } 37);$$

$$\binom{1}{37}S_{37}(x) = \dots + (x^5 + 40x^4 + 273x^3 + 429x^2 + 143x + 6);$$

$$\binom{1}{1}x^5 + \binom{120}{3}x^4 + \binom{1365}{5}x^3 + \binom{3003}{7}x^2 + \binom{1287}{9}x + \binom{66}{11} = F''_{37}(x); \binom{1}{37}S_{37} \equiv \dots + F''_{37};$$

Продолжение анализа числовых свойств треугольника ( $F$ ).

Если число ( $q$ ) – простое, тогда сравнение:  $F_q(x) \equiv 0(\text{mod } q)$ , имеет столько решений, какова его степень.

$$\text{Примеры: } F_{23}(x) \equiv 0(\text{mod } 23); x \equiv 2, 14, 17(\text{mod } 23);$$

Система сравнений:  $F_q(x) \equiv 0(\text{mod } q); F_{2q-1}(x) \equiv 0(\text{mod } q)$ , равносильна для всех простых чисел ( $q$ ). Примеры:

$$F_{17}(x) = x^2 + 15x + 5 \equiv 0(\text{mod } 17); x + 59 \equiv 0(\text{mod } 17^2);$$

$$F_{33}(x) = x^5 + 91x^4 + 715x^3 + 924x^2 + 165x + 1 \equiv 0(\text{mod } 17).$$

Система сравнений:

$$F_q(x) \equiv 0(\text{mod } q); F'_q(x) \equiv 0(\text{mod } q); \text{Dis}(F'_q) \equiv 0(\text{mod } q) \quad (12)$$

равносильна только тогда, когда число  $(q)$  – простое. Примеры:

$$F_{23}(x) = x^3 + 36x^2 + 70x + 7 \equiv 0(\text{mod } 23); x \equiv 2(\text{mod } 23);$$

$$F'_{23}(x) = \binom{1}{1}x^3 + \binom{36}{2}x^2 + \binom{70}{3}x + \binom{7}{4} \equiv 0(\text{mod } 23); \text{Dis}(F'_{23}) \equiv 0(\text{mod } 23).$$

Далее, система сравнений:

$$F_q(x) \equiv 0(\text{mod } h); F''_q(x) \equiv 0(\text{mod } h); \text{Dis}(F''_q) \equiv 0(\text{mod } h) \quad (13)$$

равносильна только тогда, когда числа  $(q)$  и  $(h)$  – взаимно простые. Примеры:

$$F_{19}(x) \equiv 0(\text{mod } 37); F''_{19}(x) \equiv 0(\text{mod } 37); \text{Dis}(F''_{19}) = 37; x \equiv 15(\text{mod } 37).$$

Числа Фибоначчи, первые изъятые в явной форме из треугольника Паскаля и считаются по этому, первой по счету числовой возвратной последовательностью [10, С. 11]. Воспроизведенные формулы Виета [11], по аналогии, предлагают второй по счету числовой ряд после чисел Фибоначчи, и который имеет возвратное уравнение:  $(U'_q = U'_{q-1} + U'_{q-3})$ . Далее, следует по счету третий ряд чисел:  $V'_q = 0, 1, 1, 1, 2, 2, 3, 4, 5, 7, \dots; (V'_q = V'_{q-2} + V'_{q-3})$ , который распадается на два числовых ряда – по четными и нечетными порядковыми номерами, и имеющие равные возвратные уравнения (табл. 5):

$$(E_k) = 0, 1, 2, 3, 5, \dots, (E_k = E_{k-1} + E_{k-2} + E_{k-4}),$$

$$(F_k) = 0, 1, 1, 1, 2, \dots, (F_k = F_{k-1} + F_{k-2} + F_{k-4}), (F_k = E_k - E_{k-1}).$$

Проверочное числовое сравнение для простых чисел:  $3(E_k) - E_{k-1} \equiv 0(\text{mod } q)$ . Числа  $(E_k)$  и  $(F_k)$  – сумма чисел лежащих на фиксированных горизонталях обозначенными номерами  $(q)$ . Пример:  $F_{19} = 1 + 21 + 15 = 37$ .

После исследования многочлена (5), приступаем к изучению следующего многочлена:

$$F''_q(x) = \binom{1}{1}f_1x^{n-1} + \binom{1}{3}f_2x^{n-2} + \binom{1}{5}f_3x^{n-3} + \dots + \binom{1}{2n-1}f_n; (f_1 = 1) \quad (14)$$

Этот многочлен имеет все целые числовые коэффициенты только тогда, когда  $(q)$  – число простое, (табл. 5 – F) или (табл. 7). Примеры:

$$F_{23}(x) = 1x^3 + 36x^2 + 70x + 7;$$

$$F''_{23}(x) = \binom{1}{1}x^3 + \binom{36}{3}x^2 + \binom{70}{5}x + \binom{7}{7} = 1x^3 + 12x^2 + 14x + 1.$$

$$F_{29}(x) = 1x^4 + 66x^3 + 330x^2 + 210x + 9;$$

$$F''_{29}(x) = \binom{1}{1}x^4 + \binom{66}{3}x^3 + \binom{330}{5}x^2 + \binom{210}{7}x + \binom{9}{9} = 1x^4 + 22x^3 + 66x^2 + 30x + 1.$$

Решающим доказательством данного утверждения, является положение (11), при котором система сравнений (9) и (10), не эквивалентна без установочного условия:  $(a = 3^{n+1}q)$ . Или в точности, многочлен:  $F''_q(x) \not\equiv 0(\text{mod } q)$ , если число  $(q)$  – простое (16). Подтвердим это еще и следующим положением. Системы сравнений (12) и (13) – не эквивалентны. Доказательство размещено в пятом разделе-параграфе.

#### Нахождение всех простых чисел с помощью формул (5) и (14)

Таблицы Паскаля служат, в том числе, и для создания заранее определенного алгоритма арифметически-логического устройства {АЛУ}, выполняющего арифметические и логические операции. Смотрим таблицу числовых сравнений, (табл. 3 – С). Эта таблица в полном формате на этом месте – (табл. 6).

Выбирается первый необязательный порядковый многочлен:

$$C_q(x) = c_1x^{n-1} + c_2x^{n-2} + c_3x^{n-3} + \dots + c_n;$$

Число  $(q)$  является порядковым номером многочлена. Число  $(n)$  равно количеству чисел  $(c_1 + c_2 + c_3 + \dots + c_n)$ , стоящих на фиксированных горизонталях. Например:

$$C_{17}(x) = 1x^7 + 14x^6 + 78x^5 + 220x^4 + 330x^3 + 252x^2 + 84x + 8;$$

Таблица 6 – Треугольник Паскаля (C)

№q	(C)
6	$1 + 3 + 1$
7	$1 + 4 + 3$
8	$1 + 5 + 6 + 1$
9	$1 + 6 + 10 + 4$
10	$1 + 7 + 15 + 10 + 1$
11	$1 + 8 + 21 + 20 + 5$
12	$1 + 9 + 28 + 35 + 15 + 1$
13	$1 + 10 + 36 + 56 + 35 + 6$
14	$1 + 11 + 45 + 84 + 70 + 21 + 1$
15	$1 + 12 + 55 + 120 + 126 + 56 + 7$
16	$1 + 13 + 66 + 165 + 210 + 126 + 28 + 1$
17	$1 + 14 + 78 + 220 + 330 + 252 + 84 + 8$
18	$1 + 15 + 91 + 286 + 495 + 462 + 210 + 36 + 1$
19	$1 + 16 + 105 + 364 + 715 + 792 + 462 + 120 + 9$
20	$1 + 17 + 120 + 455 + 1001 + 1287 + 924 + 330 + 45 + 1$
21	$1 + 18 + 136 + 560 + 1365 + 2002 + 1716 + 792 + 165 + 10$
22	$1 + 19 + 153 + 680 + 1820 + 3003 + 3003 + 1716 + 495 + 55 + 1$
23	$1 + 20 + 171 + 816 + 2380 + 4368 + 5005 + 3432 + 1287 + 220 + 11$
24	.....

Создается второй многочлен (5) – дискриминантный, (табл. 6):

$$C'_q(x) = \binom{1}{1}c_1x^{n-1} + \binom{1}{2}c_2x^{n-2} + \binom{1}{3}c_3x^{n-3} + \dots + \binom{1}{n}c_n;$$

Этот многочлен имеет все целые числовые коэффициенты только тогда, когда  $(q)$  – число простое. Например:

$$\begin{aligned} C'_{17}(x) &= \binom{1}{1}x^7 + \binom{14}{2}x^6 + \binom{78}{3}x^5 + \binom{220}{4}x^4 + \binom{330}{5}x^3 + \binom{252}{6}x^2 + \binom{84}{7}x + \binom{8}{8} = \\ &= 1x^7 + 7x^6 + 26x^5 + 55x^4 + 66x^3 + 42x^2 + 12x + 1; \end{aligned}$$

Далее, смотрим усеченный треугольник Паскаля (табл. 5 – F). Эта таблица в полном формате на этом месте (табл. 7).

Выбирается первый необязательный порядковый многочлен:

$$F_q(x) = f_1x^{n-1} + f_2x^{n-2} + f_3x^{n-3} + \dots + f_n;$$

Число  $(q)$  является порядковым номером многочлена.

Число  $(n)$  равно количеству чисел  $(f_1 + f_2 + f_3 + \dots + f_n)$ , стоящих на фиксированных горизонталях.

Например:  $F_{37}(x) = 1x^5 + 120x^4 + 1365x^3 + 3003x^2 + 1287x + 66;$

Таблица 7 – Арифметический треугольник (F)

№q	(F)
15	1 + 10 + 1
17	1 + 15 + 5
19	1 + 21 + 15
21	1 + 28 + 35 + 1
23	1 + 36 + 70 + 7
25	1 + 45 + 126 + 28
27	1 + 55 + 210 + 84 + 1
29	1 + 66 + 330 + 210 + 9
31	1 + 78 + 495 + 462 + 45
33	1 + 91 + 715 + 924 + 165 + 1
35	1 + 105 + 1001 + 1716 + 495 + 11
37	1 + 120 + 1365 + 3003 + 1287 + 66
39	1 + 136 + 1820 + 5005 + 3003 + 286 + 1
41	1 + 153 + 2380 + 8008 + 6435 + 1001 + 13
43	1 + 171 + 3060 + 12376 + 12870 + 3003 + 91
45	1 + 190 + 3876 + 18564 + 24310 + 8008 + 455 + 1
47	1 + 210 + 4845 + 27132 + 43758 + 19448 + 1820 + 15
49	1 + 231 + 5985 + 38760 + 75582 + 43758 + 6188 + 120
51	1 + 253 + 7315 + 54264 + 125970 + 92378 + 18564 + 680 + 1
53	1 + 276 + 8855 + 74613 + 203490 + 184756 + 50388 + 3060 + 17
55	.....

Создается второй многочлен (14) – дискриминантный, (табл. 7):

$$F_q''(x) = \binom{1}{1} f_1 x^{n-1} + \binom{1}{3} f_2 x^{n-2} + \binom{1}{5} f_3 x^{n-3} + \dots + \binom{1}{2n-1} f_n;$$

Этот многочлен имеет все целые числовые коэффициенты только тогда, когда (q) – число простое. Например:

$$\begin{aligned} F_{37}''(x) &= \binom{1}{1} x^5 + \binom{120}{3} x^4 + \binom{1365}{5} x^3 + \binom{3003}{7} x^2 + \binom{1287}{9} x + \binom{66}{11} = \\ &= 1x^5 + 40x^4 + 273x^3 + 429x^2 + 143x + 6; \end{aligned}$$

Этот результат является следствием доказанного утверждения:  $F_q''(x) \not\equiv 0 \pmod{q}$ , если (q) – простое число, (13) и (16). Это положение, по-другому подтверждается и так. Арифметический треугольник (F) допускает только два не тривиальных решения (9) и (10).

##### 5. Как доказываются числовые свойства арифметических треугольников

Предлагается степенная сумма (6), которая разлагается по формуле Варинга на элементарные многочлены и образует систему с возвратным уравнением (в общем виде – числовым сравнением):

$$(\sigma_2^3 + x\sigma_3^2) \equiv 0 \pmod{q} \quad (15)$$

С помощью биномиальных коэффициентов Ньютона и многоугольных чисел треугольника Паскаля (табл. 1), устанавливаются очевидные уравнения и сравнения (табл. 5):

$$\begin{aligned} E_q(x) - E_{q-2}(x) &= F_q(x), \\ 3E_q(x) - E_{q-2}(x) &= G_q(x) \leftarrow \dots \wedge S_q, \\ (4\sigma_2^3 + 27\sigma_3^2) &\equiv 0 \pmod{2^{q-1} - 1}, \end{aligned}$$

Вслед за этим открываем сущность, специально предназначенного метода «от противного», при котором «доказывание» некоторого свойства треугольника Паскаля – суждения (тезиса доказательства), осуществляется через опровержение отрицания этого суждения — антитезиса. Этот способ доказательства основывается на истинности закона двойного отрицания в классической логике.

Например, подробно исследуем следующее положение.

Предположим, что для какого-то многочлена (9) или (14), имеется конкретное числовое сравнение:  $F_q''(x) \equiv 0 \pmod{q}$ , число (q) – простое.

Вследствие этого системы сравнений (12) и (13), станут эквивалентными.

Или в точности (1):

$$F_q(x) \equiv 0(\text{mod } q),$$

$$F'_q(x) \equiv 0(\text{mod } q); \text{Dis}(F'_q) \equiv 0(\text{mod } q),$$

$$F''_q(x) \equiv 0(\text{mod } q); \text{Dis}(F''_q) \equiv 0(\text{mod } q).$$

В этом случае, после несложных вычислений, извлекается утверждение:  $\text{Dis}(F_q) \equiv 0(\text{mod } q)$ , но которое невозможно. В самом деле, тогда будут иметь место последующие арифметические действия:

$$E_q(x) - E_{q-2}(x) = F_q(x), \text{ — } \text{Dis}(F_q) \equiv 0(\text{mod } q);$$

$$3E_q(x) - E_{q-2}(x) = \dots \wedge S_q(x), (15) \text{ — } \text{Dis}(\wedge S_q) \equiv 0(\text{mod } q);$$

$$\text{Dis}(E_q) \equiv 0(\text{mod } q).$$

Вследствие чего, станут по – тройне равносильны все последующие системы сравнений:

$$E'_q(x) \equiv 0(\text{mod } q), E''_q(x) \equiv 0(\text{mod } q), \text{Dis}(E'_q; E''_q) \equiv 0(\text{mod } q).$$

$$E'''_q(x) \equiv 0(\text{mod } q), \bar{E}_q(x) \equiv 0(\text{mod } q), \text{Dis}(E'''_q; \bar{E}_q) \equiv 0(\text{mod } q).$$

Чего быть не может, так как противоречит всем заявленным условиям, в том числе и установкам (15) и (17). Следовательно, если число  $(q)$  – простое, тогда многочлен:

$$F''_q(x) \not\equiv 0(\text{mod } q) \quad (16)$$

Таким образом, главное арифметическое свойство треугольника  $(F)$  для нахождения всех простых чисел — доказано, (табл. 7).

Разъяснение:

$$E'''_q(x) = \binom{1}{1} a_1 x^{n-1} + \binom{1}{4} a_2 x^{n-2} + \binom{1}{7} a_3 x^{n-3} + \dots + \binom{1}{3n-2} a_n;$$

$\bar{E}_q(x)$  — каждый многочлен выше обозначенного типа:

$$\bar{E}_q(x) = \binom{1}{1} a_1 x^{n-1} + \binom{1}{k} a_2 x^{n-2} + \binom{1}{k+(k-1)} a_3 x^{n-3} + \dots + \binom{1}{(k-1)n-(k-2)} a_n;$$

$(k)$  – второй числовой элемент обратной арифметической прогрессии, в которой каждый следующий элемент равен предыдущему, увеличенному на фиксированное для прогрессии число  $(k-1)$ , [12].

Вновь предположим, что для какого-то многочлена (12) имеется конкретное числовое сравнение:  $F'_q(x) \equiv 0(\text{mod } q)$ , число  $(q)$  является составным. Тогда системы сравнений (12) и (13), снова станут равносильными, что опровергнуто выше показанным доказательством. Стало быть, системы сравнений (12) и (13) не эквивалентные.

Осталось отметить, что возвратное арифметическое сравнение степенной суммы от двух переменных:  $(\sigma_1^2 + x\sigma_2) \equiv 0(\text{mod } 2^{q-1} - 1)$ , и степенной суммы от трех переменных:

$$(\sigma_2^3 + x\sigma_3^2) \equiv 0(\text{mod } 2^{q-1} - 1) \quad (17)$$

— имеют особый статус. Они взяты в зашифрованном виде из таблиц (табл. 2) и (табл. 4), поэтому бесспорны по определению.

Примечание:

Заметим, что положение (6), легко конвертируется в другое доказанное утверждение —

$x^n + y^n - z^n \equiv 0(\text{mod } 2^{l-1} - 1) \equiv 0(\text{mod } l^2)$ . При этом показатели  $(n=l)$  должны удовлетворять неким условиям [13, С. 20–21].

**Заключение**

Краткое арифметическое определение дискриминанта кубического трехчлена известно – два вещественных корня такого многочлена равны (сравнимы). Неизвестно понятие дискриминанта степенной суммы от трех переменных [14]. Отчего, впервые были предоставлены только числовые выкладки их конкретного измерения. Следом за этим отметим, что полученные арифметические треугольники оказались усеченными то и порядковые числа рассматривались, например  $(q > 13)$ , для нахождения соответствующих числовых дискриминантов.

Таблицы степенных сумм от четырех переменных составляются так. Все вертикальные числовые ряды последовательно делятся на три части и группируются следующим образом (табл. 3). В первую группу входят первый, четвертый, седьмой и так далее по счету вертикальные ряды чисел. Во вторую группу входят второй, пятый, восьмой и так далее по счету вертикальные ряды чисел. В третью группу входят третий, шестой, девятый и так далее по счету вертикальные ряды чисел. Для составления одной сводной таблицы, каждая последующая числовая вертикаль поднимается вверх на две позиции предыдущей порядковой горизонтали.



**Конфликт интересов**

Не указан.

**Conflict of Interest**

None declared.

**Список литературы / References**

1. Воронин С.М. Простые числа / С.М. Воронин. – М.: Знание, 1978. – 96 с.
2. Прасолов В.В. Многочлены / В.В. Прасолов. – М.: МЦНМО, 2001. – 336 с.
3. Батхин А.Б. Вычисление обобщённого дискриминанта вещественного многочлена / А.Б. Батхин. // Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша. – 2017. – Т. 1, № 88.
4. Калинина Е.А. Теория исключения / Е.А. Калинина, Ю.А. Утешев. – СПбГУ: НИИ химии, 2002. – 72 с.
5. Гельфонд А.О. Решение уравнений в целых числах / А.О. Гельфонд. – М.: Наука, 1978. – 63 с.
6. Маркушевич А.И. Возвратные последовательности / А.И. Маркушевич. – М.: Наука, 1983. – 49 с.
7. Успенский В.А. Треугольник Паскаля / В.А. Успенский. – М.: Наука, 1979. – 47 с.
8. Воробьев Н.Н. Числа Фибоначчи / Н.Н. Воробьев. – М.: Наука, 1992. – 190 с.
9. Болтянский В.Г. Симметрия в алгебре / В.Г. Болтянский, Н.Я. Виленкин. – М.: МЦНМО, 2002. – 240 с.
10. Щербань В.Л. Сверхбыстрое нахождение всех простых чисел: формула [Электронный ресурс] / В.Л. Щербань // Бюллетень науки и практики. – 2017. – № 9 (22). – С. 8-13. – URL: <http://www.bulletennauki.com/levchenko> (дата обращения 10.01.2020).
11. Винберг Э.Б. Алгебра многочленов / Э.Б. Винберг. – М.: Просвещение, 1980. – 110 с.
12. Выгодский М.Я. Справочник по элементарной математике / М.Я. Выгодский. – М.: Гостехиздат, 1954. – 412 с.
13. Постников М.М. Введение в теорию алгебраических чисел / М.М. Постников. – М.: Наука, 1982. – 239 с.
14. Александрова П.С. Энциклопедия элементарной математики / П.С. Александрова, А.И. Маркушевич, А.Я. Хинчин. – М.-Л.: ГТТИ, 1951. – 448 с.

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

1. Voronin S.M. Prostye chisla [The Prime numbers] / S.M. Voronin. – M.: Znanie, 1978. – 96 p. [in Russian]
2. Prasolov V.V. Mnogochleny [Polynomials] / V.V. Prasolov. – M.: MCNMO, 2001. – 336 p. [in Russian]
3. Bathin A.B. Vychislenie obobshchyonno diskriminanta veshchestvennogo mnogochlena [Calculating the generalized discriminant of a real polynomial] / A.B. Bathin., – M.: Preprinty IPM im. M. V. Keldysha, 2017. no. 88, 40 p. [in Russian]
4. Kalinina E.A. Teoriya isklyucheniya [Exclusion theory] / E.A. Kalinina, A.Yu. Uteshev. – Petersburg: Institute of chemistry., 2002. – 72 p. [in Russian]
5. Gel'fond A.O. Reshenie uravnenij v celyh chislakh [The solution of equations in integers] / A.O. Gel'fond. – M.: Nauka, 1978. – 63 p. [in Russian]
6. Markushevich A.I. Vozvratnye posledovatel'nosti [Recurring sequence] / A.I. Markushevich. – M.: Nauka, 1983. – 49 p. [in Russian]
7. Uspenskij V.A. Treugol'nik Paskalya [Pascal triangle] / V.A. Uspenskij. – M.: Nauka, 1979. – 47 p. [in Russian]
8. Vorob'ev N.N. Chisla Fibonachchi [Fibonacci number] / N.N. Vorob'ev. – M.: Nauka, 1992. – 190 p. [in Russian]
9. Boltyanskij V.G. Simmetriya v algebra [Symmetry in algebra] / V.G. Boltyanskij, N.Ya. Vilenkin. – M.: MCNMO, 2002. – 240 p. [in Russian]
10. Shcherban V.L. Sverhbystroie nahozhdenie vseh prostyh chisel: formula [Super-fast finding of all Prime numbers], [Electronic resource] / V.L. Shcherban // Bulletin of Science and Practice. – 2017. – N9 (22). – P. 8-13. – URL: <http://www.bulletennauki.com/levchenko> (accessed: 10.01.2020). [in Russian]
11. Vinberg E.B. Algebra mnogochlenov [Algebra of polynomials] / E.B. Vinberg. – M: Prosveshchenie, 1980. – 110 p. [in Russian]
12. Vygodskij M.Ya. Spravochnik po elementarnoj matematike [Handbook of elementary mathematics] / M.Ya. Vygodskij. – M.: Gostekhizdat, 1954. – 412 p. [in Russian]
13. Postnikov M.M. Vvedenie v teoriyu algebraicheskikh chisel [Introduction to the theory of algebraic numbers] / M.M. Postnikov. – M.: Nauka, 1982. – 239 p. [in Russian]
14. Aleksandrova P.S. Enciklopediya elementarnoj matematiki [Encyclopedia of elementary mathematics] / P.S. Aleksandrova, A.I. Markushevich, A.Ya. Hinchin. – M.-L.: GTTI, 1951. – 448 p. [in Russian]

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.97.7.004>СИСТЕМА ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ РЕФРИЖЕРАТОРНОГО КОНТЕЙНЕРА  
НА ОСНОВЕ ВЕТРОГЕНЕРАТОРОВ И СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ

Научная статья

Балалаев А.Н.<sup>1, \*</sup>, Коркина С.В.<sup>2</sup>, Плохов Е.М.<sup>3</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0003-0839-6858;<sup>1, 2, 3</sup> Самарский университет путей сообщения, Самара

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

## Аннотация

Предложена система энергоснабжения рефрижераторного контейнера на основе ветрогенераторов и солнечных батарей. Отличительные особенности новой системы энергоснабжения заключаются в размещении воздуховода с двумя ветровыми турбинами на крыше корпуса контейнера, а солнечные панели – на верхней стенке воздуховода. Описана 3-D модель воздуховода, позволяющего подводить набегающий поток воздуха к двум ветровым турбинам, одна из которых в определенном направлении движения контейнера является центростремительной, а другая – центробежной, а при смене направления движения тип ветровых турбин меняется на противоположный. Выполнен расчет мощности турбин в зависимости от скорости движения контейнера. Проведена оценка энергетической эффективности новой системы энергоснабжения рефрижераторного контейнера.

**Ключевые слова:** рефрижераторный контейнер, система энергоснабжения, ветрогенератор, ветровая турбина, солнечная панель.

ENERGY SUPPLY SYSTEM FOR A REFRIGERATED CONTAINER  
BASED ON WIND GENERATORS AND SOLAR PANELS

Research article

Balalaev A.N.<sup>1, \*</sup>, Korkina S.V.<sup>2</sup>, Plohov E.M.<sup>3</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0003-0839-6858;<sup>1, 2, 3</sup> Samara University of railway transport, Samara

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

## Abstract

A system of energy supply for a refrigerator container based on wind generators and solar panels is proposed. The distinctive features of the new power supply system are the placement of an air duct with two wind turbines on the roof of the container body, and solar panels on the upper wall of the air duct. Described 3-D model of the duct to take stock of the incoming flow of air to the two wind turbines, one of which in a direction of movement of the container is centripetal and the other centrifugal, and the change in the direction of type wind turbine is reversed. The turbine power is calculated depending on the speed of the container movement. The energy efficiency of the new energy supply system for the refrigerator container was evaluated.

**Keywords:** refrigerator container, power supply system, wind generator, wind turbine, solar panel.

## Введение

Современные рефрижераторные контейнеры российского производства не имеют автономной системы энергоснабжения. Для 20-футового контейнера потребляемая электрическая мощность составляет от 2 до 3,5 кВт в зависимости от функционального назначения, род электрического тока – переменный напряжением 380 В, частотой 50 Гц [1]. При перевозке железнодорожным транспортом снабжение электроэнергией рефрижераторных контейнеров может осуществляться от вагона-электростанции или от подвагонного генератора с приводом от колесной пары [2, С. 24]. Однако при перегрузке контейнера и перевозке другими видами транспорта происходит отключение внешней системы энергоснабжения, поэтому более предпочтительной является автономная система энергоснабжения на основе возобновляемых источников энергии.

В последнее время активно разрабатываются новые схемы электроснабжения наземных транспортных средств с использованием таких источников энергии, как энергия набегающего воздушного потока и солнечная энергия. Так в работе [3, С. 35] предложено использовать ветрогенераторы для зарядки аккумуляторных батарей пассажирского вагона. В работе [4, С. 271] исследовалась возможность использования солнечных панелей для транспортных средств на железных дорогах Пакистана. Наиболее перспективным направлением использования возобновляемых источников энергии является комбинированное применение ветрогенераторов и солнечных батарей в одной системе энергоснабжения [5], [6].

В [7] предложена автономная система энергоснабжения, состоящая из двух ветрогенераторов, размещенных в воздуховоде, установленном на крыше транспортного средства, и нескольких солнечных панелей, размещенных на верхней стенке воздуховода. Ветрогенераторы состоят из центробежных или центростремительных ветровых турбин и вентильно-индукторных генераторов [8].

Предложенная в [7] система энергоснабжения способна заряжать аккумуляторную батарею транспортного средства, которая через инвертор может питать потребителей трехфазного переменного тока.

Таким образом, вопросы использования возобновляемых источников энергии на наземном транспорте, в частности, на рефрижераторных контейнерах продолжают оставаться актуальными.

Целью данной работы является оценка энергетической эффективности системы энергоснабжения рефрижераторного контейнера, включающей ветрогенераторы и солнечную батарею.

### Методы и принципы исследования

Для достижения цели данной работы были поставлены задачи расчета механической мощности ветровых турбин в зависимости от скорости движения контейнера, находящегося на железнодорожном вагоне, и оценки суммарной электрической мощности двух ветрогенераторов и нескольких солнечных панелей.

Для определения механической мощности ветровых турбин использовалась методика, подробно изложенная в [9, С. 40-45]. Чтобы пользоваться данной методикой, необходимо рассчитать потери располагаемого напора набегающего потока воздуха в подводящих и отводящих патрубках воздуховода. Для этого было проведено 3-D моделирование воздуховода, размещенного на крыше корпуса 20-футового рефрижераторного контейнера, и определены размеры подводящих и отводящих патрубков воздуховода. Коэффициенты потерь давления рассчитывались с использованием формулы Дарси, рекомендованной в работе [10]. Так как солнечные панели должны размещаться на верхней стенке воздуховода, то 3-D модель воздуховода позволяет определять максимально возможное число солнечных панелей заданного типоразмера.

Таким образом, в статье используются аналитический метод и метод 3-D моделирования.

На рисунке 1 представлена 3-D модель воздуховода с размерами подводящих и отводящих патрубков и двумя ветровыми турбинами.

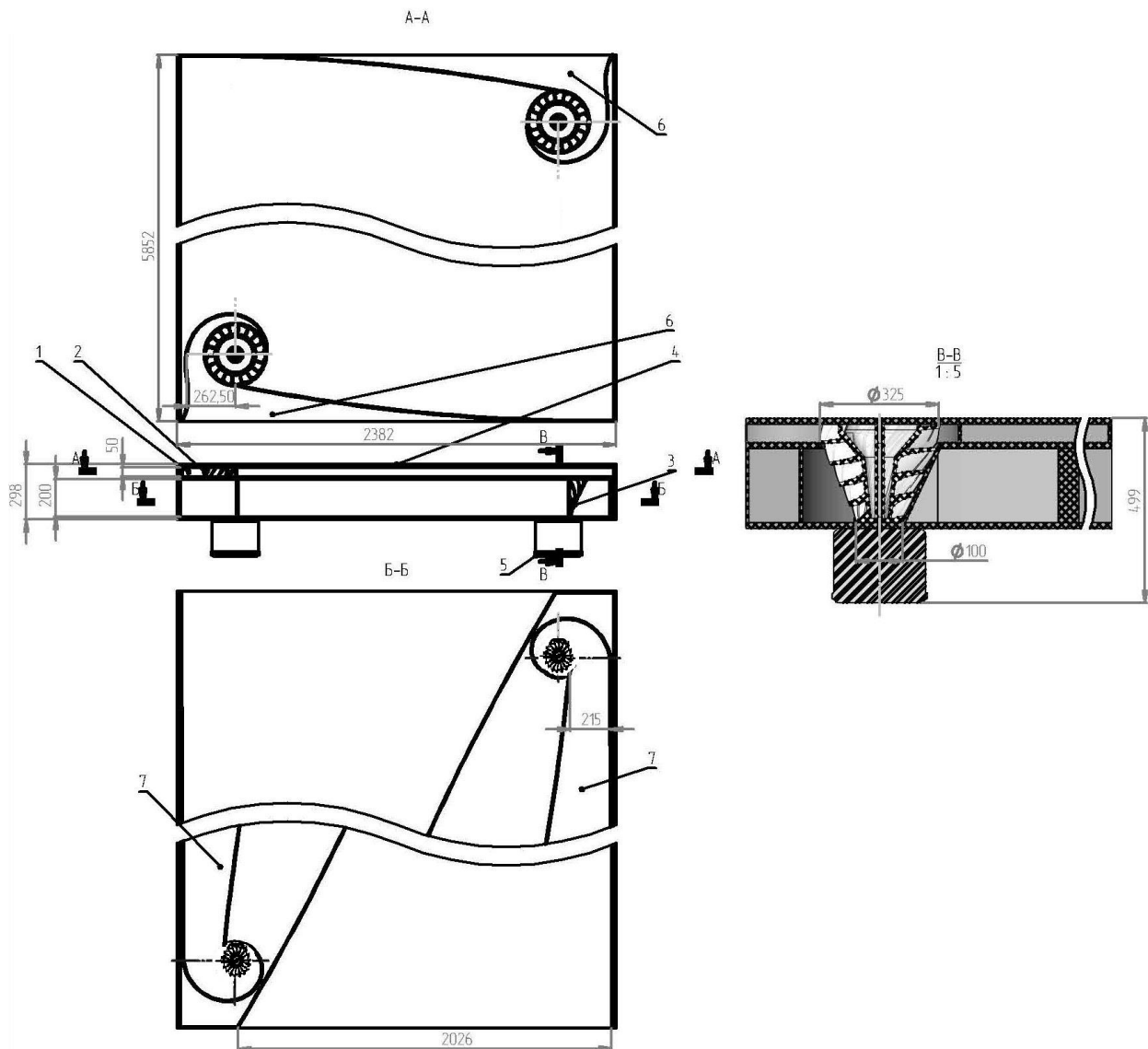


Рис. 1 – 3-D модель воздуховода с двумя ветровыми турбинами:

- 1 – кожух воздуховода; 2 – центростремительная ветровая турбина; 3 – центробежная ветровая турбина;  
4 – верхняя стенка воздуховода; 5 – электрогенератор; 6 – короткий патрубок, 7 – длинный патрубок

Как видно на рисунке 1, две ветровые турбины размещены по диагонали воздуховода, причем, при заданной направлении движения поезда вход набегающего потока воздуха по короткому патрубку осуществляется в центростремительную турбину, а выход воздуха из этой турбины происходит в длинный патрубок, вход набегающего потока воздуха по длинному патрубку осуществляется в центробежную турбину, а выход воздуха из этой турбины происходит в короткий патрубок. При смене направления движения железнодорожного состава, перевозящего контейнеры, меняется направление вращения турбин, и та турбина, которая раньше была центростремительной, становится центробежной и наоборот. Конструктивно турбины одинаковы и отличаются только местами подвода и отвода воздушного потока, как показано на рисунке 2.

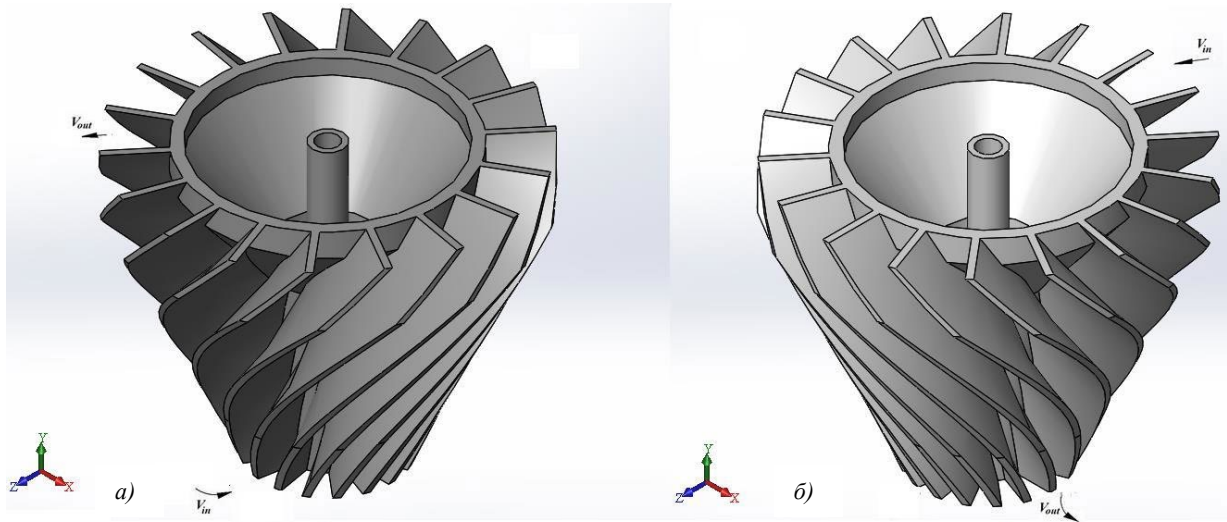


Рис. 2 – Направление движения воздушного потока: а) центробежной турбины и б) центростремительной турбины

Расчёт ветровой турбины заключается в следующем.

Сначала задается максимальный и минимальный диаметры ветрового колеса:  $D_{max} = 0.325$  м;  $D_{min} = 0.1$  м.

Задается значение скорости движения поезда из диапазона  $V_0 = 50 \dots 90$  км/час. При этом скорость набегающего потока воздуха принимает значения:  $v_0 = 13,9 \dots 25$  м/с. Для  $V_0 = 70$  км/час  $v_0 = 19,4$  м/с.

Полное давление воздушного потока на входе в воздухопроводы находится по формуле:

$$P_{pol} = P_h + \rho_0 \cdot \frac{v_0^2}{2} \quad (1)$$

где  $P_h = 101500$  Па – атмосферное давление;  $\rho_0 = 1,207$  кг/м<sup>3</sup> – плотность атмосферного воздуха. Согласно расчетам,  $P_{pol} = 101728$  Па.

Сначала производится расчет центростремительной турбины, на вход которой набегающий поток воздуха поступает через короткий патрубок.

Производится расчёт потерь давления воздуха в коротком патрубке.

Площадь входа в короткий патрубок при ширине  $b_{1max} = 2,382$  м и высоте  $h_{1max} = 0,05$  м составляет  $F_{1max} = b_{1max} \cdot h_{1max} = 2,382 \cdot 0,05 = 0,119$  м<sup>2</sup>.

Площадь короткого патрубка в сечении входа воздуха в ветровую турбину при ширине  $b_{1min} = 0,263$  м и высоте  $h_{1min} = 0,05$  м составляет  $F_{1min} = b_{1min} \cdot h_{1min} = 0,263 \cdot 0,05 = 0,013$  м<sup>2</sup>.

Коэффициент потерь давления воздуха при сужении короткого патрубка находится по известной формуле:

$$\xi_{11} = 0,5 \cdot \left( 1 - \frac{F_{1min}}{F_{1max}} \right) \quad (2)$$

согласно расчетам,  $\xi_{11} = 0.445$ .

Задается начальное значение коэффициента расхода воздушного потока, который представляет собой отношение действительного расхода воздушного потока к теоретическому расходу. Его значение принимается  $\alpha = 0,155$ .

Скорость потока воздуха на входе в короткий патрубок находится по произведению скорости набегающего потока воздуха на коэффициент расхода. Таким образом, скорость потока воздуха на входе в короткий патрубок равна  $v_{00} = v_0 \cdot \alpha = 19,4 \cdot 0,155 = 3,01$  м/с.

Скорость потока воздуха на выходе из короткого патрубка находится из уравнения сохранения расхода без учета сжимаемости газа

$$v_{01} = v_{00} \cdot \frac{F_{1max}}{F_{1min}} \quad (3)$$

согласно расчетам,  $v_{01} = 27,35$  м/с.

Число Рейнольдса потока воздуха в коротком патрубке находится по известной формуле, в которой гидравлический диаметр выражен через отношение площади к периметру, а за характерную скорость принята максимальная скорость воздушного потока в воздуховоде

$$Re_1 = \frac{2 \cdot v_{01} \cdot F_{1min}}{\mu \cdot (b_{1min} + h_{1min})} \quad (4)$$

где  $\mu = 15,06 \cdot 10^{-6}$  – динамическая вязкость воздуха  $\text{м}^2/\text{с}$ . Согласно расчетам,  $Re_1 = 1,525 \cdot 10^5$ . Коэффициент потерь давления в коротком патрубке находится по формуле Дарси [10, с. 60]:

$$\xi_{12} = \left(0,2579 \cdot Re_1^{-0,231}\right) \cdot \frac{L_1 \cdot (b_{1min} + h_{1min})}{2 \cdot F_{1min}} \quad (5)$$

где  $L_1 = 0,25$  м – длина короткого патрубка. Согласно расчетам,  $\xi_{12} = 0,049$ . Потери давления воздуха в коротком патрубке находятся по формуле:

$$\Delta P_{1in} = \xi_{11} \cdot \rho_0 \cdot \frac{[0,5 \cdot (v_{00} + v_{01})]^2}{2} + \xi_{12} \cdot \rho_0 \cdot \frac{v_{01}^2}{2} \quad (6)$$

согласно расчетам,  $\Delta P_{1in} = 83,9$  Па.

Аналогично производится расчёт потерь давления воздуха в длинном патрубке.

Площадь входа потока воздуха в длинный патрубок со стороны центростремительной ветровой турбины при ширине  $b_{2min} = 0,215$  м и высоте  $h_{2min} = 0,2$  м составляет  $F_{2min} = b_{2min} \cdot h_{2min} = 0,215 \cdot 0,2 = 0,043$   $\text{м}^2$ .

Площадь длинного патрубка в сечении выхода воздуха из воздуховода при ширине  $b_{2max} = 2,026$  м и высоте  $h_{2max} = 0,2$  м составляет  $F_{2max} = b_{2max} \cdot h_{2max} = 2,026 \cdot 0,2 = 0,405$   $\text{м}^2$ .

Коэффициент потерь давления воздуха при расширении длинного патрубка находится по известной формуле Борда:

$$\xi_{21} = \left(1 - \frac{F_{2min}}{F_{2max}}\right)^2 \quad (7)$$

согласно расчетам,  $\xi_{21} = 0,799$ .

Скорость потока воздуха на входе в длинный патрубок находится из уравнения постоянства расхода без учета сжимаемости воздуха:

$$v_1 = v_{00} \cdot \frac{F_{1max}}{F_{2min}} \quad (8)$$

согласно расчетам,  $v_1 = 8,35$  м/с.

Число Рейнольдса потока воздуха в длинном патрубке определяется по формуле, аналогичной (4), по максимальной скорости в воздуховоде

$$Re_2 = \frac{2 \cdot v_1 \cdot F_{2min}}{\mu \cdot (b_{2min} + h_{2min})} \quad (9)$$

согласно расчетам,  $Re_2 = 1,149 \cdot 10^5$ .

Коэффициент потерь давления воздушного потока в длинном патрубке определяется по формуле Дарси в редакции Горшкова-Кантакузена, аналогичной формуле (5),

$$\xi_{22} = \left(0,2579 \cdot Re_2^{-0,231}\right) \cdot \frac{L_2 \cdot (b_{2min} + h_{2min})}{2 \cdot F_{2min}} \quad (10)$$

где  $L_2 = 5,5$  м – длина длинного патрубка. Согласно расчетам,  $\xi_{22} = 0,464$ .

Скорость потока воздуха на выходе из длинного патрубка находится из уравнения постоянства расхода без учета сжимаемости воздуха:

$$v_2 = v_{00} \cdot \frac{F_{1max}}{F_{2max}} \quad (11)$$

согласно расчетам,  $v_2 = 0,886$  м/с.

Потери давления в длинном патрубке находятся по формуле:

$$\Delta P_{1out} = \xi_{21} \cdot \rho_0 \cdot \frac{[0,5 \cdot (v_1 + v_2)]^2}{2} + \xi_{22} \cdot \rho_0 \cdot \frac{v_1^2}{2} \quad (12)$$

согласно расчетам,  $\Delta P_{1out} = 29,79$  Па.

На воздушной турбине поток воздуха делает один оборот на 360 градусов, поэтому коэффициент потерь давления на турбине можно принять равным  $\xi_3 = 0,6$ , так как при плавном повороте воздушного потока на 90 градусов рекомендуется значение коэффициента потерь давления 0,15.

Перепад давления на воздушной турбине можно определить по значению скорости воздушного потока, равному среднеарифметическому значению между скоростью выходящего потока из короткого патрубка и скоростью входящего потока в длинный патрубок

$$\Delta P_1 = \xi_3 \cdot \rho_0 \cdot \frac{[0,5 \cdot (v_1 + v_{01})]^2}{2} \quad (13)$$

согласно расчетам,  $\Delta P_1 = 115,35$  Па.

Значение коэффициента расхода воздушного потока  $\alpha$  корректируется до обеспечения с заданной точностью следующего тождества

$$P_{pol} - P_h = \Delta P_1 + \Delta P_{1in} + \Delta P_{1out} \quad (14)$$

Угловая скорость вращения центробежной турбины определяется по рекомендациям работы [9, с. 40-45]:

$$\omega = \frac{\sqrt{\frac{\Delta P_1}{\rho_0}}}{0,25 \cdot (D_{max} + D_{min})} \quad (15)$$

согласно расчетам,  $\omega = 91,84$  об/с.

Высота ротора центробежной турбины составляет  $Hr = 0,25$  м.

Хорда одной лопасти турбины, согласно [9, с. 40-45], находится как:

$$b = \frac{Hr}{\sin \left[ (45 - 8) \cdot \frac{\pi}{180} \right]} \quad (16)$$

согласно расчетам,  $b = 0,415$  м.

Для коэффициентов подъемной силы задаются следующие значения:  $C_y = 1.21$ ;  $C_x = 0.55$ . Данные значения зависят от выбранного угла наклона лопастей – 8 градусов.

Средний шаг лопасти равен  $T_s = b \cdot 0.09 = 0,415 \cdot 0.09 = 0,037$  м.

Число лопастей турбины находится, согласно [9, с. 40-45] как:

$$n_s = \frac{\pi \cdot (D_{max} + D_{min})}{2 \cdot T_s} \quad (17)$$

согласно расчетам,  $n_s = 17,85$ . После округления до целого  $n_s = 18$ .

Площадь одной лопасти турбины равна:

$$S_s = 0,25 \cdot b \cdot (D_{max} + D_{min}) \quad (18)$$

согласно расчетам,  $S_s = 0,044$  м<sup>2</sup>.

Аэродинамическая сила, действующая на лопасти турбины [9, с. 40-45]:

$$R_s = 0,5 \cdot \Delta P_1 \cdot S_s \cdot n_s \cdot \left\{ C_y \cdot \sin \left[ (45 - 8) \cdot \frac{\pi}{180} \right] - C_x \cdot \cos \left[ (45 - 8) \cdot \frac{\pi}{180} \right] \right\} \quad (19)$$

согласно расчетам,  $R_s = 13,19$  Н.

Момент ротора турбины равен произведению аэродинамической силы на средний радиус:

$$M_s = 0,25 \cdot R_s \cdot (D_{max} + D_{min}) \quad (20)$$

согласно расчетам,  $M_s = 1,4$  Н·м.

Теоретическая мощность ротора турбины равна произведению момента ротора на угловую скорость вращения:  $N_s = M_s \cdot \omega = 1,4 \cdot 91,84 = 128,7$  Вт.

Фактическая мощность ветровой турбины равна произведению теоретической мощности на механический КПД:  $N_{tur} = N_s \cdot \eta_s = 128,7 \cdot 0,85 = 109,4$  Вт.

Расчет центробежной турбины производится аналогично. Отличиями в расчетах будут значения коэффициента расхода  $\alpha = 0,0416$ , перепада давления на турбине  $\Delta P_1 = 96,2$  Па, угловой скорости вращения турбины  $\omega = 84$  об/с, аэродинамической силы на лопастях  $R_s = 11$  Н, фактической мощности турбины  $N_{tur} = 83,8$  Вт.

На рисунке 3 представлена расчетная зависимость механической мощности двух ветровых турбин от скорости движения поезда, перевозящего контейнеры.

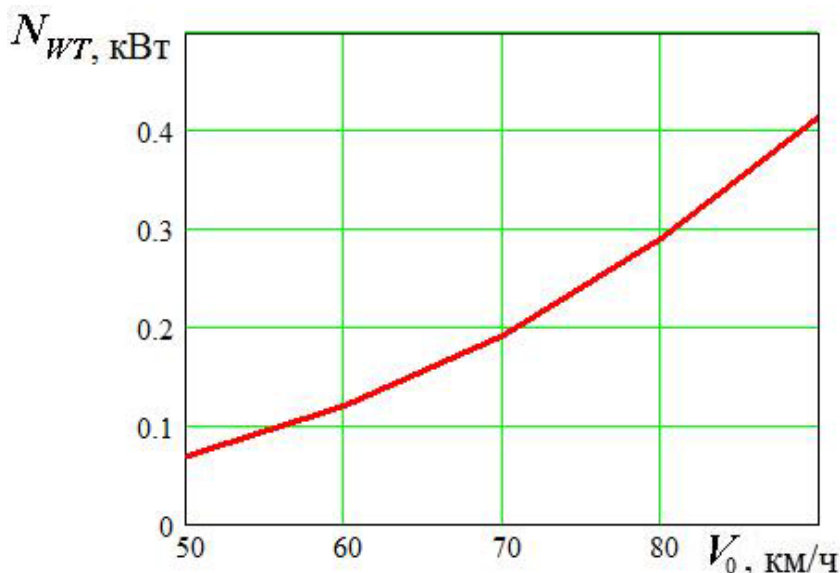


Рис. 3 – Зависимость механической мощности двух ветровых турбин  $N_{WT}$  [кВт] от скорости движения поезда  $V_0$  [км/час]

### Основные результаты

Скорость движения грузового поезда является переменной величиной, но с достаточной точностью в дальнейших расчетах можно использовать ее среднее значение, равное  $V_0 = 70$  км/час.

Для преобразования механической энергии ветровой турбины в электрическую энергию предлагается использовать вентильно-индукторный генератор [8]. Данный генератор отличается простотой конструкции, способностью устойчиво работать при изменении скорости вращения, высоким КПД, достигающим 70 – 90% в зависимости от числа оборотов. Суммируя механическую мощность двух ветровых турбин, и умножая на среднее значение КПД генератора, можно получить электрическую мощность двух ветрогенераторов, она составила 164 Вт.

Вырабатываемый с помощью ветровых турбин и вентильно-индукторных генераторов электрический ток должен пройти через выпрямитель и понижающий трансформатор, чтобы затем поступить на гибридный инвертор SILA V 2000P [11]. Инвертор SILA V 2000P – это усовершенствованный multifunctional инвертор/зарядное устройство мощностью 2 кВт (кратковременно 4 кВт), в котором сочетаются функции инвертора, контроллера заряда аккумуляторов от источника постоянного тока напряжением 2,5 В и источника питания потребителей электрическим током напряжением 220/380 В с возможностью выбора приоритетов зарядки и нагрузки. Используется в системах бесперебойного питания, серию V отличает больший ток заряда, увеличенный диапазон входного напряжения от источника постоянного тока, работа при температуре до  $-10^\circ\text{C}$ .

Для размещения на верхней стенке воздуховода предлагается гибкая солнечная панель E-Power 160Вт (5BB), имеющая размеры 1480 x 665 x 3 мм, вес 2,7 кг, номинальную мощность 160 Вт [12].

Характеристики солнечной панели E-Power 160Вт (5BB) представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики солнечной панели E-Power 160Вт (5BB)

Характеристика	Размерность	Значение
Мощность	Вт	160
Напряжение	В	12
Рабочий ток	А	8,89
Технология	-	Монокристалл
Габариты	мм	1480 x 665 x 3
Вес	кг	2,7

В работе [13, с. 7] обсуждались вопросы расчета потерь энергии в солнечной батарее. Согласно рекомендациям данной работы, величина КПД  $\eta_{SP}$  летом составляет от 0,17 до 0,425, зимой от 0,38 до 0,95 в зависимости от состояния атмосферы (минимальные значения при пасмурной погоде, максимальные – при ясной погоде). Снижение почти вдвое КПД летом по сравнению с зимними значениями авторы работы [13] объясняют сильной зависимостью КПД от

температуры солнечной панели. Поэтому большое распространение получают гибридные системы, включающие солнечные панели и устройства охлаждения панелей, также вырабатывающие энергию, например, термоэлектрические элементы [5] или двигатели Стирлинга [6].

На крыше 20 футового рефрижераторного контейнера может быть размещено 8 панелей E-Power 160Вт (5BV). Суммарная мощность электроэнергии, получаемая при этом от солнечной батареи, состоящей из 8 панелей E-Power 160Вт (5BV), указана в таблице 2.

Таблица 2 – Технические характеристики системы энергоснабжения контейнера на основе 8 солнечных панелей E-Power 160Вт (5BV)

Характеристика	Размерность	Значение
КПД летом	-	0,17-0,425
Суммарная мощность летом	Вт	218-544
КПД зимой	-	0,38-0,95
Суммарная мощность зимой	Вт	486-1216

Используя средние значения электрической мощности солнечных батарей из таблицы 2, и суммируя с ними электрическую мощность двух ветрогенераторов при средней скорости движения поезда 70 км/час, можно получить среднюю величину энергоэффективности новой системы энергоснабжения контейнера. Так, летом суммарная мощность новой системы энергоснабжения может составить 654 Вт, а зимой – 1258 Вт.

### Обсуждение

Сравнивая полученную мощность с потребной мощностью 20-футового рефрижераторного контейнера [1], можно сделать вывод, что новая система энергоснабжения на основе ветрогенераторов и солнечных панелей не способна обеспечить электроэнергией холодильную установку контейнера при используемых в настоящее время теплоизоляционных материалах.

Чтобы использовать систему энергоснабжения на основе ветрогенераторов и солнечных батарей, необходимо в 3...4 раза увеличить тепловое сопротивление стенок рефрижераторного контейнера. Решить данную проблему может только применение экранно-вакуумной теплоизоляции.

В монографии [14, С. 138-145] описан процесс проектирования изотермического 40-футового контейнера из полиамидных вакуумных панелей сотового сечения [15]. Приведенные там результаты расчетов теплового сопротивления позволяют сделать вывод о повышении теплового сопротивления в два раза (до 5,69 м<sup>2</sup>·К/Вт) при одинаковой толщине стенок по сравнению с используемыми сэндвич-панелями. Дальнейшее увеличение теплового сопротивления стенок контейнера возможно лишь при увеличении толщины вакуумных сотовых панелей в два раза, что приведет к уменьшению полезного объема контейнера.

### Заключение

Предложена система энергоснабжения рефрижераторного контейнера на основе ветрогенераторов и солнечных батарей. Составленная 3-D модель воздуховода позволила выполнить расчет мощности турбин в зависимости от скорости движения контейнера. Произведена оценка энергетической эффективности новой системы энергоснабжения рефрижераторного контейнера, так, летом суммарная мощность новой системы энергоснабжения может составить 654 Вт, а зимой – 1258 Вт, что в 4 раза меньше потребной величины. Уменьшить потребную электрическую мощность холодильной установки рефрижераторного контейнера можно за счет использования полиамидных вакуумных панелей сотового сечения и увеличения толщины стенок контейнера в два раза.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Conflict of Interest

None declared

### Список литературы / References

1. Рефрижераторный контейнер 20 футов (рефконтейнер 20 фут) Российского производства [Электронный ресурс] / ПромХолод-СВ, Производитель № 1 Рефконтейнеров в России. – URL: <https://promholod-servis.ru/g4022308-refrizheratornyj-kontejner-futov> (Дата обращения 22.05.2020)
2. Ворон О. А. Генераторно-приводные установки автономных рефрижераторных вагонов и фитинговых платформ для перевозки скоропортящихся грузов / О. А. Ворон, С. Л. Самошкин, С. А. Соловьев и др. // Вестник РГУПС. – 2009. – №2. – С. 23–29.
3. Синчук О. Ю. Особенности заряда аккумуляторных батарей в составе ветроэнергетического комплекса в условиях пассажирских вагонов / О. Ю. Синчук, С. Н. Бойко, В. С. Дяченко // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2016. – № 4 (147). – С. 34–39.
4. Jafferya S. H. I. The potential of solar powered transportation and the case for solar powered railway in Pakistan / S. H. I. Jafferya, M. Khana, L. Alia and others // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2014. – Vol. 39. – P. 270–276. doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.025Get rights and content
5. Singhb V. P. Robust H-infinity load frequency control in hybrid distributed generation system / V. P. Singhb, S. R. Mohantya, N. Kishora and others // International Journal of Electrical Power & Energy Systems. – 2013. – Vol. 46. – P. 294–305. doi.org/10.1016/j.ijepes.2012.10.015
6. Rahman A. Automatic generation control of an interconnected two-area hybrid thermal system considering dish-stirling solar thermal and wind turbine system / A. Rahman, L. C. Saikia, N. Sinha // Renewable Energy. – 2017. – Vol. 105. – P. 41–54. doi.org/10.1016/j.renene.2016.12.048Get rights and content



7. Балалаев А. Н. Оценка энергоэффективности системы электроснабжения пассажирского вагона с использованием ветрогенераторов и солнечных батарей / А. Н. Балалаев, С. В. Коркина, Е. М. Плохов и др. // Электротехника. – 2020. – №3. – С. 50–54.
8. Петрушин А. Д. Вентильно-индукторные генераторы для систем автономного энергоснабжения контактной сети постоянного тока / А. Д. Петрушин, С. А. Хачкина // Труды РГУПС – 2014. – № 5. – С. 40–43.
9. Бирюк В. В. Методика расчета и анализа аэродинамических показателей газового потока в вихревой ветроэнергетической установке / В. В. Бирюк, Д. А. Угланов, А. А. Горшкалев и др. // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета). – 2013. – № 3 (41). – Ч. 1. – С. 40–47.
10. Горшков-Кантакузен В. А. К вопросу вычисления коэффициента Дарси методом регрессионного анализа / В. А. Горшков-Кантакузен // В сборнике: Материалы XXI Международного симпозиума "Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред" им. А. Г. Горшкова. Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет). – 2015. – С. 59–60.
11. Гибридный солнечный инвертор SILA V 2000P (PF 1.0) [Электронный ресурс] / Технолайн. – URL: <https://e-solarpower.ru/solar/inverter/hybrid-inv/gibridnyy-solnechnyy-invertor-sila-v-2000p-pf-1.0/> (Дата обращения 22.05.2020)
12. Решения для автономного и резервного электроснабжения. [Электронный ресурс] / Технолайн. – URL: <https://e-solarpower.ru/solar/solar-panels/flex-panel/> (Дата обращения 22.05.2020)
13. Новокрещенов О. В. Комбинированные системы электроснабжения на возобновляемых источниках энергии / О. В. Новокрещенов, Г. С. Отмахов, М. Ю. Хуаде // Научный журнал КубГАУ. – 2017. – № 132 (08). – С. 786–797. doi:10.21515/1990-4665-132-063.
14. Балалаев А. Н. Проектирование наземных транспортных средств с использованием сотовых конструкций: монография / А. Н. Балалаев, А. М. Зиятдинов, М. А. Паренюк и др.; Самарский гос. ун-т путей сообщения. – Самара: СамГУПС, 2019. – 196 с.
15. Пат. 2571834 Российская Федерация, МПК7 B61D17/18, B60P3/20, F16L59/065, E04B1/80. Вакуумное теплоизоляционное изделие (варианты) / Балалаев А. Н., Мокшанов А. С., Попов Д. А.; заявитель и патентообладатель Самарский университет путей сообщения. – № 2013157470/11; заявл. 24.12.2013; опубл. 20.12.15; Бюл. №35. – 10 с.

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

1. Refrizheratornyy konteyner 20 futov (refkonteyner 20 fut) Rossiyskogo proizvodstva [20-foot Refrigerator container (20-foot container) Russian production] [Electronic resource] / PromKholod-SV. Proizvoditel № 1 Refkonteynerov v Rossii [Promkholod-SV, No. 1 Manufacturer of refrigerated Containers in Russia]. – URL: <https://promkholod-servis.ru/g4022308-refrizheratornyj-konteyner-futov> (accessed 22.05.2020). [in Russian]
2. Voron O. A. Generatorno-privodnyye ustanovki avtonomnykh refrizheratornykh vagonov i fittingovykh platform dlya perevozki skoroprotivostoyashchikhysya грузов [Generator-drive installations of Autonomous refrigerator cars and fitting platforms for transportation of perishable goods] / O. A. Voron. S. L. Samoshkin. S. A. Solov'yev and others // Vestnik RGUPS [Bulletin of the Rostov state University of railway transport]. – 2009. – Vol. 2. – P. 23–29. [in Russian]
3. Sinchuk O. Yu. Osobennosti zaryada akkumulyatornykh batarey v sostave vetroenergeticheskogo kompleksa v usloviyakh passazhirskikh vagonov [Features of battery charging in the wind power complex in the conditions of passenger cars] / O. Yu. Sinchuk. S. N. Boyko. V. S. Dyachenko // Energobezopasnost. Energetika. Energoaudit [Energy saving. Energy. Energy audit]. – 2016. – Vol. 4 (147). – P. 34–39. [in Russian]
4. Jafferya S. H. I. The potential of solar powered transportation and the case for solar powered railway in Pakistan / S. H. I. Jafferya, M. Khana, L. Alia and others // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2014. – Vol. 39. – P. 270–276. doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.025Get rights and content
5. Singhb V. P. Robust H-infinity load frequency control in hybrid distributed generation system / V. P. Singhb, S. R. Mohantya, N. Kishora and others // International Journal of Electrical Power & Energy Systems. – 2013. – Vol. 46. – P. 294–305. doi.org/10.1016/j.ijepes.2012.10.015
6. Rahman A. Automatic generation control of an interconnected two-area hybrid thermal system considering dish-stirling solar thermal and wind turbine system / A. Rahman, L. C. Saikia, N. Sinha // Renewable Energy. – 2017. – Vol. 105. – P. 41–54. doi.org/10.1016/j.renene.2016.12.048Get rights and content
7. Balalayev A. N. Otsenka energoeffektivnosti sistemy elektrosnabzheniya passazhirskogo vagona s ispolzovaniyem vetrogeneratorov i solnechnykh batarey [Evaluation of the energy efficiency of the passenger car power supply system using wind generators and solar batteries] / A. N. Balalayev. S. V. Korkina. E. M. Plokhov and others // Elektrotehnika [electrical Engineering]. – 2020. – Vol. 3. – P. 50–54. [in Russian]
8. Petrushin A. D. Ventilno-induktornyye generatory dlya sistem avtonomnogo energosnabzheniya kontaktnoy seti postoyannogo toka [Valve-inductor generators for systems of Autonomous power supply of the DC contact network] / A. D. Petrushin. S. A. Khachkinayan // Trudy RGUPS [proceedings of the Rostov state University of railway transport] – 2014. – Vol. 5. – P. 40–43. [in Russian]
9. Biryuk V. V. Metodika rascheta i analiza aerodinamicheskikh pokazateley gazovogo potoka v vikhreвой vetroenergeticheskoy ustanovke [Method of calculation and analysis of aerodynamic parameters of gas flow in a vortex wind power plant] / V. V. Biryuk. D. A. Uglanov. A. A. Gorshkalev and others // Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta imeni akademika S.P. Koroleva (natsionalnogo issledovatel'skogo universiteta) [Bulletin of the Samara state aerospace University named after academician S. P. Korolev (national research University)]. – 2013. – Vol. 3 (41). – Part 1. – P. 40–47. [in Russian]
10. Gorshkov-Kantakuzen V. A. K voprosu vychisleniya koeffitsiyenta Darsi metodom regressionnogo analiza [On the issue of calculating the Darcy coefficient by regression analysis] / V. A. Gorshkov-Kantakuzen // V sbornike: Materialy XXI Mezhdunarodnogo simpoziuma "Dinamicheskiye i tekhnologicheskiye problemy mekhaniki konstruktsey i sploshnykh sred" im. A. G. Gorshkova. Moskovskiy aviatsionnyy institut (natsionalnyy issledovatel'skiy universitet) [In the collection: Materials of

the XXI international Symposium "Dynamic and technological problems of mechanics of structures and continuous media" named after A. G. Gorshkov. Moscow aviation Institute (national research University)]. – 2015. – P. 59–60. [in Russian]

11. Gibrinny solnechnyy invertor SILA V 2000P (PF 1.0) [Hybrid solar inverter SILA V 2000P (PF 1.0)] [Electronic resource] / Tekhnolayn [Technoline]. – URL: <https://e-solarpower.ru/solar/inverter/hybrid-inv/gibrinny-solnechnyy-invertor-sila-v-2000p-pf-1.0/> (accessed 22.05.2020). [in Russian]

12. Resheniya dlya avtonomnogo i rezervnogo elektrosnabzheniya [Solutions for Autonomous and backup power supply] [Electronic resource] / Tekhnolayn [Technoline]. – URL: <https://e-solarpower.ru/solar/solar-panels/flex-panel/> (accessed 22.05.2020). [in Russian]

13. Novokreshchenov O. V. Kombinirovannyye sistemy elektrosnabzheniya na vozobnovlyayemykh istochnikakh energii [Combined power supply systems on renewable energy sources] / O. V. Novokreshchenov. G. S. Otmakhov. M. Yu. Khuade // Nauchnyy zhurnal KubGAU [The scientific journal of the Kuban state agrarian University]. – 2017. – Vol. 132 (08). – P. 786–797. doi:10.21515/1990-4665-132-063 [in Russian]

14. Balalayev A. N. Proyektirovaniye nazemnykh transportnykh sredstv s ispolzovaniyem sotovykh konstruktсий: monografiya [Design of ground vehicles using cellular structures: monograph] / A. N. Balalayev. A. M. Ziyatdinov. M. A. Parenjuk and others; Samarskiy gos. un-t putey soobshcheniya [Samara State Transport University]. – Samara: SamGUPS. 2019. – 196 p. [in Russian]

15. Pat 2571834 Russian Federation, MPK7 B61D17/18, B60P3/20, F16L59/065, E04B1/80. Vakuumnoe teploizoljacionnoe izdelie (varianty) [Vacuum thermal insulation product (versions)] / Balalaev A. N., Mokshanov A. S., Popov D. A.; the applicant and the patentee Samara State Transport University. – № 2013157470/11; app. 12/24/13 publ. 12/20/15 Bul. Number 35. – 10 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.97.7.005>**К ВОПРОСУ О МЕТОДАХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КИНЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
ОКИСЛИТЕЛЬНЫХ РЕАКЦИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ Pt КАТАЛИЗАТОРА**

Научная статья

**Баландина О.А.<sup>1,\*</sup>, Филатова Е.Б.<sup>2</sup>, Пуринг С.М.<sup>3</sup>**<sup>1</sup>ORCID: 0000-0002-2044-8545;<sup>2</sup>ORCID: 0000-0001-5498-5595;<sup>1, 2, 3</sup> Самарский государственный технический университет, Самара, Россия

\* Корреспондирующий автор (balandinaolya88[at]rambler.ru)

**Аннотация**

Рассмотрены реакции взаимодействия оксидов углерода и оксидов азота с атомарным кислородом  $O(S)$  на поверхности платинового катализатора в температурных диапазонах  $(300 \div 1000 \text{ K})$  и  $(1 \cdot 10^4 \div 3,25 \cdot 10^4 \text{ K})$ . Представлены кинетические уравнения скорости химических реакций в соответствии с теорией гетерогенного катализа для окислительных реакций, параллельно протекающих на поверхности катализатора. Выполнен сравнительный анализ методов определения кинетических параметров окислительных реакций на поверхности  $Pt$  катализатора. Анализ проводился методом сравнения экспериментальных и теоретических исследований динамики изменения концентрации продуктов окислительного процесса на поверхности  $Pt$  катализатора от температуры дымовых газов. Определен наиболее рациональный метод определения кинетических параметров реакций окисления  $NO$  и  $CO$ , учитывающий температурный диапазон газового тракта котельных установок. Результаты сравнительного анализа могут быть применены для создания математических моделей, описывающих изменения состава дымовых газов по длине газового тракта и на катализационной поверхности.

**Ключевые слова:** кинетические параметры, катализатор, константа скорости химической реакции, оксиды углерода, оксиды азота, дымовые газы, температурная зависимость.

**REVISITED METHODS FOR DETERMINING KINETIC PARAMETERS OF OXIDATIVE REACTIONS  
ON SURFACE OF Pt CATALYST**

Research article

**Balandina O.A.<sup>1,\*</sup>, Filatova E.B.<sup>2</sup>, Puring S.M.<sup>3</sup>**<sup>1</sup>ORCID: 0000-0002-2044-8545;<sup>2</sup>ORCID: 0000-0001-5498-5595;<sup>1, 2, 3</sup> Samara State Technical University; Samara, Russia.

\* Corresponding author (balandinaolya88[at]rambler.ru)

**Abstract**

The authors consider reactions of the interaction of carbon oxides and nitrogen oxides with atomic oxygen  $O(S)$  on the surface of a platinum catalyst within the temperature ranges of  $(300 \div 1000 \text{ K})$  and  $(1 \cdot 10^4 \div 3.25 \cdot 10^4 \text{ K})$ . The kinetic equations of the chemical reactions rate are presented by the theory of heterogeneous catalysis for oxidative reactions parallel to the surface of the catalyst. Besides, the author conducted a comparative analysis of the methods for determining the kinetic parameters of oxidative reactions on the catalyst surface. This research was carried out by comparing experimental and theoretical studies of the dynamics of changes in the concentration of products of the oxidative process on the surface of the catalyst from the temperature of the flue gases. The most rational method for determining the kinetic parameters of oxidation reactions and considering the temperature range of the gas path of boiler plants is determined as well. The results of the comparative analysis can be used to create mathematical models describing changes in the composition of flue gases along the length of the gas path and on the catalytic surface.

**Keywords:** kinetic parameters, catalyst, the chemical reaction rate constant, carbon oxides, nitrogen oxides, flue gases, temperature dependence.

По степени воздействия на окружающую среду оксиды азота и углерода относятся к веществам III и IV классов опасности, соответственно, оказывающим негативное влияние на состояние атмосферного воздуха, поверхностных вод, почвы, а также принимающим участие в образовании фотохимического смога [1], [2].

Восстановление оксидов азота и углерода до безвредных для окружающей среды молекулярных форм представляет собой кинетическую задачу, одним из решений которой является установка каталитических систем [3].

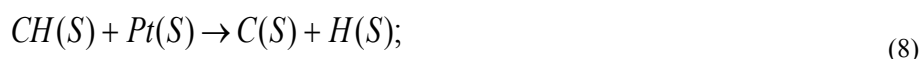
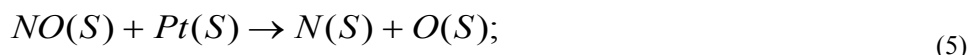
**Введение**

Нанесенные керамические гетерогенные катализаторы на основе соединений  $Pt$  успешно применяются в разных отраслях промышленности и энергетики для решения задач снижения уровня вредных выбросов продуктов сгорания газового топлива. Каталитические системы на основе сплавов благородных металлов обладают высокой устойчивостью к каталитическим ядам и перепадам температур по сравнению с оксидными системами переходных металлов [4].

При подборе оптимального места размещения платинового катализатора в газовом тракте котельной установки необходимо выполнить расчет, отражающий дискретное изменение концентраций токсичных компонентов дымовых газов по высоте катализационного слоя. Для выполнения такого расчета необходимо разработать математическую модель, учитывающую изменение концентраций оксидов азота и углерода, в зависимости от площади поверхности катализатора. Разработка подобной модели выявляет потребность в знании достоверных значений констант скорости окислительных реакций на поверхности платинового катализатора.

**Методы и принципы исследования**

Окислительные реакции на  $Pt$  катализаторе представляют собой взаимодействие  $CO$  и  $NO$  с атомарным кислородом на поверхности катализатора  $O(S)$  (буква  $S$  обозначает поверхность катализатора) [5], [6, с.51-52].



Аппроксимация экспериментальных и теоретических исследований, представленных в публикациях, и отбор данных, удовлетворяющих критериям сходимости, позволили выявить основные методы расчета кинетических скоростей реакций, применимые к разным диапазонам температур.

К термодинамическим задачам преимущественно применим метод микрокинетического моделирования, основанный на детальной кинетической схеме, с разбивкой реакций на стадии. Недостаток данного метода заключается в отсутствии зависимости энергии активации от температуры в уравнении Аррениуса, что приводит к проблеме плохой сходимости значений кинетических параметров с термодинамическими ограничениями [7, с.50].

$$k = A \cdot T_k^n \cdot e^{\left(\frac{-E}{R \cdot T_k}\right)}, \quad (10)$$

где  $k$  – константа скорости реакции, численно равная наблюдаемой скорости реакции при фиксированной температуре и концентрации  $1/c$ ;  $A$  – предэкспоненциальный множитель, не зависящий от температуры и определяемый только видом реакции;  $T_k$  – температура на поверхности катализатора,  $K$ ;  $E$  – энергия активации реакции показывающая избыток энергии, необходимый для осуществления реакции,  $kJ/mol$ ;  $R$  – газовая постоянная [8].

Для оценки влияния температуры на скорость химических реакций используется соотношение Аррениуса, отражающее температурную зависимость константы скорости реакции [9]. Механизм окислительных реакций на поверхности платинового катализатора, рассмотренный авторами [10] включает в себя 56 реакций. Для основных из них уравнения реакционной скорости восстановления  $CO$  и  $NO$  на поверхности катализатора будут иметь вид [5], [10]:

$$\text{для реакции (1)} \quad k = 3,2 \cdot 10^{21} \cdot T_k \cdot e^{\left(\frac{-224,7}{R \cdot T_k}\right)} \quad (11)$$

$$\text{для реакции (2)} \quad k = 3,7 \cdot 10^{20} \cdot T_k \cdot e^{\left(\frac{-108}{R \cdot T_k}\right)} \quad (12)$$

$$\text{для реакции (3)} \quad k = 2 \cdot 10^{13} \cdot T_k \cdot e^{\left(\frac{-111,3}{R \cdot T_k}\right)} \quad (13)$$

$$\text{для реакции (4)} \quad k = 2,1 \cdot 10^{12} \cdot T_k \cdot e^{\left(\frac{-80,7}{R \cdot T_k}\right)} \quad (14)$$

$$\text{для реакции (5)} \quad k = 5 \cdot 10^{20} \cdot T_k \cdot e^{\left(\frac{-107,8}{R \cdot T_k}\right)} \quad (15)$$

$$\text{для реакции (6)} \quad k = 1,4 \cdot 10^{13} \cdot T_k \cdot e^{\left(\frac{-61}{R \cdot T_k}\right)} \quad (16)$$

$$\text{для реакции (7)} \quad k = 8,1 \cdot 10^{18} \cdot T_k \cdot e^{\left(\frac{-58}{R \cdot T_k}\right)} \quad (17)$$

$$\text{для реакции (8)} \quad k = 5,8 \cdot 10^{21} \cdot T_k \cdot e^{\left(\frac{-128,9}{R \cdot T_k}\right)} \quad (18)$$

$$\text{для реакции (9)} \quad k = 1,2 \cdot 10^{21} \cdot T_k \cdot e^{\left(\frac{-25}{R \cdot T_k}\right)} \quad (19)$$

где  $k$  – константа скорости реакции, численно равная наблюдаемой скорости реакции при фиксированной температуре и концентрации,  $1/c$ ;  $T_k$  – температура на поверхности катализатора,  $K$ ;  $E$  – энергия активации реакции,  $кДж/моль$ ;  $R$  – газовая постоянная [8].

Для сравнительной оценки разных методов определения кинетических параметров окислительных реакций на поверхности  $Pt$  катализатора были получены графические и функциональные зависимости изменения скоростей реакций ( $k$ ) от температуры катализационной поверхности ( $T_k$ ).

Диаграммы изменения констант скорости окислительных реакций  $CO$  и  $NO$  на  $Pt$  катализаторе в диапазоне температур ( $300 \div 1000$  K) представлены на рисунках 1, 2.

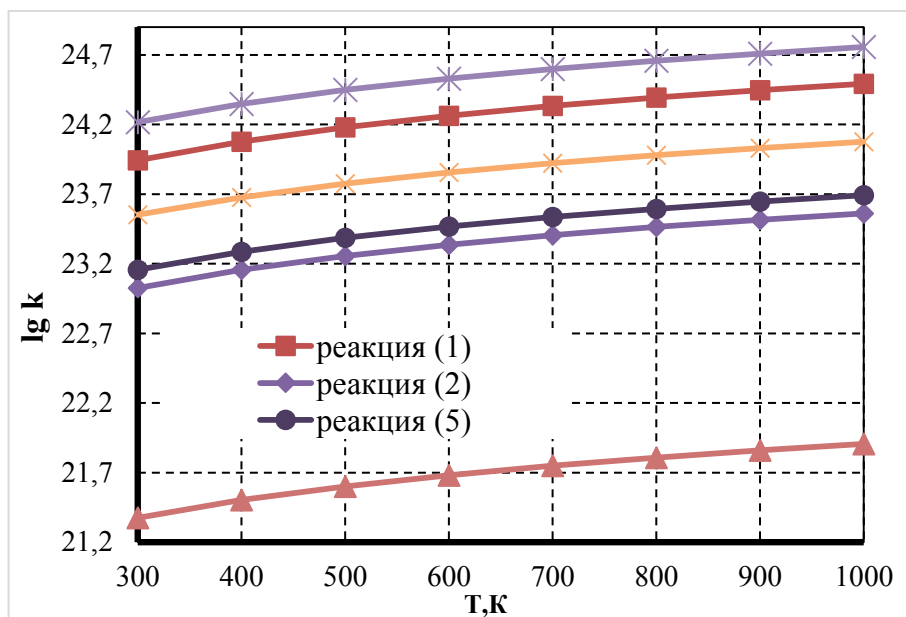


Рис. 1 – Температурная зависимость изменения констант скорости окислительных реакций (1, 2, 5, 7 ÷ 9) на поверхности платинового катализатора, определенная методом микрокинетического моделирования

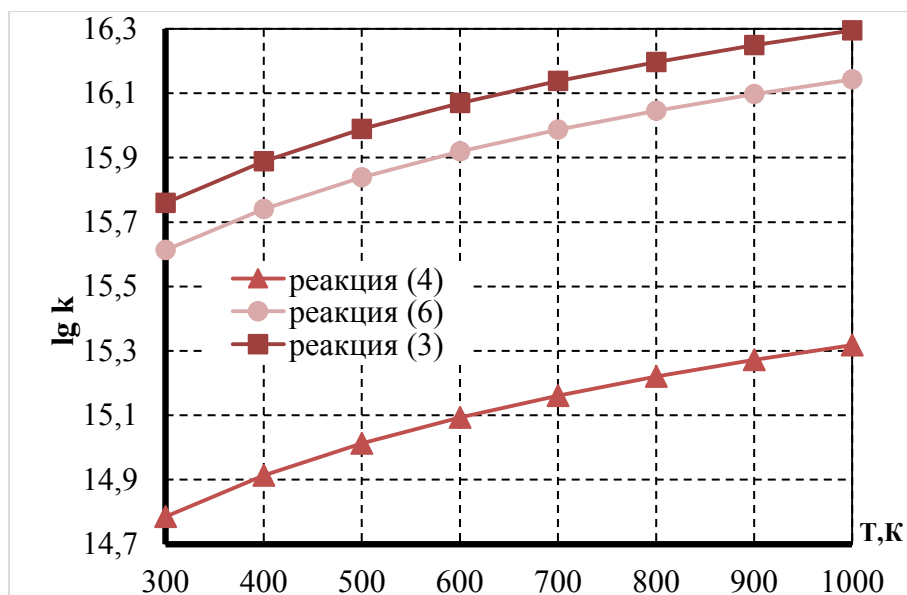


Рис. 2 – Температурная зависимость изменения констант скорости окислительных реакций (3,4,6) на поверхности платинового катализатора, определенная методом микрокинетического моделирования

Авторами [8, с.78] предложена модель уровневых химических реакций, учитывающая эффективность вклада колебательной энергии в энергию активации. Тогда уравнение определения константы скорости диссоциации  $CO$  и  $NO$  на поверхности катализатора будет иметь вид [11]:

$$k = A \cdot T^n \cdot \exp\left(-\frac{D_0}{T}\right) \left[1 - \exp\left(-\frac{\theta}{T}\right)\right], \quad (20)$$

где  $A, n$  – авторские коэффициенты для реакций диссоциации в системе атомов  $C-N-O$ ;  $D_0$  – энергия диссоциации;  $T$  – температура дымовых газов,  $K$  (при вычислении значений  $k$  колебательная температура  $T_v$  предполагается равной  $T$ );  $\theta$  – характерная колебательная температура колебательно возбужденной диссоциирующей молекулы,  $K$  [11].

Диаграмма изменения констант скорости окислительных реакций  $CO$  и  $NO$  в термически равновесных условиях на  $Pt$  катализаторе в диапазоне температур ( $1 \cdot 10^4 \div 3,25 \cdot 10^4 K$ ) представлена на рисунке 4.

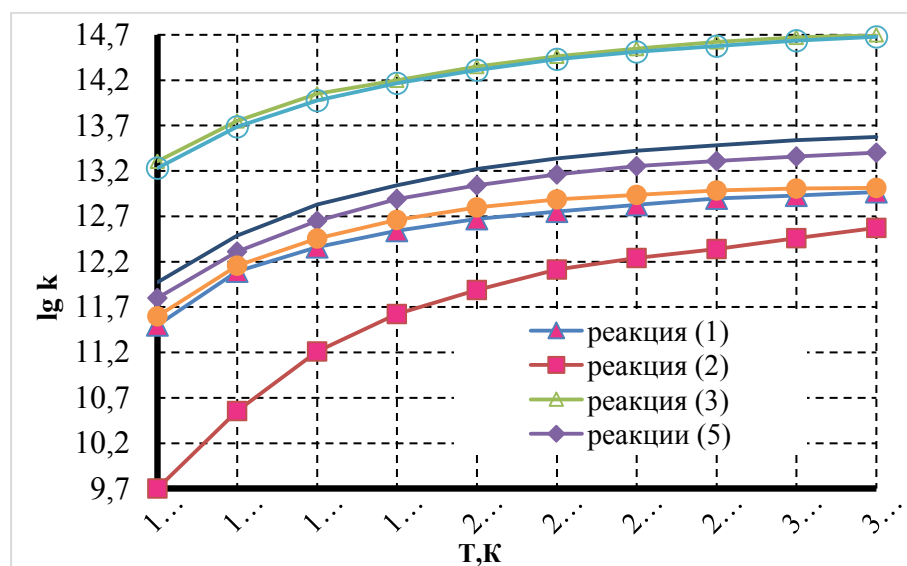


Рис. 3 – Температурная зависимость изменения констант скорости окислительных реакций на поверхности платинового катализатора, учитывающая эффективность вклада колебательной энергии в энергию активации.

Зависимости констант скорости в термически равновесных условиях для окислительных реакций  $CO$  и  $NO$  на  $Pt$  катализаторе при различных температурах дымовых газов описываются уравнениями (21÷27). Кинетические скорости реакций переноса атомов из реакционной смеси к внешней поверхности частиц катализатора (4,6) при описании моделей бимолекулярных химических реакций не рассматривались [12]. Для каждого уравнения определен

коэффициент детерминации, характеризующий сходимость кинетических кривых с предложенными логарифмическими зависимостями.

$$\text{для реакции (1)} \quad \lg k = 1,1301 \ln(T) + 1,3671, R^2 = 0,9189 \quad (21)$$

$$\text{для реакции (2)} \quad \lg k = 2,3245 \ln(T) - 11,342, R^2 = 0,9483 \quad (22)$$

$$\text{для реакции (3)} \quad \lg k = 1,1247 \ln(T) + 3,1367, R^2 = 0,95 \quad (23)$$

$$\text{для реакции (5)} \quad \lg k = 1,3044 \ln(T) + 0,0038, R^2 = 0,9455 \quad (24)$$

$$\text{для реакции (7)} \quad \lg k = 1,175 \ln(T) + 2,5888, R^2 = 0,9589 \quad (25)$$

$$\text{для реакции (8)} \quad \lg k = 1,1236 \ln(T) + 1,5263, R^2 = 0,8992 \quad (26)$$

$$\text{для реакции (9)} \quad \lg k = 1,3045 \ln(T) + 0,1771, R^2 = 0,6467 \quad (27)$$

### Основные результаты

Однако рассмотренные температурные зависимости позволяют определить значение константы скорости реакций только для крайне высоких значений температур. Учитывая, что в газовом тракте котельных установок отсутствуют участки газохода с температурой уходящих газов превышающей  $1 \cdot 10^4$  К, применение модели уровневых химических реакций не является рациональным.

Предыдущие работы авторов [12] с помощью метода геометрической термодинамики позволили определить наиболее рациональный температурный диапазон (898,15–933,15 К) для установки катализатора в газовом тракте котельной, при котором реакции окисления оксидов азота и углерода идут в прямом направлении, а вероятность протекания побочных реакций сведена к минимуму.

### Заключение

Полученные в результате исследования данные позволяют сделать вывод, что для определения кинетических параметров окислительных реакций на поверхности Pt катализатора целесообразно использовать метод микрокинетического моделирования, так как он учитывает температурный диапазон газового тракта котельных установок. Результаты сравнительного анализа могут быть применены для создания математических моделей, описывающих изменения состава дымовых газов по длине газового тракта и на катализационной поверхности.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Conflict of Interest

None declared.

### Список литературы / References

1. Grewe, V. Attributing ozone to NO<sub>x</sub> emissions: Implications for climate mitigation measures / V. Grewe et al // Atmospheric environment. – 2012. – V. 59. – P. 102 – 107.
2. Морозов, В.В. Мониторинг атмосферного воздуха с учётом планирования и организации промышленных комплексов города Самары / В.В. Морозов, В.В. Саксонова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Т. 14. – №. 5 – 3.
3. Ertl, G. Handbook of Heterogeneous Catalysis / G. Ertl, H. Knözinger, F. Schüth, J. Weitkamp (Eds.). – 2nd Edition. – Weinheim: Wiley – VCH. – 2008. – 4270 p.
4. Мытарева, А. И. Селективное каталитическое восстановление NO<sub>x</sub> аммиаком на композитных катализаторах : дис. ... канд. хим. наук: 02.00.15.: защищена 17.10.17 : утв. 01.08.17 / Матырева Алина Игоревна. – Москва: ИОХ РАН., 2017.–152 с.
5. Koop J., Deutschmann O. Detailed surface reaction mechanism for Pt-catalyzed abatement of automotive exhaust gases // Applied Catalysis B: Environmental. – 2009. – V. 91. – №. 1 – 2. – P. 47 – 58.
6. Чернова, Л. Е. К вопросу о механизме окисления монооксида углерода на платиновом катализаторе/ Л.Е. Чернова и др. // Успехи в химии и химической технологии. – 2017. – Т. 31. – №. 8 (189).
7. Митричев, И.И. Термодинамические критерии оценки кинетических параметров каталитических реакций / И.И. Митричев, А.В. Женса, Э.М. Кольцова // Журнал физической химии. – 2017. – Т. 91. – №. 1. – С. 49 – 57.
8. Лосев, С. А. Кинетика химических реакций в термически неравновесном газе / С.А. Лосев и др. // Математическое моделирование. – 2003. – Т. 15. – №. 6. – С. 72 – 82.
9. Литвишков, Ю.Н. О физическом смысле параметров уравнения Аррениуса / Ю.Н. Литвишков // Kimya Problemleri. – 2019. – №. 3.
10. Prasad, V. S. Microkinetic Modelling of NO Reduction on Pt Catalysts / V.S. Prasad, P. Aghalayam // World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering. – 2016. – V. 10. – №. 11. – P. 1398 – 1404.

11. Ковач, Э. А. Каталог моделей физико-химических процессов. Термически равновесные и неравновесные химические реакции / Э.А. Ковач и др. // Физико-химическая кинетика в газовой динамике. – 2010. – Т. 10. – №. 2. – С. 318 – 412.

12. Balandina O. A. A study of the effect of air temperature on the possibility and rate of formation of nitrogen oxides in boiler flue gases [Электронный ресурс] – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/791/1/012005/pdf>, (accessed 19.06.2020)

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

1. Grewe, V. Attributing ozone to NO<sub>x</sub> emissions: Implications for climate mitigation measures / V. Grewe et al // Atmospheric environment. – 2012. – V. 59. – P. 102 –107.

2. Morozov, V. V. Monitoring atmosfernogo vozduha s uchytom planirovaniya i organizacii promyshlennykh kompleksov goroda Samary [Monitoring of atmospheric air with regard to planning and organization of industrial complexes in Samara] / V. V. Morozov, V. V. Saxonova // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk [Proceedings of the Samara scientific center of the Russian Academy of Sciences], 2012, V. 14, №. 5 – 3. [in Russian]

3. Ertl, G. Handbook of Heterogeneous Catalysis / G. Ertl, H. Knözinger, F. Schüth, J. Weitkamp (Eds.). – 2nd Edition. – Weinheim: Wiley – VCH. – 2008. – 4270 P.

4. Mytareva, A. I. Selektivnoe kataliticheskoe vosstanovlenie NO<sub>x</sub> ammiakom na kompozitnykh katalizatorah [Selective catalytic reduction of NO<sub>x</sub> by ammonia on composite catalysts] : dis. ... of PhD in Chemical Sciences: 02.00.15.: protected 17.10.17: approved 01.08.17 / Motyeva Alina Igorevna. – Moscow: IOH RAS., 2017. – 152 p. [in Russian]

5. Koop J., Deutschmann O. Detailed surface reaction mechanism for Pt-catalyzed abatement of automotive exhaust gases //Applied Catalysis B: Environmental. – 2009. – V. 91. – №. 1 – 2. – P. 47 – 58.

6. Chernova, L. E. K voprosu o mekhanizme okisleniya monooksida ugleroda na platinovom katalizatore [On the question of the mechanism of carbon monoxide oxidation on a platinum catalyst] / L. E. Chernova et al. // Uspekhi v himii i himicheskoy tekhnologii [Advances in chemistry and chemical technology]. – 2017. – V. 31. – №. 8 (189). [in Russian]

7. Mitrichev, I. I. Termodinamicheskie kriterii ocenki kineticheskikh parametrov kataliticheskikh reakcij [Thermodynamic criteria for evaluating the kinetic parameters of catalytic reactions] / I. I. Mitrichev, A.V. Zhensa, E. M. Koltsova // Zhurnal fizicheskoy himii [Journal of physical chemistry]. – 2017. – V. 91. – №. 1. – P. 49 – 57. [in Russian]

8. Losev, S. A. Kinetika himicheskikh reakcij v termicheski neravnovesnom gaze [Kinetics of chemical reactions in thermally non-equilibrium gas] / S. A. Losev et al. // Matematicheskoe modelirovanie [Mathematical modeling]. – 2003. – V. 15. – №. 6. – P. 72 – 82. [in Russian]

9. Litvishkov, Yu. N. O fizicheskom smysle parametrov uravneniya Arreniusa [On the physical meaning of parameters of the Arrhenius equation] / Yu. N. Litvishkov // Kimya Problemleri [Chemical Problems]. – 2019. – №.3.

10. Prasad, V. S. Microkinetic Modelling of NO Reduction on Pt Catalysts / V.S. Prasad, P. Aghalayam // World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering. – 2016. – V. 10. – №. 11. – P. 1398 – 1404

11. Kovach, E. A. Katalog modelej fiziko-himicheskikh processov. Termicheski ravnesnye i neravnovesnye himicheskie reakcii [Catalog of models of physical and chemical processes. Thermally equilibrium and non-equilibrium chemical reactions] / E. A. Kovach et al. // Fiziko-himicheskaya kinetika v gazovoj dinamike [Physical and chemical kinetics in gas dynamics]. – 2010. – V. 10. – №. 2. – P. 318 – 412. [in Russian]

12. Balandina, O. A. Investigation of the influence of air temperature on the possibility and speed of nitrogen oxides formation in the flue gases of boilers [Electronic resource] – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/791/1/012005/pdf>, (accessed 19.06.2020)



DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.97.7.006>**МОДЕЛИРОВАНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ НАСТИЛАЮЩИХСЯ НА ПОТОЛОК ПРИТОЧНЫХ СТРУЙ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ВОЗДУХООБМЕНА В ОФИСНОМ ПОМЕЩЕНИИ С НИЗКИМИ ПОТОЛКАМИ**

Научная статья

**Вдовичев А.А.\***

ORCID: 0000-0001-8979-8845,

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург, Россия

\* Корреспондирующий автор (fansw[at]bk.ru)

**Аннотация**

В статье рассматриваются вопросы повышения энергоэффективности системы воздухоподдачи в офисном помещении с низкими потолками. По причине отсутствия на сегодняшний день решений, облегчающих численное моделирование подачи воздуха диффузорами, образующими настилающиеся на потолок горизонтальные струи, отмечена важность совершенствования программного исследования путем рационализации конструкции воздуховыпускных устройств, не требующих построения сложных детализированных расчетных сеток. Представлена компьютерная модель аэродинамических полей воздушных потоков, формируемых потолочными диффузорами типа 4АПН. Осуществлено сравнение осевых скоростей горизонтальной и вертикальной составляющей приточной струи реальной конструкции воздухораспределителя с облегченными в построении моделями. На основе эксперимента проведена замена точной копии диффузора упрощенным вариантом устройства. Выполнено решение задачи по созданию эффективной системы воздухообмена, повышению качества воздухораспределения и обеспечению заданной схемы циркуляции воздуха путем изменения количества и расположения воздуховыпускных устройств веерного типа.

**Ключевые слова:** воздухообмен, воздухораспределение, приточный диффузор 4АПН, веерные настилающиеся на потолок струи, эффект Коанда, коэффициент взаимодействия.

**SIMULATION OF HORIZONTAL SUPPLY AIR JETS FLOWING UNDER CEILING DURING ORGANIZATION OF AIR EXCHANGE IN OFFICE PREMISE WITH LOW CEILINGS**

Research Article

**Vdovichev A.A.\***

ORCID: 0000-0001-8979-8845,

St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg, Russia

\* Corresponding author (fansw[at]bk.ru)

**Abstract**

The article considers the problem of improving the energy efficiency of the air distribution system in office premises with low ceilings. Today we can note the importance of improving program research by streamlining the design of air exhaust devices that do not require the construction of complex detailed calculation grids due to the lack of solutions that facilitate the numerical simulation of air supply by diffusers forming horizontal jets that are laid on the ceiling. The author presents the computer model of the aerodynamic fields of air flows formed by ceiling diffusers of the 4APN type. The axial velocities of the horizontal and vertical components of the actual design supply jet of the air distributor are compared with models facilitated in construction. Based on the experiment, the exact copy of the diffuser was replaced with a simplified version of the device. And this is the solution to the problem of creating an effective air exchange system, improving the quality of air distribution, and ensuring a given pattern of air circulation by changing the number and location of fan-type air outlets.

**Keywords:** air exchange, air distribution, 4APN supply diffuser, fan-jet streaming on the ceiling, Coanda effect, interaction coefficient.

**Введение**

Организация распределения воздуха в современных офисных помещениях представляет собой важнейшую задачу при обеспечении санитарно-гигиенической и энергетической эффективности систем кондиционирования [1, С. 28]. Будучи последним видом обработки воздуха, система воздухораспределения влияет на необходимое поддержание требуемых оптимальных метеорологических условий в обслуживаемой зоне помещения [2, С. 5], а следовательно, и на эффективность принятых проектных решений [3]. Неверная реализация воздухоподдачи, ошибочное расположение воздуховыпускных устройств могут привести к образованию неветилируемых зон с повышенной температурой воздуха или же наоборот зон с высокой подвижностью воздушных масс, оказывающих негативное влияние на самочувствие работающих людей [4].

На сегодняшний день существует множество универсальных решений по организации воздухообмена в офисных помещениях, систем кондиционирования, а также схем раздачи и удаления воздуха: системы вытесняющей вентиляции [5], мультизональные VRF-системы [6, С. 3-10], локальное кондиционирование [7], активные охлаждающие балки [8] и т.д. Тем не менее, наиболее распространенным способом организации воздухораспределения во многих кабинетах офисного назначения зачастую является подача воздуха по схеме «сверху-вверх» системой центрального кондиционирования воздуха с применением воздуховыпускных устройств, формирующих полные веерные настилающиеся на подшивной потолок струи [9, С. 222], [10, С. 129].

Важным условием при реализации данной схемы циркуляции воздуха, впрочем, как и любой другой схемы, является обеспечение нормируемых параметров микроклимата в обслуживаемой зоне: подвижности воздуха, относительной влажности и температуры [11, С. 8]. При этом расчетный анализ воздухораспределения основывается на нахождении параметров, характеризующих приточные струи в исследуемых контрольных точках на входе в обслуживаемую зону [12, С. 59-63]. К этим параметрам можно отнести: максимальную скорость потока,  $v_x$ , избыточную температуру  $\Delta t_x$ ,

влияющие на них корректирующие коэффициенты стеснения  $k_c$ , взаимодействия  $k_v$  и неизотермичности  $k_n$ . Помимо них, также определяются относительная площадь, приходящаяся на один воздухоораспределитель  $\overline{A_g}$ , расстояние от приточного отверстия до места отрыва струи  $x_{отр}$ , и, самое главное, текущий критерий Архимеда  $Ar_x$ , учитывающий влияние гравитационных и инерциальных сил на развитие подаваемого воздуха [1, С. 91], [13, С. 517]. Данные характеристики должны удовлетворять нормируемым параметрам и не превышать предельных значений.

Выполненные расчеты по организации воздухообмена в офисном помещении с высотой от уровня пола до подшивного потолка  $h = 3$  м показали, что среди веерных диффузоров фирмы «Арктос» ДПУ-К, ДКВ, ДПУ-М, 4АПН и АГН-1 наилучшими аэродинамическими параметрами, обеспечивающими требуемые значения подвижности, избыточной температуры и заданную схему циркуляции, обладает устройство 4АПН [14, С. 100-101]. При исследовании влияния темпа падения осевой скорости  $m$  и темпа выравнивания температуры воздуха на оси струи и в помещении  $n$  на расчетные параметры воздухоораспределения в контрольной точке было получено, что архитектура диффузора 4АПН при подаче воздуха с начальной скоростью  $v_0 = 2,3$  м/с из приточного отверстия площадью живого сечения  $F_0 = 0,045$  м<sup>2</sup> позволяет обеспечить скорость  $v_x = 0,29$  м/с и избыточную температуру  $\Delta t_x = 0,608^\circ\text{C}$ , входящие в диапазон допустимых значений (см. рисунок 1). Конструкционные особенности 4АПН, выраженные коэффициентами  $m = 2,2$  и  $n = 1,9$ , в добавок, поддерживают заданную схему циркуляции воздуха, поскольку выявленная величина текущего критерия Архимеда на границе горизонтального участка настилающейся на потолок приточной струи оказалась в пределах нормы ( $Ar_x = 0,095$ ).

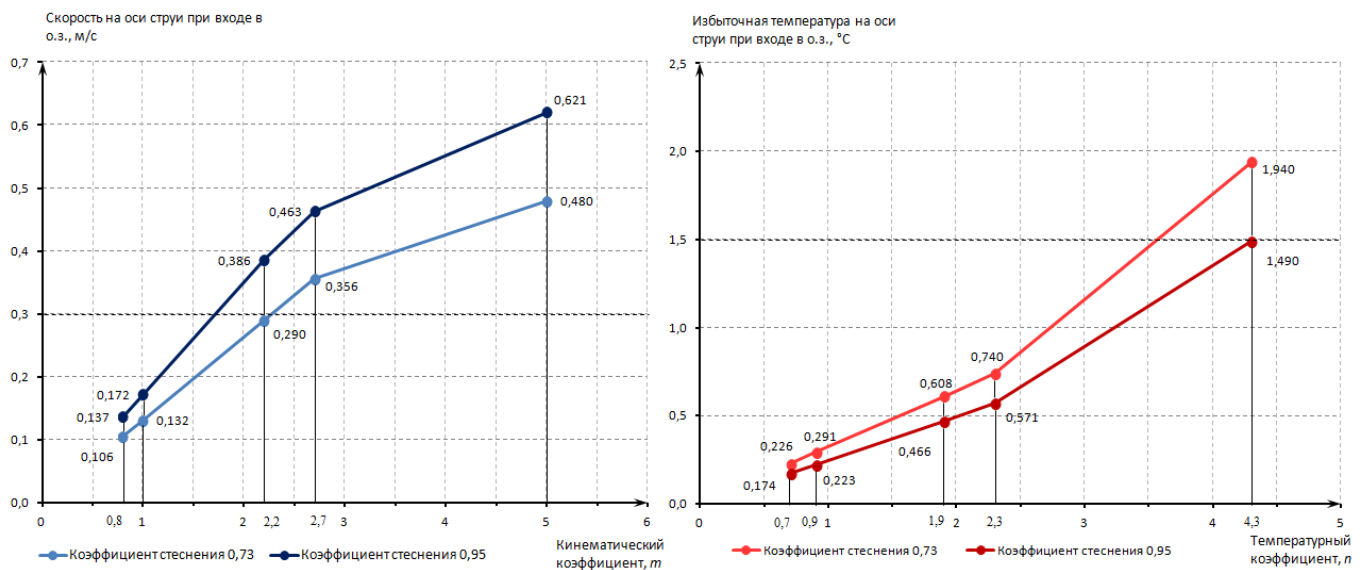


Рис. 1 – Зависимость осевой скорости  $v_x$  и избыточной температуры  $\Delta t_x$  на входе струи в обслуживаемую зону от кинематического  $m$  и температурного  $n$  коэффициента соответственно для диффузоров ДПУ-К, ДКВ, ДПУ-М, 4АПН и АГН-1

В данной статье разработаны способы по решению проблемы создания наиболее эффективного воздухообмена и подачи воздуха в офисном помещении, операционном зале, площадью  $F = 113$  м<sup>2</sup> (см. рисунок 2) и высотой от пола до подшивных потолков, составляющей 3 м. Помещение характеризуется значительными тепловыделениями от мониторов, системных блоков, работающего персонала, а также наличием радиационных тепlopоступлений через световые проемы. Использование математического моделирования позволит выявить особенности тепловоздушных процессов, а также определить факторы, оказывающие воздействие на воздухоораспределение в исследуемом помещении.

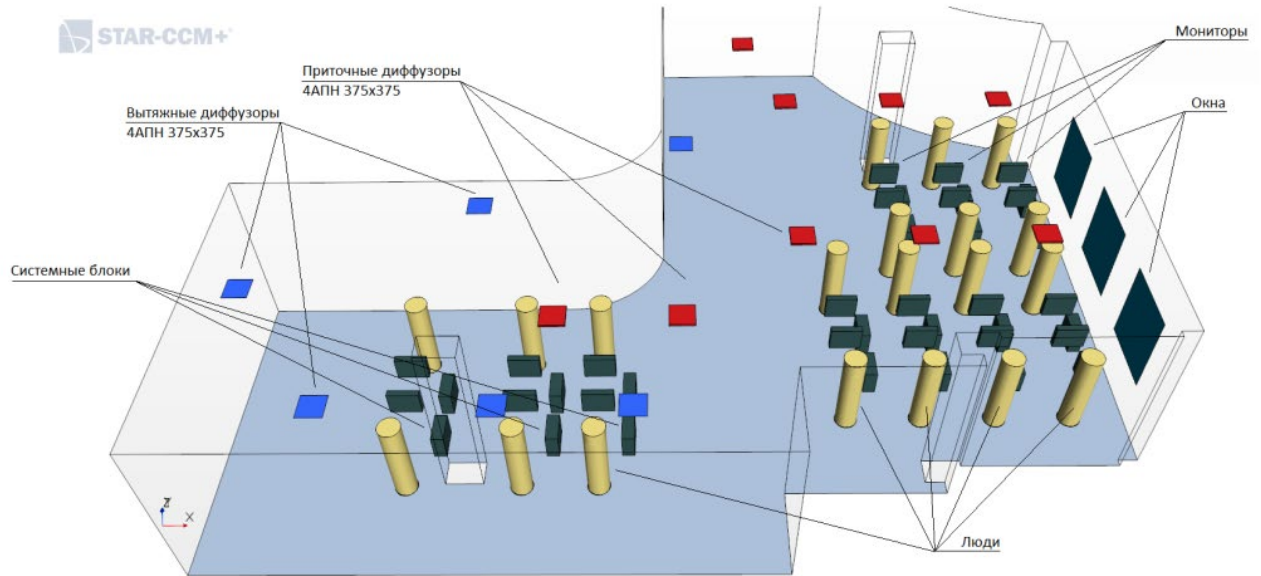


Рис. 2 – Модель операционного зала и расположенных в нем объектов

### Методы и принципы исследования

До сих пор использование методов традиционного «инженерного» вычисления для решения прикладных задач, связанных с проектированием и оптимизацией системы воздухораспределения, вопросами движения приточных и конвективных струй и формированием поля скоростей, температуры, относительной влажности и концентрации  $CO_2$  в офисах все еще остается ограниченным. Расчет интегральных уравнений трудоемок и не учитывает всех особенностей исследуемого объекта: геометрии помещения, архитектурно-проектировочных особенностей, структуры рассматриваемых течений и пр. [15, С. 1-3].

Применение метода математического моделирования на базе гидродинамического пакета универсальной программы Star-CCM+ позволит проанализировать параметры воздушной среды в операционном зале для выявления особенностей формирования аэродинамических полей, отклонений от теоретической модели воздушного потока и, как следствие, дальнейшей рационализации воздухоподдачи системы центрального кондиционирования воздуха.

Принцип программного эксперимента основан на методе конечных объемов – дискретизации уравнений Навье-Стокса, осредненных по времени (уравнений Рейнольдса), в ходе которого расчетная область исследуемой модели разбивается на определенное количество непересекающихся элементарных объемов, совокупность которых называется расчетной сеткой. Для каждого элементарного объема определяются законы сохранения массы импульса и энергии, которые преобразуются в систему алгебраических уравнений относительно скорости, температуры, плотности вещества и других характеристик в центрах расчетных ячеек, что позволяет получить распределение параметров сплошной среды в замкнутом объеме, ее теплофизические и гидродинамические особенности [16, С. 156].

$$\begin{cases} \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_j} = 0 \\ \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u}_j \bar{u}_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \nu \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \right) + g\beta(T - T_0) + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\bar{u}_i' \bar{u}_j') \\ \frac{\partial \bar{T}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u}_j \bar{T}}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{\lambda}{\rho c_p} \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_j} \right) + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\bar{T}' \bar{u}_j') \end{cases} \quad (1)$$

где  $t$  – время;  $\rho$  – плотность;  $\bar{u}$  – компоненты вектора осредненной скорости по осям координат;  $\nu$  – коэффициент кинематической вязкости;  $(T - T_0)$  – отклонение фактической температуры от фиксированной средней;  $\beta = T^{-1}$  – коэффициент теплового расширения среды;  $\bar{P}$ ,  $\bar{T}$  – осредненные давление и температура;  $\bar{u}_i' \bar{u}_j' = \frac{\tau_{ij}}{\rho}$ ;  $\tau_{ij}$  – турбулентные напряжения (дополнительные напряжения Рейнольдса);  $\rho c_p \bar{T}' \bar{u}_j'$  – дополнительный тепловой поток;  $u_i'$ ,  $u_j'$ ,  $T'$  – локальные пульсации скорости и температуры.

Определение характеристик турбулентности осуществляется с применением модели турбулентности типа «к-ε», как одной из наиболее эффективных для решения задач подобного рода. Уравнение стандартной модели турбулентности «к-ε» записывается следующими выражениями [17, С. 75]:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k \bar{u}_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \varepsilon \bar{u}_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{\varepsilon 3} G_b) - C_{\varepsilon 2} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \quad (3)$$

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (4)$$

где  $G_k$  – турбулентная кинетическая энергия, образованная средними градиентами скорости;  $G_b$  – кинетическая энергия выталкивающей силы;  $Y_M$  – вклад переменного расширения в общую скорость диссипации, учитывающийся только при больших числах Маха;  $C_{\varepsilon 1}$ ,  $C_{\varepsilon 2}$ ,  $C_\mu$  – константы, выявленные на основе эмпирических данных.

### Основные результаты

С целью экономии вычислительных ресурсов при построении расчетных сеток и сокращении времени итераций было принято решение по упрощению конструкций приточных диффузоров 4АПН 375 × 375 с сохранением характерной особенности формирования горизонтальных веерных потоков. Было запроектировано отдельное экспериментальное помещение размером  $A \times B = 10 \times 10$  м и высотой в  $h_{\text{пом}} = 3$  м, в центре которого установлены 3 варианта моделей воздухораспределителей (см. рисунок 3): 1-я модель – упрощенная, вместо блока направляющих пластин установлена плоская панель, параллельная притоку; 2-я модель – упрощенная, вместо блока направляющих пластин установлен прямоугольный параллелепипед, выпуск приточного воздуха у которого осуществляется из боковых граней параллельно потолку; 3-я модель – детализированная, соответствующая реальной конструкции.

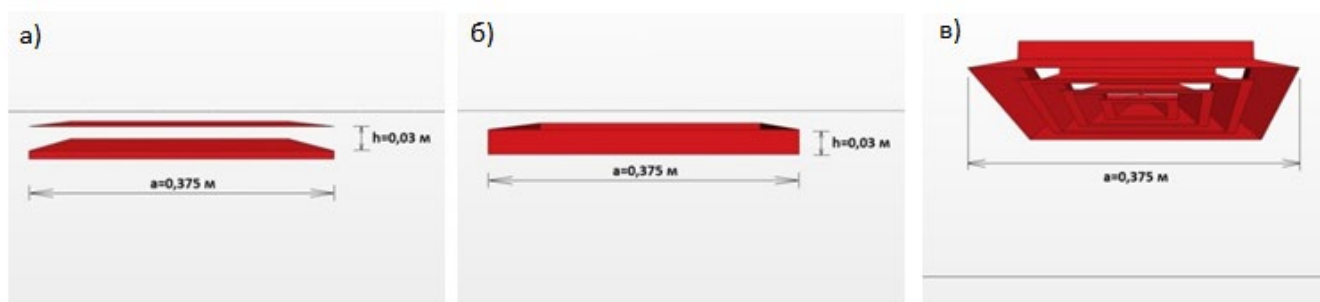


Рис. 3 – Геометрические модели диффузора 4АПН 375 × 375: а) 1-я модель; б) 2-я модель; в) 3-я модель

Полученные результаты показали, что во всех трех вариантах программного моделирования приточных веерных диффузоров обеспечивается ряд законов формирования и распространения полновеерных потоков (см. рисунок 4). Во-первых, во всех трех вариантах можно наблюдать настиление веерной струи на потолок, что вызвано отсутствием подпитки воздуха из помещения в пристенную область течения струи и формированием в этой области отрицательного статического давления [18, С. 124]. В связи с чем, происходит «налипание» струи на поверхность ограждения, и распространение ее в полуограниченной форме (эффект Коанда). Во-вторых, полученные модели доказывают двунаправленность расширения полной веерной струи: в параллельной плоскости – за счет принудительной подачи и наличия начального импульса движения  $I_0$  – и в перпендикулярной плоскости – из-за естественного турбулентного перемешивания с воздухом в помещении [19, С. 70-71].

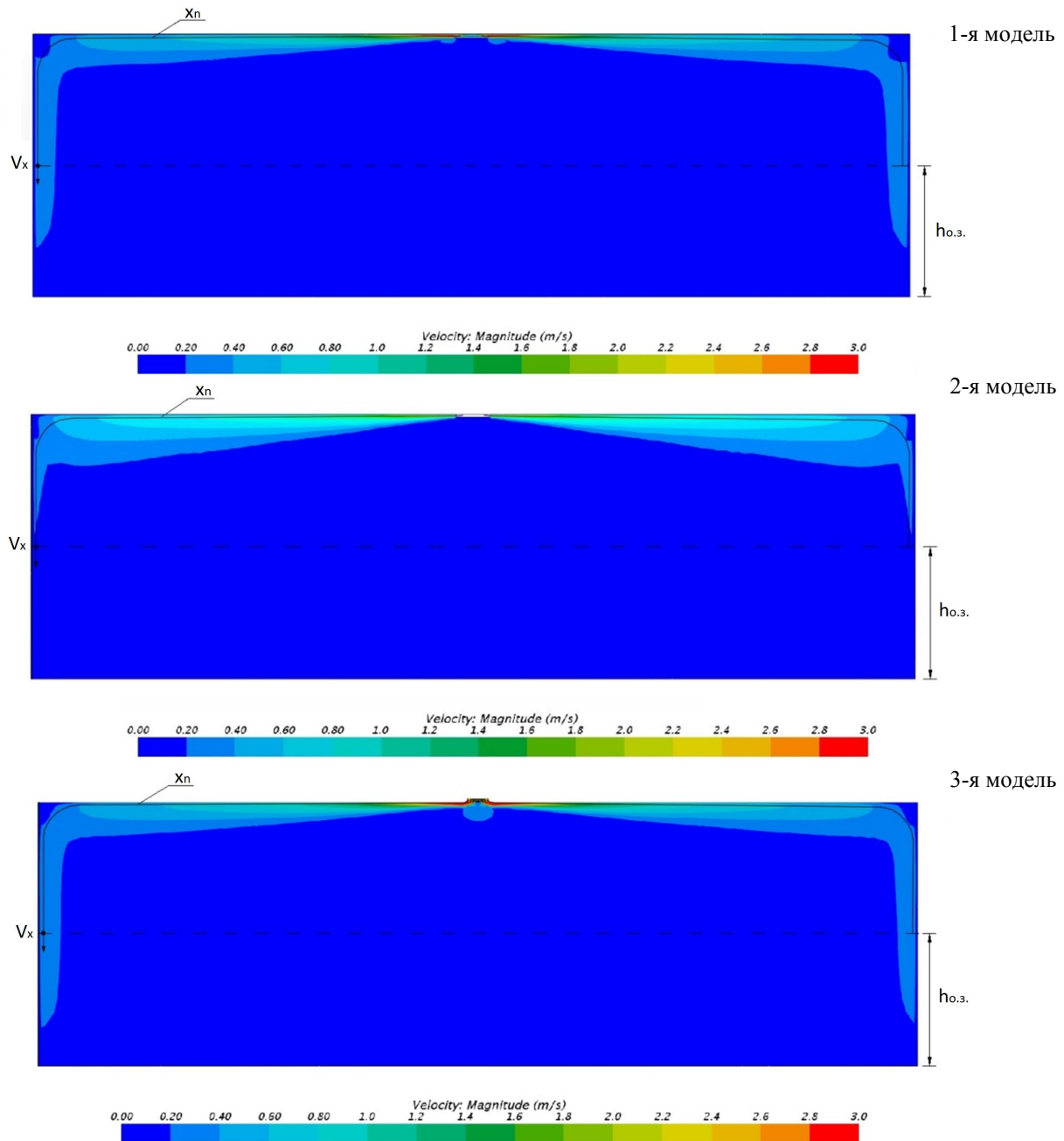


Рис. 4 – Аэродинамические поля в вертикальном сечении в экспериментальном помещении

Анализ вертикальных аэродинамических полей выявил, что наиболее схожими значениями скоростей воздуха при входе вертикальной составляющей веерной струи в обслуживаемую зону обладают 1-я и 3-я модели, то есть, модель с установленной пластиной параллельной притоку и точная модель воздухораспределителя 4АПН 375 × 375: скорость воздуха на оси струи на верхней границе обслуживаемой зоны в обоих случаях варьируется около  $v_x = 0,2 \div 0,4$  м/с. Снижение подвижности приточной струи до значений  $v_x = 0,0 \div 0,2$  м/с происходит на расстоянии  $x = 0,54 \div 0,56$  м от уровня пола для первого и третьего варианта соответственно.

Второй вариант построения аэродинамического поля с использованием в качестве диффузора прямоугольного параллелепипеда оказался отличным от предыдущих моделей. Данный вид устройства нельзя применять в качестве замены реального диффузора 4АПН, поскольку осевые скорости, развиваемые им, значительно ниже необходимых. Вертикальная составляющая полной веерной струи гасится еще до пересечения верхней границы рабочей зоны с уменьшением осевой скорости до  $v_x = 0,0 \div 0,2$  м/с.

Явное снижение подвижности приточной струи 2-й модели связано с отсутствием области повышенного давления при истечении воздуха из воздухораспределителя, поскольку на пути у потока нет преграды. Для первой и третьей модели характерно взаимодействие притока с параллельной пластиной (либо направляющими лопатками), в результате чего происходит торможение струи в сложной системе скачков уплотнения и повышения полного аэродинамического давления, что и приводит к интенсивному растеканию приточного воздуха вдоль преграды в виде настилающейся на потолок струи [20, С. 91]. Поступающая в помещение струя из боковых граней второй модели, перпендикулярных потолку, сразу настигается на плоскость, из-за чего модули скоростей в продольном сечении начинают падать значительно быстрее.

Адекватность формирования приточных потоков 3-й модели эксперимента подтверждена при сопоставлении полученных максимальных скоростей струи на аэродинамическом поле с осевыми скоростями, рассчитываемыми по формулам:

$$v_x = v_0 \frac{m\sqrt{F_0}}{x} \cdot k_c \cdot k_b \cdot k_n \quad (5)$$

$$k_c = k_c^T + \frac{0,9}{m} \cdot \frac{L_c}{L_{01}} \cdot \frac{x}{\sqrt{A_p}} \cdot \sqrt{\frac{F_0}{A_p}} \quad (6)$$

$$k_c^T = f\left(\frac{h_{\text{пом}} - h_{0,3}}{A_p}\right) \quad (7)$$

где  $x$  – полная длина струи по аэродинамической оси, м;  $k_c$  – коэффициент стеснения (отклонения) струи;  $k_b$  – коэффициент взаимодействия струи;  $k_n$  – коэффициент неизотермичности струи;  $L_c$  – расход удаляемого воздуха, в конце развития струи, м<sup>3</sup>/ч;  $L_0$  – расход воздуха, приходящийся на приточный диффузор, м<sup>3</sup>/ч;  $A_p$  – площадь помещения, приходящаяся на один диффузор, м<sup>2</sup>.

Таблица 1 – Распределение скоростей приточной струи в зависимости от расстояния по аэродинамической оси

Участок струи	Горизонтальный									Вертикальный		
Расстояние от диффузора до расчетной точки, $x$ , м	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5
Осевая скорость, $v_x$ , м/с	1,9	1,2	0,9	0,7	0,6	0,5	0,46	0,41	0,37	0,33	0,31	0,28

В ходе программного расчета воздушной среды непосредственно в операционном зале было получено, что заданный воздухообмен позволяет в полной мере ассимилировать избытки тепла, поступающие в помещение от людей, мониторов, системных блоков и солнечной радиации (см. рисунок 5).

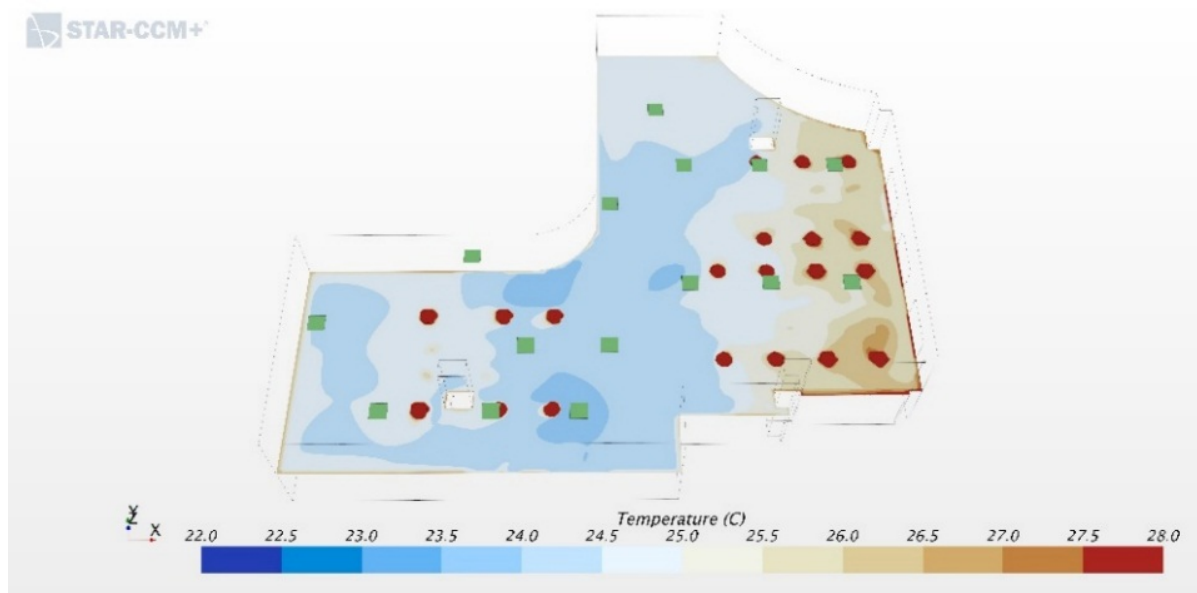


Рис. 5 – Поле температур на высоте 1,5 м от уровня пола

Однако при рассмотрении аэродинамического поля на верхней границе обслуживаемой зоны было установлено, что зоны локального превышения подвижности воздуха до 0,5 – 0,65 м/с, что является недопустимым (см. рисунок 6).



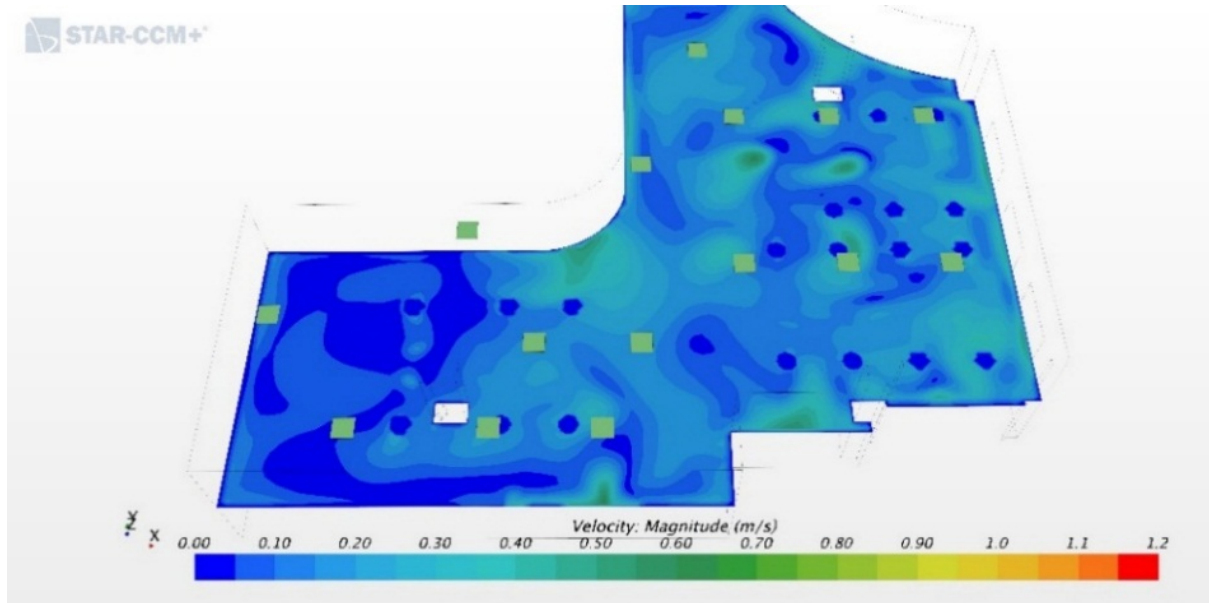


Рис. 6 – Поле скоростей на высоте 1,5 м от уровня пола

При подробном рассмотрении других аэродинамических полей было сделано предположение, что такое сильное возрастание скоростей приточного воздуха может быть связано с отсутствием подробного описания процесса соударения настилающихся на потолок веерных струй и метода определения коэффициента взаимодействия между ними  $k_v$ . Вопросы взаимодействия направленных навстречу воздушных потоков подробно изучались Г.А. Смирновым, И.Л. Ганесом, О. Конрадом. Ими был введен новый коэффициент взаимодействия встречных струй  $k_v^{встр}$ , который определяется по формуле [1, С. 136-137]:

$$k_v^{встр} = \frac{v_{рез}}{v_x} \quad (8)$$

где  $v_{рез}$  – скорость на оси результирующей струи.

Исследования показали: при уменьшении расстояния между воздуховыпускными устройствами происходит падение результирующей скорости двух взаимодействующих струй, как и значение корректирующего коэффициента. При этом, обычно коэффициент взаимодействия двух одинаковых струй, направленных навстречу друг другу, принимают равным 0,6 [10, С. 120].

Как можно видеть на плоскости, проходящей через приточные диффузоры (см. рисунок 7), отчетливо прослеживается торможение двух горизонтальных отрезков полновеерных струй. Однако затем, после столкновения, под действием гравитационных и инерциальных сил происходит отрыв воздушных масс и ниспадание их в одном, результирующем потоке, имеющем в поперечном сечении форму плоской струи. Как видим, две плоские струи под определенным углом образуют результирующий вертикальный поток воздуха плоского типа. Поскольку струи распространяются в одинаковом параллельном потоке, а расстояние  $l = 2B_0$  между ними практически равно нулю, их скорость движения возрастет.

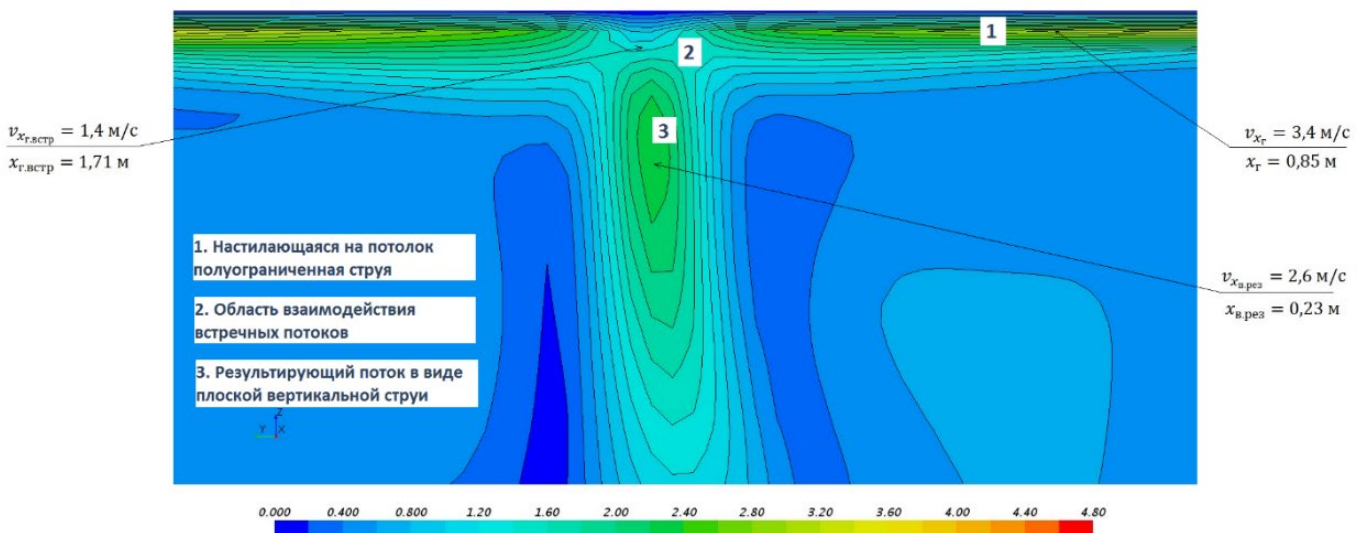


Рис. 7 – Аэродинамическое поле в вертикальном сечении встречных настилающихся на потолок полуограниченных струй

Распределение скоростей в зоне взаимодействия сонаправленных плоских струй можно определить, взяв за основу уравнение, выведенное И.А. Шепелевым [19, С. 62]:

$$v^2 = \frac{v_1^2}{2} \left[ \operatorname{erf} \frac{y - B_0}{cx} - \operatorname{erf} \frac{y - (B_0 - B_1)}{cx} \right] + \frac{v_2^2}{2} \left[ \operatorname{erf} \frac{y + (B_0 + B_2)}{cx} - \operatorname{erf} \frac{y + B_0}{cx} \right] \quad (9)$$

где  $v_1^2$ ,  $v_2^2$  – скорости на оси первой и второй струи;  $B_0$  – половина расстояния между взаимодействующими струями;  $B_1$ ,  $B_2$  – толщина первой и второй струи в рассматриваемом сечении;  $x$  – расстояние от начала струи до произвольного поперечного сечения;  $c$  – экспериментальное постоянное.

Поскольку в нашем случае толщина стенки между двумя струями отсутствует и расстояние между ними исчезающе мало (см. рисунок 8), то уравнение примет вид:

$$v^2 = \frac{v_1^2}{2} \left( \operatorname{erf} \frac{y}{cx} + 1 \right) + \frac{v_2^2}{2} \left( \operatorname{erf} \frac{y}{cx} \right) \quad (10)$$

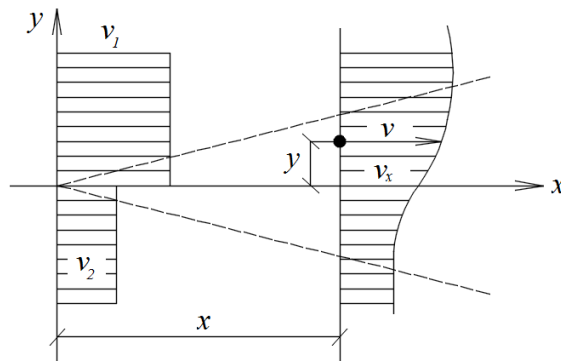


Рис. 8 – Зона перемешивания двух параллельных потоков при  $B_0 = 0$

Правильность математической модели подтверждается величиной максимальной скорости воздуха в слившемся потоке горизонтальных струй на начальном этапе взаимодействия, когда результирующая скорость составляет 60% от скорости в каждой из струй:

$$v_{x, \text{встр}} = v_0 \cdot 0,6 = 2,38 \cdot 0,6 = 1,43 \text{ м/с} \quad (11)$$

где  $v_{x, \text{встр}}$  – скорость воздуха на горизонтальном участке полновеерной струи в точке встречи с противоположно направленной струей, м/с.

При выполнении инженерных расчетов воздухораспределения исследуемых полновеерных диффузоров, в том числе, устройств 4АПН, коэффициент  $k_b$  был принят равным 1 в соответствии с установленными положениями [10, С. 121], [13, С. 534]. Тем не менее, точного описания способа нахождения коэффициента взаимодействия для полуограниченных настилающихся на потолок полновеерных струй отсутствует. Имеющиеся графики по нахождению  $k_b$  описывают случаи взаимодействия сонаправленных компактных, плоских и неполновеерных струй [21, С. 244], однако, влияние встречных потоков горизонтальных веерных струй в них не рассматривается.

С целью повышения эффективности системы воздухораспределения в операционном зале с учетом корректировки коэффициентов взаимодействия было принято решение по уменьшению расчетной величины относительной площади приточной струи каждого диффузора  $\bar{A}_g$  в пределах нормируемого диапазона от 0,5 до 0,7. Для этого были увеличены модули площади помещения, приходящиеся на один приточный воздухораспределитель  $A_p$ , посредством снижения их количества и увеличения типоразмера.

Полученные результаты повторного моделирования показали снижение общей подвижности воздуха в помещении. Применение одного приточного диффузора 4АПН 750 × 750 в центральной зоне и двух диффузоров 4АПН до 525 × 525 в западной зоне операционного зала позволило обеспечить наилучшую равномерность распределения скоростей в обслуживаемой зоне (см. рисунок 9).



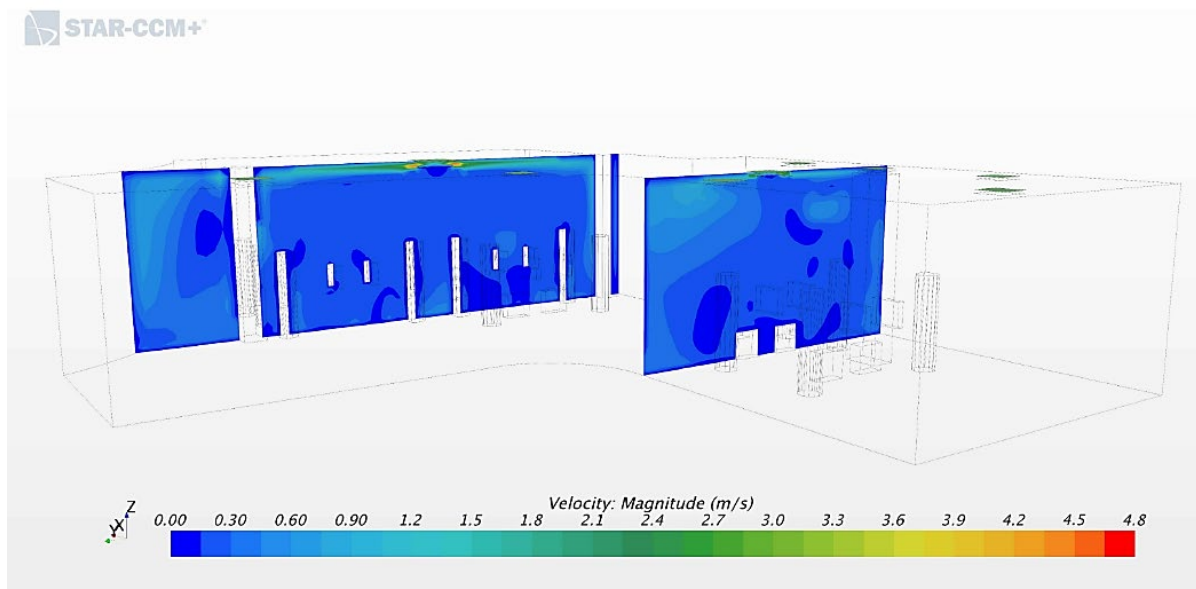


Рис. 9 – Поля скоростей в вертикальном сечении приточного диффузора центральной и западной зоны помещения

### Заключение

В офисных помещениях с низкими потолками, где реализуется подача воздуха по схеме «сверху-вверх» полновеевыми диффузорами, особенно возрастает значение правильно подобранных воздуховыпускных устройств, их типоразмеров и взаимного расположения. Малые отрезки вертикальных участков приточных струй усиливают влияние коэффициентов  $m$  и  $n$  на обеспечение заданной траектории движения струи и нормируемых параметров воздуха в рабочей зоне помещения.

При реализации программного расчета подачи воздуха веерными диффузорами типа 4АПН сокращение времени численного эксперимента, снижение нагрузки на ЭВМ осуществляется путем замены точной конструкции воздухораспределителя на упрощенный вариант с установкой плоской пластины, параллельной притоку, обеспечивающей заданную аэродинамическую модель формирования настилающихся на потолок веерных струй.

Значения коэффициентов взаимодействия двух противоположно направленных потоков настилающихся на потолок струй  $k_{\text{встр}}^{\text{встр}}$  нуждаются в дополнительном исследовании. Существующие методики определения коэффициента не учитывают динамики гашения встречных потоков, их дальнейшего сложения при изменении направления и образования результирующего вертикального потока в виде плоской струи.

Одним из способов повышения эффективности систем подачи и распределения воздуха в помещении, а также повышения равномерности подвижности воздушных потоков и снижения их скорости является уменьшение относительной площади приточной струи при поступлении ее в обслуживаемую зону  $A_g$ , что осуществляется путем сокращения количества приточных воздухораспределителей.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Conflict of Interest

None declared.

### Список литературы / References

1. Гримитлин М. И. Распределение воздуха в помещениях. Изд. 3-е, доп. и исп. / М. И. Гримитлин. – СПб.: АВОК Северо-Запад, 2004. – 319 с.
2. СП 60.13330.2016. Актуализированная редакция СНиП 41–01–2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование. – Введ. 2017–06–17. – М.: Минстрой России, 2016. – 95 с.
3. Денисихина Д.М. Решение задач распределения воздуха в спортивном зале борьбы [Электронный ресурс] / Д.М. Денисихина, Р.Ж. Шупашева, А.Н. Колубков // Журнал «АВОК». – 2015. – №4. – URL: [abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=6133](http://abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6133) (дата обращения: 08.06.2020).
4. Баландина Л.Я. Особенности применения воздухораспределителей при современном строительстве и реконструкции помещений различного назначения [Электронный ресурс] / Л.Я. Баландина, Л.П. Мошкова // Журнал С.О.К.: Сантехника, Отопление, Кондиционирование. – 2005. – №6. – URL: [c-o-k.ru/articles/osobennosti-primeneniya-vozduhoraspredeliteley-pri-sovremennom-stroitel-stve-i-rekonstrukcii-pomescheniy-razlichnogo-naznacheniya](http://c-o-k.ru/articles/osobennosti-primeneniya-vozduhoraspredeliteley-pri-sovremennom-stroitel-stve-i-rekonstrukcii-pomescheniy-razlichnogo-naznacheniya) (дата обращения: 08.06.2020).
5. Antonio Briganti. Системы воздухораспределения. Новейшие принципы [Электронный ресурс] / Antonio Briganti // Журнал «АВОК». – 2018. – №1. – URL: [meskazan.ru/files/publications/2018/avok-2018-1-78-88.pdf](http://meskazan.ru/files/publications/2018/avok-2018-1-78-88.pdf) (дата обращения: 08.06.2020).
6. Брух С.В. VRF-системы кондиционирования воздуха. Особенности проектирования монтажа, наладки, сервиса / С.В. Брух. – М.: ООО «Компания БИС», 2017. – 359 с.
7. Баландина Л.Я. Пути повышения энергоэффективности способов воздухораспределения [Электронный ресурс] / Л.Я. Баландина, В.Э. Шкарпет // Журнал «АВОК». – 2012. – №5. – URL: [abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=5289](http://abok.ru/for_spec/articles.php?nid=5289) (дата обращения: 08.06.2020).

8. Новые активные охлаждающие балки от Fläkt Woods [Электронный ресурс]. Журнал «АВОК». – 2015. – №4. – URL: [meskazan.ru/files/publications/2017/avok-2015-4-18.pdf](http://meskazan.ru/files/publications/2017/avok-2015-4-18.pdf) (дата обращения: 08.06.2020).
9. Русланова Г.В. Отопление и вентиляция жилых и гражданских зданий: Проектирование: Справочник / Г.В. Русланова, Э.Л. Ямпольский. – Киев: Будівельник, 1983. – 272 с.
10. Баркалов Б. В. Внутренние санитарно-технические устройства. В 3 частях. Часть 3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Книга 2 / Б. В. Баркалов, Н. Н. Павлов, С. С. Амирджанов и др.; под ред. Н.Н. Павлова, Ю.И. Шиллера. – М.: Стройиздат, 1992. – 410 с.
11. ГОСТ 30494–2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. – Введ. 2013–01–01. – М.: Стандартинформ, 2013. – 12 с.
12. Трубицына Г.Н. Вентиляция: учебное пособие / Г.Н. Трубицына; М-во образования и науки Российской Федерации, Магнитогорский гос. технический ун-т. – Магнитогорск: МГТУ, 2014. – 124 с.
13. Воздухораспределители компании «Арктос». Каталог продукции. Указания по расчету и применению воздухораспределителей [Электронный ресурс]. 2017. – URL: [arktoscomfort.ru/wp-content/Kat/air/katalog/2017/11.pdf](http://arktoscomfort.ru/wp-content/Kat/air/katalog/2017/11.pdf) (дата обращения: 08.06.2020).
14. Вдовичев А.А. Применение воздухораспределителей, образующих горизонтальные веерные струи, в офисном помещении / А.А. Вдовичев // Международный научно-исследовательский журнал. – 2018. – №4(70). – С. 99–103.
15. Беляев К.В. Моделирование конвективного тепло- и массообмена в системах вентиляции и кондиционирования помещений и охлаждения электронного оборудования на основе уравнений Рейнольдса. Автореферат дис. / К.В. Беляев. – СПб: СПбГТУ, 2000. – 16 с.
16. Уляшева В. М. Численное моделирование распределения воздуха веерными диффузорами в офисных помещениях / В. М. Уляшева, А. А. Вдовичев // Материалы XVI Международной научной конференции «Качество внутреннего воздуха и окружающей среды». – 2018. – №1. – С. 154–159.
17. Кузьминов А. В. Метод расчета турбулентных течений несжимаемой жидкости на основе двухслойной (k-ε)-модели / А. В. Кузьминов, В. Н. Лапин, С. Г. Черный // Вычислительные технологии. – 2001. – Т. 6. – № 5. – С. 73–86.
18. Богословский В. Н. Отопление и вентиляция. В 2-х частях. Часть II. Вентиляция / В. Н. Богословский. – М.: Стройиздат, 1976. – 439 с.
19. Шепелев И. А. Аэродинамика воздушных потоков в помещении / И.А. Шепелев. – М.: Стройиздат, 1978. – 144 с.
20. Благосклонов В. И. Истечение в затопленное пространство сверхзвуковой веерной струи идеального газа с равномерным заданием параметров в начальном сечении / В. И. Благосклонов, М. Я. Иванов // Журнал «Ученые записки ЦАГИ». – 1978 г. – №2. – С. 91–95.
21. Баркалов Б.В. Кондиционирование воздуха в промышленных, общественных и жилых зданиях / Б.В. Баркалов, Е.Е. Карпис. – М.: Стройиздат, 1971. – 269 с.

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

1. Grititlin M. I. Raspredeleniye vozdukh v pomeshcheniyakh. Izd. 3-ye, dop. i isp. [Air distribution in the rooms. 3rd edition, supplemented and corrected] / M. I. Grititlin. – SPb.: AVOK Severo-Zapad, 2004. – 319 p. [in Russian]
2. SP 60.13330.2016. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 41–01–2003. Otopleniye, ventilyatsiya i konditsionirovaniye [Heating, ventilation and air conditioning]. – Vved. 2017–06–17. – М.: Minstroy Rossii, 2016. – 95 p. [in Russian]
3. Denisikhina D.M. Resheniye zadach raspredeleniya vozdukh v sportivnom zale bor'by [Solving the problems of air distribution in the sports hall] [Electronic resource] / D.M. Denisikhina, R.ZH. Shupasheva, A.N. Kolubkov // Zhurnal «AVOK». – 2015. – №4. – URL: [abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=6133](http://abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6133) (accessed: 08.06.2020). [in Russian]
4. Balandina L.YA. Osobennosti primeneniya vozdukhoraspredeliteley pri sovremennom stroitel'stve i rekonstruktsii pomeshcheniy razlichnogo naznacheniya [Features of the use of air distributors in modern construction and reconstruction of premises for various purposes] [Electronic resource] / L.YA. Balandina, L.P. Moshkova // Zhurnal S.O.K.: Santechnika, Otopleniye, Konditsionirovaniye. – 2005. – №6. – URL: [c-o-k.ru/articles/osobennosti-primeneniya-vozduhoraspredeliteley-pri-sovremennom-stroitel'stve-i-rekonstrukcii-pomeshcheniy-razlichnogo-naznacheniya](http://c-o-k.ru/articles/osobennosti-primeneniya-vozduhoraspredeliteley-pri-sovremennom-stroitel'stve-i-rekonstrukcii-pomeshcheniy-razlichnogo-naznacheniya) (accessed: 08.06.2020). [in Russian]
5. Antonio Briganti. Sistemy vozdukhoraspredeleniya. Noveyshiye printsipy [Air distribution systems. The latest principles] [Electronic resource] / Antonio Briganti // Zhurnal «AVOK». – 2018. – №1. – URL: [meskazan.ru/files/publications/2018/avok-2018-1-78-88.pdf](http://meskazan.ru/files/publications/2018/avok-2018-1-78-88.pdf) (accessed: 08.06.2020). [in Russian]
6. Brukh S.V. VRF-sistemy konditsionirovaniya vozdukh. Osobennosti proyektirovaniya montazha, naladki, servisa [VRF air conditioning systems. Features of the design of installation, commissioning, service] / S.V. Brukh. – М.: ООО «Компания BIS», 2017. – 359 p. [in Russian]
7. Balandina L.YA. Puti povysheniya energoeffektivnosti sposobov vozdukhoraspredeleniya [Ways to improve energy efficiency of air distribution methods] [Electronic resource] / L.YA. Balandina, V.E. Shkarpet // Zhurnal «AVOK». – 2012. – №5. – URL: [abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=5289](http://abok.ru/for_spec/articles.php?nid=5289) (accessed: 08.06.2020). [in Russian]
8. Novyye aktivnyye okhlazhdayushchiye balki ot Fläkt Woods. Zhurnal «AVOK» [New active chilled beams from Fläkt Woods. The magazine «AVOK»] [Electronic resource]. – 2015. – №4. – URL: [meskazan.ru/files/publications/2017/avok-2015-4-18.pdf](http://meskazan.ru/files/publications/2017/avok-2015-4-18.pdf) (accessed: 08.06.2020). [in Russian]
9. Ruslanova G.V. Otopleniye i ventilyatsiya zhilykh i grazhdanskikh zdaniy: Proyektirovaniye: Spravochnik [Heating and ventilation of residential and civil buildings: Design: Reference book] / G.V. Ruslanova, E.L. Yampol'skiy. – Kiyev: Budivel'nik, 1983. – 272 p. [in Russian]
10. Barkalov B. V. Vnutrenniye sanitarno-tekhnicheskiye ustroystva. V 3 chastyakh. Chast' 3. Ventilyatsiya i konditsionirovaniye vozdukh. Kniga 2 [Internal sanitary facilities. In 3 parts. Part 3. Ventilation and air conditioning. Book 2] / B. V. Barkalov, N. N. Pavlov, S. S. Amirdzhanov i dr.; pod red. N.N. Pavlova, YU.I. Shillera. – М.: Stroyizdat, 1992. – 410 p. [in Russian]

11. GOST 30494–2011. Zdaniya zhilyye i obshchestvennyye. Parametry mikroklimata v pomeshcheniyakh [Residential and public buildings. Indoor microclimate parameters]. – Vved. 2013–01–01. – M.: Standartinform, 2013. – 12 p. [in Russian]
12. Trubitsyna G.N. Ventilyatsiya: uchebnoye posobiye [Ventilation: a training manual] / G.N. Trubitsyna; M-vo obrazovaniya i nauki Rossiyskoy Federatsii, Magnitogorskiy gos. tekhnicheskiy un-t. – Magnitogorsk: MGUTU, 2014. – 124 p. [in Russian]
13. Vozdukhoraspredeliteli kompanii «Arktos». Katalog produktsii. Ukazaniya po raschetu i primeneniyu vozdukhoraspredeliteley [Air distributors of the Arktos company. Product Catalog. Instructions for the calculation and use of air distributors] [Electronic resource]. 2017. – URL: [arktoscomfort.ru/wp-content/Kat/air/katalog/2017/11.pdf](http://arktoscomfort.ru/wp-content/Kat/air/katalog/2017/11.pdf) (accessed: 08.06.2020). [in Russian]
14. Vdovichev A.A. Primeneniye vozdukhoraspredeliteley, obrazuyushchikh gorizontal'nyye veyernyye strui, v ofisnom pomeshchenii [The use of air distributors forming horizontal fan jets in an office room] / A.A. Vdovichev // *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*. – 2018. – №4 (70). – P. 99–103. [in Russian]
15. Belyayev K.V. Modelirovaniye konvektivnogo teplo- i massoobmena v sistemakh ventilyatsii i konditsionirovaniya pomeshchenii i okhlazhdeniya elektronnoy oborudovaniya na osnove uravneniy Reynol'dsa. Avtoreferat dis. [Modeling of convective heat and mass transfer in ventilation and air conditioning systems and cooling of electronic equipment based on the Reynolds equations. Abstract of the dissertation] / K.V. Belyayev. – SPb: SPbGTU, 2000. – 16 p. [in Russian]
16. Ulyasheva V. M. Chislennoye modelirovaniye raspredeleniya vozdukha veyernymi diffuzorami v ofisnykh pomeshcheniyakh [Numerical modeling of air distribution by fan diffusers in office premises] / V. M. Ulyasheva, A. A. Vdovichev // *Materialy XVI Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Kachestvo vnutrennego vozdukha i okruzhayushchey sredy»*. – 2018. – №1. – P. 154–159. [in Russian]
17. Kuz'minov A. V. Metod rascheta turbulentnykh techeniy neszhimayemoy zhidkosti na osnove dvukhsloynoy (k-ε)-modeli [A method for calculating turbulent flows of an incompressible fluid based on a two-layer (k-ε) model] / A. V. Kuz'minov, V. N. Lapin, S. G. Chernyy // *Vychislitel'nyye tekhnologii*. – 2001. – T. 6. – № 5. – P. 73–86. [in Russian]
18. Bogoslovskiy V. N. Otopleniye i ventilyatsiya. V 2-kh chastyakh. Chast' II. Ventilyatsiya [Heating and ventilation. In 2 parts. Part II Ventilation] / V. N. Bogoslovskiy. – M.: Stroyizdat, 1976. – 439 p. [in Russian]
19. Shepelev I. A. Aerodinamika vozdushnykh potokov v pomeshchenii [Aerodynamics of air flows in the room] / I.A. Shepelev. – M.: Stroyizdat, 1978. – 144 p. [in Russian]
20. Blagosklonov V. I. Istecheniye v zatoplennoye prostranstvo sverkhzvukovoy veyernoy strui ideal'nogo gaza s ravnomernym zadaniyem parametrov v nachal'nom sechenii [The outflow into the flooded space of a supersonic fan jet of ideal gas with uniform task in the initial section] / V. I. Blagosklonov, M. YA. Ivanov // *Zhurnal «Uchenyye zapiski TSAGI»*. – 1978 g. – №2. – P. 91–95. [in Russian]
21. Barkalov B.V. Konditsionirovaniye vozdukha v promyshlennykh, obshchestvennykh i zhilykh zdaniyakh [Air conditioning in industrial, public and residential buildings] / B.V. Barkalov, Ye.Ye. Karpis. – M.: Stroyizdat, 1971. – 269 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.97.7.007>РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ  
МЕХАТРОННЫМ МОДУЛЕМ

Научная статья

Ермаков С.Р.<sup>1, \*</sup>, Пустошилов Д.В.<sup>2</sup>, Рыжанов М.В.<sup>3</sup><sup>1, 2, 3</sup> РТУ МИРЭА, Москва, Россия

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

**Аннотация**

В данной статье рассматриваются новейшие методы и практические реализации визуализации системы управления мехатронным модулем привода технологического оборудования. Эффективность визуализации обусловлена особенностями пользователя, позволяющими лучше воспринимать, быстрее запоминать и легче воспроизводить образную информацию. Обучение, мониторинг, администрирование, организация работ — на любом из этапов цикла управления использование визуальных инструментов с использованием современных технологий позволяет оптимизировать производство. Каждый из этапов может быть потенцирован с помощью визуализации процессов и метрик. При разработке данной визуализации управления мехатронным модулем учитывается важность представления пользовательского интерфейса и удобность его использования.

**Ключевые слова:** визуализация, мехатронный модуль, система управления, технологическое оборудование, цифровой двойник.

DEVELOPMENT OF INFORMATION SYSTEM FOR VISUALIZATION  
OF MECHATRONIC MODULE CONTROL

Research article

Ermakov S.R.<sup>1, \*</sup>, Pustoshilov D.V.<sup>2</sup>, Ryzhanov M.V.<sup>3</sup><sup>1, 2, 3</sup> MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russia

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

**Abstract**

This paper discusses the latest methods and practical implementations of the visualization of the control system for the mechatronic drive module of technological equipment. The effectiveness of visualization is due to the features of a user, allowing one to perceive better, remember faster, and reproduce figurative information easier. Training, monitoring, administration, organization of work are possible at any stage of the management cycle. The use of visual tools with modern technologies allows us to optimize production. Each of the steps can be potentiated by visualizing processes and metrics. When developing this visualization of mechatronic module control, the importance of user interface presentation, and the convenience of its use must be taken into account.

**Keywords:** visualization, mechatronic module, control system, technological equipment, digital double.

**Введение**

Глобальные изменения в мировых производственных процессах создают запрос на исследования и углубление познания в областях производственной и промышленной информатики. Новые технологии, которые появляются в рамках концепции «Industry 4.0», позволяют провести дополнительные научные изыскания и внедрить новейшие разработки в производственные процессы. Среди этих технологий — цифровые двойники. Согласно исследованиям Gartner, уже к 2021 году 50% крупных производственных компаний будут использовать концепцию цифровых двойников [1].

Объектом данного исследования является концепция цифровых двойников в визуализации управления, а предметом — визуализация для системы управления цифровым двойником мехатронного модуля привода технологического оборудования. Реализация концепции цифрового двойника актуальна при наличии связующих звеньев — необходимое внимание в исследовании уделено проектированию и реализации визуализации системы управления между субъектом взаимодействия (человеком или искусственным интеллектом) и объектом (цифровым двойником).

**Цель и задачи**

Цель исследования: визуализация системы управления мехатронным модулем привода технологического оборудования. Задачи, при помощи которых достигается эта цель:

- проектирование концептуальную архитектуры (модели);
- практическая реализация визуализации управления мехатронным модулем;
- практическая реализация визуализации цифрового двойника.

**Используемые программно-технические средства**

В ходе исследования используются программное обеспечение КОМПАС-3D Home и SimInTech [2].

**Проектирование**

Цифровой двойник является не только представлением реального объекта в виртуальном мире, который упрощает взаимодействие с физической сущностью, но и является инструментом доступа к физическому объекту или его виртуальной копии. В этой связи исключительно важно обеспечить целостность передачи информации с помощью определенной структуры [3].

Концептуальная система связи моделей и пользовательского интерфейса показана на Рис. 1.

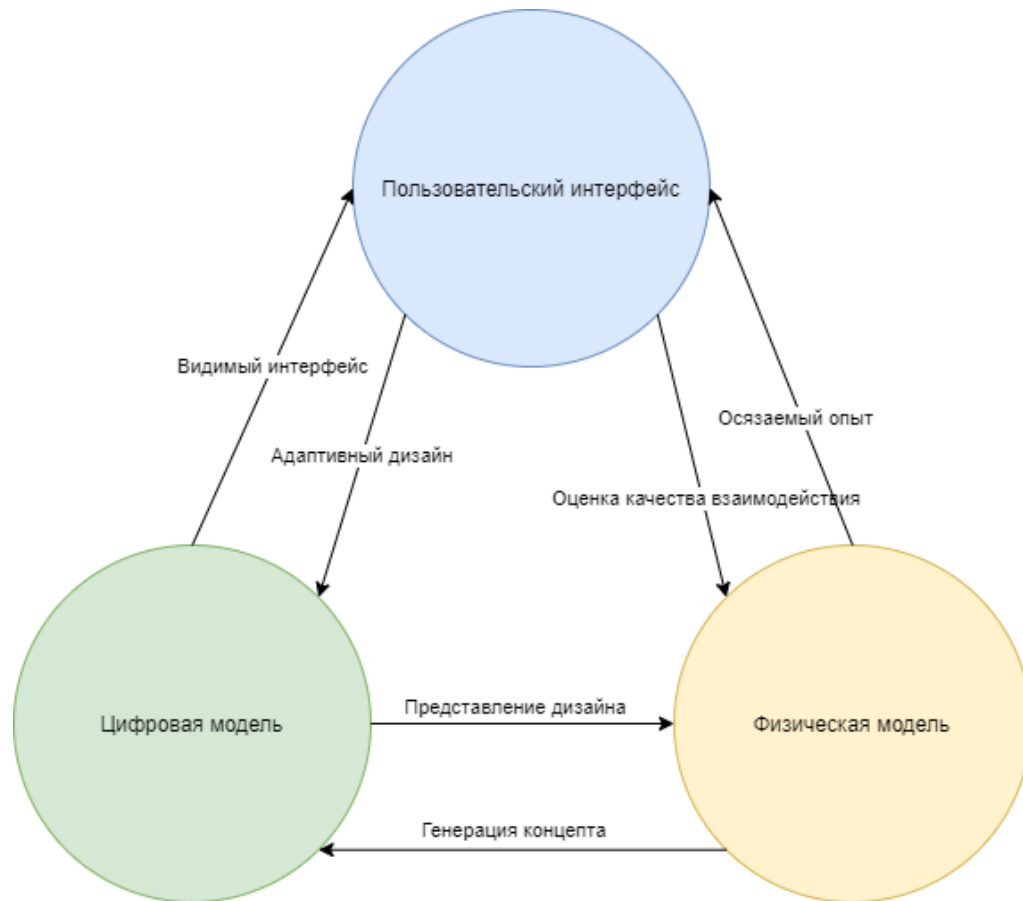


Рис. 1 – Концептуальная основа процесса разработки ЦД

Концепция состоит из трех модулей: физического, цифрового и пользовательского интерфейса. Физический модуль означает физические продукты и услуги, цифровой модуль означает ресурсы виртуального совместного проектирования. Система конфигурации продукта, а также модуль пользовательского интерфейса обозначает когнитивное и аффективное поведение пользователя (например, посредством обратной связи, тестированием визуализации и внесения предложений) в процессе разработки продукта.

На Рис. 2 показаны системные процессы функционирования визуализации и управления им с учётом особенностей концептуальной системы.

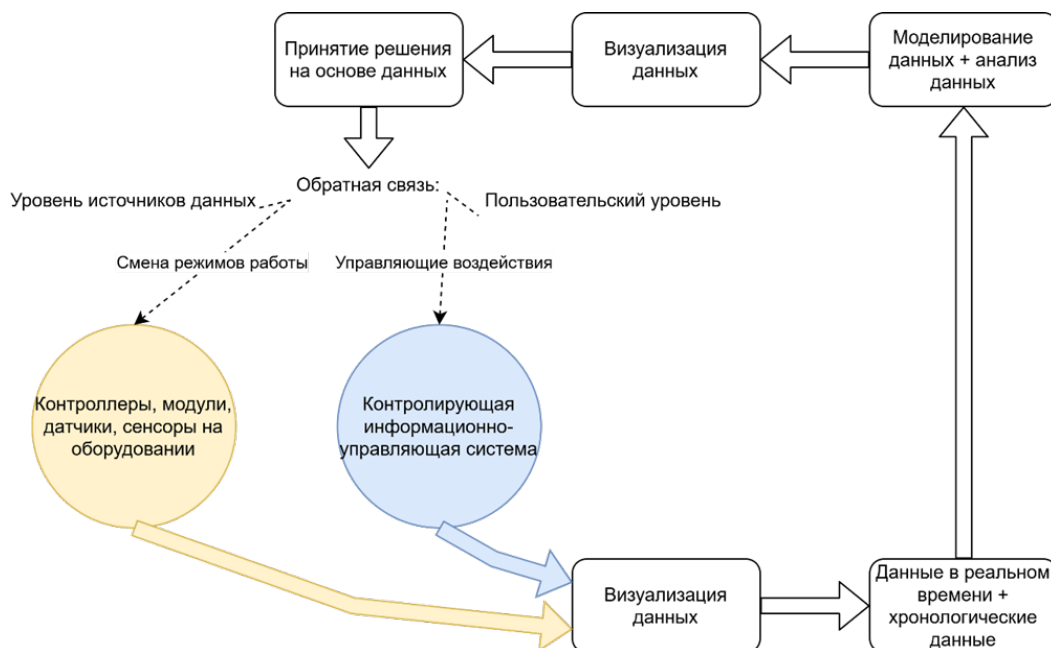


Рис. 2 – Процессы функционирования визуализации цифрового двойника

Важнейшим аспектом применения цифрового двойника является возможность дистанционной обработки, анализа и управления данными через информационную систему визуализации. Например, поступающая в цифровой двойник информация позволяет в том числе дистанционно управлять всем процессом удалённо, что повышает эффективность, доступность, оперативность и прозрачность функционирования [4].

### Структура цифрового двойника (подсистема визуализации)

В общем виде структуру можно рассмотреть, как состоящую из следующих уровней: кибер-физический уровень, уровень первичной обработки и хранения данных, распределенный уровень вычислений и хранения, уровень моделей и алгоритмов и уровень визуализации и пользовательских интерфейсов (Рис. 3).

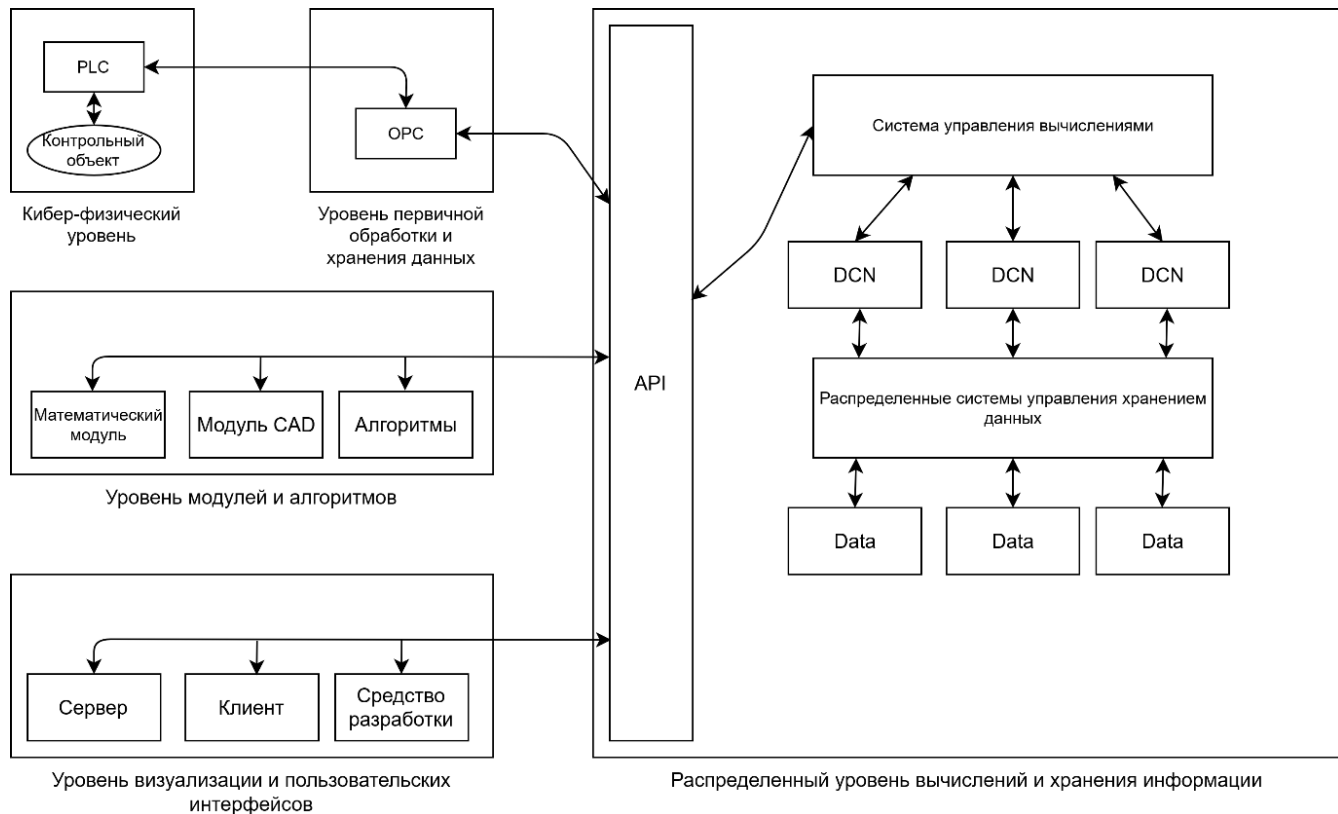


Рис. 3 – Структура цифрового двойника

Безопасность цифрового двойника закладывается в проектирование – это один из самых важных аспектов стабильного функционирования информационной системы. Также необходимо учесть все возможные сценарии использования, обмена и моделирования визуальных данных.

#### Практическая реализация визуализации

Поскольку цифровой двойник является виртуальным объектом, который в перспективе отображает все перемещения в пространстве и свойства объекта физического, он имеет свойство менять положения объектов и элементов, которым заданы параметры передвижения. Это свойство достигается с помощью интеграции модулей управления мехатронным модулем в оболочку цифрового двойника [5].

Общая структура интеграции и взаимодействия в информационной системе строится на разработанной модели взаимодействия. В этой модели модуль визуализации управления делится на следующие второстепенные модули, которые являются связанной системой управления:

1. Сигналы из визуализированной панели управления. В этом модуле управления принимаются сигналы, обрабатываются и передаются для использования в механизме цифрового двойника. При наличии физического программируемого логического контроллера возможен ввод сигналов с него.

2. Механизм. Исполнительный механизм, в который встроен интегратор. Интегратор применяет обработанный сигнал для вычисления основных законов движения мехатронного модуля [6].

3. Обработчик. В этом модуле происходит решение задачи движения мехатронного модуля и моделей, которые связаны с ним.

4. Графическое представление. В этом модуле сигналы, обработанные при помощи предыдущих модулей, поступают для представления графиков. Пользователь может открыть нужный ему график [7].

Непосредственно в самой системе визуализации управления реализованы следующие возможности:

- титульные строки информации;
- представление кнопок на экране;
- захват клавиш ввода клавиатуры;
- окно визуализации управления в программном обеспечении.

Также в системе визуализации реализованы отчетные датчики о местоположении мехатронного модуля. Этот разрабатываемый элемент графически представляет датчики нескольких типов. Значения датчика могут меняться в некотором диапазоне. При создании каждого элемента типа «Датчик» указывается необходимое уникальное значение и имя элемента. У датчиков есть возможные минимальные и максимальные значения. Дополнительно указываются координаты датчиков в окне визуализации, их необходимые параметры.

Датчики являются визуализированным виртуальным представлением, которое показывает информацию об идеальном движении мехатронного модуля.

Окно датчиков входит в единую визуальную систему управления. Данное окно помогает оператору или пользователю визуальной системы управления принимать необходимые решения для управления мехатронным модулем [8].

Визуализация управления в программном обеспечении SimInTech представлена на Рис. 4.

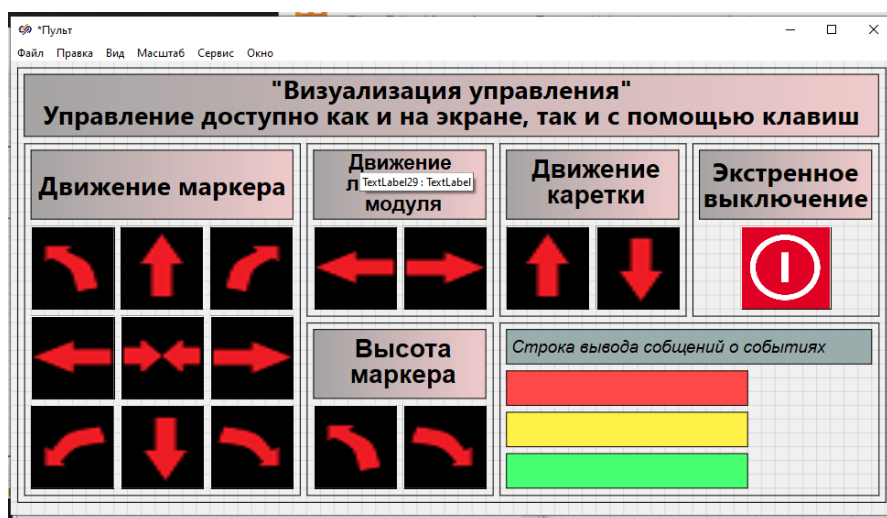


Рис. 4 – Визуализация управления цифровым двойником

Визуализация цифрового двойника мехатронного модуля представляет собой 3D-модель, которая содержит в себе несколько дата-элементов (STL-модели). Визуализация цифрового двойника представлена на Рис. 5.

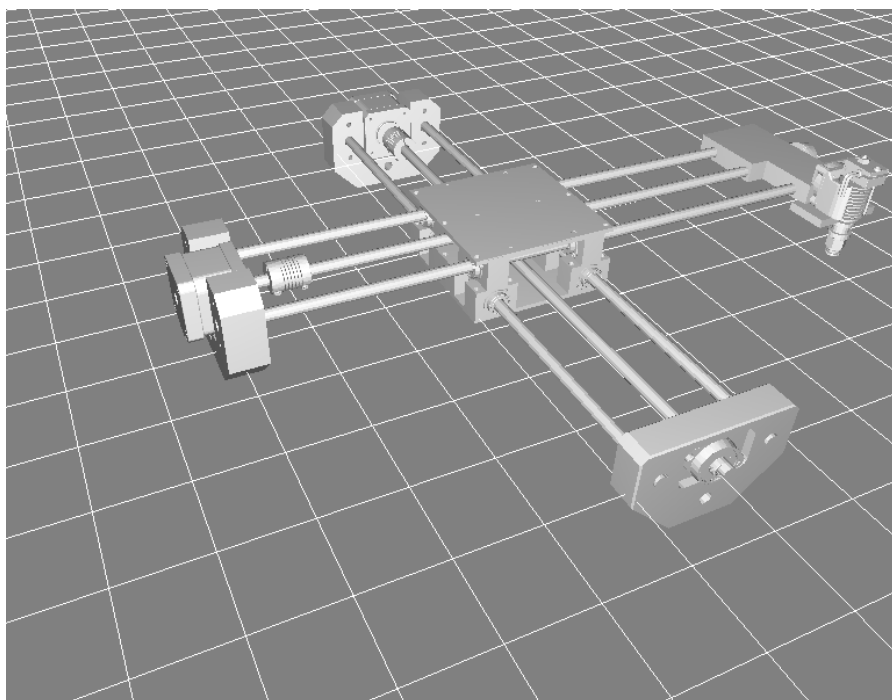


Рис. 5 — Визуализация цифрового двойника

#### **Реализация графика движения (визуализации координат модуля)**

В SimInTech графический модуль «График» является упрощенным вариантом стандартных блоков «Временной график» и «График Y от X» и применяется для наглядного представления значений сигналов и их изменений во времени. Элемент может работать в режиме графика и в режиме гистограммы [9].

Очень важное значение для пользователя информационной системы управления играют отчетные графики. Они позволяют наглядно увидеть движение мехатронного модуля и основные показатели его параметров. Реализация графика движения представлена на Рис. 6.



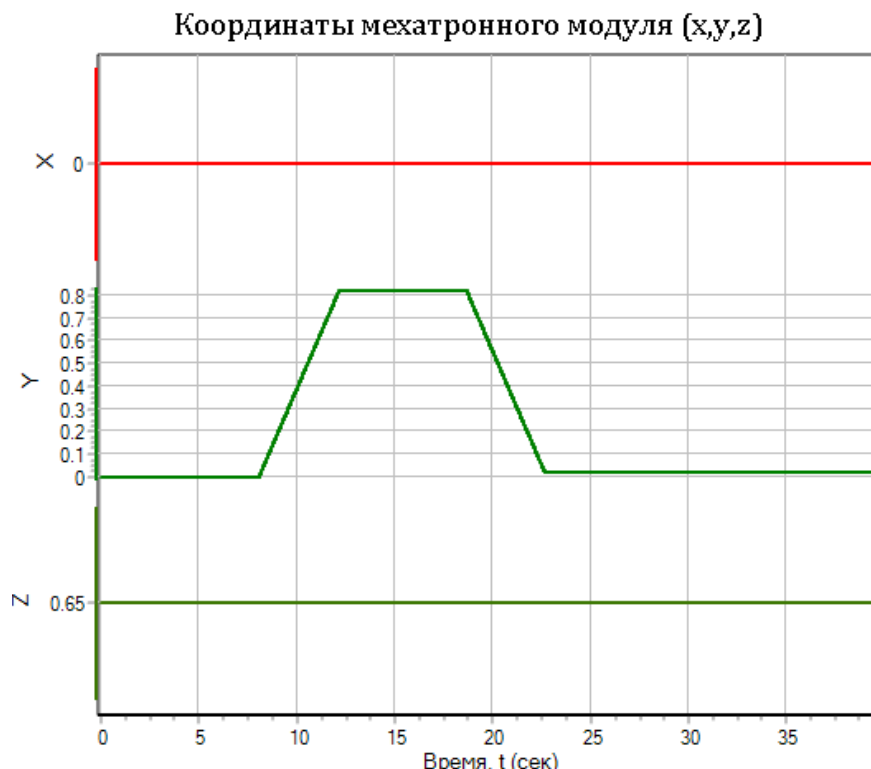


Рис. 6 – Графическое представление координат мехатронного модуля

### Основные результаты

При визуализации управления цифровым двойником мехатронного модуля учитывается важность представления пользовательского интерфейса и удобность его использования. Клавиши захватываются при помощи дополнительных скрытых элементов — происходит захват стрелочных клавиш вверх, вниз, влево, вправо в окне визуализации управления. Окно визуального управления разработано для возможности интерпретации различных сигналов непосредственно пользователем. Визуализация цифрового двойника позволяет в режиме реального времени отслеживать воздействие управляющих сигналов на цифровой двойник [10].

Также в системе визуализации реализованы отчетные датчики о местоположении мехатронного модуля. Этот разработанный элемент графически представляет датчики нескольких типов.

### Заключение

В ходе исследования показано, что путем применения основных тенденций в области концепций «Industry 4.0» и цифровых двойников возможна реализация данных концепций для визуализации мехатронного модуля и его системы управления. Данная концепция и цифровые двойники являются выгодной и перспективной тенденцией в векторе развития промышленности.

При разработке визуализации был сделан ряд практических выводов, во многом подтверждающих теоретические наработки исследователей.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Conflict of Interest

None declared.

### Список литературы / References

1. Ромашкова И. А. Реализация концепции «цифрового двойника» в российском производстве как этап перехода к четвертой промышленной революции / И. А. Ромашкова, Т. Л. Лосаберидзе // Постулат. — 2018. — N 5. — С. 1–3.
2. Калачёв Ю. Н. Моделирование в Электроприводе / Ю. Н. Калачёв. — 2019. — С. 4.
3. 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.
4. Zheng P. Smart manufacturing systems for Industry 4.0: Conceptual framework, scenarios, and future perspectives / P. Zheng, Z. Sang, R. Y. Zhong, X. Xu. — 2018. — Vol. 1. — N 1. — P. 1–5.
5. Кокорев Д. С. Применение цифровых двойников в производственных процессах / Д. С. Кокорев, Н. П. Посмаков // Technical Science. — 2019. — N 50. — С. 38–45.
6. Асанов Р. Э. Выбор мехатронных модулей по их технологическому уровню / Р. Э. Асанов, М. Г. Косов, А. П. Кузнецов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. — 2017. — N 1. — С. 68–75.
7. Жуков А. В. Мехатронный модуль малых перемещений / А. В. Жуков // Тольяттинский государственный университет, секция 3 «Электроника, электромеханические преобразователи и системы управления». — Тольятти: ТГУ, 2017. — С. 34–41.
8. Калядин В. А., Стребулянин М. М. Модель мехатронного модуля с двумя степенями подвижности / В. А. Калядин, М. М. Стребулянин // Машиностроение. Расчет и конструирование машин. — 2017. — N 1. — С. 3–7.



9. 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. — URL: [https://nbpublish.com/library\\_read\\_article.php?id=24574](https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=24574) (дата обращения: 18.06.2020)

10. Бошляков А. А. Проектирование алгоритмического и программного обеспечения мехатронных систем / А. А. Бошляков, С. В. Овсянников. — М., 2018. — 57 с.

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

1. Romashkova I. A. Realizacija koncepcii «cifrovogo dvojnika» v rossijskom proizvodstve kak jetap perehoda k chetvertoj promyshlennoj revoljucii [Implementation of the concept of “Digital Twin” in Russian production as a stage of transition to the Industry 4.0] / Romashkova I. A., Losaberidze T. L. // Postulat [Postulate]. — 2018. — N 5. — P. 1–3. [in Russian]

2. Kalachjov Ju. N. Modelirovanie v Jelektroprivode. [Modeling in an electric drive] / Kalachjov Ju. N. — 2019. — P. 4. [in Russian]

3. Ponomarev K. S. Cifrovoy dvojnik proizvodstva — sredstvo cifrovizacii dejatel'nosti organizacii [“Digital Twin” of production - a tool of digitalization of the organization's activities] / Ponomarev K. S., Feofanov A. N., Grishina T. G. // Upravlenie v social'nyh i jekonomicheskikh sistemah [Management in social and economic systems]. — 2019. — P. 11–17. [in Russian]

4. Zheng P. Smart manufacturing systems for Industry 4.0: Conceptual framework, scenarios, and future perspectives / Zheng P., Sang Z., Zhong R. Y., Xu X. — 2018. — Vol. 1. — N 1. — P. 1–5.

5. Kokorev D. S. Primenenie cifrovych dvojnikov v proizvodstvennyh processah [Application of digital duplicates in production processes] / Kokorev D. S., Posmakov N. P. // Technical Science. — 2019. — N 50. — P. 38–45. [in Russian]

6. Asanov R. Je. Vybory mehatronnyh modulej po ih tehnologicheskomu urovnju [Selection of mechatronic modules by their technological level] / Asanov R. Je., Kosov M. G., Kuznecov A. P. // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Povolzhskij region [News of higher educational institutions. Volga region]. — 2017. — N 1. — P. 68–75. [in Russian]

7. Zhukov A. V. Mehatronnyj modul' malyh peremeshhenij [Mechatronic module of small movements] / Zhukov A. V. // Tol'jattinskij gosudarstvennyj universitet, sekcija 3 «Jelektronika, jelektromehanicheskie preobrazovateli i sistemy upravlenija» [Tolyatti state University, section 3 “Electronics, Electromechanical converters and control systems”]. — Tol'jatti: TGU, 2017. — P. 34–41. [in Russian]

8. Kaljadin V. A. Model' mehatronnogo modulja s dvumja stepenjami podvizhnosti [Model of a mechatronic module with two degrees of mobility] / Kaljadin V. A., Strebuljanin M. M. // Mashinostroenie. Raschet i konstruirovanie mashin [Engineering. Calculation and design of machines]. — 2017. — N 1. — P. 3–7. [in Russian]

9. Ivanov M. A. Razrabotka programmnoho obespechenija dlja sistemy jenergojeffektivnyh mehatronnyh ustrojstv s intellektual'noj sistemnoj upravlenija [Software development for a system of energy-efficient mechatronic devices with intelligent system control] / Ivanov M. A., Savel'ev A. O., Saklakov V. M. // Kibernetika i programmirovaniye [Cybernetics and programming]. — 2017. — № 6. — P. 9–18. URL: [https://nbpublish.com/library\\_read\\_article.php?id=24574](https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=24574) (accessed: 18.06.2020) [in Russian]

10. Boshljakov A. A. Proektirovanie algoritmicheskogo i programmnoho obespechenija mehatronnyh system [Design of algorithmic and software for mechatronic systems] / Boshljakov A. A., Ovsjannikov S. B. — М., 2018. — P. 57. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.97.7.008>**АЛГОРИТМ АВТОМАТИЧЕСКОГО ФОРМИРОВАНИЯ ТЕРМОБАРИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ ГАЗОВОГО ШЛЕЙФА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫСЛОМ**

Научная статья

**Емец С.В.<sup>1</sup>, Кудаяров В.Н.<sup>2,\*</sup>, Прахова М.Ю.<sup>3</sup>**<sup>1, 2, 3</sup> Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Россия

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

**Аннотация**

Добыча природного газа в районах Крайнего Севера России и местностях, приравненных к ним, осложняется такими нежелательными явлениями, как выпадение в осадок капельной влаги, льда, гидратов и т.п. внутри трубопроводов-шлейфов. Вследствие уменьшения эффективного сечения трубопроводов снижается производительность шлейфов, вплоть до полной остановки добычи газа. Несмотря на достаточно большое количество работ в области ранней диагностики процессов гидратообразования, данная проблема до сих пор не нашла своего полноценного решения. Предлагаемые технические решения, связанные с определением распределения давлений и/или температур вдоль оси шлейфа, а также с использованием волновых явлений, не обладают комплексностью подходов и решают ограниченную часть проблемы. В данной статье предлагается объединить возможности алгоритмов волновых и параметрических методов диагностики, что позволяет оперативно отслеживать термобарический режим в шлейфах.

**Ключевые слова:** трубопровод-шлейф, гидратообразование, термобарический режим, параметрическая диагностика, волновая диагностика.

**ALGORITHM FOR AUTOMATIC FORMING OF THERMOBARIC PROFILE OF GAS PLUME IN INDUSTRY MANAGEMENT SYSTEM**

Research article

**Emets S.V.<sup>1</sup>, Kudayarov V.N.<sup>2,\*</sup>, Prakhova M.Yu.<sup>3</sup>**<sup>1, 2, 3</sup> Ufa State Petroleum Technical University, Ufa, Russia

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

**Abstract**

The production of natural gas in the regions of the Far North of Russia and in areas equated with them is complicated by such undesirable phenomena as a droplet moisture, ice, hydrates, and others inside pipelines. Due to a decrease in the effective cross-section of pipelines, loop productivity decreases, up to a complete stop of gas production. Despite a fairly large number of works in the field of early diagnosis of hydrate formation processes, this problem has not still got any solution. The proposed technical solutions related to determining the distribution of pressures and/or temperatures along the loop axis, as well as the use of wave phenomena, do not have a complex approach and solve a limited part of the problem. In this article the authors propose to combine the capabilities of wave and parametric diagnostic methods algorithms, which allows to monitor the thermobaric mode in loops in the shortest possible time.

**Keywords:** pipeline-loop, hydrate formation, thermobaric mode, parametric diagnostics, wave diagnostics.

**Введение**

Климатические особенности добычи природного газа в России [1] и потенциальная опасность возникновения осложнений в газосборной системе в виде выпадения в осадок капельной влаги, льда, гидратов и т.п. внутри трубопроводов-шлейфов [2], [3] требуют разработки эффективных способов диагностики и борьбы с этими явлениями. Изучению условий образования гидратов и борьбы с ними посвящён внушительный объём научных работ, например, [3], [6], [15]. Чаще всего для борьбы с гидратообразованием в поток добываемого газа добавляют ингибитор - метанол. Учитывая, что затраты на ингибитор достигают 20 % в общей себестоимости затрат на добычу газа [4, 5], крайне важным является формирование корректных критериев его дозирования. Ключевым при этом является наличие информации о текущем термобарическом режиме работы шлейфа, что обеспечивается методами диагностики. В статье предлагается объединить возможности волнового и параметрического методов диагностики для определения текущего термобарического состояния среды в шлейфе.

**Обзор известных решений**

Большинство методов диагностирования шлейфов основано на определении близости их рабочей точки к зоне гидратообразования. Нормальная работа шлейфа возможна при давлениях ниже и температурах выше условий гидратообразования. Наиболее сложная ситуация сложилась с контролем температуры в шлейфе. Существующие методы отличаются местом контроля температуры, алгоритмами обработки информации и интерпретацией полученных результатов, например, [7], [9]. Однако всем им присущи значительные недостатки: инерционность при низких линейных скоростях потока газа и невозможность локализации места образования затора (гидратной или ледяной пробки). К тому же полученные оценки, как правило, точечные и не дают распределение температуры вдоль шлейфа. Давление также является хорошим информативным параметром: его повышение до значений гидратообразования напрямую указывает на потенциальную угрозу, а понижение ниже рабочих значений и пульсации – на начало образования пробок в шлейфе [10]. При подключении газосборных шлейфов к коллектору и контроле давлений на устье скважин появляется возможность локализации проблемного шлейфа [11]. Кроме описанных выше параметрических методов, существуют методы, основанные на волновых явлениях, например, с использованием технологии акустического резонанса [12], инфракрасного излучения [10] или электромагнитных волн круговой или линейной поляризации на одной или группе частот [13]. Каждому из этих способов также присущи те или иные недостатки.

### Методы и принципы исследования

Для контроля термобарического состояния газопровода-шлейфа измеряют давление и температуру на устье скважины и в здании переключающей арматуры (ЗПА). Для повышения информативности проводимой диагностики предлагается генерировать сканирующую волну давления (СВД) со стороны ЗПА и по её отражениям от местных сопротивлений внутри шлейфа судить о распределении температуры вдоль профиля трубопровода [14]. Отражения сканирующей волны предлагается регистрировать с помощью датчиков давления с малым временем опроса, формировать эхограмму и передавать её в информационно-измерительную систему.

Рассмотрим подробнее этапы анализа эхограммы для получения информации о распределении температуры, давления и построения термобарического профиля (рисунок 1).

Этап 1. Распознавание на рабочей эхограмме отражений волны давления и привязка временных меток этих событий к элементам конструкции шлейфа (т.е. сопоставление моментов времени пиков эхограммы с координатами элементов).

Перед тем как начинать систематическое наблюдение шлейфа на предмет отложений и их типа, необходимо идентифицировать объект исследования. Для этого необходим технический паспорт трубопровода. Согласно схеме исследуемого шлейфа получают расстояния от приемника волн давлений до характерных точек трубопровода: поворотов, колен и т.п. Данные точки разделяют шлейф на характерные участки. Участок шлейфа до первой характерной точки, дающей стабильный различимый отклик на эхограмме, принимается в качестве реперного.

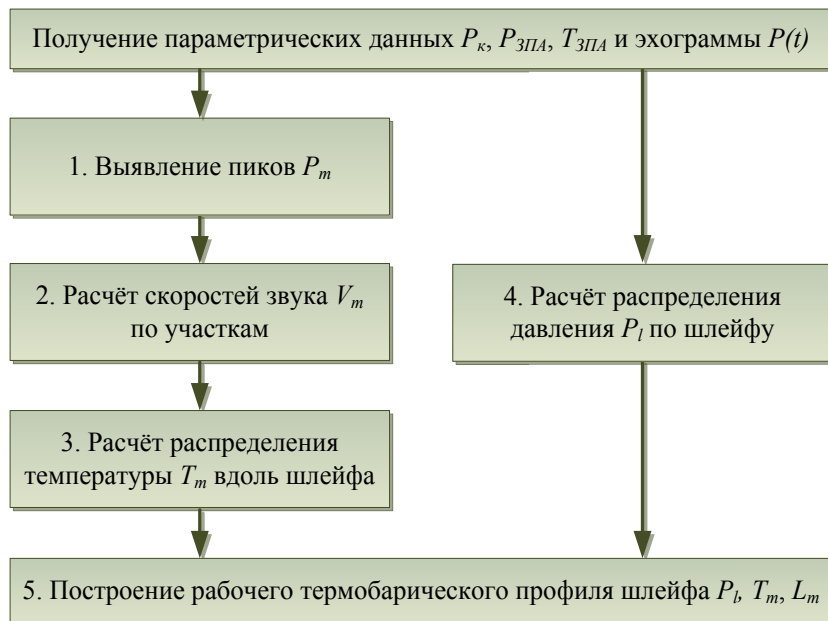


Рис. 1 – Этапы определения термобарического профиля

По реперному участку определяют скорость звука в газе данного компонентного состава для текущего измерения на реперном участке:

$$v_1 = \frac{L_1 - L_0}{\frac{1}{2}(t_1 - t_0)} \quad (1)$$

где  $L_1 - L_0$  - длина характерного участка, выраженная через разность расстояний от датчика детектирования отраженных волн до характерных точек;  $t_1 - t_0$  - время прохождения СВД характерного участка, выраженное через разность промежутков времени с момента генерации СВД до детектирования отраженных сигналов от характерных точек.

Зная расстояние до характерных точек и скорость распространения СВД, определяют интервалы времени на эхограмме, в которых необходимо искать отражённые сигналы. Находят максимум сигнала на данном участке. По времени соответствующему локальному максимуму определяют новую скорость звука на произвольном участке  $n$ :

$$v_n = \frac{L_n - L_{n-1}}{\frac{1}{2}(t_n - t_{n-1})} \quad (2)$$

Таким образом, устанавливаются соответствия между каждой характерной точкой шлейфа из паспорта трубопровода и откликом на эхограмме. Первая эхограмма после прочистки шлейфа или пуска в работу после длительного останова принимается образцовой (рисунок 2).

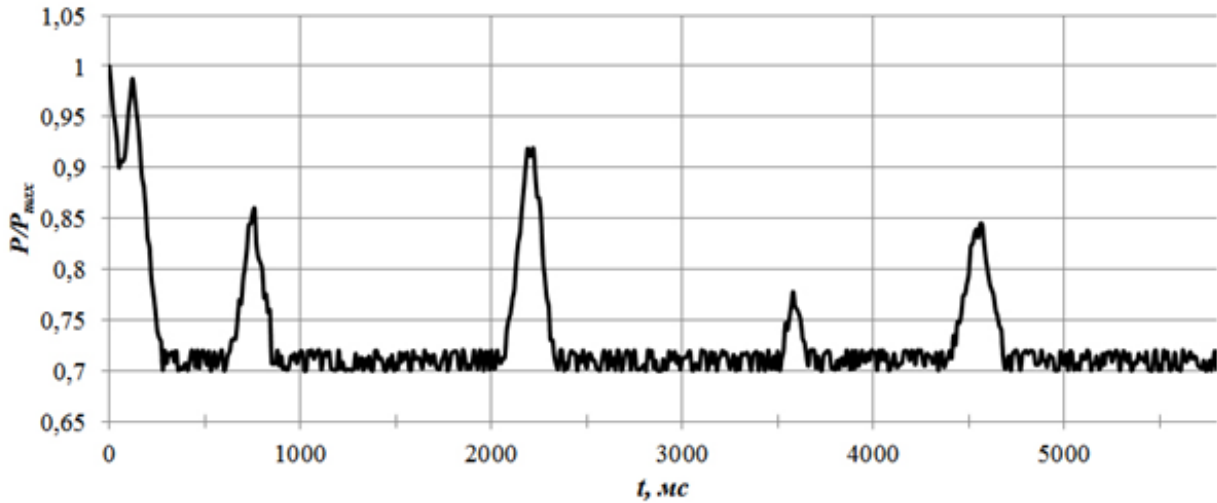


Рис. 2 – Эхограмма исследуемого шлейфа

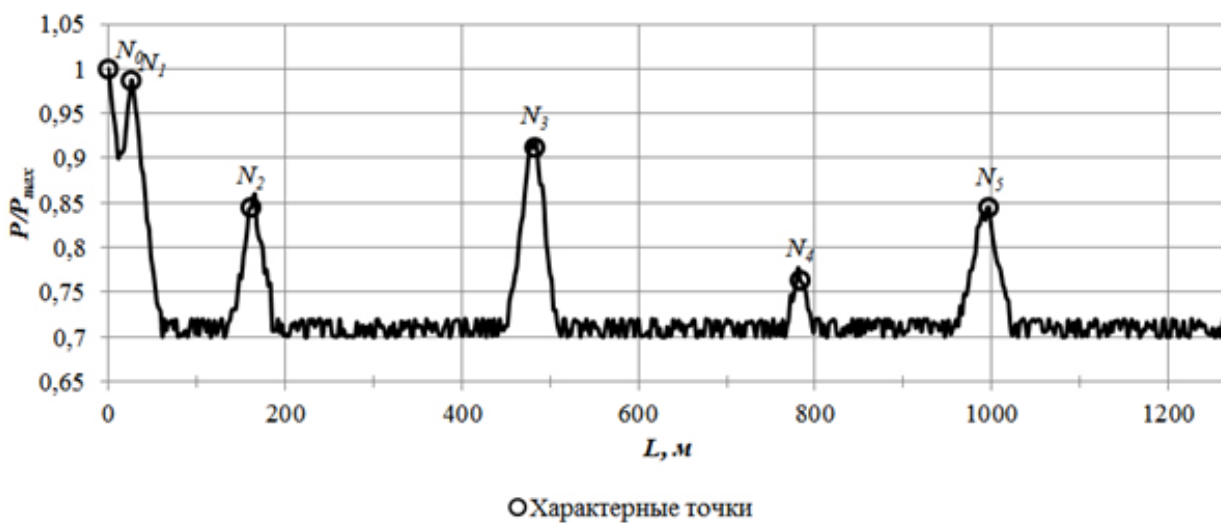


Рис. 3 – Идентификация характерных точек шлейфа на эхограмме

Зная метки времени характерных точек на образцовой эхограмме, можно найти данные точки на новых эхограммах. В результате получится множество  $P_m$ ,  $t_m$ ,  $L_m$  с выделенными пиками ( $P_m = \{P_1, P_2, \dots, P_M\}$ ,  $t_m = \{t_1, t_2, \dots, t_M\}$ ,  $L_m = \{L_1, L_2, \dots, L_M\}$ ), их временными метками и значениями расстояний от приёмника сигнала (рисунок 3).

Этап 2. Вычисление скорости распространения волны давления на реперном участке шлейфа (участок шлейфа известной протяженности с четко идентифицируемыми на эхограмме границами) и на участках шлейфа между местными сопротивлениями (конструктивными элементами шлейфа).

Исходными данными для данного этапа служит множество  $P_m$ ,  $t_m$ ,  $L_m$ , формируемое на выходе первого этапа. Массив скоростей звука на участках  $V_m$  ( $V_m = \{V_1, V_2, \dots, V_M\}$ ) вычисляется по формуле (2).

Этап 3. Расчет распределения температуры вдоль шлейфа.

Формируют множество расчётных температур по участкам  $T_m$  ( $T_m = \{T_1, T_2, \dots, T_M\}$ ) по формуле [16]:

$$T_m = T_{m-1} \cdot \left( \frac{\Delta t_{m-1}}{\Delta t_m} \right)^2 \cdot \left( \frac{\Delta L_m}{\Delta L_{m-1}} \right)^2 \quad (3)$$

Этап 4. Расчет распределения давления вдоль шлейфа от скважины до ЗПА.

Исходными данными для данного этапа служат давления газа на кусте скважин  $P_K$  и на ЗПА  $P_{ЗПА}$ , а также расстояния до характерных точек шлейфа. Расчёт выполняется согласно формуле [17]:

$$P_l(x) = \sqrt{P_K^2 - (P_K^2 - P_{ЗПА}^2) \cdot \frac{x}{L}} \quad (4)$$

Результатом будет множество  $P_l$ ,  $L_m$  ( $P_l = \{P_1, P_2, \dots, P_M\}$ ).

Этап 5. Построение рабочего термобарического профиля шлейфа (совокупность рабочих точек в координатах температура – давление вдоль шлейфа).

Для этого используют множество значений  $P_l$ ,  $T_m$ ,  $L_m$ .

Результат визуализации представлен на рисунке 4.

Полученный профиль отражает термобарические условия в шлейфе в реальном масштабе времени. Это позволяет оперативно управлять технологическим режимом добычи природного газа, определять зоны возможного гидратообразования, что, в свою очередь, позволяет рациональнее использовать метанол за счет его подачи в точки повышенного риска.

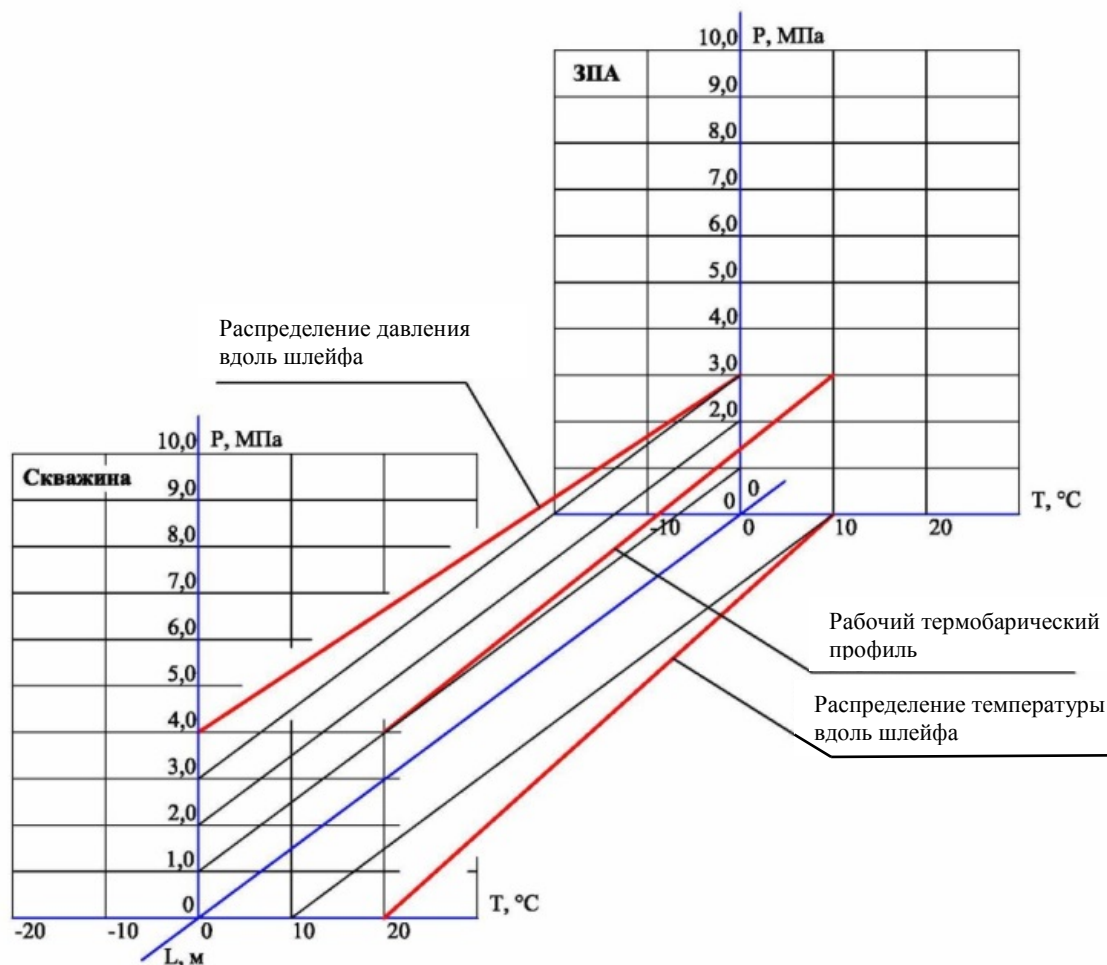


Рис. 4 – Рабочий термобарический профиль шлейфа

#### Заключение

В работе рассмотрен алгоритм определения текущего технологического состояния шлейфа с точки зрения близости к зоне гидратообразования с помощью волновых и параметрических методов. Комбинация данных методов позволяет получить информацию о состоянии шлейфа не только в определённых точках трубопровода, а в целом по всему шлейфу. Текущие значения температуры среды, полученные по результатам волновой диагностики, позволяют получить информацию по времени гораздо раньше, в сравнении с традиционными параметрическими методами, и, как следствие, оперативнее реагировать на возможные осложнения и аварии.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Григорьев М. Прогноз развития минерально-сырьевых центров нефти и газа арктической зоны с морской схемой транспортировки // Neftegaz.ru. 2018. № 5. С. 50–57.
2. John Carroll. Natural Gas Hydrates, A Guide for Engineers, 3rd Edition. Gulf Professional Publishin. 2014. – 340p.
3. Hammerschmidt E. G. Formation of gas hydrates in natural gas transmission lines // Industrial and Engineering Chemistry. – 1934. – vol. 26. – № 8. – P. 851-855.
4. Prakhova M.Y. Cognitive model application for automatic system of methanol supply to flowlines / Prakhova M.Y., Khoroshavina E.A., Krasnov A.N., Zakirnichnaya M.M. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science Ser. "Innovations and Prospects of Development of Mining Machinery and Electrical Engineering - Mining and Exploration of Mineral Resources" 2017. C. 052023.
5. Прахова М.Ю. Методы и средства предотвращения гидратообразования на объектах газодобычи / М.Ю. Прахова, А.Н. Краснов, Е.А. Хорошавина, Э.А. Шаловников // Нефтегазовое дело. 2016. № 1. С. 101–118.
6. Sloan E.D. Natural Gas Clathrate Hydrates. – New York: Marcel Dekker, 1998. – 754 p.
7. Истомин В.А. Предупреждение и ликвидация газовых гидратов в системах добычи газа / Истомин В.А., Квон В.Г. М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2004.

8. Буц В.В. Математическая модель гидратообразования при движении природного газа в трубопроводах в присутствии ингибитора // Территория Нефтегаз. 2010. № 6. С. 20-24.
9. Патент RU 2 329 371, МПК E 21 B 43/00 F 17 D 3/00. Способ управления процессом предупреждения гидратообразования во внутрипромысловых шлейфах газовых и газоконденсатных месторождений Крайнего Севера / Андреев О.П., Салихов З.С., Ахметшин Б.С. и др.; опубл. 20.07.2008, Бюл. №20.
10. Bahubali Chandragupthan, Girish Babu Nounchi. Detecting and dealing with hydrate formation ([https://www.digitalrefining.com/article\\_1000465.pdf](https://www.digitalrefining.com/article_1000465.pdf)).
11. Патент RU 2 573 654, МПК E 21 B 43/00 F 17 D 3/00. Способ управления процессом предупреждения гидратообразования в газосборных шлейфах, подключенных к общему коллектору на газовых и газоконденсатных месторождениях Крайнего Севера / Арно О.Б., Арабский А.К., Ахметшин Б.С. и др.; опубл. 27.01.2016, Бюл. №3.
12. Патент RU 2 431 828, МПК G 01 N 29/00. Акустический способ и устройство для обнаружения среды и определения ее характеристики / Якобсен Йостейн (NO), Берг Асхилд (NO), Вилминг Стале (NO); опубл. 20.10.2011, Бюл. №29.
13. WO 00/46545 Method and device for monitoring flow parameters in a pipeline in order to register hydrate formation. / BAKKE, Knut, I.
14. Патент RU 2 683 336, МПК F 17 D 5/00. Способ мониторинга процессов гидратообразования в промысловых шлейфах / Емец С.В., Кудаяров В.Н., Прахова М.Ю.; опубл. 28.03.2019, Бюл. №10.
15. Emets S.V. The concept of complications diagnosing in gas plumes / Emets S.V., Kudayarov V.N., Prahova M.Yu. // Materials of the International Conference "Scientific research of the SCO countries: synergy and integration". Part 4 - Reports in English (February 11-12, 2019, Beijing, PRC), p.224.
16. Emets S. V. Method for the monitoring of hydrate formation process in intrafield flowlines / Emets SV, Kudayarov VN, Prakhova MYu // Arctic Environmental Research 18(3): 97–105. <https://doi.org/10.3897/issn2541-8416.2018.18.3.97>
17. Бекиров Т.М. Технология обработки газа и конденсата / Т.М. Бекиров, Г.А. Ланчаков. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 1999. – 596 с.: ил., с.85.

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

1. Grigoryev M. Prognoz razvitiya mineral'no-syr'evykh centrov nefti i gaza arkticheskoy zony s morskoy sxemoj transportirovki [A development forecast for mineral oil and gas centers in the Arctic using the marine freight], Neftegaz.ru, No 5, 2018, pp. 50-57. [in Russian]
2. John Carroll, "Natural Gas Hydrates: A Guide for Engineers", 3rd Edition, Gulf Professional Publishing, 2014.
3. Hammerschmidt E. G. , Formation of gas hydrates in natural gas transmission lines, Industrial and Engineering Chemistry, vol. 26, no. 8, 1934, pp. 851-855.
4. Prakhova M.Y. "Cognitive model application for the automatic system of methanol supply to flow lines / M.Y. Prakhova, E.A. Khoroshavina, A.N. Krasnov, M.M. Zakirnichnaya // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science Series "Innovations and Prospects of Development of Mining Machinery and Electrical Engineering - Mining and Exploration of Mineral Resources", 2017, p. 052023.
5. Prakhova M. Yu. Metody i sredstva predotvrashheniya gidratoobrazovaniya na ob'ektah gazodobychi [Methods and means of preventing hydrate development at gas production units ] / M. Yu. Prakhova, A. N. Krasnov, Ye. A. Khoroshavina, E. A. Shalovnikov , Neftegazovoye Delo, No 1, 2016, pp. 101–118. [in Russian]
6. Sloan E. D. , Natural Gas Clathrate Hydrates, New York: Marcel Dekker, 1998.
7. Istomin V. A. Preduprezhdenie i likvidatsiya gazovykh gidratov v sistemakh dobychi gaza [Gas hydrate prevention and elimination in gas production systems] / V. A. Istomin, V. G. Kwon., Moscow: IRC Gazprom OJSC, 2004. [in Russian]
8. Buts V. V. , Matematicheskaya model' gidratoobrazovaniya pri dvizhenii prirodnogo gaza v truboprovodakh v prisutstvii ingibitora // Territoriya Neftegaz [A mathematical model for hydrate development in natural gas flow in pipelines with inhibitor present, Neftegaz territory], No. 6, 2010, pp. 20-24. [in Russian]
9. Patent RU 2 329 371, МПК E 21 B 43/00 F 17 D 3/00. Способ управления процессом предупреждения гидратообразования во внутрипромысловых шлейфах газовых и газоконденсатных месторождений Крайнего Севера [A control method for hydrate development prevention in the pipelines of gas and condensate fields of the Far North], O.P. Andreyev, Z.S. Salikhov, B.S. Akhmetshin, A.K. Arabskiy, G.E. Vit' et al., publ. 20.07.2008, Bull. 20, 2008. [in Russian]
10. Bahubali Chandragupthan, Girish Babu Nounchi, Detecting and dealing with hydrate formation ([https://www.digitalrefining.com/article\\_1000465.pdf](https://www.digitalrefining.com/article_1000465.pdf)).
11. Patent RU 2 573 654, МПК E 21 B 43/00 F 17 D 3/00. Способ управления процессом предупреждения гидратообразования в газосборных шлейфах, подключенных к общему коллектору на газовых и газоконденсатных месторождениях Крайнего Севера [A control method for hydrate development prevention in the gas collecting pipelines connected to the common header at the gas and gas condensate fields of the Far North], O.B. Arno, A.K. Arabskiy, B.S. Akhmetshin, G.E. Vit', S.I. Gunkin et al.; publ. 27.01.2016, Bull. 3, 2016. [in Russian]
12. Patent RU 2 431 828, МПК G 01 N 29/00. Акустический способ и устройство для обнаружения среды и определения ее характеристики [The acoustic method and hardware for the detection of a medium and the determination of its properties], Jakobsen Jøstein (NO), Berg Aashild (NO), Viming Ståle (NO); publ. 10.06.2010, Bull. 29, 2011. [in Russian]
13. Bakke Knut I., Patent WO 00/46545, Method and device for monitoring flow parameters in a pipeline in order to register hydrate formation, 2000.
14. Patent RU 2 683 336, МПК F 17 D 5/00. Способ мониторинга процессов гидратообразования в промысловых шлейфах [A method of hydrate development monitoring for field pipelines], S.V. Yemets, V.N. Kudayarov, M. Yu. Prakhova; publ. 28.03.2019, Bull. 10, 2019. [in Russian]
15. Emets S.V. "The concept of complications diagnosing in gas plumes" / S.V. Emets, V.N. Kudayarov, M.Yu. Prahova // Materials of the International Conference "Scientific research of the SCO countries: synergy and integration", Part 4 - Reports in English (February 11-12, 2019, Beijing, PRC), p.224.
16. Emets S.V. Method for the monitoring of the hydrate formation process in intrafield flow lines / S.V. Emets, V.N. Kudayarov, M.Yu. Prakhova // Arctic Environmental Research 18(3), 2018, pp. 97–105.
17. Bekirov T.M. Tekhnologiya obrabotki gaza i kondensata [Gas and condensate treatment technologies] / T.M. Bekirov, G.A. Lanchakov, Moscow: Nedra Biznestsentr OJSC, 1999, p. 85. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.97.7.009>

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ТРУБЧАТОГО РЕКУПЕРАТОРА

Научная статья

**Ласкин И.А. \***

Филиал НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, Смоленск, Россия

\* Корреспондирующий автор (laskin96[at]yandex.ru)

### Аннотация

Предложена конструкция трубчатого рекуператора для обогрева приточного воздуха с возможностью монтажа в стену и окно. Проведено экспериментальное исследование по выявлению рабочих характеристик рекуператора. Представлены результаты измерения температуры на притоке, в теплообменнике и на вытяжке рекуператора. Выявлены показатели скорости воздуха на притоке. Представлены результаты расчетов давления и объемного притока воздуха в помещение. Выявлена прямая зависимость температуры приходящего воздуха, от уличной температуры и температуры внутри помещения.

**Ключевые слова:** воздух, температура, скорость, давление, теплообмен, приток.

## RESEARCH OF THE TUBULAR RECUPERATOR'S OPERATION

Research article

**Laskin I.A. \***

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

\* Corresponding author (laskin96[at]yandex.ru)

### Abstract

The article proposes the design of a tubular recuperator intended for heating the incoming air with the possibility of mounting a window into the wall. An experimental study was conducted aimed at identifying the performance of the recuperator. The results of temperature measurement on the influx, in the heat exchanger and on the pump-out of the heat exchanger are presented. The indicators of air speed in the influx are revealed. The results of calculations of pressure and volumetric air flow into the room are presented. Direct dependence of the temperature of the incoming air on the street temperature and the temperature inside the room was also discussed.

**Keywords:** air, temperature, speed, pressure, heat transfer, influx.

### Введение

Рекуператор — это теплообменник специальной конструкции, используемый для вентилирования помещений. Во время проветривания большая часть тепла не теряется. Зимой снижается нагрузка на отопление.

При постоянной циркуляции оборудование работает сразу в двух направлениях. Отработанный теплый воздух удаляется. Приходящий с улицы холод нагревается, попадает в комнату, вместе с подогревом обеззараживается [3], [5]. Температурный режим можно регулировать.

Отработанные потоки во время удаления проходят через теплообменник, отдавая тепло. В этом заключается основной принцип действия. Рекуператор состоит из корпуса, к которому подсоединены патрубки, вмонтированы вентиляторы, фильтры и теплообменные кассеты [4].

Рекуператоры тепла имеют множество технических реализаций, среди которых есть как локальные приточно-вытяжные установки, так и оборудование для монтажа в централизованные системы [1], [2]. В любой отдельно взятой модели разработчики стремятся продумать каждую мелочь, ведь для таких устройств прирост по одному из показателей неизбежно вызывает ухудшение других параметров.

В соответствии с устройством и принципом действия различают пластинчатые, трубчатые и роторные рекуператоры — это три наиболее популярных типа, которые пригодны к использованию в гражданской сфере благодаря простоте конструкции [8], [9], [10].

### Материалы и методы

Главным и единственным оборудованием в данном исследовании является рекуператор, представленный на рисунке 1.



Рис. 1 – Рекуператор воздуха

Данный рекуператор является полностью сборной конструкцией. В сборку его конструкции входят следующие комплектующие:

- Приточный вентилятор с диаметром рабочего колеса 125 мм;
- Вытяжной вентилятор с диаметром рабочего колеса 100 мм;
- Две вентиляционные решетки с присоединительным диаметром 100 мм;
- Два короба из пластика ПВХ размерами 55x110x300 мм;
- Два переходника типа тройник с прямоугольными присоединительными поверхностями размерами 55x110 и с цилиндрической диаметром 100 мм;
- Два угловых-прямоугольных соединителей короба;
- Два угловых переходника с прямоугольного сечения на цилиндрическое с присоединительным размером 100 мм;
- Эксцентриковый переходник с диаметра 100 мм на 125 мм;
- Две направляющих матрицы из пластика РВА для трубок;
- 36 алюминиевых трубок с наружным диаметром 10 мм и длиной 500 мм;
- Изолирующие компоненты;
- Элементы электрики.

Для более точного описания установки был построен трехмерный макет (рис.2).

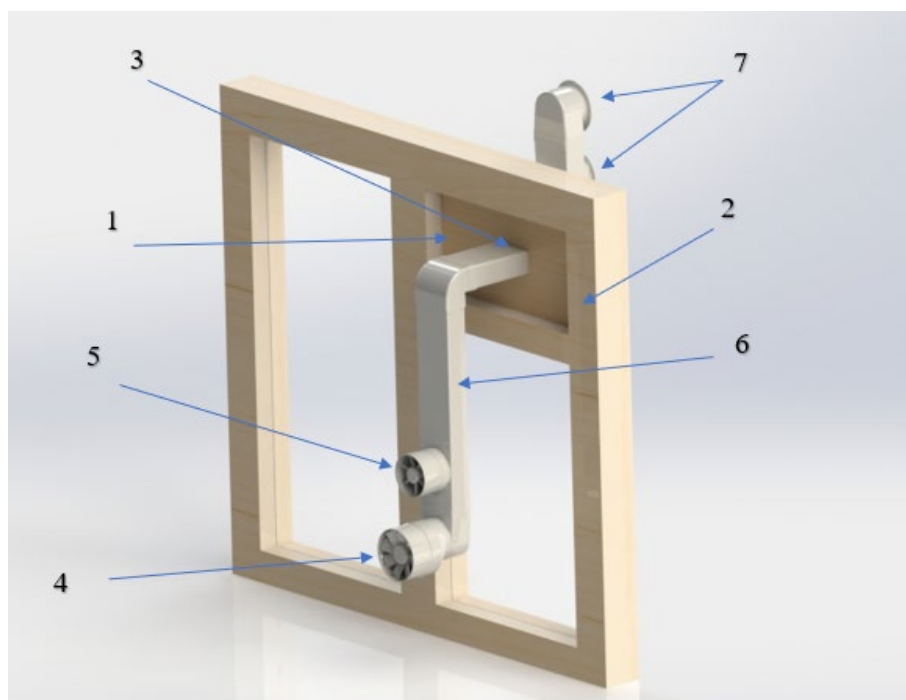


Рис. 2 – Модель установки рекуператора



Сначала необходимо установить лист ДВП 1, с заранее проделанным отверстием под рекуператор, в форточку оконной рамы 2 и заизолировать место стыка 3 для предотвращения теплопотерь. Затем включаем вентиляторы 4 и 5 в сеть 220 В. Вентиляторы работают одновременно. Вытяжной вентилятор 5 обдувает трубки снаружи теплообменника 6, расположенного внутри короба. Параллельно предыдущему процессу, приточный вентилятор 4 всасывает воздух через воздухозаборники 7, которые расположены с уличной стороны окна. Уличный воздух, проходя через подогреваемый воздухом из помещения теплообменник, прогревается и поступает в помещение с гораздо большей температурой, в разности с температурой воздуха на улице.

Измерения температуры производятся при помощи тепловизора после 30 минут работы установки. Замер скорости ветра производится с помощью термоанемометра.

Для измерения температуры, согласно правилам использования тепловизора, тепловизор держим на расстоянии 0,5 метра от исследуемого объекта. Скорость ветра измерялась при помощи термоанемометра.

Температуру внутри помещения измеряем по бытовому электрическому термометру.

#### Основная часть

В ходе проведения исследования, были получены следующие значения величины:

Таблица 1 – Экспериментальные характеристики рекуператора

Наружная температура	Температура в помещении	Температура на притоке	Температура на вытяжке	Температура в теплообменнике	Скорость ветра на приток	Скорость ветра на вытяжке	Давление на приточном вентиляторе	Объемная производительность
$t_{нар}, ^\circ\text{C}$	$t_{пом}, ^\circ\text{C}$	$t_{пр}, ^\circ\text{C}$	$t_{выт}, ^\circ\text{C}$	$t_{тепл}, ^\circ\text{C}$	$v_{пр}, \text{м/с}$	$v_{выт}, \text{м/с}$	$P_{дин}, \text{Па}$	$Q, \text{м}^3/\text{ч}$
1	23,5	16,0	20,7	13,5	5,6	1,3	18,8	36,4
4	24,5	17,8	22,2	15,3	5,6	1,3	18,8	36,4
0	24,0	14,9	20,2	12,7	5,6	1,3	18,8	36,4
-1	23,3	12,9	19,8	12,15	5,6	1,3	18,8	36,4

Динамическое давление на вентиляторе рассчитывается по формуле:

$$P_{дин.} = \frac{\rho \cdot V^2}{2} \quad (1)$$

$\rho$  – плотность воздуха, при  $t = 20 ^\circ\text{C}$ ;

$V$  – скорость потока воздуха в вентиляторе.

Статическим давлением можно пренебречь, так как оно стремится к нулю [6]. Плотность воздуха численно равна 1,2 кг/м<sup>3</sup> [7]. Так же следует учесть, что естественное движение воздуха в помещении необходимо вычесть из полученных скоростей воздуха, для более корректного значения объемной производительности при различных наружных температурах.

Объемная производительность рассчитывается по формуле:

$$Q = P_{дин.} \cdot F \quad (2)$$

$F$  – площадь поперечного сечения теплообменника.

Трубки имеют внутренний диаметр 8 мм. Так как количество трубок 36, тогда площадь поперечного сечения теплообменника будет равна:

$$F = \pi \cdot R^2 \cdot 36 \quad (3)$$

Самым важным показателем работоспособности рекуператора является температура на приточном вентиляторе. Что бы спрогнозировать показатели температуры вне измеряемого диапазона, был выбран метод аппроксимации по методу наименьших квадратов. Это обусловлено его относительной простотой и достаточной точностью расчета. Уравнение функции аппроксимации – уравнение прямой линии.

Тогда, при наружной температуре 1 $^\circ\text{C}$ , функция, заданная таблично, будет иметь вид:

$$= \begin{bmatrix} x & 1 & 0 & 4 & -1 \\ y & 15,9 & 15,9 & 16,3 & 15,9 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$x$  – уличная температура воздуха;

$y$  – среднее арифметическое значение температуры на притоке в помещении.

Благодаря аппроксимации полученных значений, в работе удалось построить прогнозирующую прямую (рис.3).

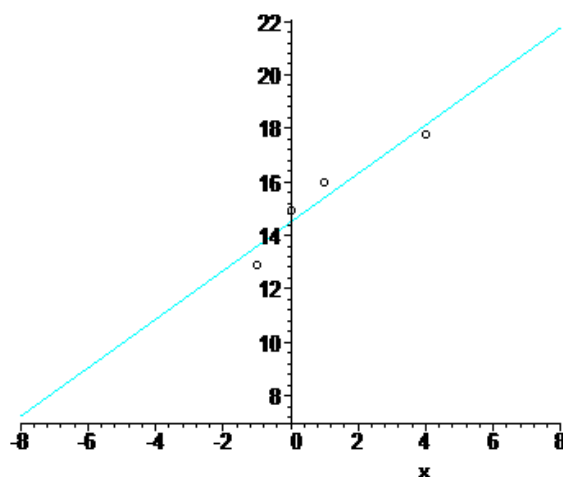


Рис.3 – Аппроксимирующая функция работоспособности рекуператора

Так же в ходе математического анализа была выявлена погрешность аппроксимирующей функции, равная 1,093 %, что дает нам возможность с достаточной точностью оценить возможности работы рекуператора при различных наружных температурах.

#### Вывод

На основании полученных результатов исследования, можно сделать вывод, что рекуператор работает достаточно эффективно в некотором диапазоне температур. Объемная величина притока воздуха остается постоянной, так как она напрямую зависит от мощности приточного вентилятора [4], [5]. Таким образом, с установкой более мощного вентилятора, можно увеличить приток воздуха, до необходимой нормы на помещение. Построена наглядная зависимость работы рекуператора и рассчитаны прогнозируемые показатели работоспособности рекуператора с погрешностью аппроксимации приблизительно 1%.

Так же в ходе проведения исследования, были выявлены следующие зависимости между исследуемыми величинами:

- температура на приточном вентиляторе прямо зависит от температуры наружного воздуха;
- температура внутри теплообменника непостоянна по всей его длине и напрямую зависит от температуры внутри помещения и уличной температуры, собственно, поэтому, температура в теплообменнике и непостоянна по всей его длине;
- температура на вытяжном вентиляторе прямо зависит от температуры внутри помещения;
- скорости ветра, а, следовательно, и объемная производительность рекуператора ограничены только мощностью монтируемых вентиляторов, плотность воздуха в полученном диапазоне температур изменяется несущественно, поэтому ей можно пренебречь.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Бондарчук А.А. Системы вентиляции в жилых зданиях с рекуперацией тепла удаляемого воздуха // Фундаментальные и прикладные исследования молодых ученых. 08-09.02.2018. С. 358 – 360.
2. Губина И.А. Энергосбережение в зданиях при утилизации тепла вытяжного воздуха / И.А. Губина, А.С. Горшков // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 4 (31). С. 209 – 219.
3. Игнаткин И.Ю. Система рекуперации теплоты с адаптивной рециркуляцией вытяжного воздуха // Вестник ВНИИМЖ. 2019. № 1 (33). С. 100 – 103.
4. Кучукбаев К.В. Энерго- и ресурсосберегающие аппараты и технологии / К.В. Кучукбаев, Э.Г. Гарайшина // Вестник Казанского Технологического Университета. 2013. Т.16. № 7. С. 110 – 112.
5. Лобов Д.С. Энергосбережение в системах вентиляции / Д.С. Лобов, К.С. Самутенко // Актуальные вопросы энергетики. 17.05.2017. С. 46 – 48.
6. Основы расчета и проектирования теплообменников воздушного охлаждения. [Текст]: Справочник / А.Н. Бессонный, Г.А. Дрейцер В.Б. Кунтыщ и др. – С.-Пб.: Недра, 1996 - 512 с.
7. Поникаров, И.И. Машины и аппараты химических производств. [Текст] / И.И.Поникаров.- М.: Машиностроение, 1989. - 368с.
8. Росляков А.Ю. Рекуперация тепла в системах приточно – вытяжной вентиляции посредством обратимого термодинамического цикла // Энергетика глазами молодежи 2017. 02-06.11.2017. С. 304 – 309.
9. Скобло А.И. Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии. [Текст]: учебник для вузов- 3-е издание перераб. и доп. / А.И. Скобло, Ю.К.Молоканов, В.А.Владимиров, В.А.Щелкунов. - М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2000.- 677с.
10. Шичкин В.В. Обоснование применения рекуперации теплоты вентиляционного воздуха при климатизации универсальных быстроформирующихся зданий / В.В. Шичкин, М.Н. Жерлыкина, С.А. Яременко, С.А. Соловьев // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2020. № 1 (12). С. 40 – 48.

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

1. Bondarchuk A.A. Sistemy ventilyatsii v zhilykh zdaniyakh s rekuperatsiei tepla udalyaemogo vozdukha [Ventilation Systems in Residential Buildings with Heat Recovery of Pumped Out Air] // Fundamentalniye I Prikladniye issledovaniya yunikh uchenikh [Fundamental and Applied Research of Young Scientists]. 02/08/2018. P. 358 - 360. [in Russian]
2. Gubina I.A., Gorshkov A.S. Energoberezhenie v zdaniyakh pri utilizatsii tepla vytyazhnogo vozdukha [Energy Saving in Buildings when Extracting Heat from Pumped Out Air] // Konstruktsiya unikalnikh zdaniy i stroyeniy [Construction of Unique Buildings and Structures]. – 2015. – No. 4 (31). – P. 209 - 219. [in Russian]
3. Ignatkin I.Yu. Sistema rekuperatsii teploty s adaptivnoi retsirkulyatsiei vytyazhnogo vozdukha [Heat Recovery System with Adaptive Recirculation of Pumped Out Air] // Vestnik vserossiyskogo nauchnogo universiteta mekhanizatsii zhivotnovodstva [Bulletin of All-Russian Scientific Research Institute of Livestock Mechanization]. – 2019. – No. 1 (33). – P. 100 - 103. [in Russian]
4. Kuchukbaev K.V. Energo- i resursosberegayushchie apparaty i tekhnologii [Energy and Resource Saving Devices and Technologies] / K.V. Kuchukbaev, E.G. Garaishina // Vestnik Kazanskogo Tekhnologicheskogo universiteta [Bulletin of Kazan Technological University]. – 2013. – V.16. – No. 7. – P. 110 - 112. [in Russian]
5. Lobov D.S., Samutenko K.S. Energoberezhenie v sistemakh ventilyatsii [Energy Saving in Ventilation Systems] / D.S. Lobov, K.S. Samutenko // Aktualniye voprosy energii [Topical Issues of Energy]. 05/17/2017. P. 46 - 48. [in Russian]
6. Osnovy rascheta i proektirovaniya teploobmennikov vozdushnogo okhlazhdeniya. [Tekst]: Spravochnik [Basics of Calculation and Design of Air-Cooled Heat Exchangers. [Text]: Reference] A.N. Bessonnyi, G.A. Dreitser V.B. Kuntyshev et al. – S.-Pb.: Nedra, 1996 - 512 p. [in Russian]
7. Ponikarov, I.I. Mashiny i apparaty khimicheskikh proizvodstv. [Tekst] [Machines and Devices in Chemical Production. [Text]] / I.I. Ponikarov. – M.: Mechanical Engineering, 1989. – 368 p.
8. Roslyakov A.Yu. Rekuperatsiya tepla v sistemakh pritochno – vytyazhnoi ventilyatsii posredstvom obratimogo termodinamicheskogo tsikla [Heat Recovery in the Systems of Suction-and-Exhaust Ventilation through a Reversible Thermodynamic Cycle] // Energiya glazami molodezhi [Energy through the Eyes of Youth] – 2017. – P. 304 - 309. [in Russian]
9. Skoblo A.I. Protssy i apparaty neftegazopererabotki i neftekhimii. [Tekst]: uchebnik dlya vuzov- 3-e izdanie pererab. i dop. [Processes and Machinery for Oil and Gas Refining and Petrochemicals. [Text]: Textbook for Universities, 3rd Edition, Revised and Suppl.] / A.I. Skoblo, Yu.K.Molokanov, V.A.Vladimirov, V.A.Shelkunov. – M.: OOO «Nedra-Biznestsentr», 2000.- 677p. [in Russian]
10. Shichkin V.V. Obosnovanie primeneniya rekuperatsii teploty ventilyatsionnogo vozdukha pri klimatizatsii universalnykh bystroformiruyushchikhsya zdanii [Rationale for the Use of Heat Recovery of Ventilation Air in the Climate Control of Universal Rapidly Forming Buildings] / V.V. Shichkin, M.N. Zherlykina, S.A. Yaremenko, S.A. Solov'yev // Zhilishchnoe khozyaistvo i kommunalnaya infrastruktura. 2020. No. 1 (12). p. 40 – 48. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.97.7.010>

## ТЕХНОЛОГИЯ «ЦИФРОВОЙ БЛИЗНЕЦ» ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА

Обзорная статья

Магомадов В.С. \*

ORCID: 0000-0002-7542-6896,

Чеченский государственный университет, Грозный, Россия

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

## Аннотация

Одной из самых заметных технологий в контексте Четвертой промышленной революции (также известной как Индустрия 4.0) является технология, называемая «Цифровым близнецом». Эта технология является особенно уместной в плане производства, и в данной статье, основное внимание уделяется применению этой технологии именно в этой области. Статья объясняет, что из себя представляет цифровой близнец, а также, рассматривает несколько различных определений этого феномена. Затем, данная технология сравнивается с некоторыми другими технологиями, также считающимися частью Индустрии 4.0, и рассматриваются основные различия и сходства. Завершается данная статья рассмотрением ценности цифрового близнеца для бизнеса.

**Ключевые слова:** цифровой близнец, цифровой двойник, производство, Интернет вещей, большие данные, бизнес

## “DIGITAL TWIN” TECHNOLOGY FOR MANUFACTURING

Review article

Magomadov V.S.\*

ORCID: 0000-0002-7542-6896,

Chechen State University, Grozny, Russia;

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

## Abstract

The technology called *Digital Twin* is one of the most promising ones in the context of the Fourth Industrial Revolution (also known as Industry 4.0). This technology is particularly appropriate in terms of manufacturing, and in this article, the main attention is paid to its application in this area. The author explains what a digital twin is like and considers several different definitions of this phenomenon as well. Besides, this technology is compared with some other ones, also considered as the part of Industry 4.0; their main differences and similarities are considered. The paper concludes with a discussion of the value of the digital twin for business.

**Keywords:** digital twin, digital twins, manufacturing, Internet of things, big data, business

## Введение

Сегодня, многие промышленные предприятия начинают внедрять цифровые технологии в свою деятельность, и в этом обстоятельстве, когда многие процессы принимают цифровую форму, многие компании пытаются найти новые способы для предоставления пользы. С точки зрения предоставления пользы, цифровые решения могут быть большой помощью для компаний, и такое обстоятельство является беспрецедентным. Эти подключенные смарт-технологии обеспечивают пользу, которая не могла быть достигнута до их изобретения. Одной из самых интересных технологий, вызывающих в последнее время особый интерес у производственных предприятий, является технология, известная как «цифровой близнец» [1].

В недавнем прошлом, технология цифрового близнеца не была возможностью для многих компаний, поскольку она требует обработки огромных объемов данных, что было невозможно из-за таких ограничений, как хранение данных и цены на пропускную способность. Однако, сейчас эти ограничения оказывают гораздо меньшее влияние, и компании могут воспользоваться преимуществом этой технологии [1].

Технология «цифровой близнец» имеет большое значение по следующим причинам:

- При условии, что цифровой близнец применяется правильно, он способен подключаться к бэкенд-приложениям компаний для получения бизнес-результатов [2].

- Цифровой близнец позволяет визуализировать функции машин и устройств, включая более крупные взаимосвязанные системы, такие как производственные предприятия и аэропорты [2].

- Это позволяет задавать модели вопросы типа «что-если», моделируя различные условия, которые было бы нецелесообразно строить в реальности [2].

Создание цифрового близнеца для того, чтобы применить его ко всем процедурам предприятия, может быть сложной задачей, которая потребовала бы много времени и усилий. Более эффективный подход заключается в его применении в одном качестве, получении пользы в этом качестве, и дальнейшем развитии. Однако, для того, чтобы выполнить эти задачи, не перегружая себя, компаниям крайне важно разобраться с понятием цифрового близнеца, прежде чем предпринимать какие-либо шаги по его созданию. Что такое цифровой близнец, как его можно построить, как извлечь из него выгоду, и какие приложения уже используются, обсуждается далее в статье [3].

## Определение цифрового близнеца

В настоящее время, существуют различные способы определения этой технологии. Например, некоторые люди определяют его, как виртуальную модель продукта, цель которой заключается в выявлении любых недостатков продукта, пока он находится на начальной стадии разработки, и постоянном обновлении его. Он также определяется, как цифровая модель, имитирующая объект в реальной жизни, предназначенная для представления физического объекта [4].

Эта технология отличается от САПР (система автоматизированного проектирования) и любых технологий Интернета вещей, которые в настоящее время доступны на рынке. Считается, что цифровой близнец может предложить гораздо больше, чем обе эти технологии.

Истинный потенциал этой технологии заключается в ее способности обеспечить всеобъемлющую связь между реальной жизнью и цифровой сферой. Вполне возможно, что благодаря этой связи, непредсказуемость будет измеряться более эффективно. Кроме того, благодаря тому, что компьютеры, в настоящее время, стоят дешевле, и обладают вычислительной мощностью получше, они могут получать обратную связь о продукте в режиме реального времени, и проводить его автономную экспертизу. Это то, что не может быть достигнуто с помощью методов, доступных нам в настоящее время.

Сложные свойства и процедуры, которые по-разному взаимодействуют со своим окружением, могут быть смоделированы с помощью цифрового близнеца. Можно построить цифровые близнецы в самых разных условиях, чтобы выполнить различные задачи. Например, эта технология иногда используется для имитации карьерных самосвалов и реактивных двигателей, чтобы оценить, на что они способны в реальной жизни [5].

### **Ценность технологии для бизнеса**

Прежде чем компании будут инвестировать в эту технологию, они должны понять, какую пользу она может принести для бизнеса, и как они могли бы воспользоваться ею. Как этот новый метод может помочь компании изменить способы осуществления своей деятельности и извлечь из нее пользу для бизнеса? До недавнего времени, создание цифрового близнеца требовало больших затрат и не предоставляло так уж много преимуществ. Однако, теперь, когда есть больше возможностей для хранения больших данных и цены на вычислительную технику снизились, можно получить большую коммерческую пользу от использования этой технологии [6].

Когда предприятия принимают во внимание коммерческую ценность этой технологии, они должны делать акцент на проблемах, связанных с производительностью и ситуацией на рынке.

Одним из главных преимуществ цифрового близнеца является то, что он не устает и не застаивается. Однако, то же самое нельзя сказать о физических активах или людях. Эта технология всегда находится в процессе обучения и выполнения анализа данных на объектах, которые она моделирует, и это приводит к появлению новых возможностей для бизнеса [7].

### **Основные сложности**

**ИТ-инфраструктура.** ИТ-инфраструктура – это один из самых важных аспектов разработки эффективного цифрового близнеца, способного выполнять поставленные перед ним задачи. Для того, чтобы эта технология была успешной и позволяла предприятиям извлекать из нее выгоду, крайне важно иметь хорошо связанную и бесперебойно работающую ИТ-инфраструктуру [1].

**Инженерия.** Производственный процесс часто непредсказуем, и меняется в результате постоянно меняющихся потребительских предпочтений, технологий и дизайна продукта. Непредсказуемость часто усугубляется законодательством и различиями между странами. Такая непредсказуемость приводит к еще большим сложностям в производственном процессе, и для преодоления этих сложностей требуется разработать структуру, которая является еще более сложной [8].

**Стандартизация.** Разработка стандартов имеет решающее значение, поскольку по мере того как технология становится все более и более распространенной, возникает вопрос о совместимости. Цифровой близнец в значительной степени зависит от технологий Интернета вещей, т.е. он получает данные от интеллектуальных продуктов и устройств, которые включены в Интернет вещей. Однако, нынешнее состояние стандартов в области Интернета вещей требует значительного усовершенствования, и это, конечно же, влияет на стандартизацию цифрового близнеца [9].

**Обмен данными.** Не будет преувеличением говорить, что одним из самых больших барьеров производства в наши дни является обмен данными, поскольку это основано на отношении людей (культурном и личном) к нему, что, в свою очередь, оказывает влияние на политику компании в отношении того, как обмениваться данными. Таким образом, обмен данными превращается в серьезную проблему для данной технологии. Сложность обмена данными мешает разработчиками находить более интегрированные идеи [10].

### **Реальные примеры использования цифрового близнеца**

**Компания MAN Truck & Bus,** являющаяся ведущим поставщиком коммерческих транспортных средств в Европе, использует данную технологию в рамках своей цифровой трансформации. Компания уже предприняла шаги по переходу на консолидированную систему управления данными продукта и обеспечению более быстрого и легкого доступа к данным с помощью ролевых приложений [11].

На данный момент, компания изучает использование умных, подключенных продуктов и создание цифрового близнеца. До этих пор они работали над подключенным грузовиком, сочетающим в себе GPS и другую реальную информацию из сфер машиностроения, и производства. Это сочетание цифрового и физического пространств позволяет компании MAN определить, когда и где возникают проблемы, и отправить полученную информацию в производство [11].

Между тем, Компания Hirotect, производящая автомобильные двери, выхлопные компоненты и прочие, использует цифровой близнец для мониторинга своего оборудования в цехе. Компания обычно проверяла каждую из производимых ею выхлопных систем вручную, но этот процесс был слишком трудоемким [11].

Таким образом, разработчики компании Hirotect внедрили усовершенствованную роботизированную систему, которая включала в себя датчики зрения, лазерные измерительные датчики и датчики силы для проверки выхлопных систем. Эта роботизированная система, в конечном итоге, собрала более 465 точек данных для каждой проверки. С помощью цифрового близнеца, компания измеряет эти точки данных в соответствии с проектными требованиями, чтобы проанализировать тенденции каждой точки контроля и определить возможности для внесения улучшений. Это значительно сократило время, необходимое для внесения улучшений: если раньше на сбор данных и изучение потенциальных улучшений уходил месяц, то теперь этот процесс завершается в течение недели [11].

Вышеуказанные компании отмечают, что для успешного внедрения данной технологии необходимо преодолеть определенные барьеры. Одним из таких барьеров считается то, насколько «цифровизированными» являются операции компании, и только преодолев данный барьер, можно говорить о внедрении цифрового близнеца. Это означает, что компании необходимо облегчить поиск и доступ к данным о продукте. Цифровое определение продукта позволяет легко консолидировать все данные, создавая полную основу для стратегии трансформации [1], [11].

Еще один барьер заключается в распространении данных о продукции по всему предприятию для обеспечения всеобщего доступа к данным. Всеобщий доступ к данным повышает производительность и позволяет заинтересованным сторонам принимать более быстрые и эффективные решения [11].

### Обсуждение

Эта технология добилась определенных успехов в своем развитии, что также подтверждается количеством работ, опубликованных в этой области. Кроме того, есть лидеры отрасли, внесшие значительные инвестиции в развитие этого направления. Сферы искусственного интеллекта и Интернета вещей также были главными движущими силами этой технологии. Производство является основным направлением исследований в этой области, о чем свидетельствует большинство опубликованных работ. Когда речь заходит об использовании этой технологии в таких областях, как здравоохранение и умные города, содержание публикуемых работ заметно отличается от производства. Этот пробел можно было бы использовать как возможность заставить эту технологию работать в сочетании с искусственным интеллектом. Есть публикации, в которых обсуждается рассматриваемая технология в сочетании с искусственным интеллектом, но объем таких работ невелик. Большая часть исследований в этой области в будущем, вероятно, будет посвящена тому, как масштабировать маленькие цифровые близнецы, которые были успешно реализованы. Отсутствие стандартизации является одним из наиболее важных выводов этого исследования, и решение этих вопросов стандартизации будет решающим шагом на пути к успеху этой технологии [9], [10].

### Заключение

Внедрение цифрового близнеца может привести к большой коммерческой пользе для бизнеса и предоставить инновационные способы получения прибыли. Благодаря достижениям в области технологий и стоимости, которая значительно ниже, чем она была в прошлом, предприятия могли бы сэкономить большую часть своих денежных активов в процессе разработки цифрового близнеца. Технология цифрового близнеца имеет много применений в жизненном цикле продукта и может дать ответы на многие вопросы, которые ранее были неразрешимы, и одновременно предоставляя пользу, которая считалась недостижимой еще не так много лет назад. Таким образом, вопрос заключается не в том, следует ли компании использовать эту технологию или нет, а в том, как они могли бы использовать ее таким образом, чтобы получить от нее выгоду в кратчайшие сроки и превзойти своих конкурентов. Однако, решение этой задачи не является легким и на это потребуется много времени, усилий и средств.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Conflict of Interest

None declared.

### Список литературы / References

1. Магомадов В. С. Технология «Цифровой близнец» / В. С. Магомадов // Сборник материалов IV Международной научно-практической конференции «ВТ-технологии и корпоративные информационные системы в оптимизации бизнес-процессов цифровой экономики». – 2019. – С. 17–18.
2. Стасишина Ю. Эра трансформеров: «цифровые близнецы» уже рядом [Электронный ресурс] / Ю. Стасишина // Sciencepop. – 2017. – URL: <https://sciencepop.ru/era-transformerov-tsifrovye-bliznetsy-uzhe-ryadom/> (дата обращения: 23.05.2020).
3. Вичугова А. Цифровизация производства и цифровые двойники: объединяем PLM, IoT и Big Data [Электронный ресурс] / А. Вичугова // Bigdataschool. – 2020. – URL: <https://www.bigdataschool.ru/bigdata/digital-twin-plm-iot-big-data.html> (дата обращения: 23.05.2020).
4. Кокорев Д. С. Цифровые двойники: понятие, типы и преимущества для бизнеса / Д. С. Кокорев, А. А. Юрин // Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ». – 2019. – № 10-2 (34). – С. 101–104.
5. Прохоров А. Цифровая трансформация. Анализ, тренды, мировой опыт. / А. Прохоров, Л. Коник. – Litres, 2019. – С. 34–35.
6. Джиджелаева Л. Д. Цифровая трансформация в сфере публичного управления / Л. Д. Джиджелаева, А. В. Родин // Сборник материалов III международной конференции интернет-конференции «Проблемы экономического роста и устойчивого развития территорий». – 2019. С. 97 – 100.
7. Чернов А. В. Управление информатизацией предприятия с использованием архитектурных подходов / А. В. Чернов, В. И. Ананьин, С. М. Авдошин, Е. Ю. Песоцкая. – Москва: АСИТЭКС, 2018. – С. 455–456.
8. Соловьев С. Цифровые двойники в промышленности: сегодня и завтра [Электронный ресурс] / С. Соловьев // Икс Медиа. – 2019. – URL: <http://www.iksmidia.ru/articles/5585041-Czifrovye-dvojniki-v-promyshlennost.html> (дата обращения: 23.05.2020).
9. Шмотин Ю. Цифровой двойник на производстве: задачи, вопросы, перспективы [Электронный ресурс] / Ю. Шмотин // Управление производством. – 2019. – URL: [http://www.up-pro.ru/library/information\\_systems/project/d7fb9dd59e1ffa29.html](http://www.up-pro.ru/library/information_systems/project/d7fb9dd59e1ffa29.html) (дата обращения: 23.05.2020).
10. Брук П. Цифровые двойники, основанные на симуляции мультифизических процессов [Электронный ресурс] / П. Брук // САПР. – 2019. – URL: <https://sapr.ru/article/25888> (дата обращения: 23.05.2020).
11. Пайк Дж. Всё, что вам нужно знать о цифровом близнеце [Электронный ресурс] / Дж. Пайк // PTC. – 2018. – URL: <https://www.ptc.com/en/windchill-blog/all-you-need-to-know-digital-twin> (дата обращения: 29.05.2020).

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

1. Magomadov V. S. Tekhnologiya «Tsifrovoy bliznets» [Digital twin technology] / V. S. Magomadov // Sbornik materialov IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «BI-tekhnologii i korporativnyye informatsionnyye sistemy v optimizatsii biznes-protsessov tsifrovoy ekonomiki [Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference “BI-technologies and corporate information systems in optimizing business processes in the digital economy”]. – 2019. – P. 17–18. [in Russian]
2. Stasishina YU. Era transformerov: «tsifrovyye bliznetsy» uzhe ryadom [The era of transformers: “digital twins” are already nearby] [Electronic resource] / Y. U. Stasishina // Sciencepop. – 2017. – URL: <https://sciencepop.ru/era-transformerov-tsifrovyye-bliznetsy-uzhe-ryadom/> (Date accessed: 23.05.2020). [in Russian]
3. Vichugova A. Tsifrovizatsiya proizvodstva i tsifrovyye dvoyniki: ob"yedinyayem PLM, IoT i Big Data [Digitalization of production and digital twins: combine PLM, IoT and Big Data] [Electronic resource] / A. Vichugova // Bigdataschool. – 2020. – URL: <https://www.bigdataschool.ru/bigdata/digital-twin-plm-iot-big-data.html> (Date accessed: 23.05.2020). [in Russian]
4. Kokorev D. S. Tsifrovyye dvoyniki: ponyatiye, tipy i preimushchestva dlya biznesa [Digital doubles: concept, types and advantages for business] / D. S. Kokorev, A. A. Yurin // Natsional'nyy issledovatel'skiy yadernyy universitet «MIFI» [National Research Nuclear University “MIFI”]. – 2019. – № 10-2 (34). – P. 101–104. [in Russian]
5. Prokhorov A. Tsifrovaya transformatsiya. Analiz, trendy, mirovoy opyt [Digital transformation. Analysis, trends, world experience]. / A. Prokhorov, L. Konik. – Litres, 2019. – P. 34–35. [in Russian]
6. Dzhidzhelayeva L. D. Tsifrovaya transformatsiya v sfere publichnogo upravleniya [Digital transformation in the field of public administration] / L. D. Dzhidzhelayeva, A. V. Rodin // Sbornik materialov III mezhdunarodnoy konferentsii internet-konferentsii «Problemy ekonomicheskogo rosta i ustoychivogo razvitiya territoriy» [Proceedings of the III international conference of the Internet conference "Problems of economic growth and sustainable development of territories."]. – 2019. P. 97 – 100. [in Russian]
7. Chernov A. V. Upravleniye informatizatsiyey predpriyatiya s ispol'zovaniyem arkhitekturnykh podkhodov [Management of enterprise informatization using architectural approaches] / A. V. Chernov, V. I. Anan'in, S. M. Avdoshin, Ye. YU. Pesotskaya. – Moskva: ASITEKS, 2018. – P. 455–456. [in Russian]
8. Solov'yev S. Tsifrovyye dvoyniki v promyshlennosti: segodnya i zavtra [Digital doubles in industry: today and tomorrow] [Electronic resource] / S. Solov'yev // Iks Media. – 2019. – URL: <http://www.iksmmedia.ru/articles/5585041-Czifrovyye-dvoyniki-v-promyshlennost.html> (Date accessed: 23.05.2020). [in Russian]
9. Shmotin YU. Tsifrovoy dvoynik na proizvodstve: zadachi, voprosy, perspektivy [Digital twin in production: tasks, questions, prospects] [Electronic resource] / YU. Shmotin // Upravleniye proizvodstvom. – 2019. – URL: [http://www.up-pro.ru/library/information\\_systems/project/d7fb9dd59e1ffa29.html](http://www.up-pro.ru/library/information_systems/project/d7fb9dd59e1ffa29.html) (Data accessed: 23.05.2020). [in Russian]
10. Bruk P. Tsifrovyye dvoyniki, osnovannyye na simul'yatsii mul'tifizicheskikh protsessov [Digital twins based on the simulation of multiphysical processes] [Electronic resource] / P. Bruk // SAPR. – 2019. – URL: <https://sapr.ru/article/25888> (Date accessed: 23.05.2020). [in Russian]
11. Pike J. Vso, chto vam nuzhno znat' o tsifrovom bliznetse [All you need to know about the digital twin] [Electronic resource] / J. Pike // PTC. – 2018. – URL: <https://www.ptc.com/en/windchill-blog/all-you-need-to-know-digital-twin> (Date accessed: 29.05.2020).

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.97.7.011>**ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВИЭ ДЛЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ АВТОНОМНЫХ ОБЪЕКТОВ  
В ПРЕДГОРНЫХ И ВЫСОКОГОРНЫХ РАЙОНАХ**

Научная статья

**Музаев А.К.\***Северо-Кавказский Горно-Металлургический Институт (Государственный Технологический Университет),  
Владикавказ, Россия

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

**Аннотация**

Рассмотрены перспективы применения возобновляемых источников энергии в автономном энергоснабжении объектов предгорных районов и высокогорья. Приведены описания автономных многофункциональных энергетических комплексов, одновременно использующих преобразователи различных типов: солнечных лучей, ветрового и водяного потоков в электрическую энергию, запатентованных в Северо-Кавказском Горно-Металлургическом Институте (Государственном Технологическом Университете). Обоснована перспективность применения возобновляемых источников энергии для автономного энергоснабжения объектов высокогорья.

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии; повышение эффективности применения; энергоснабжение; объекты высокогорья; автономные энергетические комплексы.

**OUTLOOKS FOR RER APPLICATION FOR ENERGY SUPPLY OF AUTONOMOUS OBJECTS  
IN SUBMONTANE AND HIGH-MOUNTAIN AREAS**

Research article

**Muzayev A.K. \***North-Caucasian Mining and Metallurgical Institute (State Technological University),  
Vladikavkaz, Russia**Abstract**

In this article, the authors consider the outlooks of the renewable energy sources application in the autonomous energy supply in the submontane and high-mountain areas. They provide the descriptions of autonomous multifunctional energy complexes that simultaneously use converters of various types: sunlight, wind, and water flow into electrical energy, patented at the North Caucasus Mining and Metallurgical Institute (State Technological University). The outlooks of using renewable energy sources for autonomous power supply of highland facilities are substantiated as well.

**Keywords:** renewable energy sources; increase in usage efficiency; power supply; highland objects; autonomous energy complexes.

**Введение**

Энергетические потребности всех стран мира возрастают с каждым днём. Так как в наши дни особо распространена энергетика, основанная на сжигании углеводородов, то уже давно обозначился вопрос о дальнейшем развитии электроэнергетики. Ведь нынешняя ситуация, связанная со сжиганием невозобновляемых источников, ухудшается с каждым днём, негативно воздействуя на окружающую среду.

После аварии на АЭС «Фукусима-1» в Японии в 2011 появились сомнения в дальнейшем развитии атомной энергетики. В то же время растёт доля установленной мощности возобновляемых источников энергии до 20 %.

Поэтому альтернативой нынешней энергетике может стать возобновляемая энергетика, к которой относится ветро-, солнечная, гидроэнергетика, использование биомассы, приливные, волновые электростанции и т.п. У возобновляемых источников имеются преимущества: они неистощимы; наносят меньший вред экологии; имеют более широкий доступ и потенциал на планете. Мощность ВИЭ, поступающих на Землю от Солнца, составляет  $1,2 \cdot 10^{17}$  Вт [1].

Особо хотелось бы отметить применение солнечных установок для автономного энергоснабжения. Ведь Солнце можно считать практически единственным видом возобновляемой энергии, не учитывая, что, примерно через 5,5 млрд лет оно погаснет. К 2050 году планируется использование и обеспечение потребностей человечества в энергетике на 25 % с помощью установок, использующих солнечную энергию. Это способно значительно сократить выбросы углекислоты.

Благодаря автономным универсальным энергетическим комплексам, использующих возобновляемые источники энергии, имеется возможность обеспечить автономной энергией малоэнергоёмкие объекты: индивидуальные жилые дома, объекты временного электроснабжения, сельскохозяйственные, рекреационные, туристические и прочие объекты. Также подобные комплексы рационально использовать в качестве резервных источников для снабжения объектов здравоохранения и военных комплексов. Особенно это актуально для высокогорных районов, энергодефицитных регионов, лишённых централизованных линий электропередач.

Вопросы применения нетрадиционной возобновляемой энергетике актуальны для стран всего мира [2], [3], [4]. Во многих странах применяются моноветро-, моносолнечные фотоэлектрические комплексы. Но также есть примеры использования энергокомплексов с учётом местных возможностей до пента- (пяти), сикстет-систем (с шестью видами оборудования) и т.д. Например, в Канаде для обеспечения отдалённых районов энергией используют гибридные установки – ветродизельные и ветроводородные. Эти методы применимы при энергоснабжении индивидуальных жилых домов, в частности, в горной зоне [5].

Горные поселения – это особые экологические системы, которые обладают огромными ресурсами. Предгорные и высокогорные районы обладают экологически чистыми видами возобновляемых источников энергии. Рассмотрим имеющийся потенциал возобновляемых энергоресурсов горных провинций Республики Северная Осетия – Алания (РСО – Алания).



### Методы и принципы исследования

Большее половины территории РСО – Аляния находится в горной зоне, практически оторванной от централизованного энергоснабжения. Население данной области не превышает 10 000 человек.

**Гидроресурсы.** Энергия водных потоков – наиболее распространенный вид экологически чистого энергоресурса возобновляемой энергии горных территорий РСО – Аляния.

Суммарная длина всех основных рек республики составляет 1 926,4 км, максимальная длина реки Терек (протяжённость по Республике) – 176 км (общая длина реки составляет 623 км), суммарная потенциальная мощность составляет 1 579,4 тыс. кВт.

Также можно рассматривать мельчайшие реки Республики в качестве источников первичного энергоресурса. К ним относятся водотоки протяжённостью менее 10 км. Их насчитывается 2 270 в РСО-Аляния. Потенциальная суммарная мощность мельчайших рек составляет порядка 138,4 кВт, что составляет 8,1 % от мощности основных рек.

В результате исследований стока всех рек Республики можно сказать, что общий гидроэнергетический потенциал составляет 22,7 млрд кВт·ч, технический потенциал – 11,6 млрд кВт·ч, а экономический – 5,2 кВт·ч. В настоящее время на существующих ГЭС РСО – Аляния используется лишь 7 % экономически выгодного потенциала гидроресурсов, что составляет порядка 0,365 млн кВт·ч.

**Энергия ветровых потоков.** Воздушные массы в горных и предгорных районах РСО – Аляния формируются под воздействием различных факторов: географического расположения территории, неоднородности рельефа, положения республики относительно морей и хребтов.

Горные районы изобилуют фенами – сухие тёплые ветры, которые спускаются с гор. Для предгорных зон характерна задержка холодных масс, стационарирование и обострение фронтов перед препятствием.

Предполагаемый энергетический потенциал ветровой энергии РСО – Аляния рассчитаем по формуле:

$$E_n = V_{cp} \cdot S \cdot T_{год} \cdot K_1 \cdot K_2 \quad (1)$$

Среднегодовая скорость по территории РСО – Аляния составляет  $V_{cp} = 1,6 \text{ м/с}$ ,  $S = 8,2 \text{ тыс. км}^2$ ,  $T_{год} = 8\,760$  – число часов в году,  $K_1 = 0,29$  – коэффициент характеристики потоков ветра,  $K_2 = 0,05$  – коэффициент использования ветроустановки.

$$E_n = 1,6 \cdot 82\,000\,000 \cdot 8\,760 \cdot 0,29 \cdot 0,05 = 1\,667 \text{ тыс. кВт} \quad (2)$$

**Энергия солнца.** Республика Северная Осетия – Аляния очень удобно расположена с точки зрения получения энергии солнечных потоков. Особенно это касается горных районов республики. Однако на сегодняшний день имеется очень малое количество сведений, касающихся солнечной радиации горных зон. Но, к примеру, продолжительность солнечного сияния, т.е. сумма часов солнечного сияния, приходящееся на месяц в селении Цей за год (высота над уровнем моря 1 910 м) – 2 233; в селении Коби (высота 1 987 м) – 2 011; в селении Фаснал (высота 1 700 м) – 2 331.

Возможный технический потенциал солнечной энергии республики составляет:

$$S_{n \max} = 13,4 \text{ МДж/м}^2 \cdot 8\,000 \cdot 106 \text{ м}^2 \cdot 365 = 3,91 \cdot 10^{13} \text{ МДж} \quad (3)$$

Без ущерба для окружающей среды можно использовать порядка 1,5 % падающей энергии, т.е.  $5,9 \cdot 10^{11} \text{ МДж}$  ( $1,6 \cdot 10^{11} \text{ кВт·ч}$  или  $2 \cdot 10^7 \text{ т у. т.}$ ).

Таким образом, РСО – Аляния обладает высоким потенциалом солнечной энергии, использование которого особенно важно для населения, проживающего в децентрализованных районах (горных зонах), в которых отсутствуют постоянные источники электроэнергии.

### Основные результаты

В Северо-Кавказском Горно-Металлургическом Институте (Государственном Технологическом Университете) (СКГМИ (ГТУ)) разрабатываются устройства для преобразования как одного типа естественных энергетических потоков в удобную для дальнейшего использования [6], [7], [8], так и комплексные (многофункциональные) устройства, одновременно преобразующие энергию естественных энергетических потоков различных типов [9], [10], [11], [12].

Разработанное д.т.н., профессором Ю.С. Петровым ветроколесо [6] позволяет получать вращение панелей в одну сторону, независимо от направления ветра, что является существенным для областей с изменяющимися параметрами вектора ветрового потока. Установка рассчитана на небольшие мощности и применение для энергоснабжения автономных малоэнергоёмких объектов, в частности, в горных условиях.

Изобретение, предложенное М.К. Хадиковым [7], отличается малыми габаритами и высокой эффективностью использования солнечных лучей в ограниченном объёме установки. Предполагается использовать в системе автономного энергоснабжения, в частности, объектов предгорных и высокогорных поселений.

Профессором И.Д. Алборовым и аспиранткой И.Ю. Зориной предложена конструкция солнечного коллектора [8], благодаря которой можно повысить эффективность тепловых преобразователей подобного типа примерно в 2 раза. Данная установка имеет широкий диапазон по производительности и может эксплуатироваться в условиях автономного энергоснабжения объектов различной мощности. Наиболее перспективно использование для энергоснабжения индивидуальных объектов высокогорья.

Серия полезных моделей [9], [10], [12] относится к установкам гибридного типа, использующим преобразование лучистой и ветровой энергии в электроснабжении одновременно. Одновременное преобразование естественных энергетических потоков различных типов (в данном случае – ветра и солнечных лучей) в электроснабжении, имеет ряд положительных качеств. Во-первых, увеличивается мощность установки; во-вторых, повышается надёжность электроснабжения (постепенно исключается хотя бы один генерирующий поток); в-третьих, сокращается площадь,

занимаемая гибридной установкой по сравнению с общей площадью, которые занимали бы два участка в отдельности; также уменьшается экологическая нагрузка на окружающую среду (по сравнению с использованием каждого преобразователя отдельно).

В настоящее время в СКГМИ (ГТУ) под руководством профессора Петрова Ю.С. разрабатываются образцы автономных универсальных энергетических комплексов – УЭК, с целью их последующего использования в предгорных и высокогорных условиях.

Одним из существующих факторов, затрудняющих применение УЭК, является необходимость иметь накопитель энергии достаточной ёмкости. Роль накопителя – поглощать (запасать) избыток генерируемой энергии и компенсировать (при необходимости) её недостаток в системе потребления. Проблема создания накопителя энергокомплекса, полностью удовлетворяющего современным требованиям, пока не решена.

В СКГМИ (ГТУ) ведутся работы и в том направлении, в частности по созданию комплексного тепло-электрического накопителя, который по своим характеристикам, как показывают расчеты и эксперименты, вполне может удовлетворять требованиям УЭК средней мощности.

Все установки, разрабатываемые в СКГМИ (ГТУ), практического применения пока не нашли. Однако разработки находятся в поисках потенциальных инвесторов, готовых проинвестировать и профинансировать проекты в области возобновляемых источников энергии в условиях горных районов Республики Северная Осетия – Алания.

#### Заключение

Высокие темпы развития и продвижения установок на ВИЭ на энергорынке многих стран мира обусловлены государственной поддержкой, заботой об окружающей среде. В России пока такого внимания не уделяется.

Установки, использующие ВИЭ, не могут конкурировать с централизованными системами энергоснабжения. Однако для децентрализованных и рассредоточенных потребителей, особенно в отдалённых высокогорных поселениях, подобные установки, являются порой единственными источниками энергии. Использование энергии естественных энергетических потоков, циркулирующих в окружающем пространстве, в частности, на основе УЭК не только упростит энергоснабжение высокогорных районов, но и в значительной мере обеспечит экологическую устойчивость горного района.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Безруких П.П. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии // ТЭК, 2001, № 4. С. 31 -35.
2. Альтернативные источники энергии и энергосбережение. М.: Наука и техника, 2014. – 320 с.
3. Елистратов В.В. Использование возобновляемой энергии: учебное пособие/Елистратов В.В. – СПб.: Изд-во Политехн. университета, 2008 – 224 с.
4. Васильев Ю.С. Возобновляемые источники энергии и гидроаккумулирование: учебное пособие/ Васильев Ю.С. Елистратов В.В. [и др.] – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 1995.
5. Велькин В.И. Методология расчёта комплексных систем ВИЭ для использования на автономных объектах: монография. Екатеринбург: Изд-во УрФУ, 2015 – 226 с.
6. Петров Ю.С. Ветроколесо, патент № 2105190, опубликован 20.02.98 бюллетень № 5.
7. Хадиков М.К. Солнечная батарея, патент № 172079, опубликован 28.06.2017, бюллетень № 19
8. Алборов И.Д. Солнечный коллектор / И.Д. Алборов, И.Ю. Зорина, патент № 170208, опубликован 18.04.2017, бюллетень № 11
9. Петров Ю.С. Ветроэнергетическая установка / Ю.С. Петров, Ю.В. Саханский, И.Ю. Зорина, Г.В. Иликоев, патент № 148781, опубликован 20.12.2014 бюллетень № 35.
10. Петров Ю.С. Автономная электроэнергетическая установка / Ю.С. Петров, Ю.В. Саханский, И.Ю. Зорина, Г.В. Иликоев, патент № 158761, опубликован 20.01.2016, бюллетень № 2.
11. Петров Ю.С. Ветрогелиоустановка / Ю.С. Петров, М.К. Хадиков, А.А. Соколов, А.К. Музаев, патент № 188444, опубликован 12.04.2019, бюллетень № 11.
12. Петров Ю.С. Устройство автономного освещения дорожного разделительного барьера/ Ю.С. Петров, М.К. Хадиков, А.К. Музаев, патент № 196315, опубликован 25.02.2020, бюллетень № 6.

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

1. Bezrukov P.P. Netradicionnye vozobnovljaemye istochniki jenerгии [Unconventional Renewable Energy Sources] //TEC, 2001, No. 4. Page 31 - 35. [in Russian]
2. Al'ternativnye istochniki jenerгии i jenergosberezhenie [Alternative energy sources and energy conservation]. Moscow: Science and Technology, 2014. 320 p. [in Russian]
3. Elistratov V.V. Ispol'zovanie vozobnovljaemoj jenerгии: uchebnoe posobie [Renewable Energy Use: Tutorial] / Elistratov V.V. - SPb.: Polytechnic University, 2008 - 224 p. [in Russian]
4. Vasil'ev Yu.S. Vozobnovljaemye istochniki jenerгии i gidroakkumulirovanie: uchebnoe posobie [Renewable energy sources and hydroaccumulation: tutorial] / Vasil'ev Y.S. Elistratov V.V. [et al] - SPb.: Polytechnic. un-that, 1995. [in Russian]
5. Velkin V.I. Metodologija raschjota kompleksnyh sistem VIJe dlja ispol'zovanija na avtonomnyh obektah: monografija [Methodology of calculation of complex renewable energy systems for use in autonomous facilities: monograph]. Yekaterinburg: UrFU, 2015 - 226 p. [in Russian]
6. Petrov Y.S. Vetrokoleso [Windrocoleso], Patent No. 2105190, published 20.02.98 Bulletin No. 5. [in Russian]
7. Khadikov M.K. Solnechnaja batareja [The solar battery], patent No. 172079, bulletin No. 19 is published 28.06.2017, [in Russian]

8. Alborov I.D. Solnechnyj kollektor [The solar collector] / I.D. Alborov, I.Ju. Zorina, patent No. 170208, is published 18.04.2017, bulletin No. 11 [in Russian]
9. Petrov Y.S., Vetrojenergeticheskaja ustanovka [Wind power plant] / Ju.S. Petrov, Ju.V. Sahanskij, I.Ju. Zorina, G.V. Ilikoev, patent № 148781, published 20.12.2014 bulletin № 35. [in Russian]
10. Petrov Y.S. Avtonomnaja jelektrojenergeticheskaja ustanovka [Autonomous electric power plant] / Ju.S. Petrov, Ju.V. Sahanskij, I.Ju. Zorina, G.V. Ilikoev, patent № 158761, published 20.01.2016, bulletin № 2. [in Russian]
11. Petrov Y.S. Vetrogelioustanovka [Vetrogelioustarka] / Ju.S. Petrov, M.K. Hadikov, A.A. Sokolov, A.K. Muzaev, patent № 188444, published 12.04.2019, bulletin № 11. [in Russian]
12. Petrov Y.S. Ustrojstvo avtonomnogo osveshhenija dorozhnogo razdelitel'nogo bar'era [Autonomous Lighting Device of Road Separation Barrier] / Ju.S. Petrov, M.K. Hadikov, A.K. Muzaev, Patent № 196315, published 25.02.2020, Bulletin № 6. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.97.7.012>**МЕТОД СНИЖЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ПОДАВЛЕНИЕМ  
ШУМА ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ**

Научная статья

**Мурзинов В.Л.<sup>1,\*</sup>, Мурзинов П.В.<sup>2</sup>, Мурзинов Ю.В.<sup>3</sup>, Попов С.В.<sup>4</sup>, Татарникова Ю.В.<sup>5</sup>**<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия

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

**Аннотация**

В статье рассматривается задача оценки эффективности подавления аэродинамического шума винтовой вставкой в воздуховод вентиляции. Механические вентиляционные системы получили широкое распространение для обеспечения санитарно-гигиенических или технических потребностей во многих областях промышленности, бытовых условиях, местах пребывания большого числа людей. Однако механические вентиляционные системы имеют негативную сторону, они создают шум, который распространяется по вентиляционным каналам и может стать причиной ухудшения нормальных условий труда и отдыха. Доля аэродинамического шума существенно преобладает над структурным шумом. Поэтому подавление аэродинамической составляющей шума вентиляционных систем является актуальной задачей. Существуют различные средства снижения шума потоков в воздуховодах. В статье рассмотрены методы и конструкции, обеспечивающие снижение аэродинамического шума и показаны различные конструктивные решения, начиная от конструкций, представленных в нормативных документах и кончая оригинальными современными разработками. Отмечена эффективность применения в воздуховодах спиральных вставок в виде геликоидов. Применение геликоидов практически не увеличивает гидродинамического сопротивления воздуховодов. Использование звукопоглощающих материалов для облицовки воздуховодов и изготовления геликоидов, позволило получить синергетический эффект совместного подавления ими аэродинамического шума, в результате чего, получилось значительное снижение аэродинамического шума в диапазоне средних и высоких частот.

**Ключевые слова:** снижение шума, аэродинамический шум, вентиляция, воздуховод, геликоид, спиральная вставка, глушитель.

**ENVIRONMENTAL HAZARD REDUCTION METHOD BY REDUCTION  
OF NOISE IN VENTILATION SYSTEMS**

Research article

**Murzinov V.L.<sup>1,\*</sup>, Murzinov P.V.<sup>2</sup>, Murzinov Yu.V.<sup>3</sup>, Popov S.V.<sup>4</sup>, Tatarinova Yu.V.<sup>5</sup>**<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

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

**Abstract**

The paper discusses the problem of evaluating the effectiveness of aerodynamic noise suppression by a screw insert in the ventilation duct. Mechanical ventilation systems are widely used to provide sanitary-hygienic or technical needs in many areas of industry and residential areas of a large number of people. However, mechanical ventilation systems have negative features; they make noise that spreads through the ventilation channels and can cause deterioration of normal working and resting conditions. The proportion of aerodynamic noise substantially dominates over structural noise. Therefore, the suppression of the aerodynamic component of the noise from ventilation systems is an urgent task. There are various means of reducing the noise of flows in ducts. The paper discusses methods and designs that provide aerodynamic noise reduction and shows various design solutions, ranging from structures presented in regulatory documents to original modern developments. The authors note the efficiency of the application of helical inserts in the form of helicoids in air ducts. The use of helicoids almost does not increase the hydrodynamic resistance of air ducts. The use of sound-absorbing materials for lining ducts and manufacturing helicoids made it possible to obtain a synergistic effect of the joint suppression of aerodynamic noise, resulting in a significant reduction in aerodynamic noise in the medium and high frequencies.

**Keywords:** noise reduction, aerodynamic noise, ventilation, duct, helicoid, spiral insert, silencer.

**Введение**

Механические вентиляционные системы получили широкое распространение для обеспечения санитарно-гигиенических или технических потребностей во многих областях промышленности, бытовых условиях, местах пребывания большого числа людей. Широкое распространение этих систем объясняется необходимостью поддержания воздуха в помещении заданного состава. Однако механические вентиляционные системы имеют негативную сторону, они являются источником аэродинамического и структурного шума, который становится причиной ухудшения нормальных условий труда и отдыха. Основной причиной возникновения шума является работа центробежных и осевых вентиляторов, их электродвигателей, наличие турбулентных пульсаций воздуха и не всегда оптимальной конфигурации воздуховодов [1].

По воздуху, заключенному в воздуховодах, распространяется аэродинамический шум, а по стенкам воздуховодов и по строительным конструкциям, где расположены элементы вентиляционной системы – структурный шум. Доля аэродинамического шума существенно преобладает над структурным шумом. Поэтому подавление аэродинамической составляющей шума вентиляционных систем является актуальной задачей [2]. При этом в воздуховодах вентиляционных систем не должно быть увеличения гидродинамического сопротивления. Воздуховоды представляют собой эффективные каналы передачи звуковых потоков от вентиляционной установки [3] в помещения, которые могут находиться довольно далеко. Кроме того, вентиляционная система может передавать звуковой поток не только

исходящий от вентилятора, но и из одного помещения в другое по воздуховодам. При этом шум попадает в помещение через вентиляционные отверстия и через стенки воздуховодов.

#### **Снижение шума вентиляционных систем методами, представленными в нормативных документах**

Снижение аэродинамического шума вентиляционных систем является одной из актуальных задач. В нормативном документе [4] показаны возможные конструкции глушителей, обеспечивающих подавление аэродинамической составляющей шума.

Снижение уровня шума в воздуховоде определяется его длиной, сечением и коэффициентом звукопоглощения материала, которым облицована его внутренняя поверхность. При одном и том же материале, из которого сделан воздуховод, и различных его сечениях снижение шума будет тем меньше, чем больше сечение. Следовательно, воздуховод большего сечения имеет меньшее гидравлическое сопротивление и, соответственно, меньшее снижение шума.

В случаях, когда необходимо ослабить шум в воздуховодах, применяют акустические глушители. Выбор типа глушителя определяется в основном частотным составом шума и требуемым снижением его общего уровня. При этом глушители не должны оказывать значительного сопротивления потоку воздуха. Их следует делать по возможности малогабаритными, простыми и долговечными в эксплуатации.

Простейшим глушителем является канал, облицованный звукопоглощающим материалом и с отклоненным потоком, показанном на рис. 1, а). В глушителях этого типа звук распространяется вдоль поглощающего слоя. Конструктивно такие глушители выполняют в виде ряда параллельных прямоугольных (рис. 1, б) или круглых каналов (рис. 2, а). Большой эффективностью по снижению шума обладает коленчатый глушитель, изображенный на рис. 2, б). Однако изменение направления потока создает большие гидравлические сопротивления.

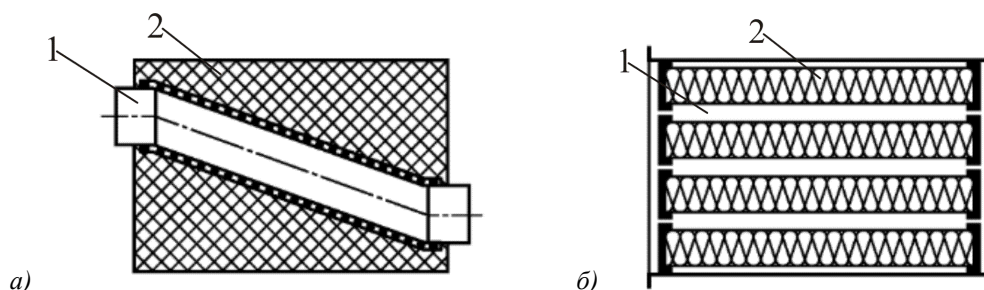


Рис. 1 – Глушитель: а) с отклонением потока; б) с параллельными пластинами без промежуточных слоев.  
1 – вентиляционный канал, 2 – звукопоглощающий материал

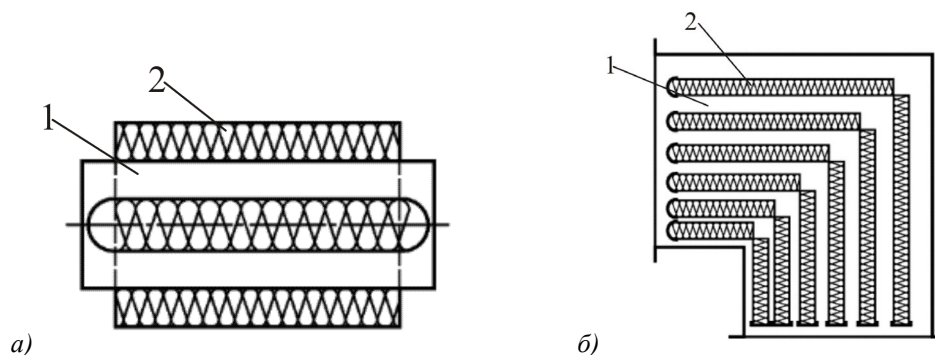


Рис. 2 – Глушитель: а) круглый глушитель с концентрическим кожухом; б) коленчатый глушитель.  
1 – вентиляционный канал, 2 – звукопоглощающий материал

Часто щели пластинчатого глушителя заменяют системой каналов очень малого сечения, суммарная рабочая площадь которых равна площади воздуховода большого канала. Стенки этих каналов также покрывают звукопоглощающими материалами.

Ослабление шума, создаваемое звукопоглощающей облицовкой, зависит от ее толщины, расстояния между пластинами, длины облицованной части и коэффициента поглощения облицовки. В работе [5] рассмотрена модель глушителя для повышения эффективности снижения уровня шума в широком диапазоне частот в линейном воздуховоде. Вопросы математического моделирования глушителей шума и подавления звука в воздуховодах с поглощающими стенками показаны в работах [6], [7], [8]. Приведен сравнительный анализ различных критериев эффективности глушителей шума, указаны их преимущества и недостатки.

Практическое использование глушителей с линейным перемещением потока показывает не достаточную эффективность их работы. Глушители с высокой степенью шумоподавления, как правило, имеют большое гидравлическое сопротивление, а воздуховоды с маленьким гидравлическим сопротивлением обладают низкими звукозащитными свойствами.

#### **Винтовые вставки в воздуховодах вентиляции**

Одним из направлений в области снижения шума в вентиляционных системах является применение акустических глушителей, создающих винтовые пути для перемещения газовой среды и акустической энергии, сопровождающей газовой поток. При этом решается задача повышения эффективности снижения шума и сохранения неизменным гидравлического сопротивления в вентиляционных каналах.

Ранее, применительно к выхлопной системе автомобиля, было предложено поглощать акустическую энергию, сопровождающую поток текучей среды, такой как воздух, путем пропускания её по воздуховоду, в котором расположен винтовой элемент [9]. Благодаря винтовому элементу газовая среда следует по винтовой траектории через воздуховод (рис. 3). Такие устройства были предложены для использования в автомобильных глушителях, в которых низкие акустические частоты ниже 60 Гц ослабляются до нормативных значений.

Звуковые потоки с большой длиной волны в таких глушителях с винтовым элементом не могут перемещаться, беспрепятственно двигаясь по окружной винтовой дорожке. Звуковые потоки средних и высоких частот, с другой стороны, незначительно ослабляются этим устройством, так как, в отличие от низкочастотной акустической энергии, их более короткая длина волны позволяет перемещаться отражениями по винтовой траектории. Таким образом, звуковые потоки со средними и высокими акустическими частотами проходят через открытый конец канала и выходят из него практически не поглощенными.

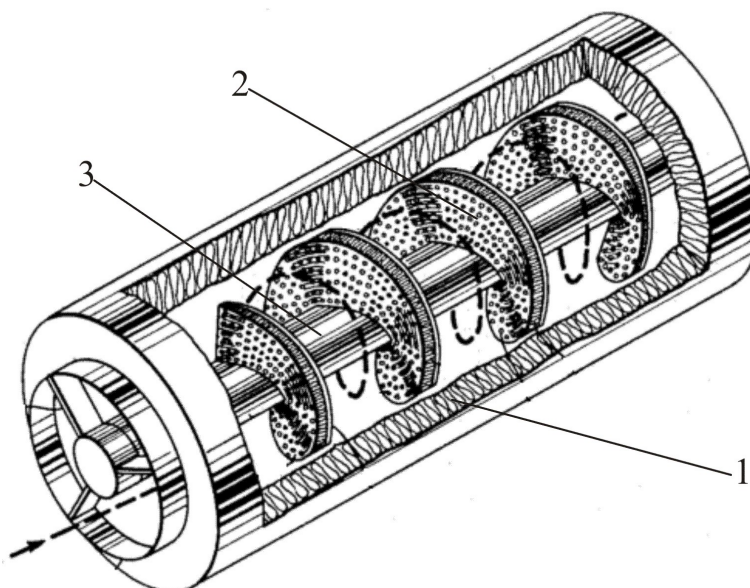


Рис. 3 – Акустически поглощающий воздуховод. Аксонетрическая проекция с местным разрезом. 1 – звукопоглощающий материал, 2 – лопасти перфорированные, 3 – ось крепления лопастей.

Снижение шума в системе вентиляции может осуществляться применением спиральных вставок или вставок в виде геликоида. Глушитель, использующий спиральные вставки показан на рис. 4. Спиральный глушитель используется для воздухопроводов, каналов вентиляции, кондиционирования воздуха или подобных им устройств и содержит трубчатый корпус 1, покрытый звукопоглощающим материалом. Внутри трубчатого корпуса 1 располагается спиральный канальный элемент 2, который расположен внутри и продольно в указанном трубчатом корпусе 1. Спиральный канальный элемент 2 укреплен на оси 3 [10]. Все элементы устанавливаются в воздуховоде 4.

Спиральная вставка заставляет воздух в канале следовать по удлиненной винтовой траектории, которая приводит его к взаимодействию со звукопоглощающим покрытием. Такое движение обеспечивает снижение аэродинамического шума в воздуховоде и не создает дополнительного гидравлического сопротивления.

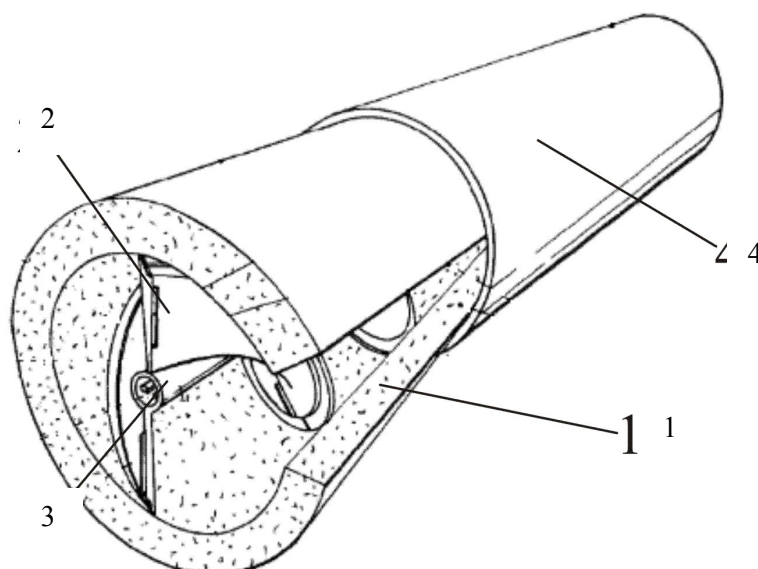


Рис. 4 – Спиральный глушитель шума. 1 – трубчатый корпус из звукопоглощающего материала, 2 – спиральный канальный элемент, 3 – ось крепления спиральной направляющей, 4 – воздуховод.



В Воронежском государственном техническом университете разработали более простую конструкцию звукоподавляющего вентиляционного канала (рис. 5) [11], в котором установлена звукопоглощающая панель в виде геликоида (рис. 6), установленного плотно без зазоров в воздуховоде, облицованном по внутренней поверхности звукопоглощающим материалом.

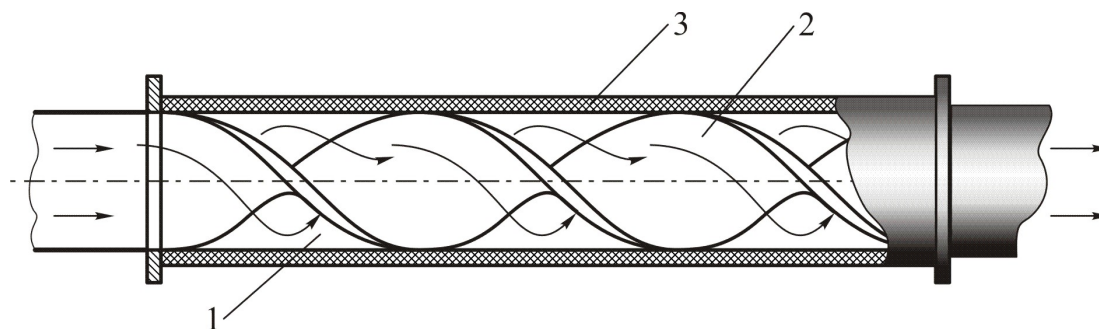


Рис. 5 – Звукоподавляющий вентиляционный канал. 1 – воздуховод, облицованный по внутренней поверхности звукопоглощающим материалом; 2 – геликоид – спиральный элемент; 3 – звукопоглощающий материал.

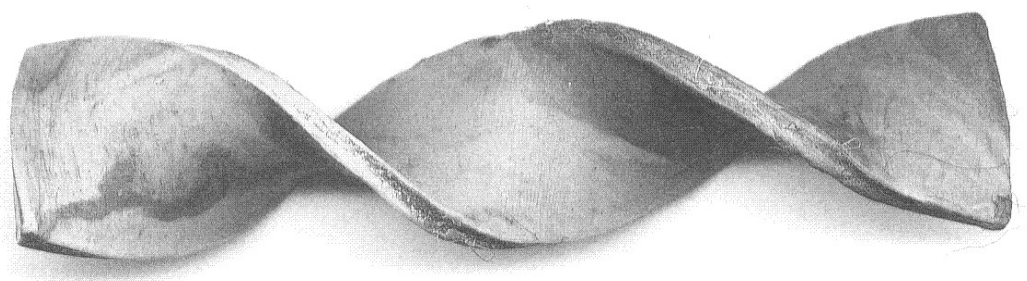


Рис. 6 – Геликоид – спиральный элемент.

Принцип функционирования и снижение уровня аэродинамического шума заключается в следующем. Поток воздуха и сопровождающий его звуковой поток перемещаются в направлении, показанном на рис. 5, встречает на пути своего движения геликоид 2. При этом воздушный поток плавно переходит во вращательное движение, а звуковой поток, попадая на геликоид 2, частично поглощается им и частично отражается, попадая на звукопоглощающий материал 3. Звукопоглощающим материалом 3 звуковой поток так же частично поглощается и частично отражается. Звуковой поток подвергается многократному отражению и поглощению благодаря тому, что геликоид 2 имеет винтовую структуру. Звуковой поток, многократно отразившись, и многократно поглотившись звукопоглощающим материалом, теряет акустическую энергию. Звукопоглощающий материал и его свойства показаны в работе [12]. Однако этот поток воздуха не претерпевает существенных потерь напора из-за гладкой поверхности геликоида, из-за ограниченного поперечного сечения геликоида и из-за ограниченной толщины звукопоглощающего материала. Шум, который, сопровождает воздушный поток, уменьшается благодаря синергетическому действию упомянутого геликоида и упомянутой внешней обволакивающей оболочки. Предлагаемая методика снижения аэродинамического шума может быть с успехом применена, например, для пневмоконвейеров на воздушной подушке [13], [14], которые снабжены каналами для перемещения воздушных потоков.

#### Экспериментальные исследования

Экспериментальные исследования уровня звукового давления шума, распространяющегося по воздуховодам вентиляционных сетей, были проведены для различных вариантов конструктивного исполнения линейного воздуховода. Вариант 1 – линейный воздуховод без использования звукопоглощающих материалов. Вариант 2 – линейный воздуховод, облицованный звукопоглощающим материалом. Вариант 3 – линейный воздуховод, облицованный звукопоглощающим материалом с геликоидом из звукопоглощающего материала.

На рис. 7 представлена экспериментальная установка для определения уровня звукового давления от высококачественного динамика 1, связанного с источником 2 «белого шума», прошедшего через вентиляционный канал 3. В качестве линейного воздуховода 3 был взят воздуховод из пропилена длиной 1 метр и диаметром 200 мм. Толщина стенки воздуховода 3 составляет 3 мм. Величина звукового давления «белого шума», вышедшего из воздуховода 3 измерялась микрофоном 4 прецизионного шумомера 5 – анализатора спектра «ОКТАВА – 110А». Воздуховод 3 был установлен в отверстие стены 5, разделяющей два помещения. В одном помещении находился источник 2 «белого шума», а в другом – шумомер 6 «ОКТАВА – 110А». Характерные размеры экспериментальной установки показаны на рис. 7.

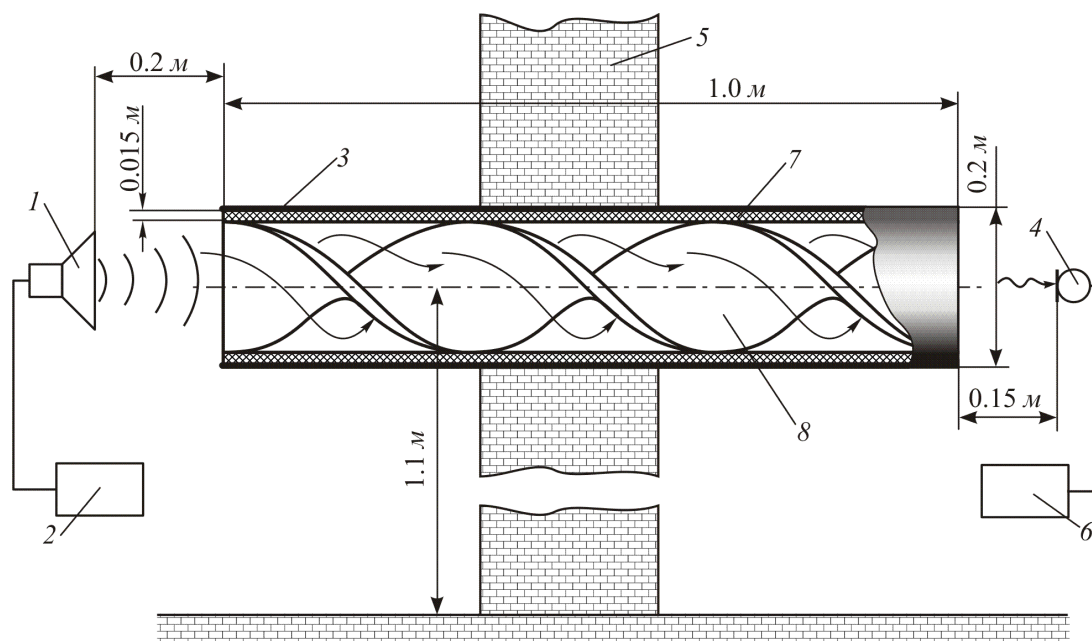


Рис. 7 – Экспериментальная установка линейного воздуховода с геликоидом.

Для варианта 2 конструктивного исполнения воздуховода его внутренняя поверхность была обклеена звукопоглощающим материалом 7 «Шуманет-БМ» толщиной 15 мм. Для варианта 3 конструктивного исполнения воздуховода 3 был добавлен геликоид 8, имеющий полтора спирального витка. Геликоид 8 был изготовлен из металлической сетки и обклеен с обеих сторон этой сетки звукопоглощающим материалом 6 «Шуманет-БМ». Толщина геликоида 8 составила 20 мм.

Процедура измерения проводилась следующим образом. Для каждого варианта конструктивного исполнения подавался «белый шум» в воздуховод. Интенсивность «белого шума» всегда была постоянной. Звуковой поток, выходящий из воздуховода 3, измерялся микрофоном 4 шумомера 6 «ОКТАВА – 110А». Результаты измерений представлены в таблице и на рис. 8.

Таблица 1 – Экспериментальные значения уровня звукового давления от «белого шума» для различных конструктивных схем воздуховода, дБ

Варианты конструктивного исполнения	Частота, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Вариант 1	69,4	70,8	70,1	69,2	66,7	67,4	64,7	60,1
Вариант 2	68,2	65,3	57,5	50,4	48,8	53,1	58,6	61,7
Вариант 3	68,3	64,2	53,1	46,8	36,2	31,3	24,2	18,4

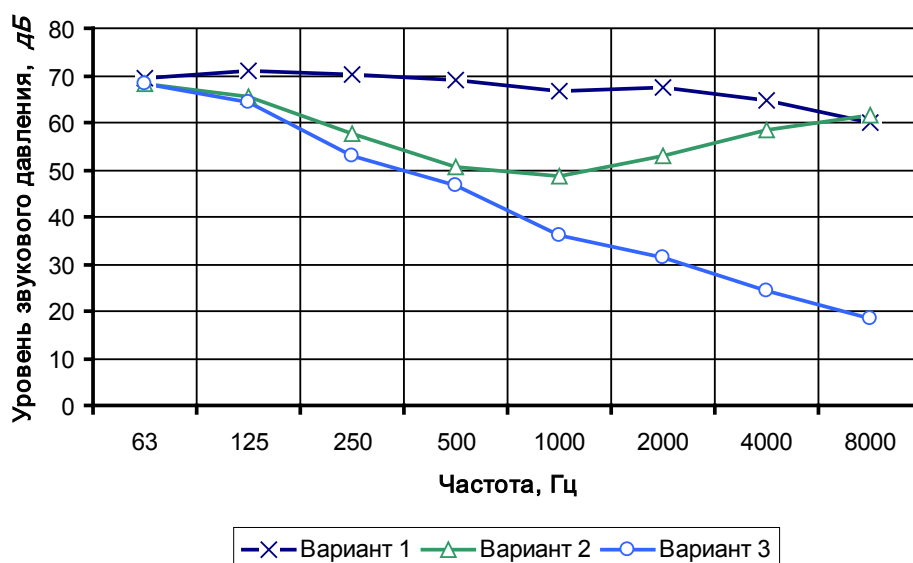


Рис. 8 – График уровня звукового давления в воздуховоде при различных его конструктивных исполнениях.



На рис. 8 показаны графики уровня звукового давления для различных конструктивных исполнений воздуховода. Из графиков видно, что наибольший эффект снижения уровня звукового давления достигается при совместном использовании звукопоглощающего материала на внутренней поверхности воздуховода с геликоидом, покрытым звукопоглощающим материалом. В этом случае величина снижения звукового давления в области высоких частот составила около 40 дБ по сравнению с другими вариантами конструктивного исполнения. В области средних частот величина снижения уровня звукового давления составила около 30 дБ в сравнении с вариантом 1 конструктивного исполнения и около 10 дБ при сравнении с вариантом 2 конструктивного исполнения.

### Заключение

Анализ звукоподавляющих возможностей вентиляционных систем показал, что применение звукопоглощающих материалов для облицовки внутренней поверхности воздухопроводов снижает уровень аэродинамического шума. Кроме того, использование различных глушителей так же способствует снижению шума вентиляционных систем. Наиболее эффективным конструктивным решением стало использование спиральных элементов, создающих винтовое движение потока в воздуховодах, облицованных по внутренней поверхности звукопоглощающим материалом и спиральным элементом в форме геликоида, выполненным так же из звукопоглощающего материала. При этом винтовое движение потока создает незначительное гидравлическое сопротивление. Благодаря такому техническому решению проявился синергетический эффект от совместного действия звукопоглощающего материала и винтового движения воздуха и звукового потока, что позволило значительно уменьшить аэродинамический шум вентиляционных систем в области средних и высоких частот.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Conflict of Interest

None declared.

### Список литературы / References

1. Алексеев С.П. Борьба с шумом и вибрацией в машиностроении. / С.П. Алексеев, А.М. Казаков, Н.Н. Колотило. – М.: Машиностроение, 1970. – 280 с.
2. Мурзинов В.Л. Аэродинамический шум производственных транспортных систем на воздушной подушке / Мурзинов В.Л., Мурзинов П.В. // Безопасность труда в промышленности. – 2015, №10. – С.30–35.
3. Тимушев С.Ф. Моделирование источника и акустического поля тонального шума лопаточных машин / Тимушев С.Ф., Гаврилюк В.Н., Аксенов А.А., Клименко Д.В. // NOISE Theory and Practice. – 2017. – Т. 3, № 3. – С. 19 – 30.
4. ГОСТ 28100-2007. Акустика. Измерения лабораторные для заглушающих устройств, устанавливаемых в воздухопроводах, и воздухораспределительного оборудования. – М: Стандартинформ, 2008. – 45 с.
5. Кобзарь Д.Д. Особенности акустического расчёта систем вентиляции / Кобзарь Д.Д., Вельбель А.М., Олейников А.Ю. // NOISE Theory and Practice. – 2017. – Т. 4, № 1. – С. 41 – 45.
6. Осипов А. А. Математическое моделирование распространения звука в проточном канале с импедансными стенками / А.А. Осипов, К.С. Реент // Акустический журнал. – 2012, том 58, № 4. – С. 509-524.
7. Светлов В.В. Расчет эффективности технологического шумозащитного экрана для снижения шума от воздухозаборных решеток компрессорных установок // NOISE Theory and Practice. – 2017. – Т. 3, № 4. – С. 60 – 68.
8. Чернов Н.С. Устройство для снижения вибрации и шума в трубопроводных системах энергетических установок. Разработка и исследование / Чернов Н.С., Мурановский В.П. // NOISE Theory and Practice. – 2015. – Т. 1, № 1. – С. 17 – 21.
9. Патент US 3132717. Acoustically absorbent conduit / J.J. Baruch – Оpubл. 12.05.1964.
10. Патент EP 2426427 A2, МПК F24F 13/02. Helical silencer of the modular and assemblable type, in particular for ducts or channels for ventilation, air-conditioning or the like / Santi, Emiliano. – Оpubл. 07.03.2012, Bulletin 2012/10.
11. Патент 170696 РФ, МПК G10K 11/00. Звукоподавляющий вентиляционный канал / Мурзинов В.Л., Мурзинов П.В., Мурзинов Ю.В. – Оpubл. 03.05.2017, Бюл. № 13.
12. Murzinov V.L. Sound absorption of sound suppressing lightweight structured panels / Murzinov V.L., Murzinov P.V., S.V. Popov, Y.V. Tatarinova // Akustika. 2019. T. 34. P. 40-43.
13. Murzinov V.L. Air Cushion as Source of Aerodynamic Noise in Pneumatic Conveyors / Murzinov V.L., Murzinov P.V., V.A. Popov, V.I. Buyanov // Akustika. 2019. T. 34. P. 44-47.
14. Мурзинов В.Л. Снижение шума в устройствах транспортирования на воздушной подушке. – Воронеж: Росинформресур, 2008. – 196 с.

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

1. Alekseyev S. P. Fighting noise and vibration in mechanical engineering. / S. P. Alekseev, A. M. Kazakov, N. N. Kolotilov. Moscow: Mashinostroenie, 1970. - 280 p. [in Russian]
2. Murzinov V. L. Aerodynamic noise of industrial transport systems on an air cushion / Murzinov V. L., Murzinov P. V. // labor Safety in industry. - 2015, no. 10. - P. 30-35. [in Russian]
3. Timushev S. F. Modeling of the source and acoustic field of tonal noise of shovel machines / Timushev S. F., Gavriluk V. N. Aksenov A. A., Klimenko D. V. // NOISE Theory and Practice. - 2017. - Vol. 3, no. 3. - Pp. 19-30. [in Russian]
4. GOST 28100-2007. Acoustics. Laboratory measurements for silencing devices installed in air ducts and air distribution equipment. - Moscow: Standardinform, 2008. - 45 p. [in Russian]
5. Kobzar's D.D. Features of acoustic calculation of ventilation systems / Kobzar D. D., Velbel a.m., Oleinik A. Yu. // NOISE Theory and Practice. - 2017. - Vol. 4, no. 1. - P. 41 – 45. [in Russian]
6. Osipov A. A. Mathematical modeling of sound propagation in a flow channel with impedance walls / A. A. Osipov, K. S. Reent // Acoustic journal. - 2012, volume 58, no. 4. - Pp. 509-524. [in Russian]
7. Svetlov V. V. Calculation of the efficiency of technological noise protection screen for reducing noise from air intake grilles of compressor installations // NOISE Theory and Practice. - 2017. - Vol. 3, no. 4. – P. 60 – 68. [in Russian]

8. Chernov N. S. Device for removing vibration and noise in pipeline systems of power plants. Development and research / Chernov n. S., Muranovsky V. P. // NOISE Theory and Practice. - 2015. - Vol. 1, no. 1. - Pp. 17-21. [in Russian]
9. US patent 3132717. Acoustically absorbent conduit / J. J. Baruch-Publ. 12.05.1964. [in Russian]
10. Patent EP 2426427 A2, IPC F24F 13/02. Helical ssilenceof the modular and Assembly type, in particular for dadultsor channels for ventilation, air-conditioning or the like / Santi, Emiliano. - Publ. 07.03.2012, Bulletin 2012/10. [in Russian]
11. Patent 170696 of the Russian Federation, IPC G10K 11/00. Sound-suppressing ventilation channel / Murzinov V. L., Murzinov P. V., Murzinov Yu. V. - Publ. 03.05.2017, Byul. N 13. [in Russian]
12. Murzinov V.L. Sound absorption of sound suppressing lightweight structured panels / Murzinov V.L., Murzinov P.V., S.V. Popov, Y.V. Tatarinova // Akustika. 2019. Vol. 34. P. 40-43.
13. Murzinov V.L. Air Cushion as Source of Aerodynamic Noise in Pneumatic Conveyors / Murzinov V.L., Murzinov P.V., V.A. Popov, V.I. Buyanov // Akustika. 2019. Vol. 34. P. 44-47.
14. Murzinov V. L. Noise Reduction in air-cushion transportation devices. - Voronezh: Rosinformresurs, 2008. - 196 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.97.7.013>**ПРИМЕНЕНИЕ EXCEL В КРИПТОГРАФИИ**

Научная статья

**Сдвижков О. А.<sup>1,\*</sup>, Мацнев Н.П.<sup>2</sup>**<sup>1</sup> Российский государственный университет туризма и сервиса, Черкизово, Россия;<sup>2</sup> Технологический университет, Королев, Россия

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

**Аннотация**

Создана библиотека пользовательских функций VBA Excel для автоматизации решений классических задач криптографии. В нее вошли пользовательские функции Excel для шифрования и дешифрования сообщений такими шифрами как Цезаря, лозунговым, Полибия, Тритемия, Белазо, Виженера, RSA, а также для кодирования и декодирования сообщений с помощью классических алгоритмов дискретной математики Хэмминга и Хаффмана. Приведены программные коды некоторых пользовательских функций. Применение пользовательских функций показано на задачах.

**Ключевые слова:** шифр, ключ, открытый ключ, алфавитное кодирование, самокорректирующийся код, префиксный код

**APPLYING EXCEL IN CRYPTOGRAPHY**

Research article

**Sdvizhkov O.A.<sup>1,\*</sup>, Matsnev N.P.<sup>2</sup>**<sup>1</sup> Russian State University of Tourism and Service, Cherkizovo, Russia;<sup>2</sup> Technological University, Korolev, Russia

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

**Abstract**

The VBA Excel library with user functions was made to automate the solutions to classic cryptography problems. It includes Excel user functions for messages encryption and decryption with such codes as Caesar, Slogan, Polybius, Tritemia, Belazo, Vigenere, RSA, also it contains functions for encoding and decoding messages with the classical discrete mathematics algorithms of Hamming and Huffman. The program codes for some user functions are provided. The application of custom functions is shown on tasks.

**Keywords:** code, key, public key, alphabetical coding, self-correcting code, prefix code

**Введение**

Одним из мощных средств автоматизации обработки данных в Excel является [3] применение пользовательских функций (user-defined functions), поддерживаемых на уровне встроенных средств, то есть имеющих диалоговые окна ввода данных и получения результатов.

Статья посвящена разработанным пользовательским функциям Excel, автоматически решающим задачи криптографии. Программные коды пользовательских функций приведены на сайте [8].

**Пользовательские функции шифрования и дешифрования**

Созданные пользовательские функции [8] и их назначения:

БЕЛАЗО – шифрует сообщение шифром Белазо;

БЕЛАЗООБР – дешифрует шифрограмму Белазо;

ВИЖЕНЕР – шифрует сообщение шифром Виженера;

ВИЖЕНЕРОБР – дешифрует шифрограмму Виженера;

ЛОЗУНГ – шифрует сообщение лозунговым шифром;

ЛОЗУНГОВБР – дешифрует лозунговый шифр;

ПОЛИБИЙ – шифрует сообщение шифром Полибия;

ПОЛИБИЙОВБР – дешифрует шифрограмму Полибия;

РСА – шифрует сообщение шифром RSA;

РСАОВБР – дешифрует шифрограмму RSA;

ТРИТЕМИЙ – шифрует сообщение шифром Тритемия;

ТРИТЕМИЙОВБР – дешифрует шифрограмму Тритемия;

ЦЕЗАРЬ – применяется шифр Цезаря.

В частности, код пользовательской функции ЦЕЗАРЬ и ее описания:

Function ЦЕЗАРЬ(Слово As String, Ключ As Integer) As String

Dim n As Integer, t As String, h As Integer

Dim p(0 To 31) As String

p(0) = "А": p(1) = "Б": p(2) = "В": p(3) = "Г": p(4) = "Д"

p(5) = "Е": p(6) = "Ж": p(7) = "З": p(8) = "И": p(9) = "Й"

p(10) = "К": p(11) = "Л": p(12) = "М": p(13) = "Н"

p(14) = "О": p(15) = "П": p(16) = "Р": p(17) = "С"

p(18) = "Т": p(19) = "У": p(20) = "Ф": p(21) = "Х"

p(22) = "Ц": p(23) = "Ч": p(24) = "Ш": p(25) = "Щ"

p(26) = "Ъ": p(27) = "Ы": p(28) = "Ь": p(29) = "Э"

p(30) = "Ю": p(31) = "Я": n = Len(Слово)

```

Dim q(0 To 31) As String
For i = 0 To 31
h = i + Ключ
If h >= 0 Then
h = h Mod 32
q(i) = p(h)
Else
q(i) = p(h + 32)
End If
Next
t = ""
For i = 1 To n
For j = 0 To 31
If p(j) = Mid(Слово, i, 1) Then
t = t & q(j)
Exit For
End If
Next
Next
ЦЕЗАРЬ = t
End Function
Sub InstallFunc()
Application.MacroOptions Macro:="ЦЕЗАРЬ", Description:= _
"Шифрование (дешифрование) шифром Цезаря"
End Sub

```

**Задача 1**

Зашифровать слово ИНФОРМАЦИЯ шифром Цезаря при значении ключа равном 5.

**Технология решения**

Вызывается функция ЦЕЗАРЬ и вводятся данные (рис. 1).

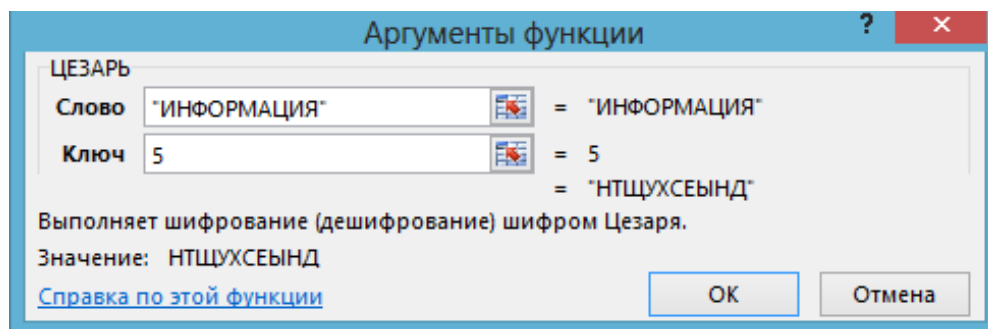


Рис. 1 – Шифрование функцией ЦЕЗАРЬ

Пусть надо дешифровать НТЩУХСЕЫНД. Тогда снова применяется (рис. 2) функция ЦЕЗАРЬ, но при значении ключа равном -5:

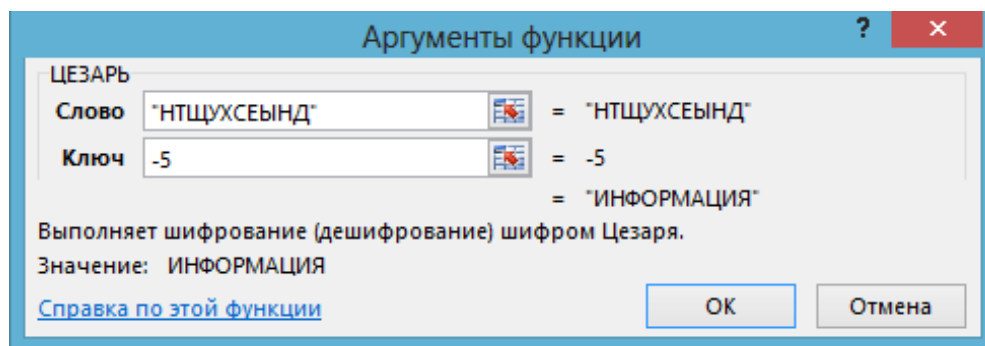


Рис. 2 – Дешифрование функцией ЦЕЗАРЬ

**Задача 2**

Зашифровать лозунговым шифром слово ИНФОРМАЦИЯ, если лозунг (ключ) БИТ.

**Технология решения**

Вызывается функция ЛОЗУНГ и вводятся данные (рис. 3).

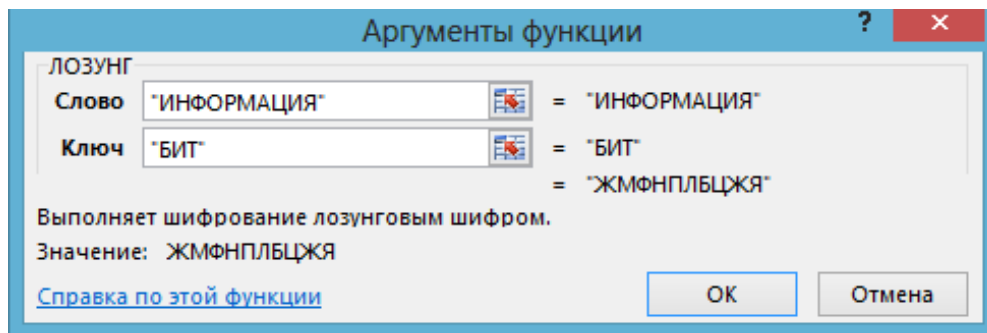


Рис. 3 – Шифрование функцией ЛОЗУНГ

**Задача 3**

Дешифровать, полученную лозунговым шифром шифрограмму ЖМФНПЛБЦЖЯ, если лозунг БИТ.

**Технология решения**

Вызывается функция ЛОЗУНГОВР и вводятся данные (рис. 4).

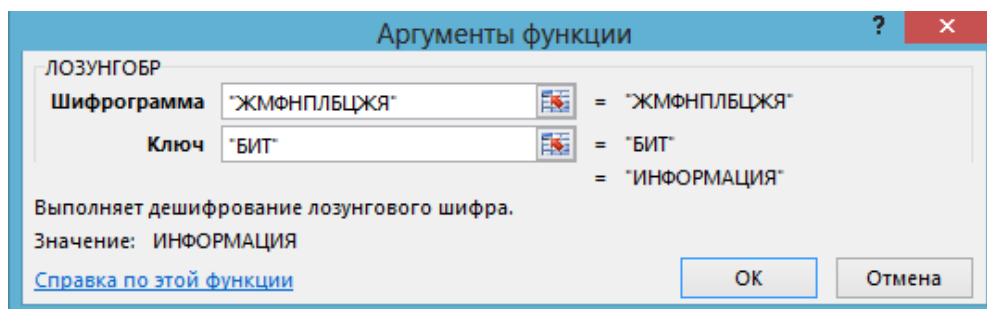


Рис. 4 – Дешифрование функцией ЛОЗУНГОВР

Метод RSA выполняет шифрование с открытым ключом [1]. Для выбранной пары простых чисел  $P$  и  $Q$ ,  $W = P \cdot Q$ , шифрование выполняется по формуле:

$$C = M^R \bmod W,$$

$M$  – порядковый номер шифруемой буквы в алфавите,  $C$  – порядковый номер буквы, на которую она заменяется,  $1 < R < L$ ,  $\text{НОД}(R, L) = 1$ ,  $L = (P-1)(Q-1)$ . Дешифрование выполняется по формуле:

$$M = C^S \bmod W,$$

в которой  $S$  удовлетворяет уравнению  $R \cdot S \bmod L = 1$ .

Метод RSA реализует пользовательская функция PCA, код которой имеет вид:

```
Function PCA(Модуль As Integer, Степень As Integer, _
Слово As String) As String
Dim n As Integer, m As Integer, h() As Variant, _
v As Integer, t As String
m = Len(Слово)
ReDim h(1 To m)
Dim p(1 To 32) As String
p(1) = "А": p(2) = "Б": p(3) = "В": p(4) = "Г": p(5) = "Д"
p(6) = "Е": p(7) = "Ж": p(8) = "З": p(9) = "И": p(10) = "Й"
p(11) = "К": p(12) = "Л": p(13) = "М": p(14) = "Н"
p(15) = "О": p(16) = "П": p(17) = "Р": p(18) = "С"
p(19) = "Т": p(20) = "У": p(21) = "Ф": p(22) = "Х"
p(23) = "Ц": p(24) = "Ч": p(25) = "Ш": p(26) = "Щ"
p(27) = "Ъ": p(28) = "Ы": p(29) = "Ь": p(30) = "Э"
p(31) = "Ю": p(32) = "Я"
For i = 1 To m
v = 1
For j = 1 To 32
If Mid(Слово, i, 1) = p(j) Then
For k = 1 To Степень
v = v * j Mod Модуль
Next
h(i) = v
Exit For
End If
Next
Next
t = ""
For i = 1 To m
```

```

If h(i) < 10 Then
    t = t & " 0" & Str(h(i))
Else
    t = t & Str(h(i))
End If
Next
PCA = t
End FunctionSub InstallFunc11()
Application.MacroOptions Macro:="PCA", Description:= _
"Возвращает RSA шифрограмму заданного слова"
End Sub

```

В программном коде PCA значения  $M^R \bmod W$  вычисляются с помощью цикла:

```

v = 1
For k = 1 To R
    v = v * M Mod W
Next

```

Такой подход, не требующий вычисления  $M^R$ , позволяет шифровать символы всего алфавита при достаточно больших значениях R.

#### Задача 4

Применяя пользовательскую функцию PCA, зашифруйте при P=5, Q=17, R=57 слово ЯЧЕЙКА.

#### Технология решения

Вызывается функция PCA и вводятся данные (рис. 5).

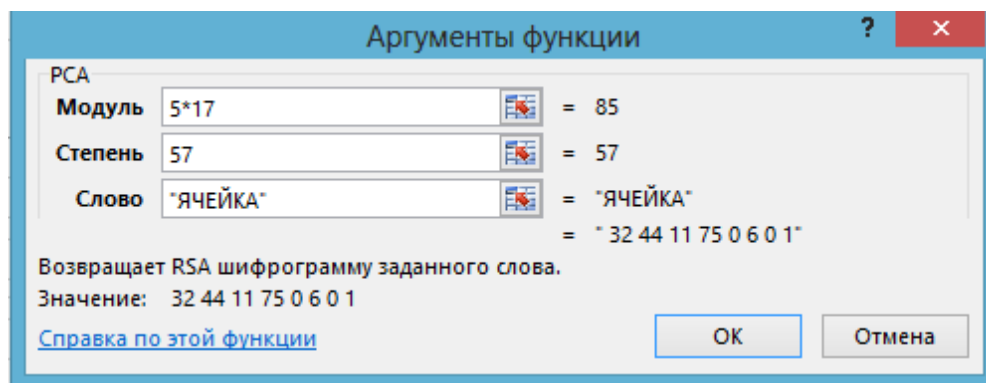


Рис. 5 – Шифрование функцией PCA

Следует заметить, что получить результат с помощью встроенной функции ОСТАТ нельзя, в частности, формула =ОСТАТ(32^57; 85) не поддерживается.

Значение S возвращает пользовательская функция СТОБР [8].

#### Задача 5

Применяя функцию пользователя СТОБР, найти по данным задачи 4 значение S.

#### Скриншот решения:

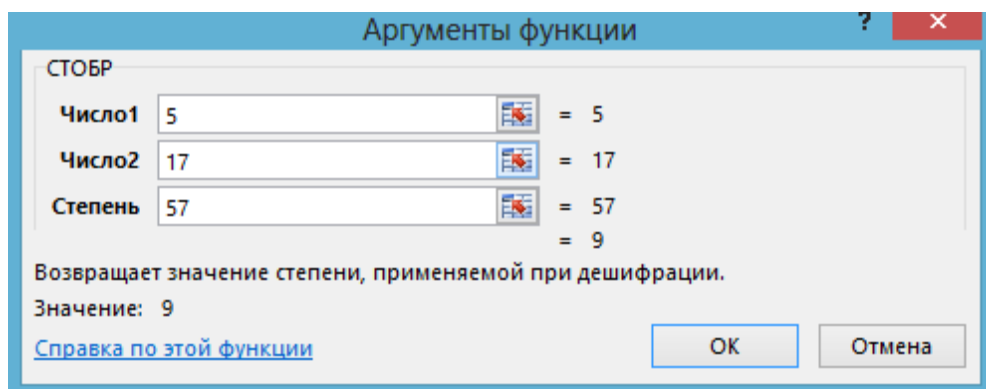


Рис. 6 – Применение функции СТОБР

Дешифрование в методе RSA выполняет пользовательская функция PCAОБР:

```

Function PCAОБР(Модуль As Integer, Степень As Integer, _
Слово As String) As String
Dim n As Integer, m As Integer, h() As Variant, _
v As Integer, t As String
m = Len(Слово)
ReDim h(1 To m / 2)

```

```

Dim p(1 To 32) As String
p(1) = "А": p(2) = "Б": p(3) = "В": p(4) = "Г": p(5) = "Д"
p(6) = "Е": p(7) = "Ж": p(8) = "З": p(9) = "И": p(10) = "Й"
p(11) = "К": p(12) = "Л": p(13) = "М": p(14) = "Н"
p(15) = "О": p(16) = "П": p(17) = "Р": p(18) = "С"
p(19) = "Т": p(20) = "У": p(21) = "Ф": p(22) = "Х"
p(23) = "Ц": p(24) = "Ч": p(25) = "Ш": p(26) = "Щ"
p(27) = "Ъ": p(28) = "Ы": p(29) = "Ь": p(30) = "Э"
p(31) = "Ю": p(32) = "Я": t = ""
For i = 1 To m / 2
    If Mid(Слово, 2 * i - 1, 1) = "0" Then
        h(i) = Val(Mid(Слово, 2 * i, 1))
    Else
        h(i) = Val(Mid(Слово, 2 * i - 1, 2))
    End If
v = 1
For k = 1 To Степень
    v = v * h(i) Mod Модуль
Next
t = t & p(Str(v))
Next
PCAOБР = t
End Function
Sub InstallFunc13()
Application.MacroOptions Macro:="PCAOБР", _
Description:="Дешифрует шифрограмму RSA"
End Sub

```

В программном коде PCAOБР вычисления  $C^S \bmod W$  также проводятся с помощью цикла.

#### Задача 6

Применяя функцию пользователя PCAOБР, дешифруйте ключом (9, 5·17) шифрограмму 324411750601.

#### Скриншот решения:

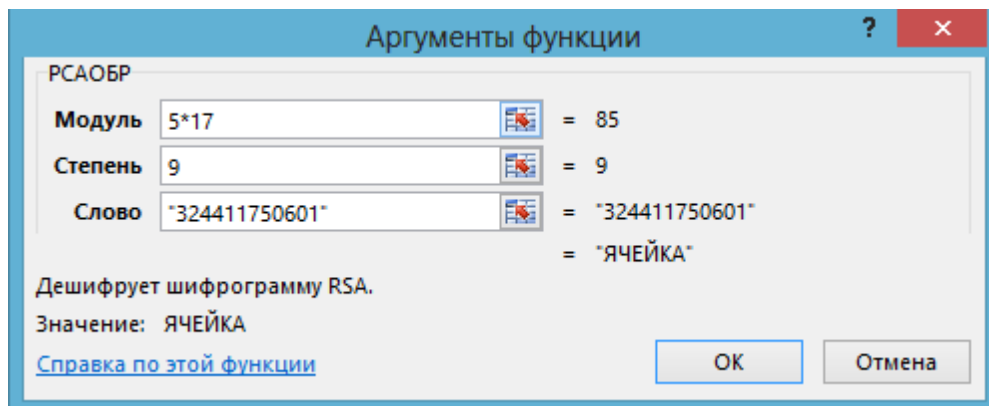


Рис. 7 – Применение функции PCAOБР

#### Самокорректирующийся код Хэмминга

Метод Хэмминга, кодирования двоичного сообщения  $\alpha_1\alpha_2 \dots \alpha_m$  самокорректирующимся кодом  $\beta_1\beta_2 \dots \beta_n$ , изложен в [2, С. 245]. Код пользовательской функции, реализующей этот метод:

```

Function ХЭММИНГ(Сообщение As String) As Variant
Dim m As Integer, n As Integer, k As Integer, a() As Integer, _
b() As Variant, c As String
m = Len(Сообщение)
For i = 1 To 3 * m
    If 2 ^ m <= 2 ^ i / (i + 1) Then
        n = i
        Exit For
    End If
Next
k = n - m
ReDim a(1 To m) As Integer
For i = 1 To m
    a(i) = Mid(Сообщение, i, 1)
Next
ReDim b(1 To n)

```

```

r = 0
For i = 1 To n
If i = 2 ^ r Then
r = r + 1
Else
b(i) = a(i - r)
End If
Next
r = 0
For i = 1 To n
If i = 2 ^ r Then
h = 0
For j = 2 ^ r + 1 To n
q = Application.WorksheetFunction.Dec2Bin(j)
If Mid(q, Len(q) - r, 1) = "1" Then
h = (h + b(j)) Mod 2
End If
Next
b(i) = h
r = r + 1
End If
Next
c = ""
For i = 1 To n
c = c & Str(b(i))
Next
ХЭММИНГ = c
End Function
Sub InstallFunc()
Application.MacroOptions Macro:="ХЭММИНГ", Description:= _
"Кодирует сообщение методом Хэмминга"
End Sub

```

**Задача 7**

Применяя пользовательскую функцию ХЭММИНГ, найти код Хэмминга сообщения 111001111.

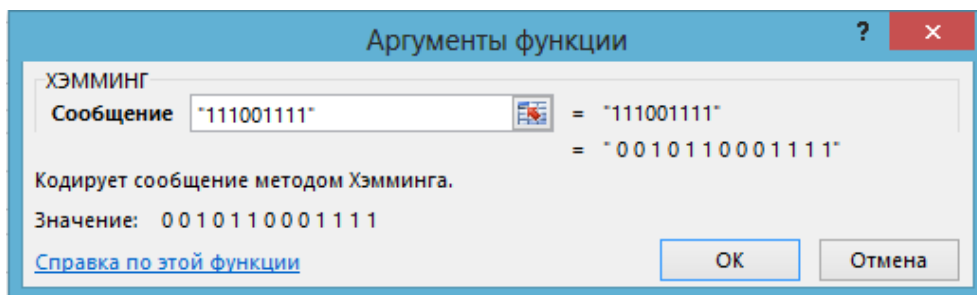
**Скриншот решения:**

Рис. 8 – Применение функции ХЭММИНГ к 111001111

Проверка значения  $\beta_4$ :

$$\beta_4 = \beta_5 \oplus \beta_6 \oplus \beta_7 \oplus \beta_{12} \oplus \beta_{13} = 1 \oplus 1 \oplus 0 \oplus 1 \oplus 1 = 0$$

Декодирование кода Хэмминга, обнаруживающего не более одной ошибки, которое рассматривается в [2, С. 246], выполняет пользовательская функция ДЕХЭМ (код для краткости не приводится, см. [8]).

**Задача 8**

Применяя пользовательскую функцию ДЕХЭМ, декодируйте код Хэмминга задачи 7, если он получен с ошибкой и имеет вид 0010100001111.

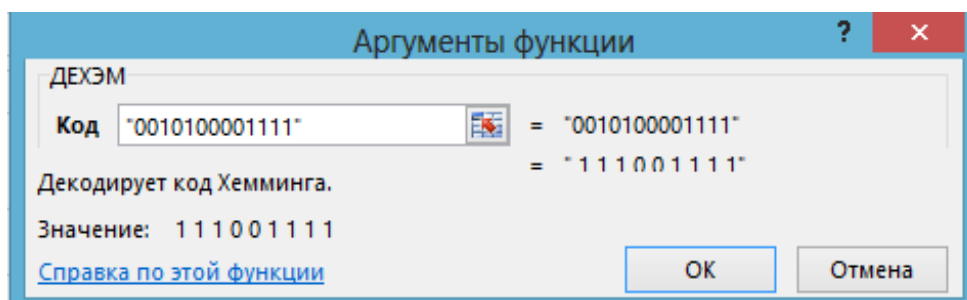
**Скриншот решения:**



Рис. 9 – Декодирование с исправлением ошибки

**Алгоритм Хаффмана**

Алгоритм Хаффмана, построения оптимального префиксного кода алфавита, символы которого принимаются с заданными вероятностями, изложен в [2, С. 236]. Он реализуется пользовательской функцией ХАФФМАН:

```
Function ХАФФМАН(Вероятности() As Variant) As Variant
```

```
Dim m As Integer, p() As Single, q() As String, _
```

```
h() As Integer, c() As Variant
```

```
m = UBound(Вероятности)
```

```
ReDim p(1 To m, 1 To m - 1)
```

```
ReDim q(1 To m, 1 To m - 1)
```

```
ReDim h(1 To m - 1)
```

```
ReDim c(1 To m)
```

```
For i = 1 To m
```

```
    p(i, 1) = Вероятности(i)
```

```
Next
```

```
For j = 2 To m - 1
```

```
    d = 0
```

```
    For i = 1 To m - j + 1
```

```
        If i < m - j + 1 Then
```

```
            p(i, j) = p(i, j - 1)
```

```
        Else
```

```
            p(i, j) = p(m - j + 1, j - 1) + p(m - j + 2, _
```

```
            j - 1)
```

```
        End If
```

```
    Next
```

```
    For i = 1 To m - j
```

```
        If p(i, j) < p(m - j + 1, j) Then
```

```
            p(i, j) = p(m - j + 1, j)
```

```
            h(j) = i
```

```
            d = 1
```

```
        For k = i + 1 To m - j + 1
```

```
            p(k, j) = p(k - 1, j - 1)
```

```
        Next
```

```
    End If
```

```
    If d = 0 Then h(j) = m - j + 1
```

```
Next
```

```
Next
```

```
'Обратный ход:
```

```
q(1, m - 1) = "0"
```

```
q(2, m - 1) = "1"
```

```
For j = 1 To m - 2
```

```
    For i = 1 To j
```

```
        If p(i, m - j - 1) = p(i, m - j) And _
```

```
        i < h(m - j) Then
```

```
            q(i, m - j - 1) = q(i, m - j)
```

```
        End If
```

```
        If p(i, m - j - 1) = p(i + 1, m - j) And _
```

```
        i >= h(m - j) Then
```

```
            q(i, m - j - 1) = q(i + 1, m - j)
```

```
        End If
```

```
        q(j + 1, m - j - 1) = q(h(m - j), m - j) & " 0 "
```

```
        q(j + 2, m - j - 1) = q(h(m - j), m - j) & " 1 "
```

```
    Next
```

```
Next
```

```
For i = 1 To m
```

```
    c(i) = q(i, 1)
```

```
Next
```

```
ХАФФМАН = c
```

```
End Function
```

```
Sub InstallFunc()
```

```
Application.MacroOptions Macro:="ХАФФМАН", _
```

```
Description:="Возвращает по вероятностям " & _
```

```
"(частотам) код Хаффмана"
```

```
End Sub
```

**Задача 9.** Применяя пользовательскую функцию ХАФФМАН, найти оптимальный двоичный код алфавита, символы которого принимаются с вероятностями 0,6; 0,2; 0,1; 0,1.

Скриншот решения показан на рисунке 10, полученный префиксный код легко проверяется построением кодового дерева.

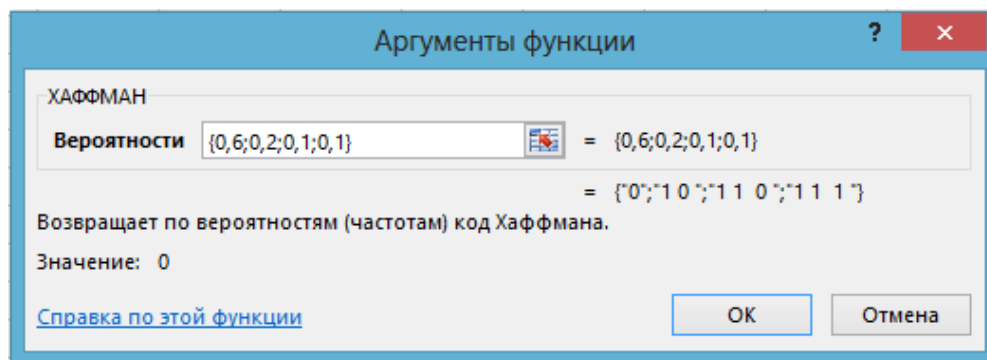


Рис. 10 – Применение функции ХАФФМАН

Декодирование выполняется функцией ДЕХАФ [8].

#### Задача 10

Применяя пользовательскую функцию ДЕХАФ, декодируйте криптограмму Хаффмана 1000110111000110100010100, если  $A = \{A, M, T, E, И, K\}$ ,  $C = \{00, 10, 11, 011, 0100, 0101\}$ .

Скриншот решения:

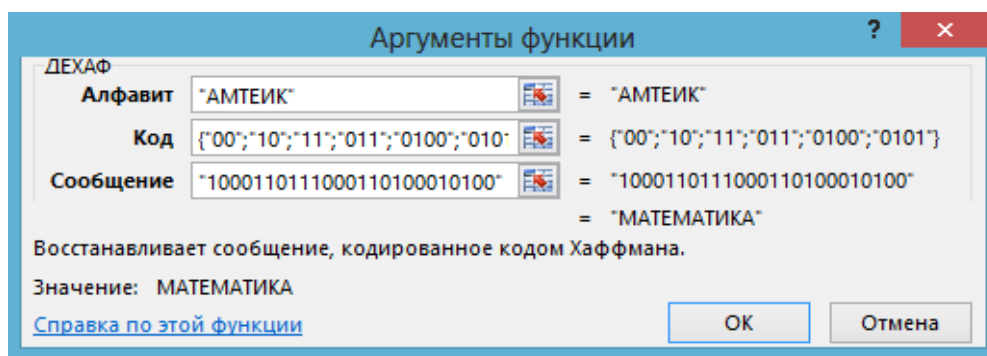


Рис. 11 – Применение функции ДЕХАФ

#### Заключение

1. В самом доступном и популярном программном комплексе по обработке числовых данных, каким является Excel, созданы пользовательские функции VBA для решения задач криптографии.
2. Как видно из приведенных задач, применение пользовательских функций криптографии не вызывает трудностей.
3. Помещение программных кодов созданных пользовательских функций в одной книги Excel делает ее криптокалькулятором (рис. 12).

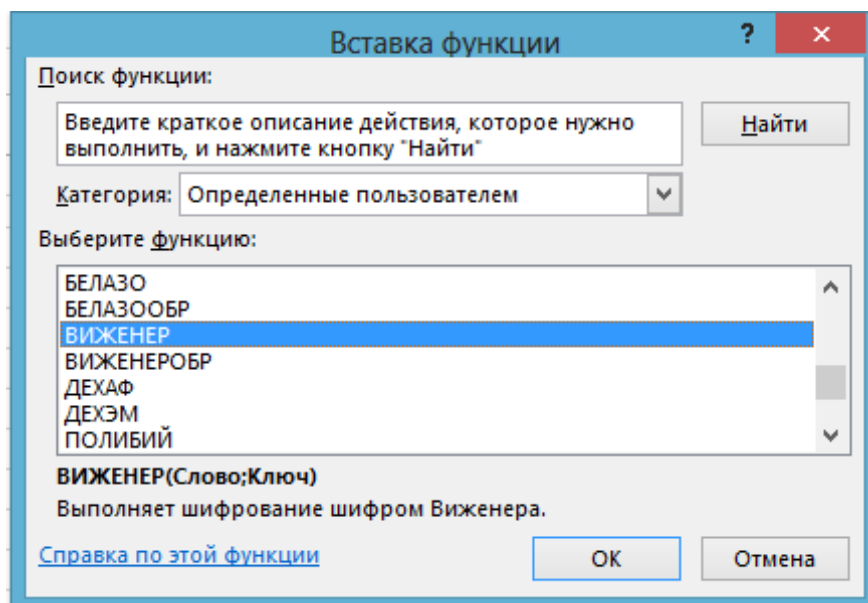


Рис. 12 – Меню криптокалькулятора

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Conflict of Interest**

None declared.

**Список литературы / References**

1. Алферов А.П. Основы криптографии. Учебное пособие, 2-е изд, испр. и доп. / А.П. Алферов, А.Ю. Зубов и др. – М.: Гелиос АРВ, 2001. – 480 с.
2. Гаврилов Г.П. Задачи и упражнения по дискретной математике: Учебное пособие – 3-е изд., перераб. / Г.П. Гаврилов, А.А. Сапоженко – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 416 с.
3. Гарнаев А.Ю. MS Excel 2002: Разработка приложений / А.Ю. Гарнаев – СПб. БХВ-Петербург, 2003. – 768 с.
4. Нечаев В.И. Элементы криптографии (Основы теории защиты информации): Учеб. пособие для ун-тов и пед. вузов / Под ред. В.А. Садовниченко. – М.: Высш. шк.; 1999. – 109 с.
5. Осипян В.О. Криптография в задачах и упражнениях / В.О. Осипян, К.В. Осипян – М.: Гелиос АРВ, 2004. – 144 с.
6. Сдвижков О.А. Математика в Excel 2003 / О.А. Сдвижков – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 192 с.
7. Сдвижков О.А. Excel-VBA. Словарь-справочник пользователя / О.А. Сдвижков – М.: Эксмо, 2008. – 224 с.
8. Сдвижков О.А. [Электронный ресурс] URL: <http://oas.ucoz.com>. (дата обращения: 18.06.2020)
9. Сمارт Н. Криптография / Н. Сمارт – М.: Техносфера, 2005. – 528 с.
10. Яблонский С.В. Введение в дискретную математику: Учебное пособие для вузов / Под ред. В.А. Садовниченко. – 4-е изд., стер. – М.: Высш. шк.; 2003. – 384 с.

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

1. Alferov A. P. Osnovy kriptografii. Uchebnoe posobie, 2-e izd, ispr. i dop. [Basics of cryptography. Textbook, 2nd ed., ISPR. and extra] / A.P. Alferov, A.Ju. Zubov i dr. – М.: Gelios ARV, 2001. – 480 p. [in Russian]
2. Gavrilov G.P. Zadachi i uprazhnenija po diskretnoj matematike: Uchebnoe posobie – 3-e izd., pererab. [Problems and exercises in discrete mathematics: Textbook – 3rd ed., pererab] / G.P. Gavrilov, A.A. Sapozhenko – М.: FIZMATLIT, 2003. – 416 p. [in Russian]
3. Garnaev A.Ju. MS Excel 2002: Razrabotka prilozhenij [MS Excel 2002: application Development] / A.Ju. Garnaev – SPb. BHV-Peterburg, 2003. – 768 p. [in Russian]
4. Nechaev V.I. Jelementy kriptografii (Osnovy teorii zashhity informacii): Ucheb. posobie dlja un-tov i ped. vuzov [Elements of cryptography (Fundamentals of information security theory): Textbook for UN-tov and PED. universities] / ed. by V.A. Sadovnichego. – М.: Vyssh. shk.; 1999. – 109 p. [in Russian]
5. Osipjan V.O. Kriptografija v zadachah i uprazhnenijah [Cryptography in tasks and exercises] / V.O. Osipjan, K.V. Osipjan – М.: Gelios ARV, 2004. – 144 p. [in Russian]
6. Sdvizhkov O.A. Matematika v Excel 2003 [Math in Excel 2003] / O.A. Sdvizhkov – М.: SOLON-Press, 2005. – 192 p.
7. Sdvizhkov O.A. Excel-VBA. Slovar'-spravochnik pol'zovatelja [Excel-VBA. Dictionary-user reference] / O.A. Sdvizhkov – М.: Jeksmo, 2008. – 224 p. [in Russian]
8. Sdvizhkov O.A. [Electronic resource] URL: <http://oas.ucoz.com>. (accessed: 18.06.2020) [in Russian]
9. Smart N. Kriptografija [Cryptography] / N. Smart – М.: Tehnosfera, 2005. – 528 p. [in Russian]
10. Jablonskij S.V. Vvedenie v diskretnuju matematiku: Uchebnoe posobie dlja vuzov [Introduction to discrete mathematics: a textbook for universities] / ed. by V.A. Sadovnichego. – 4-e izd., ster. – М.: Vyssh. shk.; 2003. – 384 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.97.7.014>

## ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К ФОРМИРОВАНИЮ БАЗЫ ЗНАНИЙ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ

Научная статья

Сергиенко М. А.<sup>1,\*</sup>, Данилова И.В.<sup>2</sup><sup>1</sup> ORCID: 0000-0003-1322-9624;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0001-5524-8351;

Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

\* Корреспондирующий автор (sergienko-m-a[at]yandex.ru)

**Аннотация**

Рассматривается проблема классификации объектов, описывающих поведение сложной системы, в предположении, что каждый из них характеризуется с помощью типового набора признаков. На основе этой информации разработан подход, базирующийся на методике нечеткого моделирования, который позволяет сформировать базу знаний в форме продукционных правил для нечеткой системы классификации объектов. Подобные системы обладают повышенными объяснительными способностями. За счет изменения мощности (гранулярности) лингвистических шкал для описательных признаков объектов можно регулировать точность выдаваемого системой ответа.

**Ключевые слова:** классификация объектов, нечеткая база знаний, экспертная система.

## DESCRIPTION OF AN APPROACH TO THE FORMATION OF THE KNOWLEDGE BASE FOR THE CLASSIFICATION OF OBJECTS

Research article

Sergienko M.A.<sup>1,\*</sup>, Danilova I.V.<sup>2</sup><sup>1</sup> ORCID: 0000-0003-1322-9624;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0001-5524-8351;

Voronezh State University, Voronezh, Russia

\* Correspondent author (sergienko-m-a[at]yandex.ru)

**Abstract**

The article considers the problem of classifying objects that describe the behavior of a complex system under the assumption that each of the objects is characterized with the help of a typical set of features. Following this information, an approach is developed based on the indistinct modeling technique, which allows creating a knowledge base in the form of production rules for an indistinct system for classifying objects. Such systems enhance explanatory abilities. The change of the power (granularity) of linguistic scales for descriptive features of objects allows adjusting the accuracy of the response generated by the system.

**Keywords:** classification of objects, indistinct knowledge base, expert system.

**Введение**

Постоянно растущие объемы накапливаемой и обрабатываемой информации, оцениваемые в петабайтах (Big Data), не позволяют человеку самостоятельно их проанализировать. Автоматизация этого процесса реализуется, в частности, с помощью Data Mining [1], одной из функциональных особенностей которого является задача классификации – отнесение объектов к одному из заранее известных классов.

Динамика роста объема данных настолько велика, что существующие классификаторы и алгоритмы их реализации не успевают так быстро изменяться, что приводит к нежелательным ошибкам. Создание классификаторов, способных предоставлять объяснения по результатам своей работы, способствовало бы выявлению подобных проблем на ранних стадиях. Архитектура таких структур данных базируется на базах знаний, представимых с помощью продукционных правил, которые формируются при непосредственном участии эксперта предметной области.

Данная работа посвящена описанию подхода к созданию классификатора в виде базы нечетких продукционных правил. Подобная база знаний (*Knowledge Base, KB*) повышает объяснительные способности механизма нечеткого логического вывода, что делает функционирование классификатора более прозрачным.

**Формализация постановки задачи**

Задача классификации объектов может быть сформулирована как задача аппроксимации неизвестной функции  $CLR: O \times C \rightarrow \{0, 1\}$  с помощью функции

$$CLR_A: O \times C \rightarrow \{0, 1\} \quad (1)$$

где  $CLR_A$  – классификатор вида  $CLR_A(o_i, c_k) = \begin{cases} 0, & \text{если } o_i \notin c_k; \\ 1, & \text{если } o_i \in c_k \end{cases}$ ;  $O = \{o_1, \dots, o_{|O|}\}$  – множество классифицируемых объектов;  $C = \{c_1, \dots, c_{|C|}\}$  – множество классов.

Каждый объект  $o_i$  характеризуется значениями типового набора признаков  $P = \{p_1, \dots, p_{|P|}\}$ :

$$o_i = (p_{i1}, \dots, p_{i|P|})^T,$$

где  $p_{ij}$  – значение  $j$ -го признака для  $i$ -го объекта.

Зачастую объем априорной информации, характеризующий работу сложной системы, недостаточен для классификации объектов. Для построения эффективного классификатора необходимо иметь обучающую выборку  $O_L$ , а для его проверки на качество – тестовую выборку  $O_T$ . В подобных выборках информация о принадлежности объекта  $O_i$  к классу  $C_k$  известна и задается в виде кортежа  $\langle o_i, c_i^k \rangle$ , а их размерность определяется количеством содержащихся в них объектов  $O_i$ :

$$\begin{aligned} O_L &= \{ \langle o_i, c_i^k \rangle \}_{i=1, |O_L|, o_i \in O, c_i^k \in C} = \{ \langle p_{i1}, \dots, p_{i|P|}, c_i^k \rangle \}_{i=1, |O_L|, c_i^k \in C}, \\ O_T &= \{ \langle o_i, c_i^k \rangle \}_{i=1, |O_T|, o_i \in O, c_i^k \in C} = \{ \langle p_{i1}, \dots, p_{i|P|}, c_i^k \rangle \}_{i=1, |O_T|, c_i^k \in C}, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $p_{ij}$  – значение  $j$ -го признака для  $i$ -го объекта, а  $c_i^k$  –  $k$ -ый класс для  $i$ -го объекта.

Таким образом, задача классификации сводится к тому, чтобы на основе обучающей выборки  $O_L$  построить аппроксимацию функции  $CLR$  в виде классификатора  $CLR_A$ , который будет корректно идентифицировать объекты, не участвующих в процессе его создания, а с помощью тестовой выборки  $O_T$  проверить его на качество.

### Обзор подходов к решению задачи классификации

Для решения задачи автоматической классификации объектов в настоящее время широко используются:

- статистические методы;
- методы машинного обучения (Machine Learning, ML) «с учителем»;
- методы нечеткого моделирования.

Статистические методы заключаются в восстановлении зависимости между системной и случайной составляющих на основе методов теории вероятностей [2], [3].

Методы машинного обучения «с учителем» предполагают наличие обучающей и тестовых выборок (для каждого объекта уже определен класс) для восстановления зависимости между входными и выходными переменными. Среди них можно выделить [4], [5]:

- метод Байеса (Naïve Bayes, NB), относящийся к классу вероятностных методов;
- метод  $k$  ближайших соседей ( $k$  Nearest Neighbors, KNN), относящийся к классу метрических методов;
- метод опорных векторов (Support Vector Machine, SVM), относящийся к классу линейных методов;
- метод деревьев решений (Decision Trees, DT), относящийся к классу логических методов;
- регрессионные методы;
- методы на основе искусственных нейронных сетей (сети прямого распространения, рекуррентные сети и др.).

Методы на основе искусственных нейронных сетей и SVM-метод считаются одними из лучших для решения подобных задач.

Методы нечеткого моделирования [6], [7], [9] базируются на теории нечетких множеств и нечеткой логики, что соответствует логике человеческого мышления, оперирующего нечеткими значениями истинности и нечеткими правилами логического вывода. В основе этих методов лежит Fuzzy Approximation Theorem, согласно которой с помощью условных высказываний *если-то* с последующей их формализацией на основе лингвистических переменных, можно сколь угодно точно описать произвольную взаимосвязь между входными и выходными переменными.

Отличительной особенностью последнего класса методов по сравнению с другими является то, что в качестве решения задачи классификации предоставляется классификатор, который способен пояснить свой ответ. Это достигается за счет высоких объяснительных способностей механизма нечеткого логического вывода. Данное преимущество и обусловило выбор подхода к решению поставленной задачи.

### Основные результаты

Для создания классификатора объектов  $CLR_A$  предлагается использовать следующий алгоритм:

**Шаг 1.** Подготовить обучающую  $O_L$  и тестовую  $O_T$  выборки в виде (2).

**Шаг 2.** На основе обучающей выборки  $O_L$  построить лингвистические шкалы:

- для каждого признака  $p_j \in P$  – шкалу  $S^{p_j}$  ( $j = \overline{1, |P|}$ );
- для каждого класса  $c_k \in C$  – шкалу  $S^{c_k}$  ( $k = \overline{1, |C|}$ ).

**Шаг 3.** На основе обучающей выборки  $O_L$  и лингвистических шкал  $\{S^{p_j}, S^{c_k}\}$  сформировать базу нечетких продукционных правил  $\mathfrak{R} = \bigcup_{i=1}^{|O_L|} \langle R_i, r_i \rangle$ , где  $R_i$  –  $i$ -правило, соответствующее  $i$ -ой кортеже  $\langle o_i, c_i^k \rangle$  из  $O_L$ , а  $r_i$  – рейтинг  $i$ -го правила  $R_i$ .

**Шаг 4.** Проверить на качество созданную базу правил  $\mathfrak{R}$  и ее функционирование на основе тестовой выборки  $O_T$ . Данные шаги детально рассматриваются в следующих четырех разделах.

**Подготовка обучающей и тестовой выборки** С привлечением эксперта определяется принадлежность каждого объекта  $o_i$  ( $i = \overline{1, |O|}$ ) к классу  $c_k \in C$ . Данное соответствие представляется в виде набора кортежей:

$$\tilde{O} = \bigcup_{i=1}^{|O|} \langle o_i, c_i^k \rangle.$$

Множество  $\tilde{O}$  разбивается на два подмножества  $\tilde{O} = O_L \cup O_T$ :

- $O_L$  – обучающая выборка, которая используется для формирования базы знаний в форме продукционных правил;
- $O_T$  – тестовая выборка, которая используется для оценки прогнозных свойств полученной базы знаний на новых

данных, т.е. данных, не участвующих в ее формировании.

Полагаясь на основные принципы методологии по исследованию данных CRISP-DM [10], в рамках данного шага при необходимости можно провести нормализацию значений  $(p_{1j}, \dots, p_{|O|j})^T$  для каждого  $j$ -го признака ( $j = \overline{1, |P|}$ ).

Методы нормализации [4] используются для изменения признака, который попадает в указанный диапазон, сохраняя при этом относительные различия между его значениями.

Нормализация значений признаков является необязательной, т.к. в рамках шага 4.2 осуществляется фазификация [7], [8], предполагающая использование функций принадлежности, которые могут принимать свои значения только в рамках промежутка  $[0; 1]$ . С другой стороны, ее выполнение позволит использовать единую лингвистическую шкалу для признаков (шаг 4.2).

Таким образом, результатами данного шага являются обучающая  $O_L$  и тестовая  $O_T$  выборки, представленные в виде (2).

#### Построение лингвистических шкал для признаков и классов

В общем случае основой использования лингвистического подхода для формализации неточной и нечеткой информации является значительная степень неопределенности. Базовым понятием данного подхода является лингвистическая переменная, позволяющая приближенно описывать сложные понятия процесса функционирования систем, которые не поддаются представлению на общепринятых количественных шкалах.

Лингвистическая переменная задается кортежем следующего вида [8]:

$$\langle \beta, Term, U, G, M \rangle,$$

где  $\beta$  – название переменной;  $Term = \{t_1, \dots, t_{|Term|}\}$  – терм-множество или множество значений переменной  $\beta$ ,

причем каждое из них является нечеткой переменной  $t_k$ , заданной на универсальном множестве  $U$ ;  $G$  – синтаксическое правило, порождающее новые названия значений переменной  $\beta$  для формирования расширенного множества термов  $Term^* = Term \cup G(Term)$ ;  $M$  – семантическое правило, которое ставит в соответствие каждой новой нечеткой переменной ее смысл (нечеткое подмножество универсального множества  $U$ ).

Нечеткая переменная задается тройкой  $\langle \alpha, U, A \rangle$ , где  $\alpha$  – название переменной;  $U$  – универсальное множество (область определения  $\alpha$ );  $A$  – нечеткое множество на  $U$  с функцией принадлежности  $\mu_A: U \rightarrow [0; 1]$ , описывающее ограничения на значение нечеткой переменной  $\alpha$ .

Преобразование информации при решении задач осуществляется на основе нечетких переменных с соответствующими функциями принадлежности. Поэтому для каждого терма строится функция принадлежности одним из подходящих методов (возможно, с участием эксперта). Для задания функций принадлежности существуют различные типы форм кривых [6], [7].

Терм-множество лингвистической переменной образует лингвистическую шкалу – инструмент эксперта для формирования качественных оценок. Мощность лингвистической шкалы определяет степень градации неопределенности: она должна быть достаточно малой для избегания ненужной точности, но и достаточно большой, чтобы обеспечить необходимый уровень различения градаций шкалы экспертом.

Для построения лингвистических шкал для признака  $p_i \in P$  ( $i = \overline{1, |P|}$ ) необходимо располагать информацией о диапазоне изменения их значений. Верхняя и нижняя границы диапазона могут быть найдены методом экспертного опроса либо путем изучения наборов обучающей выборки с целью определения минимального и максимального значений признака. После чего найденный диапазон надлежит разделить на отрезки по количеству ранее установленных термов.

Для решения задачи классификации предлагается использовать лингвистические шкалы с нечетным числом термов, симметричные относительно среднего терма. Размерность шкалы согласовывается с экспертом. Для задания функций принадлежности для термов предлагается использовать следующие типы кривых: треугольная, трапецевидная, гауссова.

На основе обучающей выборки  $O_L$  строятся лингвистические шкалы для каждого признака  $p_j \in P$  ( $j = \overline{1, |P|}$ ) и классов  $c_k \in C$  ( $k = \overline{1, |C|}$ ).

Для каждого признака  $p_j \in P$  ( $j = \overline{1, |P|}$ ) строится симметрическая лингвистическая шкала  $S^{p_j} = \{S_{i1}^{p_j}, \dots, S_{|S^{p_j}|}^{p_j}\}$  ( $j = \overline{1, |P|}$ ).

Для каждого класса  $c_k \in C$  ( $k = \overline{1, |C|}$ ) строится лингвистическая шкала  $S^{c_k} = \{S_i^{c_k}\}$ , состоящая из одного термина (синглтон, singleton):

$$\mu_{S_i^{c_k}}(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } x \neq k, \\ 1, & \text{если } x = k, \end{cases}$$

где  $k$  – номер  $k$ -го класса  $c_k \in C$  ( $k = \overline{1, |C|}$ ).

Таким образом, результатами данного шага являются следующие лингвистические шкалы:  $S^{p_j}$  ( $j = \overline{1, |P|}$ ) и  $S^{c_k}$  ( $k = \overline{1, |C|}$ ).

Обобщая представленные результаты, получим:

$$\begin{aligned} S^P &= \bigcup_{j=1}^{|P|} S^{p_j} \\ &\text{и} \\ S^C &= \bigcup_{k=1}^{|C|} S^{c_k}. \end{aligned} \quad (3)$$

#### Формирование базы нечетких продукционных правил

На основе обучающей выборки  $O_L$  и лингвистических шкал (3) формируется база нечетких продукционных правил с MISO-структурой (*multi input – single output*, много входов – один выход). Каждому кортежу  $\langle o_i, c_i^k \rangle$  из  $O_L$  ставится в соответствие правило:

$$R_i : \text{ЕСЛИ } p_{i1} \text{ есть } S_{i1} \text{ И...И } p_{i|P|} \text{ есть } S_{i|P|} \text{ ТО } c_i^k \text{ есть } S_i^{c_k} \quad (i = \overline{1, |O_L|}).$$

Ассоциация с терминами  $S_{ij}$  лингвистических шкал  $S^{p_j}$  для признаков  $p_j \in P$  осуществляется на основе их значений  $p_{ij}$  по следующему правилу: выбирается терм, которому соответствует функция принадлежности, принимающая максимальное значение в точке  $p_{ij}$ :

$$\max \left\{ \mu_{S_{i1}^{p_1}}(p_{i1}), \dots, \mu_{S_{i|P|}^{p_{|P|}}}(p_{i|P|}) \right\} = \mu_{S_{ij}^{p_j}}(p_{ij}) \rightarrow S_{ij} \quad (i = \overline{1, |O_L|}). \quad (4)$$

Для каждого правила  $R_i$  рассчитывается его рейтинг  $r_i$ :

$$r_i = \text{Agg}(\mu_{S_{i1}}(p_{i1}), \dots, \mu_{S_{i|P|}}(p_{i|P|})) = \prod_{j=1}^{|P|} \mu_{S_{ij}}(p_{ij}) \quad (i = \overline{1, |O_L|}),$$

где  $\mu_{S_{ij}}(p_{ij})$  – значение функции принадлежности, соответствующей терму  $S_{ij} \in S^{p_j}$ , полученному на основе (4).

Таким образом, результатом данного шага является база нечетких продукционных правил:

$$\mathfrak{R} = \bigcup_{i=1}^{|O_L|} \langle R_i, r_i \rangle.$$

Обобщая полученные результаты текущего и предыдущего шагов, получим представление базы знаний с помощью нечетких продукционных правил и лингвистических шкал для входных/выходных переменных в виде следующего кортежа  $\langle S^P, S^C, \mathfrak{R} \rangle$ .

Полученная база знаний и является реализацией классификатора  $CLR_A$ :

$$CLR_A = \langle S^P, S^C, \mathfrak{R} \rangle.$$

### Проверка на качество полученного классификатора

Данный шаг подразумевает:

- проверку на качество полученной базы нечетких продукционных правил  $\mathfrak{R}$ ;
- проверку точности функционирования классификатора  $CLR_A$  на основе тестовой выборки  $O_T$ .

Проверка на качество  $\mathfrak{R}$  заключается в выполнении следующих свойств [12]:

- непротиворечивость;
- полнота:
  - в узком смысле;
  - в широком смысле (численная и лингвистическая);
- избыточность;
- делимость.

и опирается на репрезентативность выборки и использование рейтингов правил.

Проверка точности функционирования классификатора на основе тестовой выборки  $O_T$  заключается в том, что для каждого объекта  $o_i$  из кортежа  $\langle o_i, c_i^k \rangle$  определяется его принадлежность к классу  $\bar{c}_i$  с помощью  $CLR_A$  и сравнивается с ожидаемым классом  $c_i^k$ . Основываясь на этом сравнении, можно измерить показатели эффективности (ПЭ) [4], чтобы количественно оценить, насколько прогнозы классификатора  $CLR_A$ , соответствуют ожидаемым.

Простейшим ПЭ является доля ошибок классификации (ДОК), выражаемая в процентах:

$$ДОК = \frac{ННК}{ОКК} \cdot 100\%,$$

где ННК – неверное количество классификаций; ОКК – общее количество классификаций.

Расчет ПЭ опирается в основном на матрицу ошибок (confusion matrix), которая содержит частоты каждого возможного результата прогноза, сделанных моделью (классификатором) для множества тестовых данных. Разнообразие показателей с их алгоритмами вычисления велико и использование интересующих определяется контекстом решаемой задачи.

### Вычислительный эксперимент

Рассмотренный метод был использован для реализации экспертной системы (ЭС) [13] по оценке квалификации сотрудников Компании. Задача данной ЭС заключается в том, чтобы на основе числовой (бальной) оценки квалификации сотрудника определить для него соответствующее положение в проекте (роль/должность).

Эксперимент проводился на ПЭВМ со следующими основными параметрами: 2-х ядерный 64-разрядный процессор Intel(R) Pentium(R) 3556U 1.70GHz, 4ГБ ОЗУ. В качестве технологии для реализации ЭС использовался язык программирования Python и библиотека skfuzzy [14], содержащая API для работы с основными элементами нечеткой логики.

Множество классов  $C$  в данном случае формируется из набора ролей и должностей (табл. 1). Их перечень был составлен согласно руководству РМВОК [15], представляющему собой свод знаний по управлению проектами и включающему описание подходов к организации и концепции управления проектами, формализацию, стандартизацию и структурирование форматов проектной деятельности.

Таблица 1 – Перечень ролей и должностей

Роли
Java Developer
Python Developer
System Administrator
Web Developer
Project Manager
QA
DB Engineer
Должности
Junior
Middle
Senior
Team Lead

Менеджером по персоналу (HR-менеджером) был сформулирован перечень квалификационных требований, подготовлены тесты и проведена аттестация персонала Компании. Оценка квалификационных требований персонала осуществлялась по 100-бальной шкале. Результаты были аккумулированы в виде Excel-файла, фрагмент которого представлен на рис. 1.

На основе представленных данных были сформированы обучающая  $O_L$  и тестовая  $O_T$  выборки в виде (2).



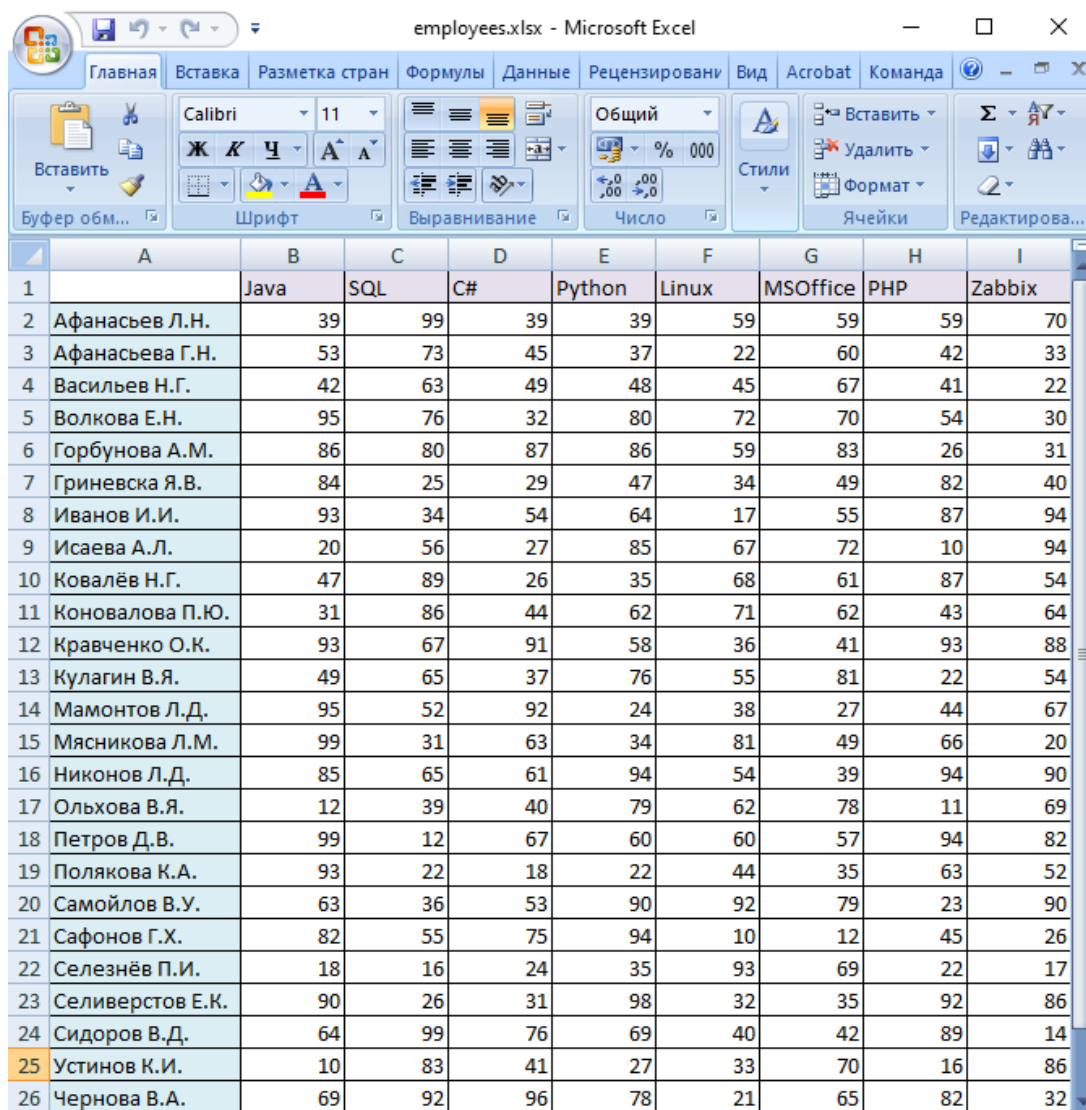
Для всех квалификационных требований использовалась единая лингвистическая шкала, построенная на основе лингвистической переменной «Оценка квалификационного требования» с универсальным множеством  $U = [0, 100]$  и множеством термов  $\{bad, fair, good, great, excellent\}$ . Каждый терм – нечеткое треугольное число (рис. 2).

Согласно шагу 4.3 была сформирована нечеткая продукционная база правил  $\mathfrak{R}$  вида (на примере правила для Java Developer junior):

```
IF Java[good]    AND
   SQL[great]    AND
   C#[fair]      AND
   Python[fair]  AND
   Linux[fair]   AND
   MSOffice[good] AND
   PHP[fair]     AND
   Zabbix[fair]
```

THEN response[Java Developer junior]

Данная база правил  $\mathfrak{R}$  и является реализацией классификатора  $CLR_A$ .



The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet titled 'employees.xlsx'. The table contains 26 rows of employee data, with columns for various technologies. The data is as follows:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
		Java	SQL	C#	Python	Linux	MSOffice	PHP	Zabbix
1									
2	Афанасьев Л.Н.	39	99	39	39	59	59	59	70
3	Афанасьева Г.Н.	53	73	45	37	22	60	42	33
4	Васильев Н.Г.	42	63	49	48	45	67	41	22
5	Волкова Е.Н.	95	76	32	80	72	70	54	30
6	Горбунова А.М.	86	80	87	86	59	83	26	31
7	Гринева Я.В.	84	25	29	47	34	49	82	40
8	Иванов И.И.	93	34	54	64	17	55	87	94
9	Исаева А.Л.	20	56	27	85	67	72	10	94
10	Ковалёв Н.Г.	47	89	26	35	68	61	87	54
11	Коновалова П.Ю.	31	86	44	62	71	62	43	64
12	Кравченко О.К.	93	67	91	58	36	41	93	88
13	Кулагин В.Я.	49	65	37	76	55	81	22	54
14	Мамонтов Л.Д.	95	52	92	24	38	27	44	67
15	Мясникова Л.М.	99	31	63	34	81	49	66	20
16	Никонов Л.Д.	85	65	61	94	54	39	94	90
17	Ольхова В.Я.	12	39	40	79	62	78	11	69
18	Петров Д.В.	99	12	67	60	60	57	94	82
19	Полякова К.А.	93	22	18	22	44	35	63	52
20	Самойлов В.У.	63	36	53	90	92	79	23	90
21	Сафонов Г.Х.	82	55	75	94	10	12	45	26
22	Селезнёв П.И.	18	16	24	35	93	69	22	17
23	Селиверстов Е.К.	90	26	31	98	32	35	92	86
24	Сидоров В.Д.	64	99	76	69	40	42	89	14
25	Устинов К.И.	10	83	41	27	33	70	16	86
26	Чернова В.А.	69	92	96	78	21	65	82	32

Рис. 1 – Фактическая оценка квалификационных требований персонала Компании

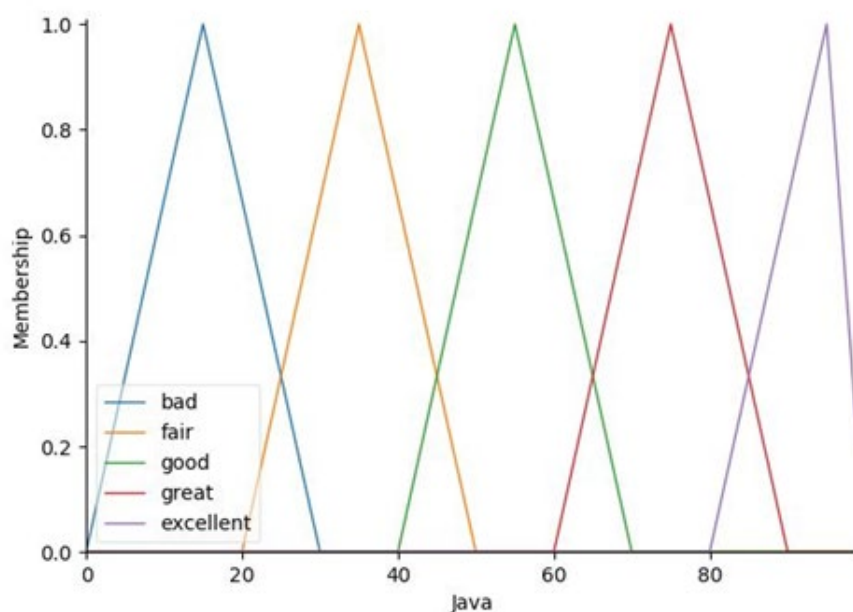


Рис. 2 – Лингвистическая шкала лингвистической переменной «Оценка квалификационного требования» (на примере квалификационного требования Java)

Проверка на качество полученного классификатора  $CLR_A$  осуществлялась на основе тестовой выборки  $O_T$  и с привлечением эксперта.

Результаты повторной аттестации в виде Excel-файла были переданы на вход ЭС, она осуществила безошибочно определение «проектной локализации» для каждого сотрудника Компании (рис. 3). Время ответа на запрос – 08.306 сек.

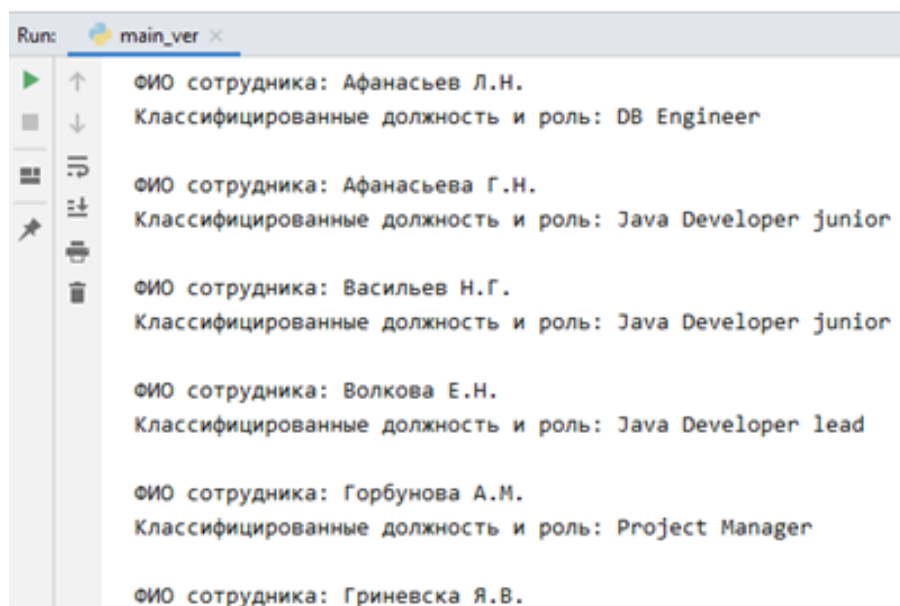


Рис. 3 – Результат работы ЭС

ЭС можно задействовать при принятии решения о приеме новых сотрудников в Компанию, либо о повышении в должности существующего персонала.

#### Заключение

Предложенный подход в ходе эксперимента продемонстрировал свою работоспособность. Он позволяет создать классификатор, который можно использовать в качестве ядра нечеткой экспертной системы классификации объектов [11], [13]. Подобные системы обладают повышенными объяснительными способностями. За счет изменения мощности (гранулярности) лингвистических шкал для описательных признаков объектов можно регулировать точность выдаваемого системой ответа. Указанные преимущества позволяют таким нечетким экспертным системам находить все более широкое приложение в практических задачах.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

**Список литературы / References**

1. Linoff Gordon S. Data Mining Techniques: For Marketing, Sales, and Customer Relationship Management / Gordon S. Linoff, Michael J.A. Berry. – Wiley Publishing, Inc, 2011. – 821 p.
2. Draper N.R. Applied Regression Analysis / N.R. Draper, H. Smith. – John Wiley & Sons, 1998. – 736 p.
3. Айвазян С.А. Методы эконометрики / С.А. Айвазян. – М.: Инфра-М, 2010. – 508 с.
4. Келлехер Джон Д. Основы машинного обучения для аналитического прогнозирования. Алгоритмы, рабочие примеры и тематические исследования / Джон Д. Келлехер, Брайан Мак-Нейми, Аоифе д'Арси. – М.: Издательский дом «Диалектика-Вильямс», 2019. – 656 с.
5. Хайкин С. Нейронные сети. Полный курс / С. Хайкин. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.
6. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств / А.Кофман. – М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.
7. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление / А. Пегат. – М.: БИНОМ, 2009. – 798 с.
8. Леденева Т.М. Обработка нечеткой информации: учебное пособие / Т.М. Леденева. – Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2006. – 233 с.
9. Борисов В.В. Нечеткие модели и сети / В.В. Борисов, В.В. Круглов, А.С. Федулов. М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 284 с.
10. Shearer, C. The CRISP-DM Model: The New Blueprint for Data Mining / C. Shearer // Journal of Data Warehousing. – 2000. – Vol. 5. – pp. 13-22.
11. Леденева Т.М. Об одном подходе к формированию базы знаний для сегментации временных рядов / Т.М. Леденева, М.А. Сергиенко // Вестник ВГУ. Серия Системный анализ и информационные технологии, 2017. – № 3. – С. 156-164.
12. Сергиенко М.А. О некоторых свойствах базы нечетких продукционных правил / М.А. Сергиенко // Международный научно-исследовательский журнал. – 2015. – Ч.3. – №1(32) – С. 27-28.
13. Джарратано Д. Экспертные системы: принципы разработки и программирование / Д. Джарратано, Г.Райли. – 4-е изд. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2007. – 1152 с.
14. SciKit-Fuzzy – skfuzzy v0.2 docs [Электронный ресурс] // URL: <https://pythonhosted.org/scikit-fuzzy/overview.html> (дата обращения 27.02.2020).
15. Guide to the Project Management Body of Knowledge PMBOK Guide 6th Edition. – Newtown Square, Pa: Project Management Institute, 2018 – 41 p.

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

1. Linoff Gordon S. Data Mining Techniques: For Marketing, Sales, and Customer Relationship Management / Gordon S. Linoff, Michael J.A. Berry. – Wiley Publishing, Inc. 2011. – 821 p.
2. Draper N.R. Applied Regression Analysis / N.R. Draper, H. Smith. – John Wiley & Sons, 1998. – 736 p.
3. Ajvazjan S.A. Metody jekonometriki [Methods of econometrics] / S.A. Ajvazjan. – M.: Infra-M, 2010. – 508 p. [in Russian]
4. Kelleher Dzhon D. Osnovy mashinnogo obuchenija dlja analiticheskogo prognozirovaniya. Algorit-my, rabochie primery i tematicheskie issledovaniya [The Basics of Machine Learning for Analytical Prediction. Algorithms, working examples and case studies] / Dzhon D. Kelleher, Brajan Mak-Nejmi, Aoife d'Arsi. – M.: Izdatel'skij dom «Dialektika-Vil'jams», 2019. – 656 p. [in Russian]
5. Hajkin S. Nejronnye seti. Polnyj kurs [Neural Networks. Full course] / S. Hajkin. – M.: Izdatel'skij dom «Vil'jams», 2006. – 1104 p. [in Russian]
6. Kofman A. Vvedenie v teoriju nechetkih mnozhestv [Introduction to the theory of indistinct sets] / A.Kofman. – M.: Radio i svjaz', 1982. 432 p. [in Russian]
7. Pegat A. Nечetkoe modelirovanie i upravlenie [Fuzzy modeling and management] / A. Pegat. – M.: BINOM, 2009. – 798 p. [in Russian]
8. Ledeneva T.M. Obrabotka nechetkoj informacii: uchebnoe posobie [Processing of indistinct information: manual] / T.M. Ledeneva. – Voronezh: Voronezhskij gosudarstvennyj tehnikeskij universitet, 2006. – 233 p. [in Russian]
9. Borisov V.V. Nечetkie modeli i seti [Fuzzy models and networks] / V.V. Borisov, V.V. Kруглов, A.S. Fedulov. M.: Gorjachaja linija – Telekom, 2007. – 284 p. [in Russian]
10. Shearer, C. The CRISP-DM Model: The New Blueprint for Data Mining / C. Shearer // Journal of Data Warehousing. – 2000. – Vol. 5. – pp. 13-22.
11. Ledeneva T.M. Ob odnom podhode k formirovaniyu bazy znaniy dlja segmentacii vremennyh rjadov [On One Approach to the Formation of a Knowledge Base for Time Series Segmentation] / T.M. Ledeneva, M.A. Sergienko // Vestnik VGU. Serija Sistemnyj analiz i informacionnye tehnologii [VSU Gazette. Series System Analysis and Information Technologies]. 2017. – № 3. – pp. 156-164. [in Russian]
12. Sergienko M.A. O nekotoryh svojstvah bazy nechetkih produkcijnyh pravil [On Certain Properties of the Base of Fuzzy Production Rules] / M.A. Sergienko // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Research Journal]. – 2015. – Ch.3. – № 1 (32) – pp. 27-28. [in Russian]
13. Dzharratano D. Jekspertnye sistemy: principy razrabotki i programmirovaniya [Expert Systems: Principles of Development and Programming] / D. Dzharratano, G.Rajli. – 4-e izd. – M.: Izdatel'skij dom «Vil'jams», 2007. – 1152 p. [in Russian]
14. SciKit-Fuzzy – skfuzzy v0.2 docs [Electronic resource] // URL: <https://pythonhosted.org/scikit-fuzzy/overview.html> (accessed: 23.02.2020). [in Russian]
15. Guide to the Project Management Body of Knowledge PMBOK Guide 6th Edition. – Newtown Square, Pa: Project Management Institute, 2018 – 41 p.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.97.7.015>**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕННИКОВ В НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕЙ И НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТЯХ**

Обзорная статья

**Миронова Ю.А.<sup>1</sup>, Цвяк А.В.<sup>2,\*</sup>, Наумов С.А.<sup>3</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-0139-7711;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0002-4561-7034;<sup>3</sup> ORCID: 0000-0002-0511-7131;<sup>1, 2, 3</sup> Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия;<sup>2</sup> Оренбургский федеральный исследовательский центр УрО РАН, Оренбург, Россия

\* Корреспондирующий автор (tsviak[at]rambler.ru)

**Аннотация**

В статье освещается вопрос использования теплотехнических устройств в нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности. Определены роль и место теплообменных аппаратов при добыче, транспортировке и переработке углеводородного сырья. Установлено, что основными типами применяемых теплообменников являются кожухотрубчатые и пластинчатые теплообменные аппараты, при этом доля пластинчатых теплообменников на настоящее время составляет 38% и продолжает увеличиваться. Теплообменники необходимы на каждом этапе добычи и переработки нефти. Использование теплообменного оборудования позволяет облегчить протекание технологических процессов.

**Ключевые слова:** нефтедобыча, переработка нефти, теплоэнергетика, теплообменник.

**HEAT EXCHANGER USE IN OIL PRODUCING AND OIL-REFINING INDUSTRIES**

Review article

**Mironova Yu.A.<sup>1</sup>, Tsvyak A.V.<sup>2,\*</sup>, Naumov S.A.<sup>3</sup>**<sup>1</sup>ORCID: 0000-0002-0139-7711;<sup>2</sup>ORCID: 0000-0002-4561-7034;<sup>3</sup>ORCID: 0000-0002-0511-7131;<sup>1, 2, 3</sup> Orenburg State University, Orenburg, Russia;<sup>2</sup> Orenburg Federal Research Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

\*Corresponding author (tsviak[at]rambler.ru)

**Abstract**

The paper considers the use of heat engineering devices in the oil-producing and oil refining industries. The authors determined the role and place of heat exchangers in the extraction, transportation, and processing of hydrocarbons. It was found that shell-and-tube and plate heat exchangers are the main types of used heat exchangers, while the proportion of plate heat exchangers currently is about 38% and continues to grow. Heat exchangers are required at every stage of oil production and refining. The use of heat exchange equipment allows facilitating the flow of technological processes.

**Keywords:** oil production, oil refining, heat power engineering, heat exchanger.

Отраслью промышленности, на основе которой формируется экономика Российской Федерации, является добыча нефти и газа. В этой сфере задействованы технологии из многих других направлений, в том числе и из области энергетики. В свою очередь энергетика подразумевает как электричество, так и тепловую энергию. Применение электроэнергии в нефтедобыче очевидно. Механизмы, использующиеся на протяжении всего процесса добычи и транспортировки сырья, запускаются посредством электричества. Применение технологий теплоэнергетики не так ярко выражено и на первый взгляд может показаться незначительным. Однако в нефтедобыче достаточно широко используются такие виды теплотехнических устройств, как теплообменники. Рассмотрим подробнее их применение в этой сфере промышленности.

Процесс добычи и подготовки сырья включает несколько этапов, во многих из которых используются теплообменники. Оборудование, предназначенное для этой промышленности, должно соответствовать особым требованиям: быть способным работать при экстремальных давлениях и температурах, быть устойчивым к агрессивным средам, иметь компактные размеры, работать с двухфазными средами. Предприятия по добыче и переработке нефти и газа используют как кожухотрубное, так и пластинчатое теплообменное оборудование [1]. Стоит заметить, что первый тип теплообменников встречается намного чаще, чем последний. Однако область применения пластинчатых теплообменных аппаратов постепенно расширяется. В связи с этим, возникает вопрос - какой тип теплообменников более целесообразен в процессах нефтяной отрасли? Выяснение этого факта является актуальной задачей для предприятий, так как использование более подходящего оборудования способствует повышению эффективности работы и уменьшению издержек на технологическое обслуживание и ремонт. Рассмотрим некоторые процессы переработки и подготовки нефти и решим этот вопрос относительно них.

Выясним, с чем может быть связано доминирование кожухотрубных аппаратов. Во-первых, это обусловлено тем, что в нефтедобыче пластинчатые теплообменники появились намного позже, чем их конкуренты. Долгое время этот вид оборудования применялся только в пищевой промышленности. Это замедляло процесс модернизации и усовершенствования теплообменников. Но уже с шестидесятых годов двадцатого века пластинчатое оборудование, претерпев ряд улучшений, стало конкурентоспособным и начало применяться во многих производственных отраслях. Следовательно, нефтедобывающая промышленность, имея колоссальное число теплообменников, возможно, просто не успела бы полностью перейти на новое оборудование [2]. Во-вторых, применение определённого типа оборудования связано с особенностями процесса, для которого требуется теплообменник, и с характеристиками аппарата. Есть много

критериев, по которым проводится сравнение. По габаритам пластинчатый теплообменник более компактный, а это хорошее преимущество, ведь любое предприятие имеет в своём распоряжении ограниченное пространство. Однако одним из значимых параметров является лёгкость очистки. В нефтедобывающей промышленности теплообменники работают с самыми разными теплоносителями. Нефть содержит большое количество примесей, которые в различных процессах могут загрязнять аппарат. Теплообменники очищаются различными способами. Например, механическим. При этом необходимо разобрать аппарат и очистить его вручную. После повторной сборки пластинчатого теплообменника велика вероятность неплотного соединения пластин между собой, из-за чего оборудование приходится собирать заново. При гидродинамической очистке аппараты также разбираются, кроме трубчатых. Химический способ промывки самый распространённый. Его можно осуществлять, не разбирая аппарат. Таким образом, кожухотрубчатые теплообменники очищаются проще, чем пластинчатые. Это является одним из преимуществ этого типа тепловых аппаратов в рассматриваемой сфере производства.

На предприятиях переработки нефти пластинчатые теплообменники используются чаще, чем, например, в нефтедобыче (их применяют около 38% предприятий). Доминирование определённого типа оборудования связано с большим количеством процессов переработки, что выражается в большом количестве аппаратов. В то же время в этой отрасли достаточно быстро идёт модернизация, то есть переход на пластинчатые теплообменники. В среднем, на одном предприятии по нефтепереработке используется 400 теплообменных аппаратов. Здесь особенно широко применяются следующие типы теплообменников: витые, прямотрубные, с плавающей головкой, спиральные, труба в трубе, U-образные. Последние два типа встречаются наиболее часто. При первичной переработке нефти предприятия используют теплообменные аппараты в следующих процессах: висбрекинг, реформинг, гидроочистка, ректификация [3].

Технология гидроочистки позволяет замещать нежелательные атомы (например, органических соединений серы, кислорода, азота, хлора, металлов и других веществ) в молекулах соединений нефти на водород. Поток нефтепродукта и водорода смешивают, нагревают до температуры 260- 430 °С и при давлении около 4 МПа направляют в реактор, где происходят необходимые химические реакции [4]. В наиболее часто встречающейся схеме продуктовая смесь, выходящая из реактора, нагревает, проходя через блок теплообменников, сырьевую смесь, которая подаётся в реактор. Это позволяет наиболее полно использовать энергию, выделяющуюся в процессе химических реакций [6]. Таким образом, в теплообменниках оба теплоносителя являются непосредственными участниками химического процесса. Нефть, ещё не прошедшая гидроочистку, имеет фактор загрязнения 0,86 – 1,38 [7]. Согласно приведённым в таблице 1 данным (в таблице приведены усредненные данные) для процесса гидроочистки является актуальным использование пластинчатых теплообменных аппаратов (конкретно моделей, способных работать при температуре около 300 °С). Применение трубчатых конструкций также приемлемо, однако они потребуют более частой очистки.

Таблица 1 – Сравнение теплообменников по некоторым параметрам

Параметр сравнения	Кожухотрубные теплообменники	Пластинчатые теплообменники
Масса, кг	130 - 22000	20 - 230
Максимальная рабочая температура, °С	350-800	200 - 400
Максимальное рабочее давление, МПа	4 - 20	1,6 - 4
Минимальное рабочее давление, МПа	0,5	0,5
Фактор загрязнения	0,1 - 0,5	1 - 3
Теплоносители	Жидкость/жидкость Газ/жидкость Газ/газ	Жидкость/жидкость Газ/жидкость Пар/жидкость

Ректификация нефти заключается в разделении на различные фракции, различающиеся по температуре кипения, при нагревании. Низкокипящие фракции называются легкими, а высококипящие – тяжелыми. Бензин, керосин и дизельное топливо получают в атмосферной фракционирующей колонне, процесс в которой протекает при атмосферном давлении. Перед поступлением в эту установку нефть проходит через трубчатую печь (см. рисунок 1). В ней жидкость проходит по змеевиковому пути, который нагревают, тем самым увеличивая температуру сырья до 350 °С [6]. Далее смесь паров и горячей нефти поступает в среднюю часть ректификационной колонны. Пары поднимаются, а мазут стекает вниз. Пары постепенно охлаждаются и конденсируются, причем сначала конденсируются тяжелые углеводороды. По мере перемещения паров вверх выделяются всё более лёгкие фракции. Из верхней части колонны отводятся бензиновые фракции (дистилляты). Ниже получают керосин и реактивные топлива. Еще ниже отводятся тяжелые фракции. Мазут из нижней части отводится в печь, а затем в ректификационную вакуумную колонну, из которой получают смазочные масла и гудрон [6]. Температура кипения дистиллятов в вакуумной колонне 410 – 420 °С. В ней поддерживается давление 2,6 – 7,9 кПа. Так как температура дистиллятов, выходящих из колонны и поступающих в теплообменник, высока, целесообразней использовать кожухотрубные аппараты, у которых граница этого рабочего параметра выше (см. таблицу 1).

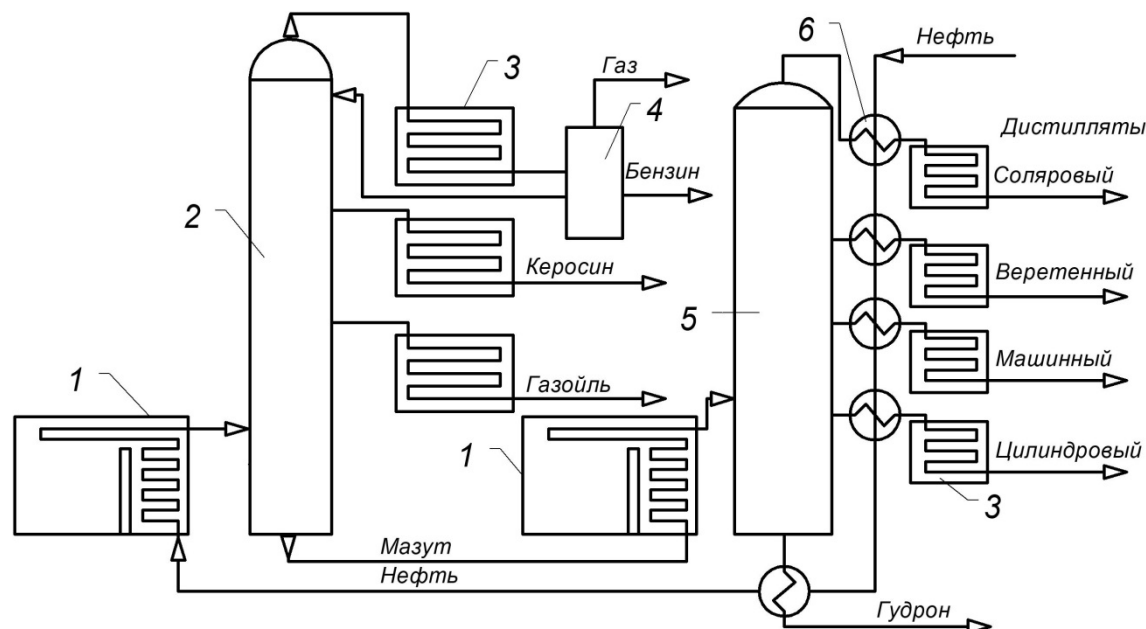


Рис. 1 – Схема установки для ректификации нефти  
 1 – трубчатая печь; 2 – ректификационная колонна; 3 – погружные холодильники; 4 – газоотделитель;  
 5 – вакуумная колонна; 6 – теплообменники

В нефтехимической промышленности предприятия используют теплообменные аппараты в установках пиролиза, полимеризации, варки смол. Как и в нефтепереработке, функцией теплообменников здесь является нагрев сырья до нужной температуры перед основным процессом.

В сфере нефтедобычи можно выделить три группы предприятий:

- 1) используют только кожухотрубные теплообменники;
- 2) используют незначительное количество пластинчатых, наряду с кожухотрубными;
- 3) используют значительное количество пластинчатых в сравнении с кожухотрубными.

Самой многочисленной является первая категория. Только 16% компаний среди всего оборудования имеют пластинчатые теплообменные аппараты, остальные применяют только кожухотрубные. В основном применяются теплообменники типа «труба в трубе», прямотрубные и U-образные в процессах обессоливания нефти, обезвоживания и сепарации. [2]

Нефть, поступающая из скважин, представляет собой смесь попутного газа, воды и различных углеводородов. Непосредственно после извлечения сырьё подвергается сепарации. Это процесс отделения газов и лёгких углеводородов с помощью однократного или многократного испарения при снижении давления. Многоступенчатая сепарация начинается под давлением примерно 4 – 8 МПа с его понижением на 0,6 МПа в каждой ступени до атмосферного. Предварительно нефть нагревают в теплообменниках до 40-80°C. Далее смесь поступает в сепаратор, где протекает сам процесс разделения. Лёгкие углеводороды с помощью компрессора направляются в холодильную установку, тяжёлые углеводороды конденсируются. Сепараторы могут различаться в зависимости от принципа действия. Однако все эти аппараты имеют одинаковые секции: основную сепарационную, осадительную, секцию для отбора нефти и каплеуловительную [8]. Нефть, прошедшую сепарацию в какой-то степени можно назвать стабильной (для полной стабилизации она направляется на ректификацию). После сепаратора она снова проходит через теплообменник, в этот раз выступая в качестве горячего теплоносителя. Так как данный процесс протекает при высоком давлении, применение кожухотрубного оборудования наиболее приемлемо.

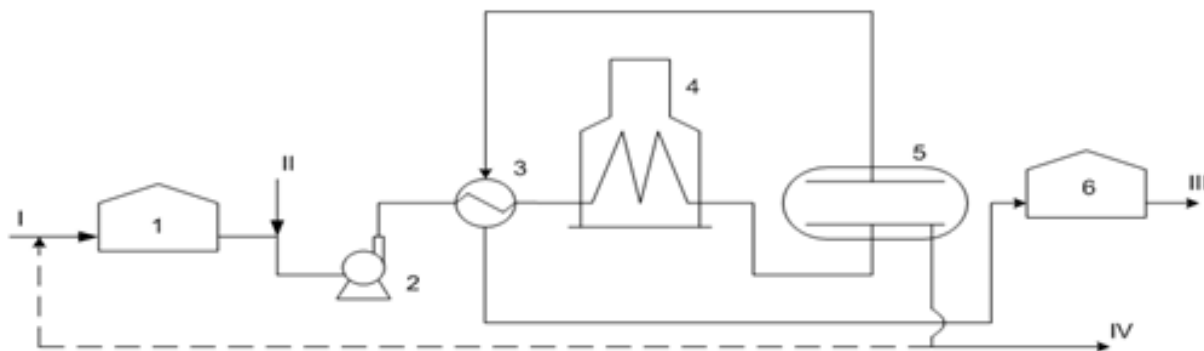


Рис. 2 – Схема термохимической установки обезвоживания нефти  
 I – сырьевой резервуар; 2 – насос; 3 – теплообменник; 4 – печь; 5 – отстойник; 6 – резервуар.

Одним из следующих этапов для нефти является обезвоживание. Для этого существуют различные способы, одним из которых является термохимический. На рисунке 2 представлена технологическая схема этого процесса. Теплообменник здесь используется для повышения температуры смеси перед печью до 70 – 100 °С. Это способствует более лёгкому соединению молекул воды между собой и отслоению их от молекул нефти. Процесс протекает под давлением около 0,9 МПа. Разделение происходит из-за разности плотностей жидкостей. Более тяжёлые молекулы воды опускаются вниз, вытесняя молекулы нефти. После отстойника обезвоженная нефть на пути в резервуар снова проходит через теплообменник, где отдаёт тепло потоку, поступающему в печь [2]. Фактор загрязнения для обводнённой нефти 0,35 – 0,95 [8]. Исходя из приведённых показателей, можно сделать вывод, что для процесса обезвоживания допустимо использование как кожухотрубных, так и пластинчатых теплообменников. Выбор будет зависеть от конкретных условий эксплуатации и технических характеристик рассматриваемых моделей.

Также существуют установки подогрева нефти, необходимые для повышения температуры нефтепродуктов до 40 – 60 °С перед поступлением в трубопровод. При транспортировке сырой нефти или тёмных нефтепродуктов (мазута, смазочных масел) возникают трудности, обусловленные тем, что при понижении температуры воздуха эти вещества становятся более вязкими. Поэтому при перемещении этих веществ не обойтись без подогрева. Установка подогрева нефти работает по двухконтурной схеме (см. рисунок 3). Первый контур (греющий) – электронагреватели и теплообменник, второй контур – теплообменник и подогреваемый трубопровод.

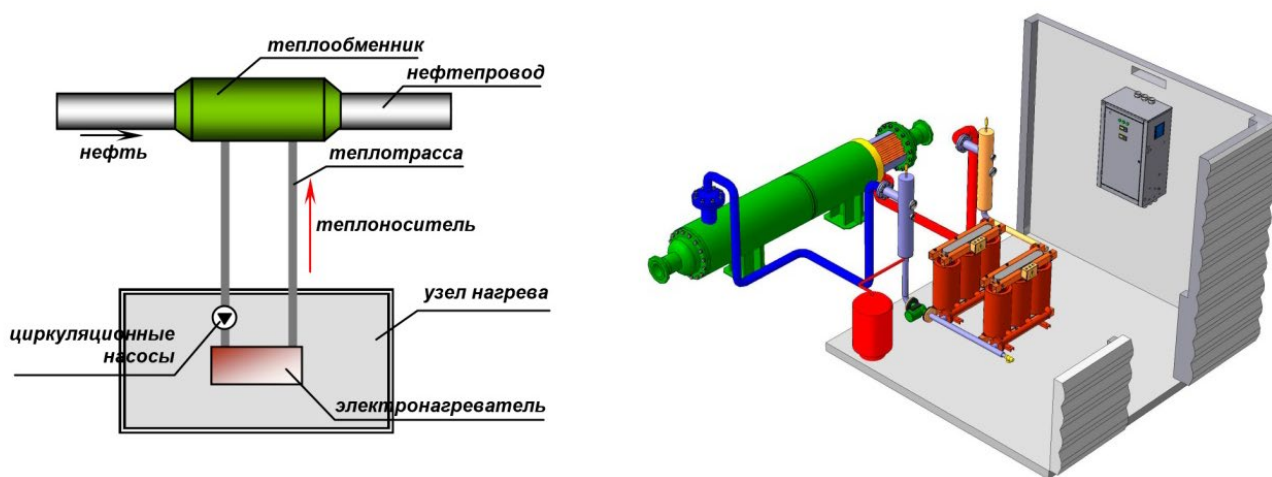


Рис. 3 – Схема установки подогрева нефти

Нагрев трубопровода (резервуара, емкости) осуществляется промежуточным теплоносителем через теплообменник. В качестве теплоносителей при этом используют горячую воду, водяной пар, электроэнергию и горячие газы и нефтепродукты. Самым распространённым является водяной пар, так как он не является пожароопасным, обладает хорошей теплоотдачей, имеет маленький вес и легко транспортируется. В качестве теплообменного устройства могут быть использованы два вида теплообменников:

1) кожухотрубчатый с винтовыми перегородками (для установок мощностью от 100 кВт и выше) – нагрев в нефтепроводах;

2) пластинчатый разборный (для установок мощностью до 100 кВт) – нагрев/подогрев в резервуарах, емкостях.

Особенностью теплообменника с винтовыми перегородками является более высокая эффективность теплопередачи со стороны межтрубного пространства, меньшее гидравлическое сопротивление и способность к самоочистке [4]. Таким образом, для подогрева нефти при транспортировке возможно применение как пластинчатых, так и трубчатых аппаратов. Определяющим фактором является требуемая мощность.

Итак, мы рассмотрели некоторые этапы подготовки нефти: гидроочистку, ректификацию, сепарацию, обезвоживание и транспортировку. В результате можно прийти к выводу, что полный переход на использование пластинчатых теплообменников актуален только для процесса гидроочистки. При обезвоживании и транспортировке оба типа оборудования одинаково целесообразны. А для процессов ректификации и сепарации приемлемы кожухотрубные аппараты. Таким образом, расширение области использования пластинчатых теплообменников в нефтедобывающей промышленности пока весьма ограничено. Это обусловлено техническими характеристиками оборудования. Возможно, при дальнейшем совершенствовании и улучшении некоторых параметров (таких как максимальное давление и максимальная температура) они могут стать альтернативой используемым теплообменникам.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Теплообменники для нефтяной и газовой промышленности [Электронный ресурс]// ТЕПЛОПРОФИ. URL: <https://www.teploprofi.com/teploobmenniki-neftyanoi-promyshlennosti/> (дата обращения 18.04.2020).
2. Булыгин Ю.А. Теплообменные аппараты в нефтегазовой промышленности: курсовое проектирование: Учебное пособие/ Ю.А. Булыгин, С.С. Баранов. – Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2015 - 100 с.



3. Гидроочистка [Электронный ресурс]// Petrodigest.ru. URL: <https://petrodigest.ru/info/refining/secondary/hydrotreating> (дата обращения 18.04.2020).
4. Установка гидроочистки [Электронный ресурс]// proНПЗ.Нефтепереработка. URL: <https://pronpz.ru/ustanovki/gidroochistka.html> (дата обращения 18.04.2020).
5. Теплообменники: история развития производства [Электронный ресурс]// ТЕПЛОХИМ. URL: <https://teplohimvrn.ru/teploobmenniki-istoriya-razvitiya-pro-3/> (дата обращения 18.04.2020).
6. Ректификация нефти [Электронный ресурс]// Нефтегазовый портал Neft-product.ru. URL: [https://www.neft-product.ru/info\\_detail-110.html](https://www.neft-product.ru/info_detail-110.html) (дата обращения 18.04.2020).
7. Сырьё для производства топлив и смазочных материалов [Электронный ресурс]// StudFiles. URL: <https://studfile.net/preview/7513619/page:2/> (дата обращения 18.04.2020).
8. СЕПАРАЦИЯ НЕФТИ [Электронный ресурс]// СТУДЕНЧЕСКАЯ БИБЛИОТЕКА. URL: <https://students-library.com/library/read/49426-separacia-nefti> (дата обращения 18.04.2020).
9. Подогрев нефтепродуктов в резервуарах [Электронный ресурс]// СПЕЦНЕФТЕМАШ. URL: <https://snmash.ru/articles/182-podogrev-nefteproduktov-v-rezervuarakh.html> (дата обращения 18.04.2020).

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

1. Teploobmenniki dlja neftjanoy i gazovoy promyshlennosti [Heat exchangers for the oil and gas industry] [Electronic resource]// TEPLOPROFI. URL: <https://www.teploprofi.com/teploobmenniki-neftyanoi-promyshlennosti/> (accessed: 18.04.2020). [in Russian]
2. Bulygin Yu.A. Teploobmennye apparaty v neftegazovoy promyshlennosti: kursovoe proektirovanie: Uchebnoe posobie [Heat exchangers in the oil and gas industry: course design: Textbook] / Yu.A. Bulygin, S.S. Rams. - Voronezh: FSBEI HPE "Voronezh State Technical University", 2015 - 100 p.
3. Gidroochistka [Hydrotreating] [Electronic resource]// Petrodigest.ru. URL: <https://petrodigest.ru/info/refining/secondary/hydrotreating> (accessed: 18.04.2020). [in Russian]
4. Ustanovka gidroochistki [Hydrotreating unit] [Electronic resource] // proNPZ.Нефтепереработка. URL: <https://pronpz.ru/ustanovki/gidroochistka.html> (accessed: 18.04.2020). [in Russian]
5. Teploobmenniki: istoriya razvitiya proizvodstva [Heat exchangers: the history of the development of production] [Electronic resource] // TEPLOCHIM. URL: <https://teplohimvrn.ru/teploobmenniki-istoriya-razvitiya-pro-3/> (accessed: 18.04.2020). [in Russian]
6. Rektifikacija nefti [Rectification of oil] [Electronic resource] // Oil and gas portal Neft-product.ru. URL: [https://www.neft-product.ru/info\\_detail-110.html](https://www.neft-product.ru/info_detail-110.html) (accessed: 18.04.2020). [in Russian]
7. Syr'jo dlja proizvodstva topliv i smazochnyh materialov [Raw materials for the production of fuels and lubricants] [Electronic resource] // StudFiles. URL: <https://studfile.net/preview/7513619/page:2/> (accessed: 18.04.2020). [in Russian]
8. SEPARACIJA NEFTI [OIL SEPARATION] [Electronic resource] // STUDENT LIBRARY. URL: <https://students-library.com/library/read/49426-separacia-nefti> (accessed: 18.04.2020). [in Russian]
9. Podogrev nefteproduktov v rezervuarah [Heating of oil products in tanks] [Electronic resource] // SPECNEFTEMASH. URL: <https://snmash.ru/articles/182-podogrev-nefteproduktov-v-rezervuarakh.html> (accessed: 18.04.2020). [in Russian]



DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.97.7.016>**ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ПРИ ОЦЕНКЕ ДАННЫХ  
БРОНХИАЛЬНОЙ АСТМЫ У ДЕТЕЙ**

Научная статья

**Шангареева З.А.<sup>1,\*</sup>, Уразбахтина Ю.О.<sup>2</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0001-8745-9989;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0001-7715-302X;<sup>1,2</sup> Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, Россия

\* Корреспондирующий автор (shangareeva2001[at]mail.ru)

**Аннотация**

С целью оценки диагностических возможностей нейронных сетей для своевременной диагностики обострения, степени тяжести и мониторинга уровня контроля бронхиальной астмы у детей в данной работе использовалась модель обучения трехслойной нейронной сети. Нами была разработана нейросетевая экспертная система, позволяющая тестировать данные детей с бронхиальной астмой (БА). Тестирование системы проводилось на 30% примеров от всей выборки детей с БА. На данном этапе исследования нами был предложен метод распознавания данных детей с БА при помощи нейросетевого классификатора. Определены значимые параметры, оказывающие наибольшее влияние на оценку данных БА. Тестовое прогнозирование показало 100% степень диагностических возможностей системы лишь для определения периода заболевания.

**Ключевые слова:** нейронные сети, диагностика, бронхиальная астма, дети, степень тяжести бронхиальной астмы, уровень контроля бронхиальной астмы.

**APPLICATION OF NEURAL NETWORK IN DATA ASSESSMENT  
ON BRONCHIAL ASTHMA IN CHILDREN**

Research article

**Sangareeva Z.A.,<sup>1,\*</sup>, Urazbakhtin Yu.O.<sup>2</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0001-8745-9989;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0001-7715-302X;<sup>1,2</sup> Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russia

\* Corresponding author (shangareeva2001[at]mail.ru)

**Abstract**

In this work, the authors used the three-layer neural network training model to assess the diagnostic capabilities of neural networks for timely diagnosis of exacerbation and severity as well as for monitoring and controlling the bronchial asthma rate in children. They developed a neural network expert system that allows testing the data of children with bronchial asthma (BA). This system was tested on 30% of examples from the entire sample of children with AD. At this stage of the study, the authors proposed the method for recognizing data from children with AD using a neural network classifier. Significant parameters that have the greatest impact on the assessment of BA data were determined in this study. Test prediction showed a 100% degree of diagnostic capabilities of the system only in terms of determining the disease period.

**Keywords:** neural networks, diagnostics, bronchial asthma, children, the severity of bronchial asthma, level of control of bronchial asthma.

**Введение**

На современном этапе развития медицины важны возможности быстрого анализа большого числа данных для принятия верного решения, которое может повлиять на характер течения и исходы заболевания [1], [2]. Сложность прогнозирования диагноза и выбора тактики лечения довольно высока за счет субъективных оценок врача, основанных на его личном опыте. В этой связи пристальное внимание уделяется информационным технологиям, в том числе с применением нейронных сетей [1], [2], [3]. Способность принимать решения, выявляя скрытые закономерности при обработке и учёте многочисленных данных – это основное преимущество нейронных сетей в медицине. [1].

Современная классификация БА у детей основана на этиологии, степени тяжести и ответа на терапию, периода болезни [4], [5]. По этиологии выделяют atopическую и неатопическую БА. Среди детей встречается преимущественно atopическая БА. Клинико-функциональные показатели заболевания (количество дневных и ночных приступов в течение дня и недели, частота применения короткодействующих  $\beta_2$ -адреномиметиков, данные результатов ОФВ<sub>1</sub> и ПСВ с суточной вариабельностью) лежат в основе классификации БА по степени тяжести. Уровень контроля БА отражает ответ на проводимую терапию и должен периодически пересматриваться [4], [5]. По периоду болезни различают обострение (эпизоды нарастания респираторных симптомов) и ремиссию (отсутствие симптомов заболевания на фоне отмены базисной терапии) [4], [5].

Проблема своевременной диагностики БА – одна из наиболее актуальных в современной педиатрии [4], [6], [10]. Частота ошибочных диагнозов при БА по данным разных авторов составляет от 5 до 60% [6], [10]. Диагностика БА из-за высокой вариабельности клиническо-лабораторных показателей вызывает затруднения у практических врачей и приводит к ошибкам [4]. Таким образом, в практике врача-аллерголога-иммунолога принято судить о наличии обострения, степени тяжести и уровне контроля БА по оценке множества параметров и делать вывод на основании личного опыта.

По данным обучающей выборки трехслойная нейронная сеть может приобрести опыт врача-специалиста. Поиск закономерностей взаимодействия обучающих данных с предварительно известным результатом составляет основу процесса обучения. Кроме того, по итогам обучения системы возможно выявить наиболее значимые входные параметры

для оценки тяжести и уровня контроля БА у детей.

Цель исследования: оценка диагностических возможностей нейронных сетей для своевременной диагностики обострения, степени тяжести и мониторинга уровня контроля бронхиальной астмы (БА) у детей.

#### Методы и принципы исследования

Данные 872 детей с бронхиальной астмой (БА) составили выборку, описанную 171 входными параметрами, отражающих клиническую характеристику пациентов. Все пациенты были обследованы на базе аллергологического отделения Республиканской детской клинической больницы г Уфа по стандартному диагностическому алгоритму, позволяющему выбрать оптимальный метод лечения в зависимости от степени тяжести, уровня контроля заболевания.

Статистический анализ данных осуществлялся с помощью Автоматизированных нейронных сетей (Automated neural networks) статистического пакета Statistica 10,0 (StatSoft, США). Преимущества автоматизированных нейронных сетей в возможностях автоматического режима построения различных нейросетевых архитектур и регуляции их сложности с последующим сохранением наилучших из них.

В данной работе нами была использована популярная сетевая архитектура многослойного персептрона. В модели трехслойного персептрона с 1 скрытым слоем MLP 171-8-2 (см. рисунок 1) при определении периода заболевания первый входной слой состоял из 171 входного параметра, каждый из которых принимает значение соответствующей координаты входного вектора  $x$ . Второй скрытый слой состоял из 8 узлов. Третий выходной слой состоит из 2 узлов. Каждый из выходных узлов соответствует одному из двух классов (диагнозов). Для определения степени тяжести БА в модели трехслойного персептрона MLP 170-8-3 (см. рисунок 2) входной слой состоял из 170 входных параметров, второй – из 8 узлов, третий – из 3 узлов, соответствующего одному из 3 классов (диагнозов). Уровень контроля БА определяли в модели трехслойного персептрона MLP 169-12-4 (см. рисунок 3), входной слой которой состоял из 169 входных параметров, второй – из 12 узлов, третий – из 4 узлов, соответствующего одному из 4 классов (диагнозов).

Обучение нейронной сети проводилось на 70% примеров выборки, а затем тестировались на контрольной (15%) и тестовой (15%) группах.

Каждый пример имеет выходной параметр от двух до четырех «классов», представляющий заранее известный результат (отсутствие или наличие обострения, степень тяжести, уровень контроля заболевания). При определении периода заболевания количество примеров 1 класса составили 773 ребенка в периоде ремиссии, а 2 класса – 99 детей с обострением БА (см. рисунок 1).

По степени тяжести количество примеров 1 класса составили 572 ребенка с легкой персистирующей БА, 2 класса – 237 ребенка со среднетяжелой персистирующей БА, и 3 класса – 60 детей с тяжелой персистирующей БА (см. рисунок 2).

По уровню контроля над заболеванием количество примеров 1 класса составили 473 ребенка с контролируемой БА, 2 класса – 279 детей с частично-контролируемой БА, 3 класса – 61 ребенок с неконтролируемой БА и 4 класса – 99 детей с обострением БА (см. рисунок 3).

#### Основные результаты и обсуждение

Тестирование системы проводилось на 30% примеров от всей выборки детей с БА. Все предложенные примеры обострения нейронная сеть определила правильно (100%) (см. рисунок 1, 2).

period (Итоги классификации) (БА для нейросети var 4) Выборки: Обучающая, Тестовая, Тестовая				
		period-1	period-2	period-Bce
7.MLP 171-8-2	Все	773,0000	99,0000	872,0000
	Правильно	773,0000	99,0000	872,0000
	Неправильно	0,0000	0,0000	0,0000
	Правильно (%)	100,0000	100,0000	100,0000
	Неправильно (%)	0,0000	0,0000	0,0000

Рис. 1 – Итоги классификации нейронной сети по периоду бронхиальной астмы у детей

Итоги моделей (БА для нейросети var 4)								
N	Архитектура	Производительность обуч.	Контр. производительность	Тест. производительность	Алгоритм обучения	Функция ошибки	Ф-я актив. скрытых нейр.	Ф-я актив. выходных нейр.
7	MLP 171-8-2	100,0000	100,0000	100,0000	BFGS 3	Энтропия	Тождественная	Софтмакс

Рис. 2 – Итоги моделей нейронной сети по периоду бронхиальной астмы у детей

При определении степени тяжести заболевания нейросеть хуже всего различала тяжелую степень БА (5%). Среднюю и легкую степени тяжести БА нейронная сеть определила правильно на 53% и 92%, соответственно (см. рисунок 3, 4).

persistent (Итоги классификации) (БА для нейросети var 4) Выборки: Обучающая, Тестовая, Тестовая					
		persistent-1	persistent-2	persistent-3	persistent-Bce
7.MLP 170-8-3	Все	575,0000	237,0000	60,00000	872,0000
	Правильно	531,0000	126,0000	3,00000	660,0000
	Неправильно	44,0000	111,0000	57,00000	212,0000
	Правильно (%)	92,3478	53,1646	5,00000	75,6881
	Неправильно (%)	7,6522	46,8354	95,00000	24,3119

Рис. 3 – Итоги классификации нейронной сети по степени тяжести бронхиальной астмы у детей

Итоги моделей (БА для нейросети вар 4)								
N	Архитектура	Производительность обуч.	Контр. производительность	Тест. производительность	Алгоритм обучения	Функция ошибки	Ф-я актив. скрытых нейр.	Ф-я актив. выходных нейр.
1	MLP 170-8-3	80,06536	75,38462	78,46154	BFGS 16	Энтропия	Логистическая	Софтмакс

Рис. 4 – Итоги моделей нейронной сети по степени тяжести бронхиальной астмы у детей

Хуже всего нейронная сеть различает неконтролируемую БА у детей (27%). Частично-контролируемую и контролируемую БА нейросеть определила правильно в 48% и 88% случаев, соответственно. Период обострения нейронная сеть определила правильно на 100% (см. рисунок 5, 6).

controll (Итоги классификации) (БА для нейросети вар 4)						
Выборки: Обучающая, Тестовая, Тестовая						
		controll-1	controll-2	controll-3	controll-4	controll-Все
7.MLP 169-12-4	Все	473,0000	239,0000	61,00000	99,0000	872,0000
	Правильно	417,0000	115,0000	17,00000	99,0000	648,0000
	Неправильно	56,0000	124,0000	44,00000	0,0000	224,0000
	Правильно (%)	88,1607	48,1172	27,86885	100,0000	74,3119
	Неправильно (%)	11,8393	51,8828	72,13115	0,0000	25,6881

Рис. 5 – Итоги классификации нейронной сети по уровню контроля бронхиальной астмы у детей

Итоги моделей (БА для нейросети вар 4)								
N	Архитектура	Производительность обуч.	Контр. производительность	Тест. производительность	Алгоритм обучения	Функция ошибки	Ф-я актив. скрытых нейр.	Ф-я актив. выходных нейр.
1	MLP 169-12-4	82,51634	73,07692	62,30769	BFGS 37	Сум. квадр.	Гиперболическая	Гиперболическая

Рис. 6 – Итоги моделей нейронной сети по уровню контроля бронхиальной астмы у детей

К сожалению, наличие пропущенных значений, высокая вариабельность номинальных характеристик и большой объем количественных переменных создают дополнительные проблемы в работе нейронной сети и искажают выходной результат. Нередко при подготовке данных на качество полученного результата влияет субъективность человека-эксперта. Поэтому полученные результаты не всегда однозначны и требуют критичного отношения.

Математические алгоритмы решения задач диагностики сходной проблематики ранее рассматривались в ряде работ. Так, в исследовании Якуниной М.В. с соавторами была предложена модель классификации на основе методов дискриминантного анализа [11]. Однако «размытость» границ между классами приводит к ограниченности моделей подобного типа применительно к рассматриваемой задаче.

Алгоритм классификации в задаче определения уровня контроля БА в ряде работ был построен на основе искусственных нейронных сетей, а «нечеткость» модели достигалась за счет создания дополнительного скрытого слоя, функции активации которого являются функциями принадлежности к тому или иному классу [12], [13].

Пихтовникова И.В. с соавторами была предложена модель определения уровня контроля БА на основе нейро-нечеткой сети, а также реализация данной модели в аналитической платформе Deductor Academic [14]. Была использована искусственная нейронная сеть на основе многослойного персептрона с двумя скрытыми слоями с применением алгоритма обучения Back Propagation. Согласно результатам авторов работы из обучающего множества было распознано 100% примеров (92 из 92 записей), из тестового - 94% (15 из 16 записей). Обученная нейросеть в дальнейшем была способна оценивать уровень контроля БА для новых случаев с помощью встроенного инструмента «Что если?» [14].

Таким образом, дальнейшее усложнение архитектуры нейронной сети, возможно, позволит повысить эффективность созданной нами нейронной системы в сравнении с уже описанными в литературе. Представленные результаты позволяют сделать вывод о перспективности данного направления в решении рассматриваемой задачи.

#### Заключение

На данном этапе исследования нами была разработана нейросетевая экспертная система, позволяющая тестировать данные детей с бронхиальной астмой. Были определены значимые параметры, оказывающие наибольшее влияние на оценку данных БА. При тестовом прогнозировании диагностические возможности системы составили 100% лишь для определения периода обострения заболевания. Для устранения ошибок системы нам предстоит продолжить исследование с целью минимизировать воздействия субъективного фактора на конечный результат работы, возможно, за счет усложнения архитектуры сети.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References:

1. Волчек Ю. А. Положение модели искусственной нейронной сети в медицинских экспертных системах / Ю.А. Волчек, О.Н. Шишко, О.С. Спиридонова, Т.В. Мохорт // *Juvenis scientia. Медицинские науки.* – 2017. – № 9. – С. 4-9.
2. Гусев А.В. Перспективы нейронных сетей и глубокого машинного обучения в создании решений для здравоохранения / А.В. Гусев // *Врач и информационные технологии.* – 2017. – №3. – С.92-105.

3. Гусев А.В. Тренды и прогнозы развития медицинских информационных систем в России / А.В. Гусев, М.А. Плисс, М.Б. Левин, Р.Э. Новицкий // Врач и информационные технологии. – 2019. – №2. – С. 38-49.
4. Геппе Н.А. Значение современных руководств в улучшении мониторингования и лечения бронхиальной астмы у детей (обзор). / Н.А. Геппе, Н.Г. Колосова // Вестник Смоленской государственной медицинской академии. – 2017. – №3. – С.165–172.
5. Российское респираторное общество; Педиатрическое респираторное общество; Федерация педиатров стран СНГ. Национальная программа «Бронхиальная астма у детей. Стратегия лечения и профилактика». 5-е изд., переработанное и дополненное М.; 2017. – 160 с.
6. Файзуллина Р.М. Компьютерные технологии для своевременной диагностики бронхиальной астмы у детей / Р.М. Файзуллина, Н.В. Самигуллина // Доктор. Ру. – 2019. № 5 (160). – С. 52–56.
7. Овсянников Д.Ю. Гетерогенность бронхообструктивного синдрома и бронхиальной астмы у детей: трудности диагностики / Д.Ю. Овсянников, А.М. Болибок, М. Халед [и др.] // Трудный пациент. – 2017. – №1-2. – С. 43-52.
8. Зайцева О.В. Вирусиндуцированная бронхиальная астма у детей: значение системы интерферона / О.В. Зайцева, Э.Э. Локшина, С.В. Зайцева [и др.] // Педиатрия. – 2017. – №2. – С. 99–103.
9. Иванова Н.А. Рецидивирующая обструкция бронхов и бронхиальная астма у детей первых пяти лет жизни / Н.А. Иванова // Российский вестник перинатологии и педиатрии. – 2016. – Том 61. №5. – С. 64–72.
10. Овсянников Д.Ю. Трудности и ошибки диагностики и терапии бронхиальной астмы у детей / Д.Ю. Овсянников // Медицинский совет. – 2017. – №1. – 100–105.
11. Якунина М.В. Автоматизированный дневник самоконтроля как средство мониторинга состояния пациента с БА / М.В. Якунина, Е.П. Хрыкина // Математическое и информационное моделирование. Сборник научных трудов, электронный ресурс. Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета. – 2013. – Вып. 13. – С. 295 – 299.
12. Безруков Н.С. Автоматизированная система "Medical Toolbox" для диагностики бронхиальной астмы по показателям реоэнцефалографии / Н.С. Безруков, Е.Л. Еремин, Е.В. Ермакова [и др.] // Медицинская информатика. – 2006. – № 1. – Стр. 73-80.
13. Безруков Н.С. Построение и моделирование адаптивной нейро-нечеткой системы в задаче медицинской диагностики / Н.С. Безруков, Е.Л. Еремин // Медицинская информатика. 2005. № 2. Стр. 36-46.
14. Пихтовникова И.В. Применение искусственных нейронных сетей к задаче определения уровня контроля бронхиальной астмы. / И.В. Пихтовникова, М.С. Цыганова // Математическое и информационное моделирование. Сборник научных трудов, электронный ресурс. Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета. – 2018. – Вып. 16. – С. 221 - 229.

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

1. Volchek Ju. A. Polozhenie modeli iskusstvennoj nejronnoj seti v medicinskih jekspertnyh sistemah [Position of the artificial neural network model in medical expert systems] / Ju.A. Volchek, O.N. Shishko, O.S. Spiridonova, T.V. Mohort // Juvenis scientia. Medicinskie nauki [Juvenis scientia. Medical sciences]. – 2017. – № 9. – P. 4–9. [in Russian].
2. Gusev A.V. Perspektivy nejronnyh setej i glubokogo mashinnogo obuchenija v sozdanii reshenij dlja zdrazvoohranenija [Prospects for neural networks and deep machine learning in creating solutions for healthcare] / A.V. Gusev // Vrach i informacionnye tehnologii [Doctor and information technology]. – 2017. – №3. – P. 92–105. [in Russian].
3. Gusev A.V. Trendy i prognozy razvitiya medicinskih informacionnyh sistem v Rossii [Trends and forecasts for the development of medical information systems in Russia] / A.V. Gusev, M.A. Pliss, M.B. Levin, R.Je. Novickij // Vrach i informacionnye tehnologii [Doctor and Information Technologies]. – 2019. – №2. – P. 38–49. [in Russian].
4. Gepe N.A. Znachenie sovremennyh rukovodstv v uluchshenii monitorirovaniya i lecheniya bronhial'noj astmy u detej (obzor) [The importance of modern guidelines in improving monitoring and treatment of bronchial asthma in children (review)] / N.A. Gepe, N.G. Kolosova // Vestnik Smolenskoj gosudarstvennoj medicinskoj akademii [ Bulletin of the Smolensk State Medical Academy]. – 2017. – №3. – P.165–172. [in Russian].
5. Rossijskoe respiratornoe obshhestvo; Pediatricheskoe respiratornoe obshhestvo; Federacija pediatrov stran SNG. Nacional'naja programma «Bronhial'naja astma u detej. Strategija lechenija i profilaktika». 5-e izd., pererab. I dop. M. [Russian Respiratory Society; Pediatric Respiratory Society; Federation of pediatricians of the CIS countries. National program "Bronchial asthma in children. Treatment Strategy and Prevention" 5th ed., Revised. And add. M]; 2017 – 160 p. [in Russian].
6. Fajzullina R.M. Komp'juternye tehnologii dlja svoevremennoj diagnostiki bronhial'noj astmy u detej [Computer technologies for timely diagnosis of bronchial asthma in children] / R.M. Fajzullina, N.V. Samigullina // Doktor. Ru [Doctor. RU]. – 2019. № 5(160). – P. 52–56. [in Russian].
7. Ovsjannikov D.Ju. Geterogennost' bronhoobstruktivnogo sindroma i bronhial'noj astmy u detej: trudnosti diagnostiki [Heterogeneity of bronchial obstructive syndrome and bronchial asthma in children: difficulties in diagnosis] / D.Ju. Ovsjannikov, A.M. Bolibok, M. Haled [and others] // Trudnyj pacient [Difficult patient]. – 2017. – №1-2. – P. 43–52. [in Russian].
8. Zajceva O.V. Virusinducirovannaja bronhial'naja astma u detej: znachenie sistemy interferona [Virus-induced bronchial asthma in children: the importance of the interferon system] / O.V. Zajceva, Je.Je. Lokshina, S.V. Zajceva [and others] // Pediatrija. [Pediatrics]. – 2017. – №2. – P. 99–103. [in Russian].
9. Ivanova N.A. Recidivirujushhaja obstrukcija bronhov i bronhial'naja astma u detej pervyh pjati let zhizni. [Recurrent bronchial obstruction and bronchial asthma in children of the first five years of life] / N.A. Ivanova // Rossijskij vestnik perinatologii i pediatrii. [Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics]. – 2016. – Tom 61. №5. – P. 64–72. [in Russian].
10. Ovsjannikov D.Ju. Trudnosti i oshibki diagnostiki i terapii bronhial'noj astmy u detej [Difficulties and errors of diagnosis and therapy of bronchial asthma in children] / D.Ju. Ovsjannikov // Medicinskij sovet [Medical Council]. – 2017. – №1. – P. 100–105. [in Russian].

11. Jakunina M.B. Avtomatizirovannyj dnevnik samokontrolja kak sredstvo monitoringa sostojanija pacienta s BA [Automated self-monitoring diary as a means of monitoring the condition of a patient with BA] / M.B. Jakunina, E.P. Hrychkina. // Matematicheskoe i informacionnoe modelirovanie. Sbornik nauchnyh trudov, jelektronnyj resurs. Tjumen': Izdatel'stvo Tjumenskogo gosudarstvennogo universiteta [Mathematical and information modeling. Collection of scientific papers, electronic resource. Tyumen: Publishing House of the Tyumen State University]. – 2013. – Issue. 13. – P. 295 - 299. [in Russian].

12. Bezrukov N.S. Avtomatizirovannaja sistema "Medical Toolbox" dlja diagnostiki bronhial'noj astmy po pokazateljam reoencefalografii [Automated system "Medical Toolbox" for the diagnosis of bronchial asthma according to rheoencephalography] / N.S. Bezrukov, E.L. Eremin, E.V., Ermakova [and others] // Medicinskaja informatika [Medical Informatics]. – 2006. – № 1. – P. 73-80. [in Russian].

13. Bezrukov N.S. Postroenie i modelirovanie adaptivnoj nejro-nechetkoj sistemy v zadache medicinskoj diagnostiki [Construction and modeling of adaptive neuro-fuzzy systems in the problem of medical diagnostics] / N.S. Bezrukov, E.L. Eremin // Medicinskaja informatika [Medical Informatics]. 2005. № 2. P. 36-46. [in Russian].

14. Pihtovnikova I.V. Primenenie iskusstvennyh neyronnyh setej k zadache opredelenija urovnja kontrolja bronhial'noj astmy [The use of artificial neural networks to the task of determining the level of control of bronchial asthma] / I.V. Pihtovnikova, M.S. Cyganova // Matematicheskoe i informacionnoe modelirovanie. Sbornik nauchnyh trudov, jelektronnyj resurs. Tjumen': Izdatel'stvo Tjumenskogo gosudarstvennogo universiteta [Mathematical and Information Modeling. Collection of scientific papers, electronic resource. Tyumen: Publishing House of the Tyumen State University]. – 2018. – Issue. 16. – P. 221 - 229. [in Russian].

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.97.7.017>

## СОСТОЯНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ПЕРВИЧНОГО АЛЮМИНИЯ НА НАЧАЛО 2020 ГОДА

Обзорная статья

Шестаков А.К.<sup>1, \*</sup>, Садыков Р.М.<sup>2</sup>, Петров П.А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-5448-2995;

<sup>2</sup> ORCID: 0000-0001-9008-4006;

<sup>3</sup> ORCID: 0000-0002-2883-9823;

<sup>1, 2, 3</sup> Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

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

### Аннотация

В статье отображены текущее состояние алюминиевой промышленности по объемам производства и динамика роста стран – лидеров по производству алюминия, а также статистические данные по объемам производства к началу 2020 года по регионам мира, по странам и по основным предприятиям – производителям. Приводятся оценочные сведения о влиянии распространения COVID-19 на алюминиевую промышленность.

Рассмотрены новейшие и перспективные направления, разработки, а также существующие проблемы в области первичного производства алюминия на начало 2020 года.

**Ключевые слова:** производство алюминия, статистика производства алюминия, состояние алюминиевой промышленности, инертные аноды, низковольтный анодный эффект, энергоэффективность, электричество, загрязнение окружающей среды.

## STATE OF PRIMARY ALUMINUM PRODUCTION INDUSTRY AT BEGINNING OF 2020

Review article

Shestakov A.K.<sup>1, \*</sup>, Sadykov R.M.<sup>2</sup>, Petrov P.A.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-5448-2995;

<sup>2</sup> ORCID: 0000-0001-9008-4006;

<sup>3</sup> ORCID: 0000-0002-2883-9823;

<sup>1, 2, 3</sup> St. Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russia

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

### Abstract

The paper considers the current state of the aluminum industry in terms of production and growth dynamics in the aluminum production leading countries, as well as statistical data on production volumes by the beginning of 2020 by region of the world, by state, and by the main enterprise-producer. The estimated information is provided on the impact of the spread of COVID-19 on the aluminum industry.

The latest promising areas, developments, as well as existing problems in the field of primary aluminum production at the beginning of 2020 are considered as well.

**Keywords:** aluminum production, aluminum production statistics, state of the aluminum industry, inert anodes, low voltage anode effect, energy efficiency, electricity, environmental pollution.

### Введение

На момент написания статьи еще рано подводить итоги и сложно давать уверенные долгосрочные прогнозы о том, как скажутся на мировой экономике и промышленности сильные потрясения первой половины 2020 года, связанные с распространением COVID-19 и введением ряда вынужденных ограничительных мер, призванных к сдерживанию распространения коронавирусной инфекции, таких как массовая приостановка работ предприятий. Несмотря на все вышесказанное, маловероятно, что в будущем, в среднесрочной перспективе, произойдет значительное снижение спроса на первичный алюминий, хотя некоторые аналитические агентства в краткосрочной перспективе ожидают снижения и мирового спроса на алюминий до 5,4% в 2020 году [1].

### Основная часть

В 2019 году по всему миру было произведено 63,697 млн т первичного алюминия. Рост совокупного годового мирового производства за десятилетие составил более чем в 1,5 раза (прирост 21 млн т, за 2010 год производительность равнялась 42,353 млн т) [2]. Для того чтобы следить за применяемыми передовыми технологиями в алюминиевой промышленности, следует знать лидеров рынка, а значит необходимо произвести анализ основных стран и компаний – производителей алюминиевой промышленности.

На рисунке 1 представлены регионы мира с указанием объема производства первичного алюминия за 2019 г.



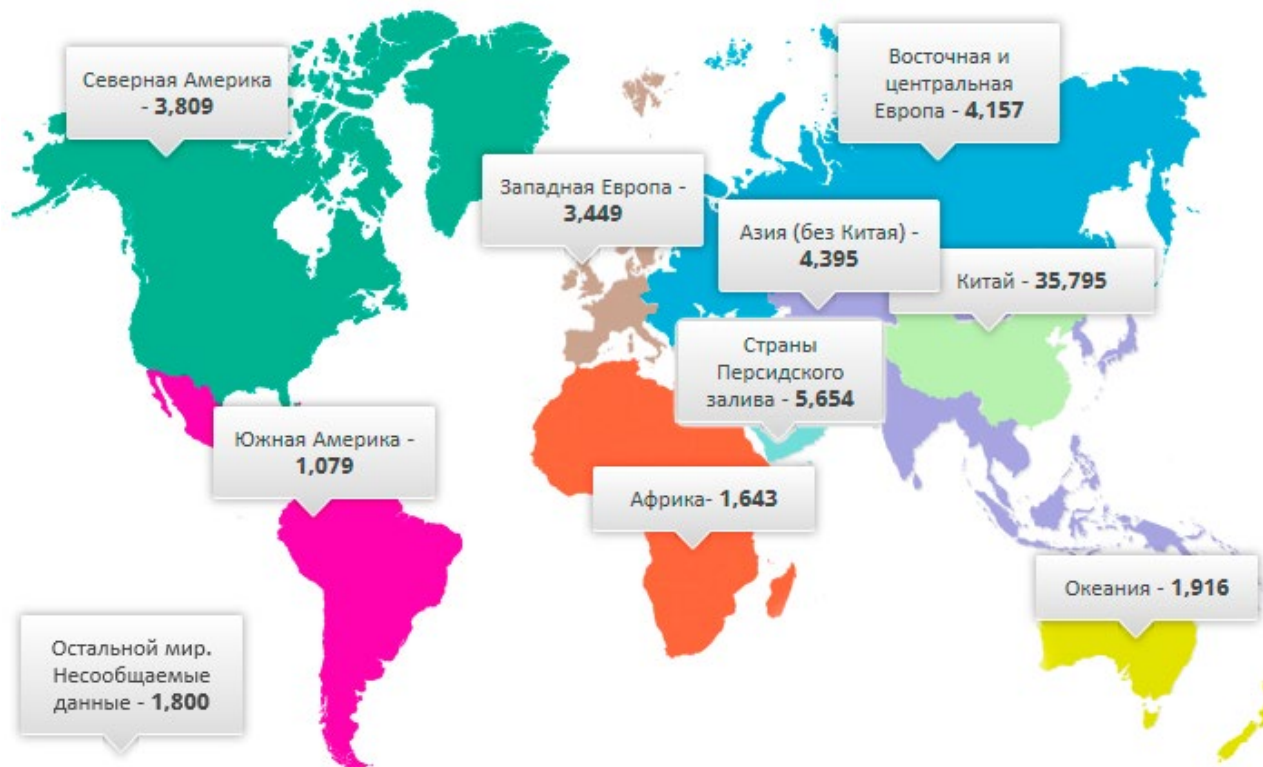


Рис. 1 – Объем производства первичного алюминия по миру за 2019 год, млн т по регионам мира [2]

С августа 2003 года по начало 2020 года лидером по производству первичного алюминия остается Китай, опережая ближайших конкурентов из стран Персидского залива в 6,5 раз по совокупному производству количества млн т алюминия в год. На Китай приходится более половины мирового производства первичного алюминия. Между тем, начиная с 2017 года, производительность Китая в алюминиевой промышленности вышла на «плато» и на 2019 год составляла 36 млн т в год [2].

На рисунке 2 отображены ведущие мировые компании по производству первичного алюминия в 2019 году, исходя из объема производства (млн т) [3].

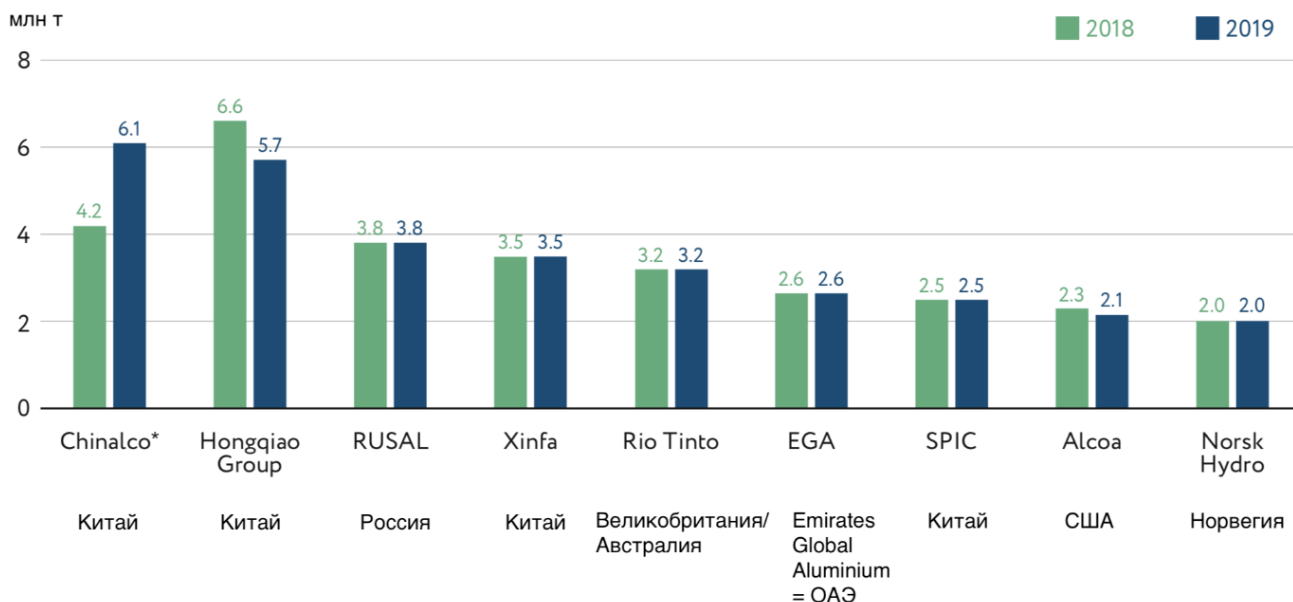


Рис. 2 – Ведущие мировые компании производители первичного алюминия в 2018 – 2019 годах [3]

Основными производителями первичного алюминия Китая являются компании Chinalco, Hongqiao Group, Xinfa, а также SPIC.

Китайские компании, в основном, используют электролизеры конструкции PFPB – электролизеры с точечными питателями и обожженными анодами. Большинство китайских электролизеров не оборудованы системами автоматической ликвидации (гашения) АЭ (анодных эффектов) [6].

Страны Персидского залива, занимающие второе место по производству алюминия, за 2019 год произвели 5,7 млн т алюминия. С 2014 года этот регион стал вторым производителем первичного алюминия в мире, обогнав Северную Америку. Ведущим и практически единственным производителем алюминия является компания EGA (Emirates Global Aluminium, расположенная в ОАЭ), образованная в результате слияния в 2013 году двух компаний – DUBAL (Dubai

Aluminum, образована в 1975) и EMAL (Emirates Aluminium, образована в 2007). На данном предприятии используются электролизеры серии DX и DX+, конструкции PFPB. Новейшие электролизеры оборудованы системой автоматического предотвращения анодных эффектов [3].

Третье место делят между собой Азиатский регион и Восточная и Центральная Европа, Северная Америка и Западная Европа (4,395; 4,157; 3,809 и 3,449 млн т в год соответственно) [2].

В России ведущим производителем является РУСАЛ. Основные тенденции российской компании – увеличение используемого числа сверхмощных электролизеров с обожженными анодами собственной разработки (РА-300, РА-400 и РА-550, см. таблицу 1). Следующая цель – создание электролизера мощностью 700 кА [5].

Серии электролизеров РА-300 были внедрены на Хакасском и Богословском алюминиевых заводах. РА-400 и РА-550 планируется использовать в качестве основных на строящемся с 2008 года Тайшетском алюминиевом заводе.

Таблица 1 – Технические характеристики сверхмощных электролизеров серии РА [5]

Параметр	РА-300	РА-400	РА-550
Сила тока (ток), кА	320	440	545
Выход по току, %	94,5	95,0	95,5
Потребление (потребляемая мощность), кВт/т	<13700	<13300	<12900
Выбросы ПФУ, кг/т	0,26	0,25	0,20

Конструкция новейшего электролизера РА-550 отличается модульностью и новым исполнением ошиновки: ток подается с двух сторон для более эффективной компенсации магнитных полей и улучшения МГД-стабильности.

РУСАЛ поэтапно внедряет собственную разработку системы видеомониторинга «Экологджист» (см. рисунок 3), предназначенную для автоматического наблюдения за выбросами в окружающую среду и за состоянием электролизеров. Система тестируется на КРАЗе на 5 и 6 сериях верхнего токоподвода (VSS).

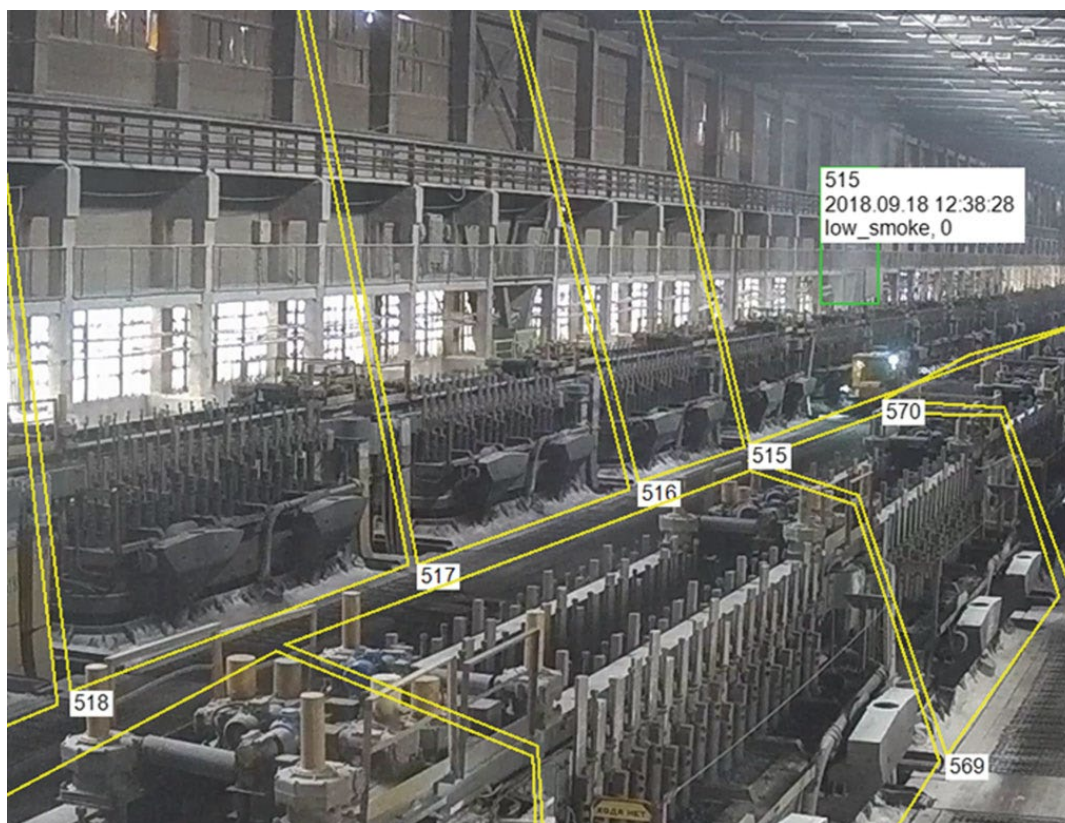


Рис. 3 – Пример работы видеосистемы «Экологджист»

Компания занимается модернизацией электролизеров Содерберга с верхним токоподводом, направленной на повышение экологичности производства и снижения вредных выбросов в окружающую среду. Данная технология получила название «ЭкоСодерберг». Её реализация включает в себя двухступенчатую газоочистную установку «сухая + мокрая», позволяющую улавливать не только перфторуглероды (ПФУ), но и сернистый газ ( $\text{SO}_2$ ). При использовании данной технологии эффективность удаления соединений фтора может достигать 97,5%. Во всем мире только единичные заводы оборудованы подобными комплексными газоочистками. На начало 2019 года компания переоснастила часть своих электролизеров (см. рисунок 4) [5]. Компания утверждает, что внедрение данной технологии позволит существенно снизить уровень выбросов до сравнимого с уровнем выбросов от электролизеров с обожженными анодами.





Рис. 4 – Процент электролизеров с системой ЭкоСодерберг на заводах РУСАЛа от общего числа на 2019 год [5]

Одним из перспективных направлений в области снижения энергозатрат является борьба с анодными эффектами. В настоящее время выделяют высоковольтный (HVAE) и низковольтный (LVAE) анодные эффекты. Последний был обнаружен в середине 2000-х гг [6], [10]. В настоящее время известно, что такие события приводят к образованию выбросов перфторуглеродов с течением времени.

Перфторуглероды играют важную роль в образовании парниковых газов в производстве алюминия. Тетрафторметан ( $\text{CF}_4$ ) и гексафторэтан ( $\text{C}_2\text{F}_6$ ) образуются в процессе электролиза, когда в ячейке происходит вредное явление, называемое анодным эффектом. Этот эффект тесно связан с недостатком глинозема и распределением тока в электролизной ванне [10].

Низковольтный анодный эффект трудно обнаружить в ходе нормального процесса электролиза, и поэтому необходимы новые инструменты для прогнозирования этого события и минимизации его возникновения [7].

Неспособность восполнить концентрацию глинозема в электролите или последующая неспособность транспортировать этот насыщенный электролит в межполюсную зону приводит к анодным эффектам, явлению, когда пассивация анодов приводит к разложению других видов фтора, с образованием газов  $\text{CF}_4$  и  $\text{C}_2\text{F}_6$ . Кроме того, все больше данных свидетельствует о том, что тенденции к увеличению длины электролизных ванн порождают новые типы анодных эффектов, которые трудно обнаружить. Анодные эффекты не только приводят к потере энергии и потенциальной нестабильности в работе электролизеров, но и способствуют парниковому эффекту, так как сопутствующие выбросы ПФУ обладают высоким потенциалом глобального потепления [8], [9].

Современные электролизные ванны для производства алюминия используют технологию точечной подачи для восполнения глинозема по мере его потребления в электролитическом процессе. Поскольку увеличились размеры ванн и интенсивность процесса электролиза, стало труднее контролировать процесс растворения глинозема. Масса глинозема, добавляемого в единицу времени, теперь намного выше, чем десять лет назад, и должна размешиваться в меньшем объеме электролита.

Серьезной проблемой для алюминиевой промышленности являются выбросы вредных веществ в окружающую среду в ходе производства. В настоящее время из-за недостаточной автоматизации, ванны часто приходится разгерметизировать и открывать, что резко уменьшает количество собираемых газов и увеличивает количество выбросов, которые вредны как для работников предприятия, так и для окружающей среды.

Многообещающей технологией в алюминиевой промышленности является разработка, производство и применение инертных анодов. На данный момент о запуске собственных проектов по разработке инертных анодов заявили две компании: российский РУСАЛ и американская Alcoa.

В отличие от угольных анодов, инертный не должен сгорать. Без углерода не формируется углекислый газ. Таким образом, при использовании инертных анодов, в процессе электролитического восстановления алюминия выделяются алюминий и кислород [14].

В долгосрочной перспективе РУСАЛ надеется заменить свои VSS (Vertical Stud Soderberg) электролизеры на электролизеры с инертными анодами. В данной технологии отсутствуют выбросы полиароматических углеводородов, оксида углерода, а выбросы ПФУ будут меньше в 2 раза [5], по сравнению с современными электролизерами с обожженными угольными анодами, но нет информации, что данная технология уже достаточно разработана или хоть сколько-то готова к внедрению [12].

В Северной Америке компания Alcoa совместно с Rio Tinto, при поддержке правительства Канады, Квебека и компании Apple разрабатывает электролизеры с инертными анодами. Проект был анонсирован 10 мая 2018 года и

получил название ELYSIS. На разработку было выделено 188 миллионов долларов [11].

В настоящее время основным решением, обеспечивающим высокую производительность при производстве алюминия, является использование электролизеров с обожженными анодами (PFPB) и с точечной подачей глинозема.

Одним из направлений повышения объема производства первичного алюминия является увеличение размеров электролизных ванн и силы тока в единицу времени. Большая часть постепенного роста силы тока на существующих площадках сопровождается увеличением размера анода, которое, параллельно, приводит к уменьшению объема ванны и доступного для растворения глинозема объема электролита. Рост размера анода часто достигается увеличением длины анода по направлению к боковым стенкам электролизных ванн. Однако, в большинстве случаев, также уменьшается ширина центрального канала [15].

Увеличение размера анодов не только уменьшает общий объем ванны, но и заметно уменьшает и потенциальную частоту циркуляции в зонах растворения. Более того, рост цен на электроэнергию все больше заставляет металлургические предприятия ценить более высокую энергоэффективность, а не производительность. Энергоэффективность обычно достигается за счет снижения потребляемой мощности в ваннах.

Следующая тенденция в развитии технологии восстановления алюминия фокусируется на экономиях в масштабах благодаря строительству более крупных ванн, способных работать при большей силе тока [16]. С ростом размера ванн число точек питания увеличилось, но не пропорционально. Например, в технологии AP (Aluminum Pechiney) соотношение на одну точку питания за более чем 30 лет увеличилось от 50 кА на точку питания при мощности электролизной ванны 180 кА, к более чем 120 кА на точку питания при мощности ванны 600 кА. Это означает, что с ростом размера электролизера в зону питания должно быть подано больше глинозема в меньший объем электролита в единицу времени [15].

Новые разрабатываемые ванны мощностью более 500 кА пока ещё не могут достичь показателей эффективности менее маломощных ванн, как, например, затрат потребляемой мощности на тонну произведенного алюминия. С данной проблемой уже столкнулись многие производители. Например, Рио Тинто занимается разработкой и введением в эксплуатацию электролизеров модели APx с силой тока 500 кА параллельно AP60 с силой тока в 600 кА из-за лучших показателей энергоэффективности APx [4], [13].

Одним из перспективных направлений контроля процесса производства является автоматизация отбора проб электролита и других показателей состояния процесса производства первичного алюминия. Например, предлагается для этих целей модифицировать и использовать пробойник системы автоматической подачи глинозема АПГ/АПС [17].

#### Заключение

В статье приведена статистика объемов производства по регионам и по основным компаниям – производителям первичного алюминия за 2019 г. Указаны основные используемые технологии лидеров рынка, а также перспективные направления для развития производства.

Основными направлениями для развития алюминиевого производства являются: увеличение мощности электролизных ванн, борьба с анодными эффектами, системы по мониторингу основных технологических параметров, системы фильтрации вредных веществ, выделяющихся в процессе производства, а также разработка и внедрение инертных анодов.

Приведенные направления развития алюминиевого производства позволят повысить выход по току, повысить энергоэффективность, снизить себестоимость продукции, нарастить объемы производства, повысить безопасность на производстве, а также снизить негативное влияние на окружающую среду.

В условиях пандемии и карантинных мер также проявляется еще одна положительная сторона повышения уровня автоматизации производств – высокий уровень автоматизации позволит предприятию продолжить работу, не страдать от потерь от простоя и не нарушать цепочки поставок и производств других товаров, что увеличит стабильность экономики страны.

#### Конфликт интересов

Не указан

#### Conflict of Interest

None declared

#### Список литературы / References

1. The website of the International Aluminium Institute / An initial assessment of the impact of the covid-19 pandemic on global aluminium demand [Electronic resource] – URL: [http://www.world-aluminium.org/media/filer\\_public/2020/05/21/cm\\_c19\\_update\\_180520.pdf](http://www.world-aluminium.org/media/filer_public/2020/05/21/cm_c19_update_180520.pdf) (accessed: 10.05.2020).
2. The website of the International Aluminium Institute / Primary aluminium production [Electronic resource] – URL: <http://www.world-aluminium.org/statistics/primary-aluminium-production/#linegraph> (accessed: 10.05.2020).
3. Annual report 2019 from the website RUSAL [Electronic resource] – URL: <https://rusal.ru/upload/iblock/a80/a80d85131b9767b1a6eabbe0ab40bae8.pdf> (accessed: 10.05.2020).
4. Nikandrov K. Evolution of Crust Breaker Control for DX+ and DX+ Ultra Technologies / K. Nikandrov, A. Zarouni, S. Akhmetov, N. Ahli – // Light Metals. – 2016. – P. 511-514. doi: 10.1007/978-3-319-48251-4\_84
5. Mann V. Environmental Aspects of UC RUSAL's Aluminum Smelters Sustainable Development / V. Mann, V. Buzunov, V. Pingin, A. Zherdev, V. Grigoriev // Light Metals. – 2019. – P. 553-563. doi: 10.1007/978-3-030-05864-7\_70
6. Marks J. Updated Factors for Calculating PFC Emissions from Primary Aluminum Production / J. Marks, P. Nunez // Light Metals. – 2018. – P. 1519-1525. doi: 10.1007/978-3-319-72284-9\_198.
7. Dion L. Evaluation of Time Consistency When Quantifying Emissions of Perfluorocarbons Resulting from Low Voltage Anode Effects/ L. Dion , P. Nunez , D. Wong , S. Gaboury , A. Spirin // Light Metals. – 2018. – P. 1457-1462 . / doi: 10.1007/978-3-319-72284-9\_190
8. Dion L. Simulator of Non-homogenous Alumina and Current Distribution in an Aluminum Electrolysis Cell to Predict Low-Voltage Anode Effects. / L. Dion, L. Kiss, S. Poncsak, C. Lagacé // Metallurgical and Materials Transactions B. – 2018. –

P.737-755 / doi: 10.1007/s11663-018-1174-2.

9. Welch, B.J., Quantifying PFC emissions from smelter cells. in Proceedings of the 10th Australasian aluminium smelting conference. Launceston, Tasmania, 2011

10. Wong D. Anode effect phenomena during conventional AEs, low voltage propagating AEs & non-propagating AEs / D. Wong, A. Tabereaux, P. Lavoie // *Light Metals*. – 2014. – P.529-534 / doi: 10.1007/978-3-319-48144-9\_90

11. The website of the company Alcoa / ELYSIS – The World's First Carbon-Free Smelting Technology [Electronic resource] – URL: <https://www.alcoa.com/global/en/what-we-do/elysis/default.asp> (accessed: 10.05.2020).

12. Kvande H. The Aluminum Smelting Process and Innovative Alternative Technologies / H. Kvande, P. A. Drablos // *Journal of occupational and environmental medicine / American College of Occupational and Environmental Medicine*. – 2014. – P.23-32 / doi: 10.1097/JOM.0000000000000062.

13. Gariépy R. Preparation and start-up of Arvida Smelter / R. Gariépy, A. Couturier, O. Martin, B. Allano, A. Machado, F. Charmier // *Light Metals*. – 2014. – P.797-801 / doi: 10.1007/978-3-319-48144-9\_134.

14. Padamata K. Progress of Inert Anodes in Aluminium Industry: Review / S.K. Padamata, A. Yasinskiy, P. Polyakov // *Journal of Siberian Federal University. Chemistry*. – 2018. – P.18-30 / doi:10.17516/1998-2836-0055

15. Solheim A. A Novel Design Criterion for Alumina Feeders in Aluminium Electrolysis Cells // *Light Metals* – 2014, pp. 711–717. doi: 10.1007/978-3-319-48144-9\_119

16. Lavoie P. A Review of Alumina Feeding and Dissolution Factors in Aluminum Reduction Cells / Taylor M., Metson J. // *Metallurgical and Materials Transactions B*, Issue 4, 2016, doi: 10.1007/s11663-016-0680-3

17. Шестаков А.К. Концепция multifunctional пробойного устройства системы автоматизированного питания глиноземом алюминиевого электролизера / А.К. Шестаков, П.А. Петров, Р.М. Садыков // *Современные образовательные технологии в подготовке специалистов для минерально-сырьевого комплекса: Сборник научных трудов III Всероссийской научной конференции 05 – 06 марта 2020 г. / Санкт-Петербургский горный университет. СПб, 2020. – С.1582–1592 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cloud.mail.ru/stock/otpARQjMmbYgh7dw7sC4rw5W> (дата обращения: 12.05.2020)*

#### Список литературы на английском языке / References

1. The website of the International Aluminium Institute / An initial assessment of the impact of the covid-19 pandemic on global aluminium demand [Electronic resource] – URL: [http://www.world-aluminium.org/media/filer\\_public/2020/05/21/cm\\_c19\\_update\\_180520.pdf](http://www.world-aluminium.org/media/filer_public/2020/05/21/cm_c19_update_180520.pdf) (accessed: 10.05.2020).

2. The website of the International Aluminium Institute / Primary aluminium production [Electronic resource] – URL: <http://www.world-aluminium.org/statistics/primary-aluminium-production/#linegraph> (accessed: 10.05.2020).

3. Annual report 2019 from the website RUSAL [Electronic resource] – URL:<https://rusal.ru/upload/iblock/a80/a80d85131b9767b1a6eabbe0ab40bae8.pdf> (accessed: 10.05.2020).

4. Nikandrov K. Evolution of Crust Breaker Control for DX+ and DX+ Ultra Technologies / K. Nikandrov, A. Zarouni, S. Akhmetov, N. Ahli – // *Light Metals*. – 2016. – P. 511-514. doi: 10.1007/978-3-319-48251-4\_84

5. Mann V. Environmental Aspects of UC RUSAL's Aluminum Smelters Sustainable Development / V. Mann, V. Buzunov, V. Pingin, A. Zherdev, V. Grigoriev // *Light Metals*. – 2019. – P. 553-563. doi: 10.1007/978-3-030-05864-7\_70

6. Marks J. Updated Factors for Calculating PFC Emissions from Primary Aluminum Production / J. Marks, P. Nunez // *Light Metals*. – 2018. – P. 1519-1525. doi: 10.1007/978-3-319-72284-9\_198.

7. Dion L. Evaluation of Time Consistency When Quantifying Emissions of Perfluorocarbons Resulting from Low Voltage Anode Effects/ L. Dion, P. Nunez, D. Wong, S. Gaboury, A. Spirin // *Light Metals*. – 2018. – P. 1457-1462. / doi: 10.1007/978-3-319-72284-9\_190

8. Dion L. Simulator of Non-homogenous Alumina and Current Distribution in an Aluminum Electrolysis Cell to Predict Low-Voltage Anode Effects. / L. Dion, L. Kiss, S. Poncsak, C. Lagacé // *Metallurgical and Materials Transactions B*. – 2018. – P.737-755 / doi: 10.1007/s11663-018-1174-2.

9. Welch, B.J., Quantifying PFC emissions from smelter cells. in Proceedings of the 10th Australasian aluminium smelting conference. Launceston, Tasmania, 2011

10. Wong D. Anode effect phenomena during conventional AEs, low voltage propagating AEs & non-propagating AEs / D. Wong, A. Tabereaux, P. Lavoie // *Light Metals*. – 2014. – P.529-534 / doi: 10.1007/978-3-319-48144-9\_90

11. The website of the company Alcoa / ELYSIS – The World's First Carbon-Free Smelting Technology [Electronic resource] – URL: <https://www.alcoa.com/global/en/what-we-do/elysis/default.asp> (accessed: 10.05.2020).

12. Kvande H. The Aluminum Smelting Process and Innovative Alternative Technologies / H. Kvande, P. A. Drablos // *Journal of occupational and environmental medicine / American College of Occupational and Environmental Medicine*. – 2014. – P.23-32 / doi: 10.1097/JOM.0000000000000062.

13. Gariépy R. Preparation and start-up of Arvida Smelter / R. Gariépy, A. Couturier, O. Martin, B. Allano, A. Machado, F. Charmier // *Light Metals*. – 2014. – P.797-801 / doi: 10.1007/978-3-319-48144-9\_134.

14. Padamata K. Progress of Inert Anodes in Aluminium Industry: Review / S.K. Padamata, A. Yasinskiy, P. Polyakov // *Journal of Siberian Federal University. Chemistry*. – 2018. – P.18-30 / doi:10.17516/1998-2836-0055

15. Solheim A. A Novel Design Criterion for Alumina Feeders in Aluminium Electrolysis Cells // *Light Metals* – 2014, pp. 711–717. doi: 10.1007/978-3-319-48144-9\_119

16. Lavoie P. A Review of Alumina Feeding and Dissolution Factors in Aluminum Reduction Cells / Taylor M., Metson J. // *Metallurgical and Materials Transactions B*, Issue 4, 2016, doi: 10.1007/s11663-016-0680-3

17. Shestakov A. Conception of multifunctional crust breaker of auto-matic alumina feed system of aluminum reduction cell / Shestakov A., Petrov P., Sadykov R // *Modern educational technologies in the training of specialists for the mineral resource complex: Collection of scientific papers of the III All-Russian Scientific Conference March 05 – 06, 2020 / St. Petersburg Mining University. SPb, 2020. – P.1582–1592. [Electronic resource] – URL: <https://cloud.mail.ru/stock/otpARQjMmbYgh7dw7sC4rw5W> (accessed: 12.05.2020) [in Russian]*

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.97.7.018>

## РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ МОНИТОРИНГА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПУБЛИКАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

Научная статья

**Ширшавина А.С.\***

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва, Россия

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

### Аннотация

В статье представлена модель мониторинга наиболее значимых показателей публикационной активности научных учреждений. Построение модели выполнено в виде ER-диаграммы и осуществлялось с помощью программного средства Enterprise Architect.

Получение достоверного результата о деятельности объекта в первую очередь возможно при корректном сборе показателей его работы. Это определяет создание единой системы сбора характеристик качества деятельности объекта.

Цель работы – повышение эффективности сбора данных о публикационной активности научных организаций. Эффект от внедрения решения заключается в повышении достоверности данных и корректности калькуляции интегральных показателей деятельности научных организаций.

**Ключевые слова:** мониторинг, публикационная активность, научная организация, научно-исследовательская деятельность, информационная модель.

## INFORMATION MODEL DEVELOPMENT FOR MONITORING INDICATORS OF PUBLICATION ACTIVITY OF SCIENTIFIC ORGANIZATIONS

Research Article

**Shirshavina A.S. \***

National University of Science and Technology MISiS, Moscow, Russia

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

### Abstract

The paper presents the monitoring model for the most significant indicators of publication activity of scientific institutions. The model was built in the form of an ER diagram and was carried out using the Enterprise Architect software.

Obtaining a reliable result on the object activity is primarily possible with the correct collection of indicators of its operation. This determines the development of a unified system for collecting the features of the quality of the facility.

The goal of this work is to increase the efficiency of data collection on the publication activity of scientific organizations. The effect of the implementation of this solution is to increase the reliability of the data and the correctness of the calculation of the integral indicators of the activities of scientific organizations.

**Keywords:** monitoring, publication activity, scientific organization, research activity, information model.

### Введение

В настоящее время статистические данные повсеместно используются во всех процессах современного общества. На основании таких данных разрабатываются стратегии и методики Российской Федерации. Наиболее важным фактором при использовании статистической информации является ее достоверность, так как от качества данных зависит точность рассчитываемых значений показателей, адекватность построения моделей и целесообразность применения методик.

Одним из показателей работы научных организаций [1] является публикационная активность, поэтому при оценке [2] их научной деятельности качественный сбор данных особенно важен, так как в перспективе от этого зависит обеспечение качества публикаций российских ученых и увеличение темпов роста их количества. Своевременное получение полного и актуального свода по публикационной активности позволит объективно оценить состояние и принять соответствующие меры по поощрению и поддержке научных организаций.

Исходя из этого, появляется необходимость создания системы мониторинга показателей, с помощью которой возможно в полной мере отразить информацию о научных организациях, учитывая данные из зарубежных источников [3].

### Основная часть

Функциональная структура такого информационно-аналитической системы включает ряд подсистем:

- подсистема интеграции с внешними информационными системами;
- подсистема сбора, обработки и хранения информации;
- подсистема анализа информации и прогнозирования;
- подсистема формирования и представления информационно-аналитической отчетности;
- подсистема защиты информации.

Для наиболее полного учета всех публикаций данные в систему поступают из внешних источников, таких как базы данных научного цитирования (Web of Science, Scopus, eLIBRARY), база данных результативности деятельности научных организаций (ФСМНО), внутренние информационные системы научных организаций.

Характеристики подсистем информационной системы мониторинга представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Назначение подсистем

Название подсистемы	Назначение подсистемы
Подсистема интеграции с внешними информационными системами	Обеспечение взаимодействия с внешними источниками и получением данных в автоматизированном режиме
Подсистема сбора, обработки и хранения данных	Обеспечение сбора, обработки и хранения информации, полученной в результате обращения к БД, содержащим сведения о научных публикациях
Подсистема анализа информации и прогнозирования	Обеспечение исследования научных работ и прогнозирования значений для определения минимального и максимального показателей на следующий год
Подсистема формирования и представления информационно-аналитической отчетности	Обеспечение возможности формирования отчетных документов как фиксированного, так и настраиваемого формата с дальнейшей возможностью вывода их на печать.
Подсистема защиты информации	Операции по защите информации и предотвращение несанкционированного доступа в систему

Информационная модель мониторинга показателей публикационной активности научных организаций представлена в виде ER-диаграммы на рисунке 1.

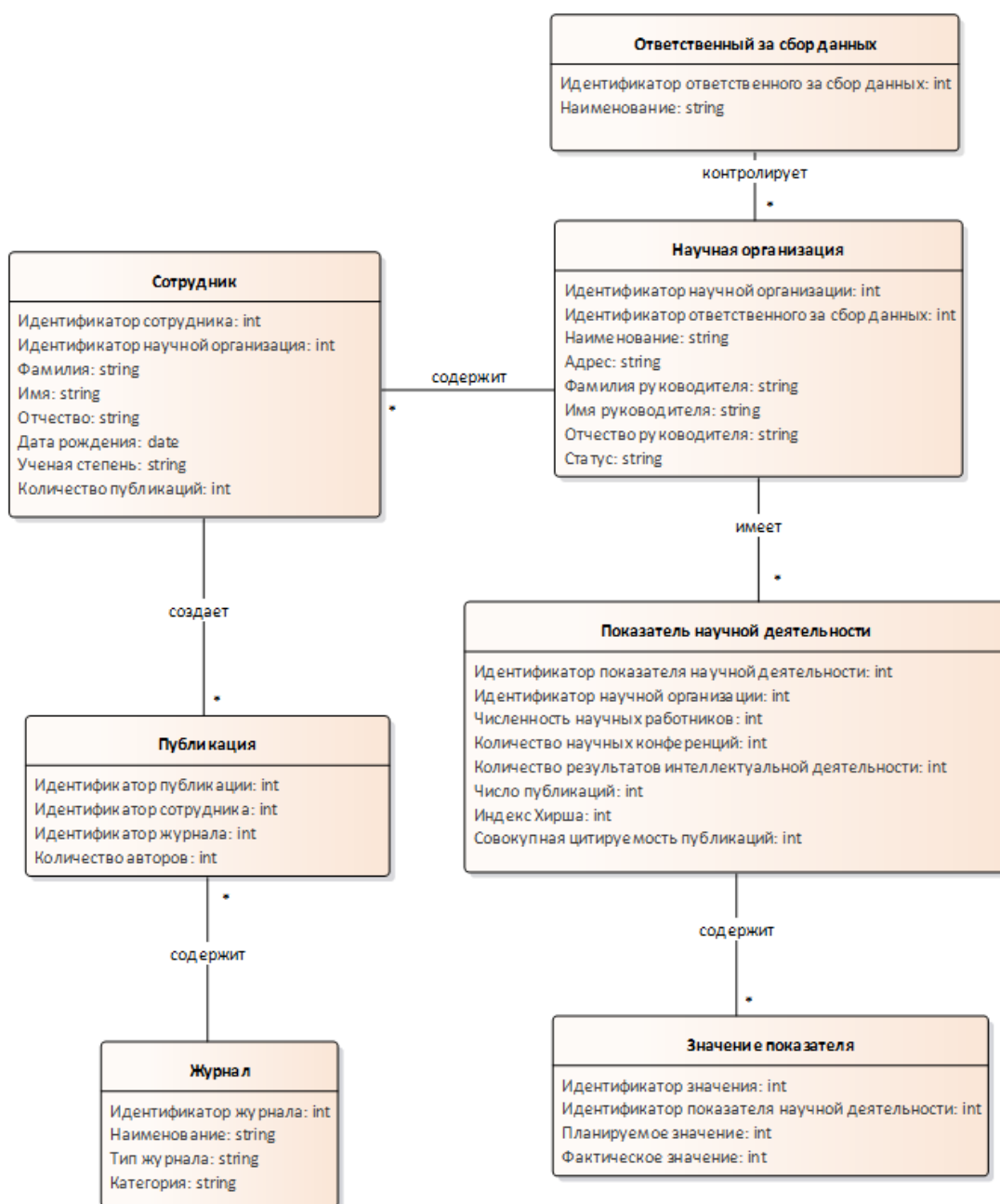


Рис. 1 – ER-модель информационной системы мониторинга научных организаций

Ответственным за сбор данных может быть орган исполнительной власти, иной орган или организация, которая контролирует сбор и представление данных по показателям у определенного количества научных организаций. Сотрудники, которые числятся в научной организации, публикуются в научных журналах. При этом публикация присваивается научной организации, только если автор статьи указал аффилиацию. Каждый показатель научной деятельности имеет запланированное значение и действительное значение за отчетный период.

В таблице 2 представлены основные характеристики к вводу информации.

Таблица 2 – Описание таблиц БД

Сущность	Атрибут	Тип атрибута	Обязательное поле	Описание
Научная организация	Идентификатор научной организации	INTEGER	Да	ИНН научной организации
	Идентификатор ответственного за сбор данных	INTEGER	Да	Уникальный код ответственного лица
	Наименование	STRING	Да	Полное наименование учреждения, занимающегося научной деятельностью
	Адрес	STRING	Да	Место нахождения организации
	ФИО руководителя	STRING	Да	Фамилия, имя, отчество руководителя научной организации
	Статус организации	STRING	Нет	Указывается статус научной организации (действующая, вновь созданная, реорганизованная, ликвидированная)
Показатель научной организации	Идентификатор показателя научной деятельности	INTEGER	Да	Уникальный код записи
	Идентификатор научной организации	INTEGER	Да	ИНН научной организации
	Численность научных работников	INTEGER	Да	Численность работников, профессионально занимающихся научными исследованиями и разработками
	Количество научных конференций	INTEGER	Да	Количество научных конференций проводимых организацией
	Количество результатов интеллектуальной деятельности	INTEGER	Да	Количество патентов, заявок на патент
	Число публикаций	INTEGER	Да	Опубликованные статьи в рецензируемых научных журналах
	Индекс Хирша	INTEGER	Да	Индекс Хирша по всем публикациям научной организации
	Совокупная цитируемость публикаций	INTEGER	Да	Совокупная цитируемость публикаций организации, индексируемых в российских и международных информационно-аналитических системах научного цитирования
Значение показателя	Идентификатор значения	INTEGER	Да	Уникальный код записи
	Идентификатор показателя научной организации	INTEGER	Да	Уникальный код показателя
	Планируемое значение	DOUBLE	Нет	Прогнозное значение показателя
	Фактическое значение	DOUBLE	Да	Значение показателя, сданного научной организации на определенный момент времени в отчетном году

Окончание табл. 2 – Описание таблиц БД

Сущность	Атрибут	Тип атрибута	Обязательное поле	Описание
Сотрудник	Идентификатор сотрудника	INTEGER	Да	Уникальный код записи
	Идентификатор научной организации	INTEGER	Да	ИНН научной организации
	Фамилия	STRING	Да	Фамилия работника, выполняющего исследования и разработки
	Имя	STRING	Да	Имя работника, выполняющего исследования и разработки
	Отчество	STRING	Да	Отчество работника, выполняющего исследования и разработки
	Дата рождения	DATA	Да	Дата рождения работника, выполняющего исследования и разработки, для определения его принадлежности к определенной возрастной когорте
	Ученая степень	STRING	Да	Ученая степень работника, выполняющего исследования и разработки
	Количество публикаций	INTEGER	Да	Количество публикаций, сделанных сотрудником за отчетный период
Публикация	Идентификатор публикации	INTEGER	Да	DOI - уникальный стандартизированный цифровой код, который присваивается научным публикациям
	Идентификатор сотрудника	INTEGER	Да	Уникальный код сотрудника
	Идентификатор журнала	INTEGER	Да	ISSN (Международный стандартный номер серийных изданий) для идентификации издания
	Количество авторов	INTEGER	Да	Количество авторов, указанных в научной публикации
Журнал	Идентификатор журнала	INTEGER	Да	ISSN (Международный стандартный номер серийных изданий) для идентификации издания
	Наименование	STRING	Да	Полное название издания
	Тип журнала	STRING	Нет	Тип: Российский/Международный
	Категория	STRING	Да	Категория, куда входит научный журнал для определения его значимости (журналы, индексируемые Web of Science/Scopus; журналы списка ВАК)
Ответственный за сбор данных	Идентификатор ответственного за сбор данных	INTEGER	Да	Уникальный код записи
	Наименование	STRING	Да	Полное название организации, ответственной за сбор данных

Сущность «Научная организация» содержит основную информации о научных организациях, осуществляющих свою деятельность в Российской Федерации.

Сущность «Ответственный за сбор данных» содержит информацию об организациях, которые отвечают за корректный сбор и своевременную отправку данных.

Сущность «Показатель научной деятельности» содержит информацию о показателях научной деятельности организаций, которые напрямую влияют на количество сделанных публикаций.

Сущность «Значение показателя» содержит количественные значения планируемого и фактического показателей за отчетный период.

Сущность «Сотрудник» содержит информацию о физических лицах, выполняющих исследования и разработки.

Сущность «Публикация» содержит информацию о количестве авторов, так как одна и та же статья может быть отнесена сразу к нескольким организациям, если авторы статьи из разных научных организаций и каждый указал аффилиацию.

Сущность «Журнал» содержит информацию о научных журналах, где публикуются сотрудники. Информация о журналах помогает определить значимость журнала и, следовательно, в перспективе создать рейтинг публикаций в зависимости от значимости журнала.

### **Заключение**

Таким образом, применение данной модели позволяет повысить эффективность и качество сбора данных, исключить дублирование, а также повысить качество проведения мониторинга научных организаций путем создания единой точки доступа к информации, и прозрачным процессом верификации получаемых данных. Показатели, получаемые при использовании таких сведений, наиболее достоверны и готовы к применению в методических материалах.

### **Конфликт интересов**

Не указан.

### **Conflict of Interest**

None declared.

### **Список литературы/References**

1. Федеральный закон от 23.08.1996 N 127-ФЗ (ред. от 23.05.2016) «О науке и государственной научно-технической политике» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2017)
2. Проничкин С.В. Оценка результативности деятельности научных организаций / Проничкин С.В., Тихонов И.П. // Экономический анализ: теория и практика. № 3 – 2018 – С. 27-32.
3. Гусев А.Б. Мониторинг и оценка результатов научно-технической деятельности: зарубежный опыт и российская практика / А.Б. Гусев, Е.Г. Дорониная, И.В. Вершинин, В.А. Малахов // Наука. Инновации. Образование. 2018. №1 (27). С. 65-91.
4. Устич Д.М. Формирование системы мониторинга инновационной активности на крупных российских предприятиях: дис. канд. экономических наук: 08.00.05/ Устич Дмитрий Петрович. – М., 2014. – 157 с.
5. Налимов В.В. Наукометрия. Изучение развития науки как информационного процесса/ В.В. Налимов, З.М. Мульченко. М.: Наука – 1969
6. Назаревич С.А. Модели и методики мониторинга процессов оценки новизны и конкурентоспособности продукции – 2015
7. Зубова Л.Г. Социологический мониторинг деятельности научных организаций / Л.Г. Зубова, О.Н. Андреева, О.А. Антропова, Е.В. Аржаных – 2011.
8. Дмитриев Г.И. Информационно-аналитическая система мониторинга научно-образовательного потенциала ВУЗов и научных организаций и Минобрнауки / Г.И. Дмитриев, Ю.В. Воронов, Е.А. Законников, В.А. Мейев // Инновации. – 2014.
9. Костина Т.В. Системы цитирования. Публикация в научных журналах – 2016
10. Глухова Е.А., Мониторинг процессов и оценка деятельности результативности научной деятельности – 2013

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

1. Federal Law of August 23, 1996 N 127-ФЗ (as amended on 05/23/2016) "On Science and State Science and Technology Policy" (as amended and added, entered into force on January 1, 2017) [in Russian]
2. Pronichkin S. V. Evaluation of the performance of scientific organizations / Pronichkin S. V., Tikhonov I. P. // Economic analysis: theory and practice. № 3 - 2018- Pp. 27-32. [in Russian]
3. Gusev A. B. Monitoring and evaluation of the results of scientific and technical activities: foreign experience and Russian practice / Gusev A. B., Doronina E. G., Vershinin I. V., Malakhov V. A. // Nauka. Innovations. Education. 2018. № 1 (27). Pp. 65-91. [in Russian]
4. Ustich D. M. Formation of a system for monitoring innovation activity at large Russian enterprises: dis. kand. Economics: 08.00.05 / Dmitry Petrovich Ustich. - M., 2014. - 157 p. [in Russian]
5. Nalimov V. V. Scientometrics. Studying the development of science as an information process/ V. V. Nalimov, Z. M. Mulchenko, Moscow: Nauka – 1969 [in Russian]
6. Nazarevich S. A. Models and methods of monitoring the processes of evaluating the novelty and competitiveness of products – 2015 [in Russian]
7. Zubova L. G. Sociological monitoring of scientific organizations ' activities / Zubova L. G., Andreeva O. N., Antropova O. A., Arzhanykh E. V. –2011. [in Russian]
8. Dmitriev G. I. Information-analytical system of monitoring of scientific and educational potential of Universities and research organizations and the Ministry of education / Dmitriev G. I., Voronov Yu. V., Lawyers E. A., Maev V. A.// Innovation. - 2014. [in Russian]
9. Kostina T. V. citation Systems. Publication in scientific journals – 2016 [in Russian]
10. Glukhova E. A., Monitoring of processes and evaluating the performance of scientific activities – 2013 [in Russian]



DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.97.7.019>**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФИЛЬТРАТА БУРОВОГО РАСТВОРА  
НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОРНЫХ ПОРОД**

Научная статья

**Юдаков В.С.<sup>1,\*</sup>, Деканойдзе Э.М.<sup>2</sup>, Мухтаров М.Ш.<sup>3</sup>**<sup>1,3</sup> Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Россия;<sup>2</sup> ООО «НПО «Центротех», г. Санкт-Петербург, Россия

\* Корреспондирующий автор (bob1n57[at]gmail.com)

**Аннотация**

В данной научной статье рассматривается методика определения прочностных характеристик горных пород, с учетом проникновения фильтрата бурового раствора в поры и трещины горного массива. Авторами исследования изучены оптимальные области изменения показателей свойств бурового раствора с учетом ограничения геолого-технических условий устойчивости при бурении горизонтальных и наклонно направленных стволов. Аналитически обосновано, экспериментально доказано влияние фильтрата бурового раствора на изменение геомеханических характеристик в околоскважинном пространстве. Данный метод подбора рецепта для промывочной жидкости при бурении ведет к решению проблем устойчивости ствола скважины.

**Ключевые слова:** буровой раствор, бурение, устойчивость ствола скважины, фильтрат бурового раствора, колюматация порового пространства.

**STUDY OF DRILLING MUD FILTRATE INFLUENCE  
ON STRENGTH PERFORMANCE OF ROCKS**

Research Article

**Yudakov V.S.<sup>1,\*</sup>, Dekanoidze E.M.<sup>2</sup>, Mukhtarov M.Sh.<sup>3</sup>**<sup>1,3</sup> St. Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russia;<sup>2</sup> LLC NPO Centrotech, St. Petersburg, Russia

\* Corresponding author (bob1n57[at]gmail.com)

**Abstract**

This paper discusses the methodology for determining the strength performance of rocks, considering the penetration of drilling mud filtrate into the pores and cracks of the rock mass. The authors studied the optimal areas of change in the properties of the drilling fluid, considering the limitations of the geological and technical stability conditions when drilling horizontal and directional shafts. The influence of the mud filtrate on changes in geomechanical features in the near-wellbore was analytically substantiated and experimentally proven. This selecting recipe method for flushing fluid during drilling leads to solving the problems of stability of the wellbore.

**Keywords:** drilling mud, drilling, wellbore stability, drilling mud filtrate, pore space colmatation.

**Введение**

В настоящее время на территории России число наклонно направленных и горизонтальных скважин растет, в связи с уменьшением легкодоступных запасов углеводородов. Данный метод строительства скважин более эффективен и экономически выгоднее по сравнению с бурением вертикальных скважин, после ввода в эксплуатацию. Конструкция такой скважины позволяет увеличить площадь контакта в продуктивно пласте, следовательно, дебит скважины повышается. [1], [3], [8].

При бурении наклонно направленных и горизонтальных скважин необходимо учитывать параметры бурового раствора и траекторию ствола в зависимости от напряжений, действующих в окрестности пробуриваемой скважины. Неправильный выбор состава бурового раствора приводит к снижению устойчивости: обрушению ствола скважины, образованию трещин и т.п. Большинство осложнений, возникающие на современном этапе при бурении горизонтальных скважин, так или иначе, связаны с неправильным подбором состава применяемого бурового раствора [5], [9].

Для предупреждения и предотвращения данных осложнений требуется оптимизация параметров бурового раствора с целью повышения устойчивости и эффективности бурения. Применяемый тип бурового раствора должен обеспечивать решение основных проблем, связанных с обеспечением устойчивости стенок скважины. Подбор раствора должен производиться строго по параметрам, которые влияют на устойчивость: плотность, водоотдача, стабильность, толщина глинистой корки и т. д. [2].

**Методы и принципы исследования**

Для выявления характера вышеизложенных зависимостей, разработана методика проведения экспериментальных работ:

1) Разработка модели проницаемой горной породы, заданной влажности: отсеивание песка определенной фракции; увлажнение и уплотненная трамбовка песка в специальное кольцо, совместимое с фильтр-прессом высокого давления OFITE (см. рисунок 1);

2) Выбор рецептуры базового бурового раствора:

- подбор оптимального размера наполнителя в буровом растворе для колюматации порового пространства модели горной породы (используется самый нейтральный и доступный наполнитель - мел либо мраморная крошка);

- оценка влияния размеров фракций мела в буровом растворе на прочностные характеристики насыпной модели горной породы. В качестве испытуемых реагентов применяем МК-5, МК-10, МК-40, МК-50, МК-60, МК-100, жидкое стекло, ксантановую смолу;

· определение реологических параметров раствора;

3) Проведение опытов на скорость фильтрации и объем фильтрата через насыпную модель горной породы на колбе фильтр-пресса высокого давления OFITE.

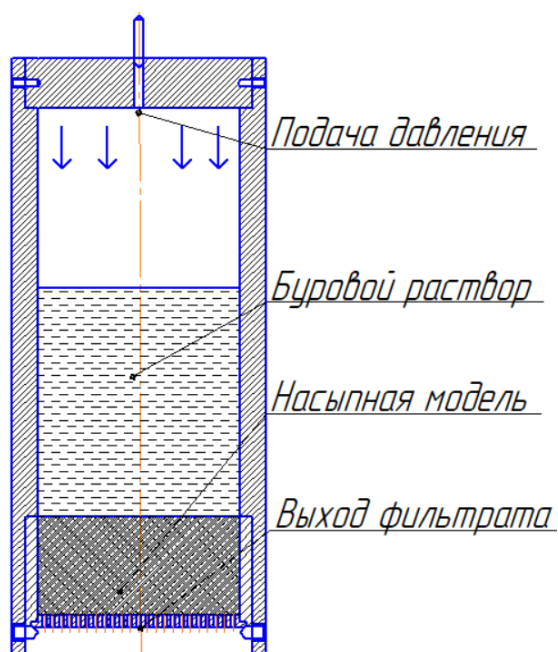


Рис. 1 – Колба фильтр-пресса высокого давления OFITE с раствором и утрамбованным песком

В данной исследовательской работе в качестве базового раствора применяется безглинистый полимерный буровой раствор плотностью 1,1 г/см<sup>3</sup>. Техническим результатом является высокая выносная и удерживающая способность бурового раствора, низкая фильтруемость, сравнительно малый расход реагентов [3].

Исходя из вышеперечисленного, была разработана рецептура приготовления буровых растворов для проведения исследования:

1-ая рецептура: Полимерный меловой раствор плотностью 1,1 г/см<sup>3</sup>. CaCO<sub>3</sub> 10%; Duovis 0,5%; Pac HV 0,2%; Pac LV 0,1%.

2-ая рецептура: Полимерный меловой раствор плотностью 1,1 г/см<sup>3</sup>. CaCO<sub>3</sub> 10%; Duovis 0,5%; Pac HV 0,2%; Pac LV 0,1%; жидкое стекло 3%.

3-ая рецептура: Полимерный раствор плотностью 1,1 г/см<sup>3</sup>. Duovis 0,5%; Pac HV 0,2%; Pac LV 0,1%; жидкое стекло 3%.

Используемые приборы: весы рычажные ВРП-1, СНС-2, ВСН-3, пресс фильтр OFITE.

Для оценки зависимости реологии от дисперсности бурового раствора были приготовлены следующие составы бурового раствора с содержанием мела: 5/10/50/100 мкм.

#### Основные результаты

В ходе исследования была получена зависимость реологических параметров бурового раствора с различными наполнителями (см. таблица 1).

Таблица 1 – Зависимость реологических параметров бурового раствора от дисперсности наполнителя

Наполнитель МК		5 мкм	10 мкм	50 мкм	100 мкм
Скорость сдвига, об/мин	200	110	105	105	105
	300	130	120	119	120
	400	145	132	132	130
	600	175	160	160	161
Водоотдача, см <sup>3</sup> /30мин.		9	7	7	7
СНС 60 сек., Па		14	13,3	13,2	13
СНС 10 мин., Па		15	13,5	13,4	13,2
Пластическая вязкость, мПа·с		20	18	18,3	18,1
ДНС, Па		13,94	13,12	12,89	12,89

Как видно из экспериментальных данных, мел с размером частиц 5 мкм наиболее сильно влияет на реологические параметры бурового раствора.

Буровой раствор с мелкодисперсным составом (МК-5 и МК-10), размеры частиц которого во много раз меньше порового пространства хорошо проницаемых горных пород, не способен создать низкопроницаемый барьер. Частицы, сопоставимые с размерами проницаемых каналов либо в несколько раз их превышающие, создают низкопроницаемую корку, скорость фильтрации через которую со временем стремится к нулю.

Для оценки изменения прочностных характеристик горных пород фракциями различного размера был проведен эксперимент по фильтрации бурового раствора на модели горной породы (см. рисунок 2). Размер пор песчаной модели  $46.82 \text{ мкм} < d_{\text{пор}} < 75.69 \text{ мкм}$ .

Буровые растворы с фракциями 5 мкм, 10 мкм, 50 мкм и 100 мкм поочередно фильтруются через песчаную модель. Для расчета скорости фильтрации контролируется время и объем фильтрата (см. рисунок 3). По значениям скорости фильтрации было установлено время образования низкопроницаемой корки [4].



Рис. 2 – Песчаная модель горной породы, помещенная в фильтр-пресс до испытания

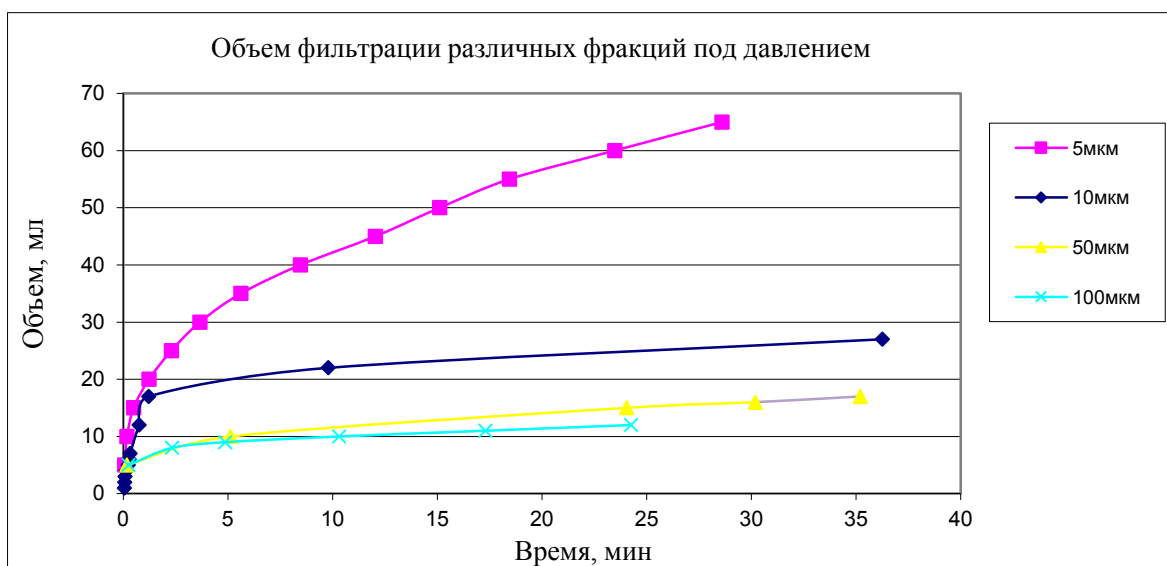


Рис. 3 – Объем фильтрата растворов с различными фракциями в зависимости от времени

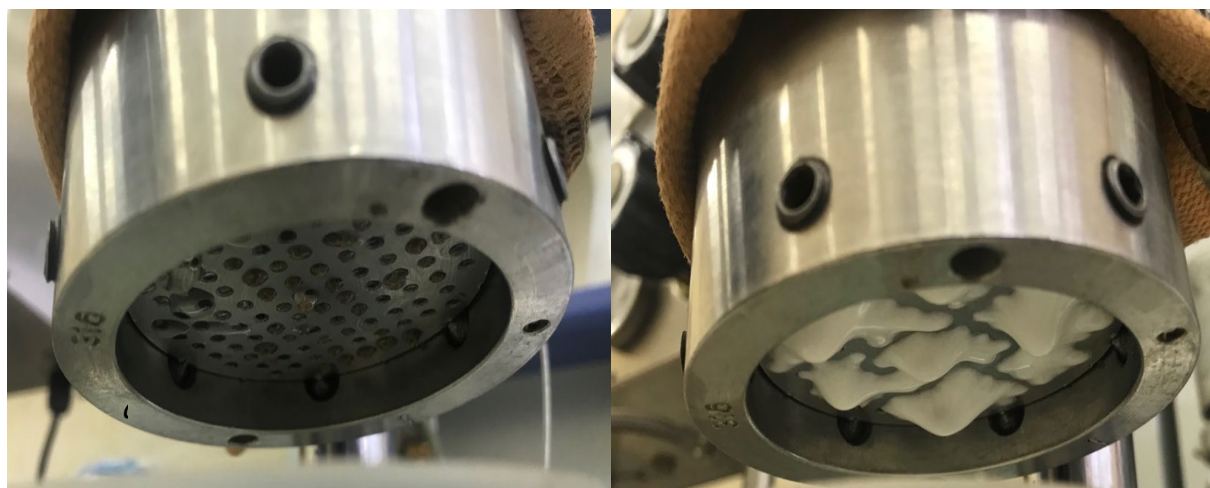


Рис. 4 – Фильтрация раствора с МК-5 без давления (а), фильтрация под давлением (б)

По причине сверхпроницаемости песчаной модели фильтрация начинается при атмосферном давлении (см. рисунок 4) [6], [7]. Результаты эксперимента фильтрации, проведенного при атмосферном давлении, отличаются от результатов фильтрации под давлением. Дело в том, что размер пор песчаной модели намного больше наполнителя МК-5. Поэтому



при фильтрации под давлением наполнитель МК-5 полностью проходит через поры песчаной модели и выходит наружу. Модели горных пород, отражающие фильтрацию под давлением, представлены на рисунке 5.



Рис. 5 – Модели горной породы после фильтрации раствором с разной фракцией мела: МК-5 (а), МК-10 (б), МК-50 (в), МК-100 (г).

По экспериментальным данным фильтрации растворов с различными фракциями под давлением 7 атм. или 0,7 МПа [10] можно сделать следующие выводы:

- самой низкой скоростью фильтрации и минимальным объемом фильтрата обладает раствор с содержанием МК-100 мкм. Это свидетельствует о высокой скорости оседания частиц. Как видно на рисунке 5, образовалась самая толстая фильтрационная корка, по сравнению с другими образцами;
- самый высокий уровень фильтрации демонстрирует раствор с содержанием МК- 5 мкм. Частицы размером во много раз меньше размеров каналов не блокируют поровое пространство, не вызывают коагулирующего эффекта;
- растворы с содержанием мела фракции размером 10 мкм и 50 мкм демонстрируют приблизительно одинаковый уровень фильтрации. Момент резкого снижения скорости фильтрации происходит в одно время – период образования низкопроницаемой корки одинаков.

#### Заключение

Объединяя результаты испытаний на фильтрацию бурового раствора через насыпную модель горной породы можно сделать следующие выводы. При высокой величине фильтрации бурового раствора порода переувлажняется. Следствием этого является снижение прочностных характеристик горной породы путем вымывания раствором. Однако, при равномерном распределении коагулирующих частиц раствора в горной породе возникает низкопроницаемая корка, которая способствует увеличению прочностных характеристик.

Разработанная методика влияния фильтрата бурового раствора на устойчивость ствола скважины, позволит проектировать профили наклонно направленных и горизонтальных скважин. Подбор оптимального состава коагулирующих частиц в буровом растворе поспособствует снижению осложнений и аварий в процессе бурения.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Шарова О.Ю. Методики подбора комплексных сухих смесей коагулянтов для предупреждения и ликвидации зон осложнений / О.Ю. Шарова, А.Ф. Галиев, А.В. Самыкин и др. // Территория Нефтегаз. №5. 2012. – С.34-37.
2. М-И SWACO, группа «Шлюмберге», Системы растворов и реагентов для бурения // Решения для бурения - Редакция 6, 2014
3. Вашкевич А.А. Развитие подходов комплексного геомеханического моделирования в ПАО «Газпром нефть» / А.А. Вашкевич, В.В. Жуков, Ю.В. Овчаренко, А.С. Бочков // Нефтяное хозяйство-№12, 2016, – С. 16-19.
4. Овчинникова В.П. Справочник бурового мастера / В.П. Овчинникова, С.И. Грачёва, А.А. Фролова. М.:Инфра-Инженерия, 2006. – 608 с.
5. Voitenko V.S. / Applied geomechanics in drilling. - Oxford IBH Publishing Co. PVT Ltd. New delhi, Bombay, Calcutta, 1995.
6. Даныш Д.В. Расчет скорости сужения ствола скважины в пластичных породах / Д.В. Даныш, Е.Г. Леонов, Б.С. Филатов // Нефтяное хозяйство-№ 6 . – С. 9-12.
7. Киреев А.М. Разработка и исследование технологий и технических средств управления горным давлением при строительстве скважин: Дис. ... канд. техн. наук: 25.00.15 - Тюмень, 2002. – 195 с.
8. Змеев Ю.В. Выбор ингибирующего бурового раствора в системе «буровые растворы» при строительстве скважин в ОАО «Сургутнефтегаз» // Бурение и нефть - №1, 2011.
9. Карев В.И. Определение деформационных и прочностных свойств горных пород применительно к баженским отложениям // «Технологии ТЭК», № 3 (22), 2005, – С. 17-21.
10. Лехницкий С.Г. Определение напряжений в упругом изотропном массиве вблизи вертикальной цилиндрической выработки круглого сечения //Изв. АН СССР, ОПТ. - 1938. - № 7.

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

1. Sharova O.Yu. Methods for the selection of complex dry mixtures of colmatants for the prevention and elimination of zones of complications / O.Yu. Sharova, A.F. Galiev, A.V. Samyskin and other // Territory Neftegaz. No. 5. 2012. – P.34-37. [in Russian]

2. M-I SWACO, Schlumberger Group, Drilling Fluid and Reagent Systems // Drilling Solutions - Edition 6, 2014[in Russian]
3. Vashkevich A.A. Development of integrated geomechanical modeling approaches at PJSC Gazprom Neft / A.A. Vashkevich (PJSC Gazprom Neft), V.V. Zhukov, Yu.V. Ovcharenko, A.S. Bochkov (Gazpromneft STC LLC)// Oil Industry- №12, 2016, – P. 16-19. [in Russian]
4. Ovchinnikova V.P. Handbook of the drill master / V.P. Ovchinnikova, S.I. Gracheva, A.A. Frolova. M.: Infra-Engineering, 2006. – 608 p. [in Russian]
5. Voitenko V.S. / Applied geomechanics in drilling. - Oxford IBH Publishing Co. PVT Ltd. New delhi, Bombay, Calcutta, 1995.
6. Danish D.V. Calculation of the rate of narrowing of the wellbore in plastic rocks / D.V. Danysh, E.G. Leonov, B.S. Filatov // Oil industry-№ 6. – P. 9-12. [in Russian]
7. Kireev A.M. Development and research of technologies and technical tools for managing rock pressure during well construction: Dis. ... cand. tech. Sciences: 25.00.15 - Tyumen, 2002. – 195 p. [in Russian]
8. Zmeev Yu.V. The choice of inhibitory drilling fluid in the system "drilling fluids" in the construction of wells in OJSC "Surgutneftegas" // Drilling and oil - No. 1, 2011. [in Russian]
9. Karev V.I. Determination of the deformation and strength properties of rocks as applied to Bazhenov deposits / V.I. Karev, Yu.F. Kovalenko, K.B. Ustinov // "Technologies of the Fuel and Energy Complex", No. 3 (22), 2005, – P. 17-21. [in Russian]
10. Lekhnitsky S.G. Determination of stresses in an elastic isotropic array near a vertical cylindrical working of circular cross section // Izv. USSR Academy of Sciences, OPT. - 1938. - №. 7. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.97.7.020>**ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА СОЛНЕЧНЫХ И ВЕТРОВЫХ РЕСУРСОВ  
В ПУСТЫННОМ РЕГИОНЕ СИРИИ**

Научная статья

**Алсус М.М.<sup>1,\*</sup>, Щербина Е.В.<sup>2</sup>**<sup>1</sup> ORCID : 0000-0002-7596-2517;<sup>2</sup> ORCID : 0000-0002-8595-2101;<sup>1,2</sup> Национальный исследовательский московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ),  
Москва, Россия

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

**Аннотация**

Приведены данные анализа природного потенциала САР, выполненные для определения целесообразности развития солнечной и ветровой энергетики. На основании данных Глобального атласа ветра для Средиземноморского региона выполнено зонирование территории Сирии по средним значениям плотности энергии ветра и средней плотности солнечной энергии, что позволило определить перспективные территории развития ветровой и солнечной энергетики, а также рассчитать ориентировочный ветроэнергетический потенциал Пустынного региона, который составляет 177083 TWh в г, и суммарный потенциал солнечной энергии оцениваемый в 20347445500 GWh/год.

Использование устойчивой энергии, такой как солнечная энергия и энергия ветра, может стать основным направлением развития региона, в качестве национальной базы электроэнергетической отрасли.

Принимая во внимание значительный территориальный ресурс Пустынного региона, развитие солнечной и ветровой энергетики способствует созданию новых рабочих мест, росту сельских и городских поселений, формированию устойчивой системы расселения.

**Ключевые слова:** Солнечная энергия, энергия ветра, общий валовой потенциал, технический потенциал, территориальное планирование, Пустынный регион, возобновляемые источники энергии, ветровой Атлас Сирии.

**EVALUATION OF ENERGY POTENTIAL OF SOLAR AND WIND RESOURCES  
IN DESERT REGION OF SYRIA**

Research article

**Alsus M.M.<sup>1,\*</sup>, Scherbina E.V.<sup>2</sup>**<sup>1</sup> ORCID : 0000-0002-7596-2517;<sup>2</sup> ORCID : 0000-0002-8595-2101;<sup>1,2</sup> National Research Institute, Moscow State University of Civil Engineering (NRI, MSUCE), Moscow, Russia

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

**Abstract**

The authors present data on the analysis of the natural potential of the SAR (Syrian Arab Republic) to determine the feasibility of developing solar and wind energy. The territory of Syria was zoned using the average value of the density of wind energy and the average density of solar energy based on the data of the Global Wind Atlas for the Mediterranean region. This made it possible to determine promising areas for the development of wind and solar energy, as well as calculate the approximate wind energy potential of the Desert Region, which is 177083 TWh in g, and the total potential of solar energy estimated at 20347445500 GWh/year.

The use of sustainable energy, such as solar and wind energy, can become the main direction of regional development as a national base for the electricity industry.

Taking into account the significant territorial resource of the Desert Region, the development of solar and wind energy contributes to the creation of new jobs, the growth of rural and urban settlements, and the formation of a sustainable resettlement system.

**Keywords:** Solar energy, wind energy, total gross potential, technical potential, territorial planning, desert region, renewable energy sources, Syria wind Atlas.

статья изъята

статья изъята

статья изъята



статья изъята

статья изъята

статья изъята

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.97.7.021>**СТАНДАРТИЗИРОВАННАЯ ФОРМА КРИВЫХ ВЫСОТ ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ  
В УСЛОВИЯХ ЮЖНОЙ ТАЙГИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

Научная статья

**Вайс А.А.<sup>1,\*</sup>, Пономаренко Д.В.<sup>2</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0003-4965-3670;<sup>1</sup> Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнева,  
Красноярск, Россия;<sup>2</sup> Таежинское лесничество Красноярского края, с. Новобирюлуссы, Россия

\* Корреспондирующий автор (vais6365[at]mail.ru)

**Аннотация**

Цель работы – выявление закономерностей связи высот и диаметров деревьев в сосновых насаждениях. В результате проведенных исследований установлено, что кривые высоты деревьев сосны в условиях южной тайги Западной Сибири характеризуются тремя стандартными формами: линейно-интенсивная (характерна для молодых насаждений), параболическая, наиболее часто встречающаяся форма (характерная для зрелых древостоев) и линейно-умеренная (характерна для перестойных древостоев). Полученные результаты позволяют вносить корректировки в кривые высот и определение разряда высот конкретных сосновых древостоев.

**Ключевые слова:** сосна, высота, форма, диаметр.**STANDARDIZED FORM OF HEIGHT CURVES OF PINE TREES UNDER CONDITIONS  
OF SOUTHERN TAIGA OF WESTERN SIBERIA**

Research article

**Weiss A.A.<sup>1,\*</sup>, Ponomarenko D.V.<sup>2</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0003-4965-3670;<sup>1</sup> Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia;<sup>2</sup> Taiezhinsky forestry of the Krasnoyarsk Krai, vil. Novobirulussy, Russia

\* Corresponding author (vais6365[at]mail.ru)

**Abstract**

The goal of this work is to identify patterns of connection between the heights and diameters of trees in pine plantations. As a result, the authors found that the height curves of pine trees in the southern taiga of Western Siberia are characterized by three standard forms: linear-intensive (typical for young planting), parabolic, most common (typical for mature planting) and linear-moderate (typical for overstock planting). The results obtained allow us to make adjustments to the height curves and determine the category of heights of specific pine planting.

**Keywords:** pine, height, shape, diameter.**Введение**

Кривой высот называют диаграмму зависимости высот деревьев в древостое от их диаметра на высоте 1,3 метра. График строят по данным измерения высот и диаметров (на высоте 1,3 м) у деревьев различных ступеней толщины ствола. На оси абсцисс откладывают диаметр деревьев, на оси ординат – соответствующие им высоты. Отметив точки, соответствующие высоте и диаметру, проводят кривую линию с таким расчетом, чтобы она проходила по кривой высот деревьев. Используют также при выборе разряда высот объемных или сортиментных таблиц при материальной оценке лесосек. Для этого показатели кривых высот деревьев по основным ступеням толщины сравнивают с таблицами разрядов высот и принимают для таксируемого древостоя тот разряд, табличные высоты которого для большей части ступеней толщины наиболее близки к установленным по кривой высот деревьев [1].

При построении кривых высот рекомендуется вычислять на основе обмеренных высот средние высоты по ступеням толщины и проводить плавную кривую через средние значения. Пользуясь кривой высот, можно найти высоту деревьев любого диаметра. Преимущество такого графика состоит в том, что он исключает произвольное проведение кривой высот при ограниченном числе точек [2].

Первая попытка по созданию унифицированных шкал хода роста была предпринята Б.Б. Зейде [3]. Анализируя множество естественных рядов роста, он предложил типовые шкалы хода роста древостоев, в которых таксационные показатели выражались в долях от значения таксационных показателей в 50-летнем возрасте. В дальнейшем работа по типизации хода роста была продолжена В.В. Загребным, П.М. Верхуновым, В.В. Кузьмичевым, Ю.П. Демаковым и их последователями [4], [5], [6], [9].

В.К. Хлюстов и А.В. Лебедев [10] установили, что лесотипологическая типизация формы кривых роста во многом зависит от трофности и увлажнения почв.

**Методика исследований**

Общая методика исследования основывается на измерении ряда таксационных показателей в насаждениях, основным элементом которых являются древостои сосны обыкновенной. В каждом лесотаксационном выделе были измерены диаметры и высоты четырех модельных деревьев для каждой ступени толщины.

Измерения высот производились при помощи высотомера, в молодняках – при помощи мерного шеста. Всего указанные таксационные показатели замерены у 1007 деревьев.

Камеральная обработка данных, полученных на полевых работах, выполнена на компьютере с использованием табличного процессора Microsoft Excel.

### Результаты исследований и их обсуждение

Цель работы – выявление закономерностей связи высот и диаметров деревьев в сосновых насаждениях.

Основные таксационные характеристики лесных насаждений, в которых производились замеры показателей модельных деревьев, приводятся в таблице 1.

Как следует из таксационного описания, насаждения исследуемые насаждения представлены как чистыми сосновыми, так и насаждениями, содержащими в составе 5-9 единиц сосны, а также березу, осину, кедр сибирский, ель и пихту. Во всех случаях основным элементом леса является древостой сосны обыкновенной. Таксационные характеристики древостоев сосны варьируют в следующих пределах: возраст древостоев – от 10 до 200 лет; средняя высота – от 1,5 до 28,6 м, при этом в качестве средней используется среднеарифметическая высота модельных деревьев.

В данной работе для определения зависимости высот деревьев от диаметров на высоте груди, построено 30 графиков кривых высот для каждого исследуемого участка. На рис. 1-3 представлены диаграммы с характерными формами кривых высот.

На основании визуального анализа диаграмм можно сделать вывод о разнообразии форм кривых. Такое разнообразие обуславливается, в первую очередь, возрастной структурой насаждений. Так, для молодняков,

находящихся в фазе активного роста, характерна кривая высот прямолинейной формы (рисунок 1А). Для насаждений, в которых присутствуют различные по возрасту и, соответственно, ступеням толщины деревья, характерна параболическая форма кривой высот (рисунок 1Б).

Таблица 1 – Таксационные характеристики насаждений

Номер участка	Состав	Возраст, лет	Средняя высота, м	Бонитет	Полнота	Тип леса	Запас на 1 га, м <sup>3</sup>
1	8С2Б	10	1,5	3	0,37	Срт	10
2	10С	10	2,1	2	0,52	Срт	20
3	10С	10	3,0	2	0,84	Срт	30
4	7С3Б	10	2,5	2	0,70	Срт	20
5	10С	15	3,0	3	0,89	Срт	30
6	9С1Б	50	13,6	3	0,77	Скрт	170
7	7С2Б1Ос	50	11,6	3	0,80	Сосрт	150
8	10С	50	12,9	3	0,51	Сос	110
9	8С1К1Б	50	13,1	3	0,40	Сосрт	80
10	6С3Б1Ос+К	150	23,4	4	0,60	Срт	250
11	6С3Б1Ос	150	24,7	3	0,54	Срт	230
12	5С1Е4Б	150	23,9	3	0,50	Срт	200
13	6С3Б1Ос	130	20,9	3	0,76	Срт	290
14	7С2Е1К	130	19,5	3	0,38	Срт	130
15	8С2Б	130	20,3	3	0,88	Срт	220
16	7С2Б1Ос	130	20,0	3	0,54	Сосрт	200
17	10С	190	26,0	3	0,38	Срт	160
18	9С1Б+Ос	110	19,8	3	0,77	Срт	260
19	9С1Ос+Б	110	23,4	2	0,67	Срт	250
20	7С2Е1П	90	17,2	3	0,46	Срт	140
21	6С4Б	110	19,0	3	0,51	Сосрт	180
22	10С	200	28,6	2	0,63	Сосрт	300
23	8С1К1Б	90	17,9	2	0,77	Срт	250
24	8С2К	90	17,7	3	0,51	Срт	160
25	10С	30	8,3	2	0,96	Срт	140
26	10С	30	7,3	3	0,40	Срт	60
27	10С	30	8,6	2	0,89	Срт	130
28	7С3Б	70	15,2	2	0,86	Срт	240
29	6С1Е3Б	70	13,8	3	0,58	Сосрт	145
30	6С1К3Б+Ос	70	13,6	3	0,53	Срт	130

Для одновозрастных перестойных насаждений также характерна линейная форма кривой высот (рисунок 1В), однако разделение ее на фазы в данном случае невозможно, так как все деревья в насаждении вышли из фазы активного роста.

Выбор между линейно-интенсивной и линейно-умеренной стадией обусловлен значением коэффициента  $b$ , который определяет угол наклона линейной функции. При значении  $b > 0,43$  связь кривой высот характеризовалась линейно-интенсивной стадией в ином случае линейно-умеренной стадией.

Такую кривую можно разделить на две фазы: первая, в которой происходит активный рост при диаметрах с 8 до 35 см, и вторая, в которой проходит умеренный рост деревьев при диаметрах 35 см и выше.

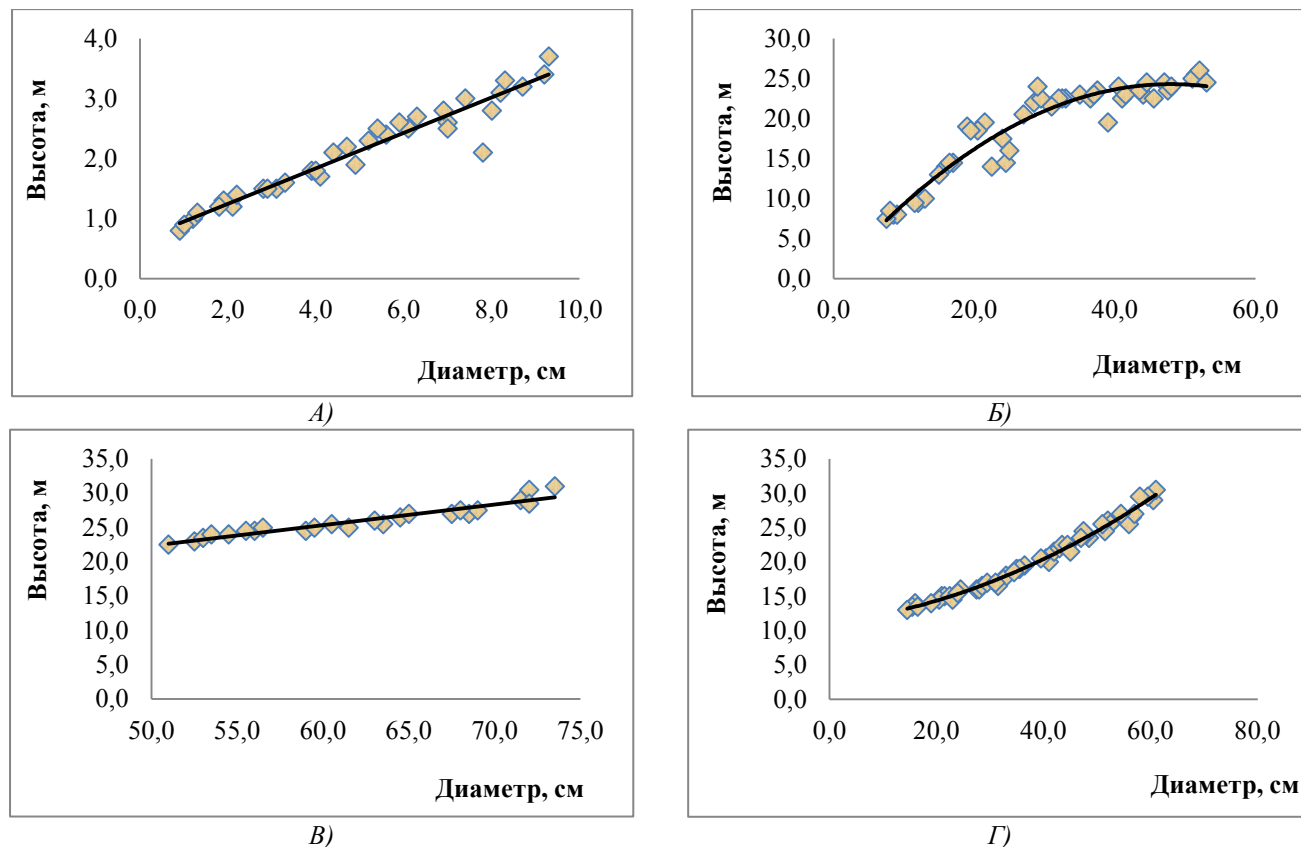


Рис. 1 – Форма кривых высот (А-линейно-интенсивная; Б-параболическая; В-линейно-умеренная; Г-обратно-параболическая)

Исходные кривые высот были аппроксимированы уравнениями различного вида, все уравнения адекватны, при этом на некоторых лесных участках наблюдается высокая изменчивость высот по ступеням толщины. Облако точек наилучшим образом выравнивается двумя видами уравнений: линейного вида ( $y=a+b \cdot x$ ) и параболическим уравнением ( $y=a+b \cdot x+c \cdot x^2$ ) (таблица 2).

Таблица 2 – Параметры уравнений кривых высот сосновых насаждений

Номер участка	Уравнение	Коэффициент детерминации
1	$H = -0,006 \cdot d_{1,3}^2 + 0,742 \cdot d_{1,3} + 4,247$	0,82
2	$H = -0,007 \cdot d_{1,3}^2 + 0,843 \cdot d_{1,3} + 2,234$	0,87
3	$H = -0,007 \cdot d_{1,3}^2 + 0,815 \cdot d_{1,3} + 4,264$	0,90
4	$H = 0,467 \cdot d_{1,3} + 5,498$	0,64
5	$H = 0,439 \cdot d_{1,3} + 1,015$	0,69
6	$H = -0,016 \cdot d_{1,3}^2 + 0,806 \cdot d_{1,3} + 1,670$	0,92
7	$H = -0,006 \cdot d_{1,3}^2 + 0,538 \cdot d_{1,3} + 12,844$	0,18
8	$H = -0,010 \cdot d_{1,3}^2 + 0,996 \cdot d_{1,3} + 0,414$	0,92
9	$H = 0,295 \cdot d_{1,3} + 0,658$	0,94
10	$H = 0,610 \cdot d_{1,3} + 5,056$	0,91
11	$H = 0,161 \cdot d_{1,3} + 17,131$	0,78
12	$H = -0,024 \cdot d_{1,3}^2 + 0,983 \cdot d_{1,3} + 0,047$	0,91
13	$H = -0,015 \cdot d_{1,3}^2 + 0,820 \cdot d_{1,3} + 0,756$	0,94
14	$H = -0,005 \cdot d_{1,3}^2 + 0,691 \cdot d_{1,3} + 3,773$	0,97
15	$H = 0,007 \cdot d_{1,3}^2 + 0,182 \cdot d_{1,3} + 7,113$	0,97
16	$H = 0,437 \cdot d_{1,3} + 6,145$	0,93
17	$H = 0,439 \cdot d_{1,3} + 6,081$	0,93
18	$H = 0,436 \cdot d_{1,3} + 0,577$	0,98
19	$H = -0,003 \cdot d_{1,3}^2 + 0,548 \cdot d_{1,3} + 4,093$	0,96
20	$H = -0,043 \cdot d_{1,3}^2 + 0,816 \cdot d_{1,3} + 0,293$	0,95
21	$H = 0,410 \cdot d_{1,3} + 8,137$	0,97
22	$H = 0,008 \cdot d_{1,3}^2 + 0,193 \cdot d_{1,3} + 7,365$	0,97
23	$H = -0,002 \cdot d_{1,3}^2 + 0,511 \cdot d_{1,3} + 3,267$	0,95
24	$H = 0,004 \cdot d_{1,3}^2 + 0,092 \cdot d_{1,3} + 11,131$	0,99

Окончание табл. 2 – Параметры уравнений кривых высот сосновых насаждений

Номер участка	Уравнение	Коэффициент детерминации
25	$H = 0,004 \cdot d_{1,3}^2 + 0,347 \cdot d_{1,3} + 5,904$	0,98
26	$H = 0,004 \cdot d_{1,3}^2 + 0,076 \cdot d_{1,3} + 11,555$	0,96
27	$H = 0,153 \cdot d_{1,3} + 18,253$	0,77
28	$H = 0,009 \cdot d_{1,3}^2 - 0,759 \cdot d_{1,3} + 39,896$	0,94
29	$H = 0,273 \cdot d_{1,3} + 0,440$	0,94
30	$H = 0,490 \cdot d_{1,3} + 7,318$	0,99

Из представленных лесных участков 12 были аппроксимированы уравнениями линейного вида, 18 – уравнениями параболического вида. Это объясняется тем, что исследования проводились в насаждениях различного возраста, для которых характерны разные формы кривых высот: для молодняков, находящихся в фазе активного роста, – прямолинейной формы, которой соответствует уравнение линейного вида; для возрастных насаждений – параболической форме. Коэффициент детерминации варьирует от 0,18 до 0,99.

#### Заключение

Кривые высот являются основой для определения разряда высоты насаждений и в дальнейшем определения объема отдельных деревьев и запасов древостоев. В результате проведенных исследований установлено, что кривые высот деревьев сосны в условиях южной тайги Западной Сибири характеризуются тремя стандартными формами: линейно-интенсивная (характерна для молодых насаждений); параболическая и обратно-параболическая наиболее часто встречающиеся формы (характерны для зрелых древостоев) и линейно-умеренная (характерна для перестойных древостоев). Вероятность ошибки при определении разряда высоты выше при параболической и обратно-параболической форме кривой из-за неоднородности и большой вариации древостоев по диаметру и высоте. Полученные результаты позволяют вносить корректировки в кривые высот и определение разряда высот конкретных сосновых древостоев.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Шевелев С.Л. Справочник таксатора: учебно-справочное пособие для студентов всех форм обучения специальностей 260400, 260500, 260100, 320800, 060800, 072000 для выполнения расчетных работ, дипломного и курсового проектирования / С.Л. Шевелев [и др.]. – Красноярск: СибГТУ, 2004. – 172 с.
2. Анучин Н.П. Лесная таксация: учебник для вузов– 5-е изд., доп. / Н.П. Анучин. – Москва : Лесн. пром-сть, 1982. – 552 с.
3. Зейде, Б.Б. Стандартизация рядов хода роста основных таксационных показателей / Б.Б. Зейде // Лесное хозяйство. – 1968. № 10. – С. 54-57.
4. Загребев, В.В. Географические закономерности роста и продуктивности древостоев / В.В. Загребев. – Москва : Лесн. пром-сть, 1978. – 240 с.
5. Верхунов, П.М. Генезис и возрастное строение современных лесов Сибири / П.М. Верхунов // Лесоводственные исследования в лесах Сибири. – Вып. 2. – Красноярск, 1970. – С. 7-58.
6. Кузьмичев, В.В. Обобщенная зависимость высот от диаметров в сосновых древостоях / В.В. Кузьмичев, А.Г. Неповинных // Научный журнал КубГАУ. – 2008. – № 41 (7). – 49 с.
7. Кузьмичев, В.В. Анализ отклонений от кривых роста в высоту деревьев сосны в Минусинских борах / В.В. Кузьмичев, В.Г. Руссков // Научный журнал КубГАУ. – 2012. – № 76 (02). – 12 с.
8. Кузьмичев, В.В. Строение темнохвойных древостоев Енисейского края / В.В. Кузьмичев, А.С. Смольянов, Н.С. Немич // Хвойные бореальной зоны. – том XXIII, № 2. – 2006. – С. 175-180.
9. Демаков, Ю.П. Закономерности развития древостоя в культурах сосны обыкновенной разной исходной густоты / Ю.П. Демаков [и др.] // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер. : Лес. Экология. Природопользование. – 2016. № 4 (32). – С. 19-33.
10. Хлюстов В.К. Экологическая типизация хода роста древостоев / В.К. Хлюстов, А.В. Лебедев // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2016. - № 4 (32). – 14 с.

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

1. Shevelev S.L. Spravochnik taksatora: uchebno-spravochnoye posobiye dlya studentov vsekh form obucheniya spetsial'nostey 260400, 260500, 260100, 320800, 060800, 072000 dlya vypolneniya raschetnykh rabot, diplomnogo i kursovogo proyektirovaniya [Taxiator reference book: training manual for students of all forms of specialties 260400, 260500, 260100, 320800, 060800, 072000 for performing design work, diploma and course design] / S.L. Shevelev [et al.]. – Krasnoyarsk: SibGTU, 2004. – 172 p. [in Russian]
2. Anuchin N.P. Lesnaya taksatsiya: uchebnik dlya vuzov– 5-ye izd., dop. [Forest taxation: textbook for universities – 5<sup>th</sup> edition, extended] / N.P. Anuchin. – Moscow: Forest industry, 1982. – 552 p. [in Russian]
3. Zeide B.B. Standartizatsiya ryadov khoda rosta osnovnykh taksatsionnykh pokazateley [Standardization of growth rate series of main taxation indicators] / B. B. Zeide // Lesnoye khozyaystvo [Forestry]. – 1968. – No. 10. – P. 54-57. [in Russian]
4. Zagreev, V.V. Geograficheskiye zakonomernosti rosta i produktivnosti drevostoyev [Geographic patterns of growth and productivity of stands] / V.V. Zagreev. – Moscow: Forest industry, 1978. – 240 p. [in Russian]

5. Verkhunov, P.M. Genezis i vozrastnoye stroyeniye sovremennykh lesov Sibiri [Genesis and age structure of modern Siberian forests] / P.M. Verkhunov // Lesovodstvennyye issledovaniya v lesakh Sibiri [Forestry research in the forests of Siberia]. – Vol. 2. – Krasnoyarsk, 1970. – P. 7-58. [in Russian]
6. Kuzmichev, V.V. Obobshchennaya zavisimost' vysot ot diametrov v sosnovykh drevostoyakh [Generalized dependence of heights on diameters in pine planting] / V.V. Kuzmichev, A.G. Nepovinnykh // Nauchnyy zhurnal KubGAU [Scientific bulletin of KubSAU] – 2008. – No. 41 (7). – 49 p. [in Russian]
7. Kuzmichev, V.V. Analiz otклонeniye ot krivyykh rosta v vysotu derev'yev sosny v Minusinskikh borakh [Analysis of deviations from growth curves in height of pine trees in Minusinsk pine forests] / V.V. Kuzmichev, V.G. Russkov // Nauchnyy zhurnal KubGAU [Scientific bulletin of KubSAU] – 2012. – No. 76 (02). – 12 p. [in Russian]
8. Kuzmichev, V.V. Stroyeniye temnokhvoynykh drevostoyev Yeniseyskogo kryazha [Structure of dark coniferous stands of Yenisei Ridge] / V.V. Kuzmichev, A.S. Smolyanov, N.S. Nemich // Coniferous boreal zone. – Vol. XXIII, No. 2. – 2006. – P. 175-180. [in Russian]
9. Demakov, Yu.P. Zakonomernosti razvitiya drevostoya v kul'turakh sosny obyknovennoy raznoy iskhodnoy gustoty [Patterns of tree stand development in common pine cultures of different initial densities] / Yu.P. Demakov [et al.] // Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser. : Les. Ekologiya. Prirodopol'zovaniye [Bulletin of the Volga State Technological University. Ser.: Forest. Ecology. Nature management]. – 2016. – No. 4 (32). – P. 19-33. [in Russian]
10. Khlyustov V.K. [Ecological typification of growth process of planting] / V.K. Khlyustov, A.V. Lebedev // Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovaniye [Bulletin of the Volga State Technological University. Ser.: Forest. Ecology. Nature management]. – 2016. – No. 4 (32). – 14 p. [in Russian]



DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.97.7.022>**ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ ПРИЕМОМ И СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ  
ПОД ОДНОЛЕТНИЕ ТРАВЫ В УСЛОВИЯХ ЮГО-ВОСТОКА ЦЧР**

Научная статья

**Турусов В.И.<sup>1</sup>, Гармашов В.М.<sup>2, \*</sup>**<sup>1, 2</sup> Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Центрально-Черноземной полосы имени В.В. Докучаева, Каменная Степь, Россия

\* Корреспондирующий автор (niish1c[at]mail.ru)

**Аннотация**

Результаты изучения продуктивности однолетних трав, выращиваемых на зеленый корм, при различных способах обработки почвы свидетельствуют, что совместный посев гороха и овса практически не реагировал на способы, системы и глубину основной обработки почвы. Учитывая незначительное влияние различных способов и глубины основной обработки почвы и изменение эффективности применяемых удобрений в сочетании с различными обработками, с учетом производственных и экономических возможностей хозяйств, под однолетние травы в почвенно-климатических условиях ЦЧР возможно применение различных способов обработки почвы.

**Ключевые слова:** однолетние травы, обработка почвы, урожайность.**EFFICIENCY OF VARIOUS METHODS AND SYSTEMS OF TILLAGE FOR ANNUAL GRASSES  
IN THE CONDITIONS OF THE SOUTH-EAST OF THE CDR**

Research article

**Turusov V. I.<sup>1</sup>, Garmashov V. M.<sup>2, \*</sup>**<sup>1, 2</sup> Research Institute of agriculture Central Chernozem strip named after V. V. Dokuchaev, Kamennaya Steppe, Russia

\* Corresponding author (niish1c[at]mail.ru)

**Abstract**

The results of studying the productivity of annual grasses grown for green food under various methods of tillage indicate that the joint sowing of peas and oats practically did not respond to the methods, systems and depth of the main tillage. Taking into account the insignificant influence of different methods and depth of basic tillage and changes in the effectiveness of fertilizers used in combination with different treatments, taking into account the production and economic capabilities of farms for annual grasses in the soil-climatic conditions of the CDR, it is possible to use different methods of tillage.

**Keywords:** Annual grasses, tillage, yield.**Введение**

В современных условиях возрастает роль полевого травосеяния как фактора повышения плодородия и снижения деградации почвы, а так же обеспечения животноводства полноценными кормами [1], [2]. Освоение смешанных посевов однолетних трав, по мнению ряда исследователей, является одним из эффективных путей управления количеством и качеством растительной продукции, процессами оптимизации функционирования агроландшафтов [3], [4], [5].

В условиях ЦЧР однолетние травы, выращиваемые на зеленый корм в паровых полях, наряду с тем, что они являются фитомелиорантами и средством воспроизводства плодородия почвы, позволяют сохранить ценные качества паров, как влагонакопителей и очистителей почвы от сорняков, обогащают почву органическим веществом, тем самым снижают эффект негативного влияния чистых паров. Однако при низкой продуктивности снижается средообразующая и агроэкологическая эффективность травосеяния в ландшафтных системах земледелия. В складывающихся условиях решать проблему необходимо на основании рационального использования биологических, почвенно-климатических ресурсов и применения ресурсосберегающих технологий.

Целью наших исследований было изучить влияние различных способов обработки почвы на урожайность однолетних трав (смесь горох-овес).

**Условия, материалы и методы исследований**

Объект исследований – чернозем обыкновенный среднегумусный, среднесильный, 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 гидролизующий (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.

В опыте изучали влияние различных приемов и систем обработки почвы в севообороте на плодородие чернозема обыкновенного и продуктивность культур зернопарового севооборота: кукуруза на зеленый корм – озимая пшеница – сахарная свекла – однолетние травы – озимая пшеница – кукуруза на зерно – горох озимая пшеница – подсолнечник – ячмень. Схема стационарного полевого опыта включала следующие варианты обработки почвы: ежегодная вспашка на глубину 20-22 см (контроль); то же – на глубину 25-27 см; то же – на глубину 30-32 см; то же – на глубину 35-37 см; разноглубинная вспашка двухъярусным плугом; разноглубинная вспашка в севообороте; комбинированная разноглубинная обработка в севообороте (30% – плоскорезной); комбинированная разноглубинная обработка в севообороте (60% – плоскорезной); разноглубинная плоскорезная обработка в севообороте; рыхление плугом без отвалов на глубину 25-27 см. (Изучаемые варианты обработки почвы под однолетние травы представлены в таблице 1). Полевой опыт заложен методом расщепленных делянок. Удобрение (фактор В): 1) без удобрений (0); 2) N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> под все культуры севооборота.

Повторность в опыте трехкратная. Размер делянок по обработке почвы (фактор А) – 720 м<sup>2</sup>, по удобрениям (фактор В) – 360 м<sup>2</sup>, учетных – 200 м<sup>2</sup>.

В вариантах с различными приемами и системами обработки почвы допосевные и послепосевные обработки выполняли в соответствии с зональными рекомендациями. В опыте высевалась смесь горох + овес. Учет урожая проводили скашиванием и взвешиванием зеленой массы со всей делянки.

Наблюдения, анализы и учет проводили согласно действующим методикам и существующим ГОСТам, принятым в полевых и лабораторных исследованиях по земледелию [12], [13], [14].

Обработку экспериментальных данных осуществляли дисперсионным методом математического анализа (Доспехов, 1985) с использованием программного обеспечения Microsoft Office Excel 2016 ПК.

### Результаты и их обсуждение

Одним из приемов интенсификации растениеводства является активное внедрение кормовых культур в полевые севообороты. Интерес к однолетним бобово-злаковым травам представляет как агроэкологическое, так и практическое значение. Продуктивность таких посевов меньше зависит от погодных условий и более стабильна по годам [7], [8]. При совместном выращивании зерновых и зернобобовых культур решается проблема в снабжении посевов азотом и накоплении его в растениях: в составе смеси бобовые существенно повышают содержание белка у злакового компонента, не ухудшая при этом собственные показатели качества [9]. Однолетние бобово-злаковые травосмеси востребованы для развивающегося животноводства. Одним из преимуществ является возможность сбора с единицы площади большего урожая, сбалансированного по качественному составу.

Положительный эффект посевов трав в повышении плодородия почвы зависит от их продуктивности, что оказывает влияние на накопление органического вещества в почве [10], [11].

Результаты изучения продуктивности однолетних трав, выращиваемых на зеленый корм свидетельствуют, что совместный посев гороха и овса практически не реагировал на способы, системы и глубину основной обработки почвы (табл. 1).

Таблица 1 – Урожайность зеленой массы однолетних трав при различных способах и системах основной обработки почвы во второй ротации десятипольного зернопропашного севооборота (средняя за 7 лет), т/га

№ п/п	Обработка почвы и глубина	Удобрение (фактор В)		Средняя (А) НСР <sub>05</sub> =1,5
		без удобрений	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	
1	Вспашка на глубину 20-22 см (контроль)	16,5	22,1	19,3
2	Отвальная на глубину 25-27 см	16,0	21,8	18,9
3	Отвальная на глубину 30-32 см	16,3	22,2	19,2
4	Отвальная на глубину 35-37 см	17,0	22,3	19,6
5	Разноглубинная вспашка двухъярусным плугом, под травы на глубину 20-22 см	15,8	22,1	19,0
6	Разноглубинная вспашка ПН-4-35 (в т.ч. 30% отвального лущения), под травы вспашка на глубину 20-22 см	17,1	23,0	20,0
7	Комбинированная обработка (30% плоскорезной обработки), под травы вспашка на глубину 20-22 см	17,4	23,6	20,5
8	Комбинированная обработка (60% плоскорезной обработки), под травы плоскорезная на глубину 10-12 см	16,6	22,2	19,4
9	Плоскорезная разноглубинная (100%), под травы на глубину 20-22 см	16,0	21,2	18,6
10	Рыхление плугом без отвало на глубину 25-27 см	16,1	20,8	18,4
Средняя (В), НСР <sub>05</sub> = 0,8		16,5	22,1	+5,6

Примечание: НСР<sub>05</sub> = 2,1 (для сравнения частных средних фактора А); НСР<sub>05</sub> = 2,5 (для сравнения частных средних фактора В)

Урожайность зеленой массы однолетних трав, независимо от фона удобренности, находилась в пределах от 18,4 т/га при ежегодном безотвальном рыхлении плугом без отвало на глубину 25-27 см до 20,5 т/га в комбинированной системе обработки почвы в севообороте и при вспашке на глубину 20-22 см под однолетние травы (на контроле – 19,3 т/га) при НСР<sub>05</sub> = 1,5 т/га.

Наибольшая урожайность зеленой массы однолетних трав на фоне без применения удобрений 17,4 т/га и с применением удобрений – 23,6 т/га была получена при комбинированной системе обработки почвы в севообороте с 30% насыщением плоскорезной обработки, проводимой под озимую пшеницу и вспашке на глубину 20-22 см под однолетние травы.

По вспашке на глубину 20-22 см отмечалось и наибольшее количество клубеньковых бактерий на корнях гороха 32,5 шт. на растение. Применение безотвальной обработки почвы и углубление вспашки свыше 20-22 см приводило к снижению количества клубеньковых бактерий на корнях гороха на 24-32% и 6-11% соответственно.

Сочетание различных способов и глубины основной обработки почвы в комбинированных системах обработки почвы севообороте не приводило к снижению урожайности, а даже обозначило тенденцию к ее росту. При ежегодной систематической безотвальной обработке почвы в севообороте прослеживается тенденция снижения урожайности однолетних трав и эффективности применяемых удобрений.

Посев горохо-овсяной смеси хорошо отзывается на применение удобрений. Применение минеральных удобрений  $N_{60}P_{60}K_{60}$  увеличивает урожайность зеленой массы однолетних трав независимо от обработки почвы на 33,9%. Наибольшая прибавка урожая зеленой массы однолетних трав от применения минеральных удобрений получена по отвальным обработкам почвы 5,6-6,3 т/га.

#### Заключение

Учитывая незначительное влияние различных способов и глубины основной обработки почвы и изменение эффективности применяемых удобрений в сочетании с различными обработками, с учетом производственных и экономических возможностей хозяйств, под однолетние травы в почвенно-климатических условиях ЦЧР возможно применение различных способов обработки почвы.

Применение минеральных удобрений  $N_{60}P_{60}K_{60}$  под горохо-овсяную смесь имеет достаточно высокую эффективность. Урожайность зеленой массы увеличивается более чем на 30%. Наибольшая прибавка урожая зеленой массы однолетних трав от применения минеральных удобрений получена по отвальным обработкам почвы 5,6-6,3 т/га.

Учитывая изменение продуктивности гектара пашни в целом по севообороту и влияние обработки на плодородие почвы и эффективность применяемых удобрений, при обработке почвы под однолетние травы предпочтение следует отдавать вспашке на глубину 20-22 см.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Кутузова А.А. Перспективы лугового травосеяния в Центрально-Черноземном районе / А.А. Кутузова, Д.М. Тебердиев, И.А. Трофимова // Современные проблемы луговодства, селекции и семеноводства кормовых культур. – Москва-Воронеж, 2002. – С. 14-18.
2. Шатский, И.М. К 95-летию Воронежской опытной станции по многолетним травам / И.М. Шатский, И.С. Иванов, И.А. Новикова, Н.В. Сапрыкина, А.В. Чекмарева // Кормопроизводство. – 2015. – № 1. – С. 3-7.
3. Вороничев, Б.А. Продуктивность однолетних трав / Б.А. Вороничев, В.В. Коломейченко // Кормопроизводство. – 2003. – №3. – С. 5.
4. Кубарев, В.А. Смеси однолетних трав / В.А. Кубарев, В.А. Финагин // Кормопроизводство. – 2002. – № 9. – С. 28.
5. Исаев, А.П. Качество и продуктивность зернобобовых культур и овса в чистых и смешанных посевах / А.П. Исаев // – Бюлл. НТИ ВНИИ зернобоб. и круп. культур. – Орёл, 1974. – № 8. – С. 59-63.
6. Зубрицкий, В.А. Агромоделирование при возделывании смешанных посевов / В.А. Зубрицкий, В.П. Нестерчук, М.Я. Слюсаренко // Кукуруза и сорго. – 1994. – №3. – С. 4-6.
7. Яковлева Е.П. Кормопроизводство в управлении агроландшафтами / Инновационные технологии в адаптивно-ландшафтном земледелии Коллективная монография. Книга 2. / Федер. агентство научн. орг., ФГБНУ «Владимир. науч.-исслед. ин-т сел. хоз-ва»; [под ред. А.И. Еськова]. – Иваново: ПресСто, 2015. – С. 28-34.
8. Шпаков А.С., Воловик В.Т. Развитие полевого кормопроизводства в России / А.С. Шпаков, В.Т. Воловик // Земледелие. – 2009. – № 6. – С. 22-24.
9. Яговенко Л.Л. Эффективность смешанных посевов ячменя с люпином / Л.Л. Яговенко, Г.Л. Яговенко, Е.И. Исаева // Кормопроизводство. – 2005. – № 4. – С. 21-22.
10. Синицына Н.Е. Влияние однолетних и многолетних трав на формирование качественного состава гумуса черноземов и темно-каштановых почв Саратовской области / Н.Е. Синицына, М.С. Михайлов, Т.В. Плешинец, Е.А. Акафьева // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2013. – № 9. – С. 39-41.
11. Аксенова Ю.В. Роль многолетних трав и интенсивной системы земледелия в повышении энергетического потенциала органического вещества длительно орошаемой лугово-черноземной почвы / Ю.В. Аксенова, В.С. Бойко // Земледелие. – 2017. – № 5. – С. 18-20.
12. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта / Изд. 5-е доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
13. Доспехов Б.А. Практикум по земледелию / Б.А. Доспехов, И.П. Васильев, А.М. Туликов / Изд. 2-е доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1987. – 383 с.
14. Вадюнина А.Ф. Методы исследования физических свойств почв / А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина. М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.

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

1. Kutuzova A.A. Perspektivy lugovogo travosejaniya v Central'no-Chernozemnom rajone [Prospects of meadow herbage in the Central Chernozem region] / A.A. Kutuzova, D.M. Teberdiev, I.A. Trofimova // Sovremennye problemy lugovodstva, selekcii i semenovodstva kormovykh kul'tur [Modern problems of meadow farming, selection and seed production of forage crops], Moscow-Voronezh, 2002, P. 14-18. [in Russian]
2. Shatsky, I.M. K 95-letiju Voronezhskoj opytnoj stancii po mnogoletnim travam [To the 95th anniversary of the Voronezh experimental station on perennial herbs] / I.M. Shatsky, I.S. Ivanov, I.A. Novikova, N.V. Saprykina, A.V. Chekmareva // Kormoproizvodstvo [Feed Production]. – 2015. – № 1. – P. 3-7. [in Russian]
3. Voronichev, B. A. Produktivnost' odnoletnih trav [Productivity of annual grasses] / B.A. Voronichev, V.V. Kolomeichenko // Kormoproizvodstvo [forage Production]. – 2003. – № 3. – P. 5. [in Russian]
4. Kubarev, V.A. Smesi odnoletnih trav [Mixtures of annual herbs] / V.A. Kubarev, V.A. Finagin // Kormoproizvodstvo [Feed Production]. – 2002. – № 9. – P. 28. [in Russian]
5. Isaev, A.P. Kachestvo i produktivnost' zernobobovykh kul'tur i ovsa v chistyyh i smeshannykh posevakh [Quality and productivity of leguminous crops and oats in pure and mixed crops] / A.P. Isaev // Bjull. NTI VNII zernobob. i krup. kul'tur. [Byull. STI Institute Ternopol. I Krup]. Kultury-Orel, 1974. – № 8. – P. 59-63. [in Russian]

6. Zubritskiy V.A. Agromodelirovanie pri vozdeleyvanie smeshannyh posevov [Agromodeling in the cultivation of mixed crops] / Zubritskiy V.A., Nesterchuk V.P., Slyusarenko M.Ya // Kukuruz i sorgo [Maize and sorghum]. – 1994. – № 3. – P. 4-6. [in Russian]
7. Yakovleva E.P. Kormoproizvodstvo v upravlenii agrolandschaftami [forage Production in the management of agricultural landscapes] / Innovative technologies in adaptive landscape agriculture Collective monograph. Book 2. / Feder. the Agency scientific. org., FEDERAL state budgetary scientific institution "Vladimir. scientific-research. in-t sat. khoz-VA"; [under the editorship of A.I. Eskova]. – Ivanovo: Pressto, 2015. – P. 28-34. [in Russian]
8. Shpakov A.S. Razvitie polevogo kormoproizvodstva v Rossii [Development of field forage production in Russia] / A.S. Shpakov, V. T. Volovik / Zemledelie [Agriculture]. – 2009. – № 6. – P. 22-24. [in Russian]
9. Yagovenko L.L. Efficiency of mixed crops of barley with Lupin / L.L. Yakovenko, G.L. Yakovenko, E.I. Isaev // Forage Production, 2005. – № 4. – P. 21-22. [in Russian]
10. Sinitsyna N.E. Influence of annual and perennial grasses on the formation of the qualitative composition of humus of chernozems and dark chestnut soils of the Saratov region // Bulletin of the Saratov state agrarian University named after N.I. Vavilov, 2013, – № 9, – P. 39-41. [in Russian]
11. Aksenova Yu.V. Rol' mnogoletnih trav i intensivnoj sistemy zemledelija v povyshenii jenergeticheskogo potenciala organicheskogo veshhestva dlitel'no oroshaemoj lugovo-chernozemnoj pochvy [the Role of perennial grasses and intensive farming systems in increasing the energy potential of organic matter of long-irrigated meadow-Chernozem soil] / Yu.V. Aksenova, V.S. Boyko // Agriculture. – 2017. – № 5. – P. 18-20. [in Russian]
12. Dospechov B.A. Metodika polevogo opyta [Methods of field experience] / Ed. 5th add. and reslave. – M. : Agropromizdat, 1985. – 351 p. [in Russian]
13. Dospechov B.A. Workshop on Agriculture / Dospechov B.A., Vasiliev I.P., Tulikov A.M/ Ed. 2nd add. and reslave. – M. : Agropromizdat, 1987.– 383 p. [in Russian]
14. Vadyunina A.F. Metody issledovaniya fizicheskikh svojstv pochv [Methods of studying the physical properties of soils] / Vadyunina A.F., Korchagina Z.A.. M. : Agropromizdat, 1986. – 416 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.97.7.023>ОПЫТ МЕЛИОРАЦИИ ТЕМНО-КАШТАНОВЫХ СЛИТНЫХ ПОЧВ  
ЛЕСНОГО ПИТОМНИКА «АК КАЙЫН»

Научная статья

Рахимжанов А.Н.<sup>1</sup>, Залесов С.В.<sup>2,\*</sup>, Зарубина Л.В.<sup>3</sup><sup>1</sup> ORCID: 0000-0001-6287-8220;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0003-3779-410X;<sup>3</sup> ORCID: 0000-0002-6949-8607;<sup>1</sup> Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации, Щучинск, Казахстан;<sup>2</sup> Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия;<sup>3</sup> Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина, Вологда, Россия

\* Корреспондирующий автор (zalesovsv[at]m.usfeu.ru)

## Аннотация

Проанализирована возможность мелиорации темно-каштановых слитных почв в подзоне сухой степи Северного Казахстана. Работа проводилась в два этапа. На первом этапе проводился 6-месячный эксперимент по установлению возможности мелиорации засоленных почв в лабораторных условиях и установлению оптимальных доз внесения ингредиентов. На втором этапе установленные лабораторным способом дозы ингредиентов были внесены в почву питомника «Ак кайын» с последующим посевом семян смородины золотистой (*Ribes aureum* Pursh.). В результате проведения полевых опытов установлено, что внесение смеси мелиорантов из золы в дозе 10 т/га и фосфогипса в дозе 20 т/га приводит к увеличению выхода стандартного посадочного материала смородины золотистой в 1,4 раза по сравнению с контролем. При этом средние показатели на опытном участке превышали таковые на контроле по высоте на 96,1%, диаметру корневой шейки на 21,6%, протяженности корней на 62,3% и массе в абсолютно-сухом состоянии на 64,7%.

**Ключевые слова:** Северный Казахстан, подзона сухой степи, слитные почвы, мелиорация, посадочный материал, смородина золотистая.

RECLAMATION EXPERIENCE ON DARK-CHESTNUT MERGED SOILS  
IN AK KAYIN FOREST TREE NURSERY

Research article

Rakhimzhanov A.N.<sup>1</sup>, Zalesov S.V.<sup>2,\*</sup>, Zarubina L.V.<sup>3</sup><sup>1</sup> ORCID: 0000-0001-6287-8220;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0003-3779-410X;<sup>3</sup> ORCID: 0000-0002-6949-8607;<sup>1</sup> Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, Schuchinsk, Kazakhstan;<sup>2</sup> Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia;<sup>3</sup> Vologda State Dairy Academy named after N.V. Vereshchagin, Vologda, Russia

\* Corresponding author (zalesovsv[at]m.usfeu.ru)

## Abstract

In this paper, the authors analyzed the possibility of reclamation of dark chestnut merged soils in the dry steppe subzone of Northern Kazakhstan. This work was carried out in two stages. At the first stage, the 6-month experiment was conducted to define the possibility of saline soil reclamation under laboratory conditions and to establish the optimal doses of ingredients. At the second stage, the doses of ingredients established by the laboratory method were introduced into the soil of the Ak Kayin tree nursery, followed by sowing the seeds of golden currant (*Ribes aureum* Pursh.). As a result of these field experiments, it was found that the introduction of ameliorants mixture of ash at a dose of 10 t/ha and phosphogypsum at a dose of 20 t/ha leads to the increase in the yield of standard planting material of golden currant by 1.4 times compared to the control samples. At the same time, the average values in the experimental section exceeded those in the control sample by height by 96.1%, root diameter by 21.6%, root length by 62.3%, and weight in absolutely dry condition by 64.7%.

**Keywords:** Northern Kazakhstan, dry steppe subzone, continuous soils, reclamation, planting stock, golden currant.

## Введение

Лесоразведение в условиях сухой степи Северного Казахстана во многом определяется лесопригодностью почв и наличием качественного посадочного материала. Работы по созданию устойчивых насаждений в аридных условиях ведутся уже давно и накоплен значительный опыт выращивания древесных насаждений не только на лесопригодных, но также на ограниченно-лесопригодных почвах [1],[5].

В то же время высокая мозаичность почв разной лесопригодности [6] создает значительные сложности даже при выращивании посадочного материала. Особо следует отметить, что восстановление плодородия солонцовых и солончаковых почв не может быть обеспечено традиционными агротехническими приемами обработки и внесением обычных минеральных и органических удобрений [7], [8].

Так, в частности, при площади лесного питомника «Ак Кайын» республиканского государственного предприятия на праве хозяйственного ведения «Жасыл Аймак» (РГП «Жасыл Аймак») 110 га незасоленные темно-каштановые почвы составляют лишь 23 га [9]. Почвы остальной части питомника следует признать ограниченно лесопригодными. Низкая лесопригодность почв лесного питомника «Ак Кайын» связана с процессами слитогенеза темно-каштановых почв, которые обусловлены тяжелым механическим составом, солонцовым прошлым и формированием после многократного разрушения сельскохозяйственными орудиями солонцового горизонта. В результате негативных процессов

коркообразования и сопутствующих физических явлений - трещинообразования наблюдается сдвиг почвенной массы с образованием полированных и бороздчатых поверхностей «сликенсайдов» и типа микрорельефа «гильгай» [10].

Восстановление плодородия и лесопригодности слитных темно-каштановых солонцовых почв должно основываться на новых мелиоративных технологиях, в основу которых положено применение эффективных биотехнологий и биоминеральных удобрений.

В процессе исследований предпринята попытка анализа возможности повышения плодородия и лесопригодности почв мелиоративными приёмами.

Цель исследования обобщение и анализ опыта мелиорации почв и ликвидации коркообразования на лесном питомнике «Ак Кайын».

### **Материалы и методы исследования**

Объектом исследований являлись содово-засоленные солонцы и слитные темно-каштановые почвы лесного питомника «Ак Кайын».

Исследования проводились в два этапа. На первом этапе проанализирована возможность физического моделирования процессов мелиорации засоленных почв в лабораторных условиях. В целях ликвидации слитогенеза и образования почвенной корки вносились зола, сера, биогумус и фосфогипс в различных сочетаниях и дозах.

В ходе 6-месячных экспериментов выполнялись следующие работы.

В металлических лотках (кюветах) создавался дренаж мощностью 4 см путем укладки слоя гальки 1 см и песка 3 см. затем в лотки кювета помещалась измельченная и просеянная через сито с ячейками 2 мм экспериментальная почва слоем 2 см. Почва в кюветах слегка уплотнялась до плотности 1,2 г/см<sup>3</sup>.

С учетом размеров лотка доза внесения ингредиента, соответствующая 1 т/га, равнялась 7,04 г. Так, при исследовании эффективности внесения золы, в дозе 10 т/га в смеси с фосфогипсом в дозе 20 т/га готовилась смесь из 70,4 г золы и 140,8 г фосфогипса, которая тщательно перемешивалась и равномерно размещалась на поверхности почвы, помещенной в лотке кювета.

Модельные опыты включали различные дозы и сочетания золы, фосфогипса, серы и биогумуса. Перед началом эксперимента смеси тщательно перемешивались и равномерно наносились на поверхность почвы в лотке.

После нанесения смеси на поверхность почвы она равномерно проливалась до величины насыщения, что примерно равнялась доле воды 50% от массы почвы, а затем лотки (кюветы) выставлялись на солнце для сушки.

Вторым этапом работ было проведение полевого опыта. Опыт проводился в соответствии с общепринятыми методиками [11], [12]. При его проведении на территории лесного питомника было выделено два участка, на одном из которых выполнена мелиорация почвы путем внесения смеси золы (10 т/га) и фосфогипса (20 т/га). Выбор и доза смеси были установлены по результатам модельных опытов. Второй участок был контрольным и на его территории мелиорация почвы не производилась. Технология посева, обработки почвы, агротехнических уходов на опытном и контрольном участках были аналогичными.

В качестве посадочного материала была выбрана смородина золотистая (*Ribes aureum* Pursh.).

### **Результаты и обсуждение**

В качестве мелиорантов садово-засоленных и слитных темно-каштановых почв лесного питомника «Ак Кайын» использовались степногорский фосфогипс и зола ТЭЦ г. Шахтинска, полученная при сжигании каменного угля Карагандинского бассейна. Основанием для выбора золы, получаемой при сжигании каменного угля Карагандинского бассейна, являлся ее специфический состав. Указанная зола содержит до 10% органических остатков, которые являются базовыми элементами воспроизводства гумуса в мелиорируемых почвах.

Химический анализ почв лесного питомника показал, что они характеризуются низкой и средней обеспеченностью подвижным азотом. Потенциальное плодородие почв по содержанию органического вещества - низкообеспеченные (в пределах 1,5-2,7%). В таких малогумусовых маломощных почвах значительно усиливается отрицательное влияние солонцеватости на лесорастительные свойства и выращивание посадочного материала становится почти невыполнимой задачей. Особо следует отметить, что в указанных почвах весь подвижный фосфор переходит в труднодоступную форму, образуя соль фосфора с карбонатами.

Проведение модельных опытов позволило сократить затраты труда и средств на подбор оптимальных видов и доз мелиорантов. Эффективность физического действия мелиорантов при модельных опытах устанавливалась по наличию или отсутствию трещин на поверхности почвы в лотках, наличию структурных отдельностей, вкраплений соли и гипса.

Выполненные исследования показали существенность различий внесения мелиорантов. Так, внесение серы в дозах 4 и 8 т/га не оказало сколь либо существенного влияния на трещиноватость почв (рис. 1).





Рис. 1 – Эффективность внесения серы в качестве мелиорантов:  
а – контроль; б – сера в дозе 4 т/га; в – сера в дозе 8 т/га

Не оказало существенного положительного влияния также внесение смеси золы и серы (рис. 2).



Рис. 2 – Эффективность внесения серы с золой в качестве мелиорантов:  
а – контроль; б – зола (10 т/га) и сера (4 т/га); в – зола (10 т/га) и сера (8 т/га)

Эффективность мелиорации резко возрастает при добавлении в смеси биогуруса (рис. 3) и фосфогипса (рис. 4).





Рис. 3 – Эффективность внесения комплексного мелиоранта (зола, сера, биогумус): а – контроль; б – зола (10 т/га), сера (4 т/га) и биогумус (4 т/га); в – зола (10 т/га), сера (8 т/га) и биогумус (8 т/га)



Рис. 4 – Эффективность внесения мелиорантов:  
а – контроль; б – фосфогипс (20 т/га); в – зола (10 т/га) и фосфогипс (20 т/га)

Материалы рисунков 3 и 4 свидетельствуют, что при внесении смеси из золы (10 т/га), серы (8 т/га) и биогумуса (8 т/га), а также золы (10 т/га) и фосфогипса (20 т/га) на поверхности почвы в лотках отсутствуют трещины и вкрапления солей фосфора. Отмеченное позволяет судить о высокой эффективности мелиорации и полном включении фосфора в обменные процессы почвенно поглощающего комплекса.

Весной 2014 г. на опытном участке лесного питомника «Ак Кайын», в соответствии с программой работ и методикой исследований была проведена мелиорация почвы путем внесения смеси золы (10 т/га) и фосфогипса (20 т/га). Работы проводились в 3-х повторностях, при этом каждый из опытных и контрольных участков имел площадь 0,05 га. В основу эксперимента положена гипотеза о том, что изменение химического состава почв, вызванное внесением мелиорантов, должно отразиться на выходе посадочного материала.

Весной 2015 г. был произведен посев семян смородины золотистой на опытном и контрольном участках.



Данные обмера выращенного посадочного материала смородины золотистой показали на опытном участке количество стандартного посадочного материала увеличилось по сравнению с контрольным участком в 1,4 раза.

Внесение мелиорантов оказало положительное влияние на все основные таксационные показатели выращиваемого посадочного материала (табл. 1).

Таблица 1 – Основные таксационные показатели посадочного материала, выращенного на лесном питомнике «Ак кайын»

Показатель	Вариант	Среднее значение	Значения		Дисперсия	Коэффициент вариации	Асимметрия	Экссесс
			Минимальное	Максимальное				
Высота, см	Контроль	25,18	23,9	26,7	0,308	2,205	0,332	1,192
	Опыт	49,38	48,8	50,0	0,085	0,591	-0,127	-0,417
Диаметр, см	Контроль	0,37	0,3	0,4	0,002	12,048	-1,112	-0,824
	Опыт	0,45	0,4	0,6	0,003	12,791	0,733	-0,429
Длина корней, см	Контроль	13,52	12,9	14,6	0,097	2,302	1,007	4,563
	Опыт	21,94	21,5	22,3	0,038	0,884	-0,642	0,347
Масса, г	Контроль	4,48	4,1	5,1	0,080	6,327	0,950	-0,292
	Опыт	7,38	7,1	8,0	0,025	2,158	1,376	4,941

Особо следует подчеркнуть, что различия средних таксационных показателей семян смородины золотистой, выращенных на контрольном и опытном участках, статистически достоверны на 95% уровне значимости. Таким образом, экспериментально доказано, что внесение мелиорантов в почвы лесного питомника «Ак Кайын» обеспечивает улучшение как количественных, так и качественных показателей выращиваемого посадочного материала.

#### Выводы

1. Процессы коркообразования и слитогенеза темно-каштановых почв лесного питомника «Ак Кайын» связаны с доминированием солонцов и длительным хозяйственным использованием.

2. Задача улучшения химического состава и лесопригодности почв лесного питомника «Ак Кайын» не может быть решена обычными приёмами агротехнической обработки почвы и внесением минеральных и органических удобрений.

3. Восстановление плодородия почв на основной части лесного питомника может быть обеспечено только путем комплексной мелиорации.

4. Проведение модельных опытов позволило установить, что максимальный эффект мелиорации достигается при внесении смесей из золы 10 т/га и фосфогипса 20 т/га, а также золы 10 т/га, серы - 8 т/га и биогумуса 8 т/га.

5. Внесение смеси мелиорантов из золы в дозе 10 т/га и фосфогипса в дозе 20 т/га приводит к увеличению выходы стандартного посадочного материала смородины золотистой в 1,4 раза по сравнению с контролем, где мелиоранты не вносились. При этом средние показатели посадочного материала на опытном участке превышают таковые на контроле по высоте на 96,1%, диаметру корневой шейки на 21,6%, протяженности корней на 62,3% и массе в абсолютно сухом состоянии на 64,7%.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы /References

1. Залесов С.В. Опыт создания лесных культур на солонцах хорошей лесопригодности. / С.В. Залесов, О.В. Толкач, И.А. Фрейберг, Н.Ф. Черноусова // Экология и промышленность России, 2017. № 9. С. 42-47.

2. Фрейберг И.А. Опыт создания искусственных насаждений в лесостепи Зауралья. / И.А. Фрейберг, С.В. Залесов, О.В. Толкач. - Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2012. 121 с.

3. Залесов С.В. Искусственное лесоразведение вокруг г. Астаны. / С.В. залесов, Б.О. Азбаев, А.В. Данчева, А.Н. Рахимжанов, М.Р. Ражанов, Ж.О. Суюндиков // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 4: URL: [www.Science-education.ru/118-13438](http://www.Science-education.ru/118-13438).

4. Залесов С.В. Надземная фитомасса искусственных березовых насаждений в санитарно-защитной зоне г. Астаны. / С.В. Залесов, Л.А. Белов, Е.С. Залесова, А.С. Оплетев, Ж.О. Суюндиков // Аграрный вестник Урала, 2014. № 9 (127). С. 68-71.

5. Залесов С.В. Производительность искусственных березовых насаждений в зеленой зоне города Астаны / С.В. Залесов, Л.А. Белов, А.В. Данчева, Б.М. Муканов, А.С. Оплетев, Ж.О. Суюндиков // Вестник сельскохозяйственных наук Казахстана, 2014. № 9. С. 53-60.

6. Азбаев Б.О. Почвы зеленой зоны г. Астаны и классификация их по лесопригодности / Б.О. Азбаев, А.Н. Рахимжанов, М.Р. Ражанов // Леса России и хозяйство в них. 2013. С. 12-14.

7. Фрейберг И.А. Возможность ремедиации почв лесных питомников с помощью микроорганизмов / И.А. Фрейберг, С.К. Стеценко // Леса России и хозяйство в них. 2010. № 1 (35). С. 22-28.

8. Залесов С.В. Влияние внесения нетрадиционных удобрений на рост сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) / С.В. Залесов, А.Г. Магасумова, Е.П. Платонов, Е.А. Фролова, Я.И. Вайсман // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. URL: [www.Science-education.ru](http://www.Science-education.ru) / 120-14823.

9. Кан В.М. Повышение плодородия почв лесного питомника «Ак Кайын» Республики Казахстан. / В.М. Кан, А.Н. Рахимжанов, С.В. Залесов // Аграрный вестник Урала, 2013. № 8 (114). С. 39-43.

10. Хитров Н.Б. Генезис, динамика, свойства и функционирование глинистых набухающих почв Центрального Предкавказья / Н.Б. Хитров. М., 2003. 504 с.

11. Щерба С.В. Методика полевого опыта с удобрениями. / С.В. Щерба // Методика полевых и вегетативных опытов с удобрениями и гербицидами. М.: Наука, 1967. С. 3-69.

12. Климентьев А.И. Почвы степного Зауралья: ландшафтно-генетическая и экологическая оценка. / А.И. Климентьев. - Екатеринбург: УрО РАН, 2000. 436 с.

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

1. Zalesov S.V. The experience of creating forest crops on solonchets of good forest suitability. / S.V. Zalesov, O.V. Pusher, I.A. Freiberg, N.F. Black-mustache // Ecology and Industry of Russia, 2017. No. 9. P. 42-47. [in Russian]

2. Freiberg I.A. The experience of creating artificial stands in the forest-steppe of Trans-Urals. / I.A. Freiberg, S.V. Zalesov, O.V. Pusher. - Yekaterinburg: Ural. state forestry technician. un., 2012. 121 p. [in Russian]

3. Zalesov S.V. Artificial afforestation around Astana. / S.V. forestry, B.O. Azbaev, A.V. Dancheva, A.N. Rakhimzhanov, M.R. Razhanov, J.O. Suyundikov // Modern problems of science and education. 2014. No. 4: URL: [www.Science-education.ru](http://www.Science-education.ru) / 118-13438. [in Russian]

4. Zalesov S.V. Elevated phytomass of artificial birch plantations in the sanitary-protective zone of Astana. / S.V. Zalesov, L.A. Belov, E.S. Zalesova, A.S. Opletayev, Zh.O. Suyundikov // Agrarian Bulletin of the Urals, 2014. No. 9 (127). P. 68-71. [in Russian]

5. Zalesov S.V. Productivity of artificial birch plantations in the green zone of Astana / S.V. Zalesov, L.A. Belov, A.V. Dancheva, B.M. Mukanov, A.S. Opletayev, Zh.O. Suyundikov // Bulletin of Agricultural Sciences of Kazakhstan, 2014. No. 9. P. 53-60. [in Russian]

6. Azbaev B.O. Soils of the green zone of Astana and their classification by suitability / B.O. Azbaev, A.N. Rakhimzhanov, M.R. Razhanov // Forests of Russia and the economy in them. 2013. P. 12-14. [in Russian]

7. Freiberg I.A. The possibility of soil remediation of forest nurseries with the help of microorganisms / I.A. Freiberg, S.K. Stetsenko // Forests of Russia and the economy in them. 2010. No. 1 (35). P. 22-28. [in Russian]

8. Zalesov S.V. The effect of the application of non-traditional fertilizers on the growth of seedlings of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) / S.V. Zalesov, A.G. Magasumova, E.P. Platonov, E.A. Frolova, Ya.I. Weissman // Modern problems of science and education. 2014. No. 6. URL: [www.Science-education.ru](http://www.Science-education.ru) / P.120-14823. [in Russian]

9. Kan V.M. Improving soil fertility in the Ak Kaiyn Forest Nursery of the Republic of Kazakhstan. / V.M. Kahn, A.N. Rakhimzhanov, S.V. Zalesov // Agrarian Bulletin of the Urals, 2013. No. 8 (114). P. 39-43. [in Russian]

10. Khitrov N.B. Genesis, dynamics, properties and functioning of clay swellable soils of the Central Ciscaucasia / N.B. Hitrov. M., 2003. 504 p. [in Russian]

11. Shcherba S.V. Methods of field experience with fertilizers. / S.V. Shcherba // Methods of field and vegetative experiments with fertilizers and herbicides. M.: Nauka, 1967. P. 3-69. [in Russian]

12. Klimentyev A.I. Soils of the steppe Trans-Urals: landscape genetic and environmental assessment. / A.I. Klimentiev. - Ekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2000. 436 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.97.7.024>**СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ОЗИМОЙ РЖИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОРТА И ВНЕСЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕНИЯ.**

Научная статья

**Золотарёва Р.И.<sup>1,\*</sup>, Максимов В.А.<sup>2</sup>**<sup>1,2</sup> Мари́йский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», п. Руэм, Россия

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

**Аннотация**

Количественным и качественным выражением жизнедеятельности органов и элементов растений, обуславливающих урожай и отражающих взаимодействие организма и среды, на определенных этапах роста и развития является структура урожая. В данной статье представлены результаты влияния сортовых особенностей на структуру урожая озимой ржи в зависимости от минерального питания. На величину густоты продуктивного стеблестоя большое значение имеет отрастание после поражения снежной плесенью. Ряд исследователей считают, что с увеличением количества растений на единицу площади до известной степени увеличивается урожайность. Недостоверное увеличение, в зависимости от сорта и минерального питания, прослеживается и по коэффициенту продуктивной кустистости. В среднем за три года исследований наибольший уровень кустистости отмечается у сорта Рада, составляет 2,4 на варианте с внесением минерального питания, что на 0,48 выше, чем на варианте без удобрений. Наименьшее значение этого показателя отмечается у контрольного сорта Татьяна - 0,81 на фоне естественного плодородия, что на 0,11 ниже, чем на варианте с внесением азотоса в дозе 1,5 ц/га. Среднее количество зерен на варианте с внесением минерального питания составляет 50,8 шт., что на 8,96 % больше, чем на контроле. Достоверное увеличение количества зерен от внесения минерального питания отмечается у сорта Рада, а у остальных сортов прибавка незначительна. С увеличением кустистости уменьшается количество зерен в колосе. Минеральные удобрения положительно действуют на структуру урожая. По результатам проведенного корреляционного анализа элементов структуры урожая у сортов озимой ржи, нами установлена сильная положительная взаимосвязь между урожайностью и коэффициентом продуктивной кустистости и составляет 0,92 (у сорта Татьяна); 0,91 (у сорта Московская 15) и 0,82 (у сорта Рада). Также наблюдается положительная корреляционная связь между урожайностью и количеством зерен в колосе ( $r=0,80; 0,87; 0,90$ ; у сортов Татьяна, Московская 15 и Рада) и высотой растений ( $r=0,76; 0,81; 0,71$  у сортов Татьяна, Московская 15 и Рада).

**Ключевые слова:** озимая рожь, минеральные удобрения, сорта, густота стеблестоя, коэффициент продуктивности, корреляция.

**STRUCTURAL ANALYSIS OF AUTUMN RYE DEPENDING ON VARIETIES AND APPLICATION OF MINERAL FERTILIZERS**

Research article

**Zolotareva R.I.<sup>1,\*</sup>, Maximov V.A.<sup>2</sup>**<sup>1,2</sup> Mari Agricultural Research Institute, Ruem Village, Russia

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

**Abstract**

The structure of the crop is a quantitative and qualitative expression of the vital activity of organs and elements of plants that determine the crop and reflect the interaction of the organism and the environment, at certain stages of growth and development. This article presents the results of the influence of varietal characteristics on the structure of the autumn rye crop, depending on mineral nutrition. Regrowth after affection with snow mold is of great importance for the density of the productive stalk. A number of researchers believe that with an increase in the number of plants per unit area, yield increases to a certain extent. An unreliable increase, depending on the variety and mineral nutrition, also can be traced by the coefficient of productive bushiness. On average, over three years of research, the highest level of bushiness was observed in the Rada variety; it is 2.4 in the case of mineral nutrition, which is 0.48 higher than in the option without fertilizers. The lowest value of this indicator is observed in Tatyana (control variety) – 0.81 against the background of natural fertility, which is 0.11 lower than in the case with the introduction of Azofoska at a dose of 1.5 c/ha. The average number of grains in the variant with the introduction of mineral nutrition is 50.8 pcs., which is 8.96% more than in the control sample. A significant increase in the number of grains from the introduction of mineral nutrition is noted in the Rada variety, and in the other varieties, the increase is insignificant. With an increase in bushiness, the number of grains in the spike decreases. Mineral fertilizers have a positive effect on the structure of the crop. According to the results of the correlation analysis of the elements of the crop structure in winter rye varieties, we have established a strong positive relationship between productivity and the coefficient of productive bushiness; it is 0.92 (Tatyana variety); 0.91 (Moscow variety 15) and 0.82 (Rada variety). There is also a positive correlation between the yield and the number of grains in the spike ( $r = 0.80; 0.87; 0.90$ ; in Tatyana, and Moscow varieties, and 15 in Rada variety) and the height of the plants ( $r = 0.76; 0.81; 0.71$  for Tatyana, and Moscow varieties, and 15 for Rada variety).

**Keywords:** autumn rye, mineral fertilizers, varieties, the density of the stalk, productivity coefficient, correlation.

**Введение**

Озимая рожь – важнейшая зерновая продовольственная и кормовая культура, особенно в районах с ограниченным возделыванием озимой пшеницы. Она лучше других озимых зерновых культур, адаптирована к агроклиматическим условиям северной зоны России [2].

Зерно ржи является основным продуктом сельского хозяйства и используется для производства продуктов питания, для людей и кормов, для домашних животных [4]. Внедрение в производство низкопентозановых сортов ржи, зерно которых без ограничений можно использовать на корм, способствует значительному повышению востребованности озимой ржи [5], [6]. Зеленая масса, убранная до колошения, пригодна для получения раннего зеленого корма с повышенным содержанием протеинов и сахаров, до 15 - 20 %, в сухом веществе.

В условиях Нечернозёмной зоны урожайность озимой ржи колеблется от 2 до 6 т/га, что связано, в основном, с воздействием погодных условий и соблюдением требований технологии выращивания. Площади посева озимой ржи в России сократились, в связи с чем повышение урожайности посевов озимой ржи становится одной из важнейших проблем, для решения которой необходимо получать новые сорта, обладающие высокой адаптивностью и урожайностью.

В стратегии адаптивной интенсификации земледелия предпочтение отдается биологическим факторам перед химическими, но применение техногенных средств не игнорируется. Из технологических приемов наибольшее влияние на повышение продуктивности культур оказывают удобрения. Применение минеральных удобрений является одним из основных путей увеличения производства растениеводческой продукции на дерново-подзолистых почвах [9], [14].

Количественным и качественным выражением жизнедеятельности органов и элементов растений, обуславливающих урожай и отражающих взаимодействие организма и среды, на определенных этапах роста и развития является структура урожая. Вопросами влияния структуры урожая на зерновую продуктивность озимой ржи в зависимости от сорта раскрыта в диссертации Тороп Е. А [13]. Автор пишет, что существуют сортовые различия в особенностях формирования урожайности озимой ржи. Наиболее четко они проявляются в неблагоприятные годы. Эти различия связаны с особенностями архитектоники растений и с физиолого-генетическими свойствами сортов.

Формирование элементов урожая зерновых неразрывно связана с условиями роста и развития. Общая и продуктивная кустистость, высота растений, длина колоса, его число зерен в колосе – все это результат сложных процессов, протекающих в растении под воздействием условий произрастания на протяжении всего вегетационного периода [7]. Интенсивность и направленность физиологических и биохимических процессов в озимой ржи в значительной мере определяется уровнем питания растений, в зависимости от обеспеченности растений питательными веществами.

#### **Материалы и методы исследования**

Цель исследования – изучить влияние минеральных удобрений на основные хозяйственно ценные признаки сортов озимой ржи. Материалом для исследования послужили три сорта озимой ржи: Татьяна, Московская 15 и Рада. Сорта испытывали по паровому предшественнику в 2016-2018 гг. на опытных полях Марийского НИИСХ – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока

#### **Схема стационарного двухфакторного опыта**

**Фактор А** – сорта озимой ржи – организация-оригинатор:

1. Татьяна (контроль) – ФГБНУ Московский НИИСХ «Немчиновка».
2. Московская 15 – ФГБНУ Московский НИИСХ «Немчиновка»
3. Рада – ФГБНУ ЗНИИСХ Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого

**Фактор В** (фон – основное внесение под предпосевную культивацию).

1. Без удобрений (контроль).
2. Внесение азофоски (N24P24K24) в дозе 1,5 ц/га.

Изучение образцов озимой ржи проводилось в питомниках, высеваемых сеялкой СН-16 в трёх повторениях, на делянках по 10 м<sup>2</sup>. Расположение вариантов рендомизированное. Почва опытного участка дерново-подзолистая среднесуглинистая с содержанием гумуса 2,12 - 2,36 %, pH<sub>сол.</sub> – 6,1-6,3, общего азота 0,21 мг/кг, подвижного фосфора 381-395 мг/кг. Наблюдения и оценку в опытах проводили в соответствии с методическими пособиями [1], [8]. Опыты высевались в севообороте с использованием общепринятой технологии подготовки почвы и ухода за посевами. Посев проводили в оптимальные сроки – с 25 августа по 01 сентября по чистому пару. Уборка с каждой делянки проводили вручную серпом. Обмолот проводили на стационарной молотилке.

Исследования многих учёных показали, что существенным фактором, влияющим на формирование урожая зерна озимой ржи, служат погодные условия. Высокую урожайность озимой ржи можно получить в том случае, если она хорошо перезимует и будет развиваться в благоприятных погодных условиях в весенне-летний период [3].

Испытание проводили по методике ГСИ. Сортобразцы оценивали по основным хозяйственным признакам: продуктивная кустистость, количество зерен в колосе, масса зерна с колоса, масса 1000зерен. По характеру кущения у растений различают общую и продуктивную кустистость. Под общей кустистостью понимается среднее количество развитых и недоразвитых побегов, приходящихся на куст. Под продуктивной кустистостью понимают среднее количество плодоносящих стеблей, приходящихся на куст. Общая кустистость, как правило, бывает больше, чем продуктивная, так как не все побеги становятся плодоносящими. Поэтому большое практическое значение имеет продуктивная кустистость, от которой значительно зависит урожай [15].

Озерненность колоса или количество зерен в колосе в первую очередь определяется количеством колосков, образовавшихся на выступах колосового стержня. Чем больше колосков, тем больше зерен в колосе и масса зерна с одного колоса. Это сортовой признак, увеличивать который можно также агротехническими мероприятиями. В частности, наибольшее влияние на количество колосков в колосе имеют удобрения. [11].

#### **Результаты и их обсуждение**

Основными факторами, обуславливающими формирование высокой зимостойкости, являются: биологические основы культуры, климатические условия в течение осенне-зимнего и ранневесеннего вегетационных периодов, а также сроки посева озимых и степень развития растений перед уходом в зиму [10], [12]. В исследуемый период осенние условия для закалки и накопления питательных веществ были удовлетворительными. Погодные условия в годы исследований различались. В 2015-2016 гг. зима была теплой, так как сумма отрицательных температур была ниже

многолетней нормы, с высоким снежным покровом (52 см). Весна ранняя, теплая, летом температура была выше нормы. Влаги было достаточно. Весной и летом температура была близка к норме, осадков выпадало больше нормы. Созревание растений было отмечено в конце августа. В 2017-2018 гг. зима была теплее нормы, но в связи с низкой высотой снежного покрова (28 см), глубина промерзания почвы достигала 110 см. Весна была ранней и прохладной, начало лета было прохладным, поэтому наблюдалась задержка развития растений около двух недель. Осадков выпадало больше нормы. Созревание растений наблюдалось в конце августа.

Проведенные обследования посевов к моменту весенней вегетации показывают, что сохранность растений у сортов озимой ржи была различной. Наибольшей сохранностью растений после перезимовки обладает сорт Кировской селекции Рада. За три года исследований в среднем этот показатель был выше и составил 91,3% на фоне без удобрений и 88% с применением минерального питания в дозе N24P24K24, против 82,7% и 79,5% сохранности соответственно фонам на контрольном сорте Татьяна.

На величину густоты продуктивного стеблестоя большое значение имеет отрастание после поражения снежной плесенью. Ряд исследователей считают, что с увеличением количества растений на единицу площади до известной степени увеличивается урожайность. Но по ряду причин заданная при посеве густота почти не сохраняется. Одной из причин главную роль играют почвы, при равных нормах высева густота всходов и густота стеблей перед уборкой всегда меньше на не удобренном фоне. При возделывании сорта Татьяна минимальное значение количество растений перед уходом в зиму отмечено на контрольном варианте (без внесения минерального питания) и составило 350,1 шт./м<sup>2</sup>, а на варианте с внесением азофоски в дозе 1,5 ц/га – 460,5 шт/м<sup>2</sup>. При возделывании сорта Московская 15 это значение было 344,1 шт/м<sup>2</sup> и 418,1 шт/м<sup>2</sup> и у сорта Рада – от 357,3 до 447,6 шт/м<sup>2</sup> соответственно. Недостовверное увеличение, в зависимости от сорта и минерального питания, прослеживается и по коэффициенту продуктивной кустистости. В среднем за три года исследований наибольший уровень кустистости отмечается у сорта Рада - 2,4 на варианте с внесением минерального питания, что на 0,48 выше, чем на варианте без удобрений. Наименьшее значение этого показателя отмечается у контрольного сорта Татьяна - 0,81 на фоне естественного плодородия питания, что на 0,11 ниже, чем на варианте с внесением азофоски в дозе 1,5 ц/га.

Таблица 1 – Структурный анализ урожая озимой ржи, среднее за 2016-2018г.г.

Сорта	Дозы удобрений	Количество растений, шт/м <sup>2</sup>		Прод. куст.	Кол-во зерен в колосе	Урожайность, т/га	Высота растений, см	Масса зерна с колоса, г	Масса 1000 зерен, г
		Перед уходом в зиму	Перед уборкой						
Татьяна (Контроль)	Без удобрений (контроль)	350,1	291,2	1,81	48,9	4,13	117,9	1,72	33,13
	Азофоска в дозе 1,5 ц/га	460,5	357,7	1,92	52,2	4,74	120,5	1,77	33,31
	Среднее	405,4	324,0	1,86	50,5	4,43	119,2	1,75	33,22
Московская 15	Без удобрений (контроль)	344,15	248,0	2,02	48,0	3,89	104,0	1,54	30,19
	Азофоска в дозе 1,5 ц/га	418,1	275,3	2,05	50,24	4,4	107,4	1,57	31,30
	Среднее	375,4	283,8	2,03	49,6	4,14	105,7	1,56	30,25
Рада	Без удобрений (контроль)	357,3	336,7	1,92	42,96	4,79	115,5	1,57	28,57
	Азофоска в дозе 1,5 ц/га	447,6	393,1	2,4	47,81	5,66	119,8	1,67	30,05
	Среднее	402,4	361,2	2,16	45,4	5,23	117,7	1,60	29,20
НСР <sub>05</sub> ч,р		30,5	24,1	0,2	4,9	1,25	9,2	0,8	4,7
НСР <sub>05</sub> фактора А		4,5	56,1	0,1	3,7	0,67	9,7	0,2	2,7
НСР <sub>05</sub> фактора В		80,5	40,2	0,14	4,2	0,52	4,2	0,1	1,4

Один из главных компонентов структуры урожая – озерненность колоса. Среднее количество зерен 50,8 шт, отмечена на варианте с внесением минерального питания, что на 8,96 % больше, чем на контроле. Достоверное увеличение количества зерен от внесения минерального питания отмечается у сорта Рада, а у остальных сортов прибавка незначительна. Анализируя этот показатель можно сказать, что с увеличением кустистости уменьшается количество зерен в колосе, от 45,4 – у сорта Рада до 50,5 – Татьяна независимо от внесения минерального питания.

Высота растений у изучаемых сортов в год исследования варьировала в пределах от 104,0 см (Московская 15), до 117,9 см (Татьяна) на фоне без удобрений, и с применением удобрений 107,4 см (Московская 15) и 120,5 см (Татьяна). Из испытанных сортов в зависимости от внесения минерального питания на высоту растений достоверная прибавка отмечается у сорта Рада, а у остальных сортов прибавка незначительна.

Масса зерна в колосе определяется в основном биологическими особенностями сорта и фоном минерального питания. Большой массой зерна в колосе с показателями 1,72 и 1,77 г отличился сорт Татьяна как на не удобренном, так и на удобренном фоне. Ниже этот показатель у сорта Рада 1,57 и 1,67 г. соответственно по фонам питания. Достоверной прибавки массы зерна с колоса от внесения минерального питания не отмечено.

Крупность зерна определяется особенностями, а также условиями увлажнения второй половины июля. В последнее время селекционеры начали уделять большое внимание крупности зерна как одному из ведущих элементов структуры урожая. Крупность зерна – величина генетически обусловленная, признак фенотипически мало изменчивый и его временное и пространственное варьирование не превышает 8-16%. Из испытываемых сортов наиболее крупное зерно получили при возделывании сорта Татьяна, где масса 1000 зерен - 33,13 и 33,31 г., чуть ниже у сорта Московская 15. Самое мелкое зерно у сорта Рада 28,57 и 30,05 г. соответственно фонам питания. Мелкосемянный сорт озимой ржи Рада имеет более щуплое зерно, но за счет числа колосков и кустистости способен формировать высокую урожайность по сравнению с другими сортами.

За годы исследований, по результатам проведенного корреляционного анализа элементов структуры урожая у сортов озимой ржи, нами установлена сильная положительная взаимосвязь между урожайностью и коэффициентом продуктивной кустистости: 0,92 (у сорта Татьяна); 0,91 (у сорта Московская 15) и 0,82 (у сорта Рада). Также наблюдается положительная корреляционная связь между урожайностью и количеством зёрен в колосе ( $r=0,80$ ; 0,87; 0,90; у сортов Татьяна, Московская 15 и Рада) и высотой растений ( $r=0,76$ ; 0,81; 0,71 у сортов Татьяна, Московская 15 и Рада). Средняя корреляционная связь отмечается между зерновой продуктивностью и массой 1000 зерен ( $r=0,40$ ; 0,35; 0,41 у сортов Татьяна, Московская 15 и Рада).

Таблица 2 – Коэффициент корреляции между показателями продуктивности и урожайностью сортов озимой ржи, среднее за 2016-2018г.г.

Показатели	Коэффициенты корреляции (r), сорта.		
	Татьяна	Московская 15	Рада
Коэффициент продуктивной кустистости	0,92	0,91	0,82
Количество зерен в колосе, шт.	0,80	0,87	0,90
Высота растений, см	0,76	0,81	0,71
Масса зерна с колоса, г	0,40	0,35	0,41
Масса 1000 зерен, г	0,40	0,35	0,41

### Заключение

Результаты трех лет полевых исследований позволили выделить сорт озимой ржи Рада, значительно превышающие стандарт по наибольшей сохранности растений после перезимовки.

Так же анализ проведенных исследований показал, что за вегетационный период (2015-2018г.г.) предпосевное внесение минерального питания аммофоски в дозе 1,5 ц/га увеличивает все показатели структуры урожая. Установлена тесная корреляционная связь между урожайностью и коэффициентом продуктивности и количеством зерен в колосе.

### Финансирование

Работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (тема № 0528-2019-0091).

### Конфликт интересов

Не указан.

### Funding

The work was carried out within the framework of the State task of the North-East Federal state research center (topic # 0528-2019-0091).

### Conflict of Interest

None declared.

### Список литературы / References

- Доспехов Б.А. Методы полевого опыта с основами статистической обработки / Б.А. Доспехов // Изд-е 5-е, дополненное и переработанное. – М.: Наука, 1985.-351 с.
- Жученко А.А. Рожь – важнейшая продовольственная и кормовая культура России / А.А.Жученко // Агропродовольственная политика. 2012. № 3. с. 14-21.
- Кедрова Л.И. Адаптивный потенциал сортов озимой ржи в условиях почвенного стресса на Северо-Востоке Нечерноземной зоны России / Л.И. Кедрова., Е.И. Уткина, Е.А. Шляхтина., С.В. Коновалова // Достижения науки и техники АПК, 2012. – № 6. – С. 26-28.
- Максимов В.А. Урожайность и качество зерна сортов озимой ржи в условиях Республики Марий Эл / В.А. Максимов, Р.И. Золотарёва // Вестник Марийского Государственного Университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2018. Т. 4. № 1. С. 23-28. <https://elibrary.ru/item.asp?id=32785701>
- Максимов В.А. Результаты экологического испытания новых сортов озимой ржи в условиях республики Марий Эл / В.А.Максимов, Р.И. Золотарёва // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2019. Т. 5. № 2. С. 178-184. DOI: 10.30914/2411-9687-2019-5-2-178-184 URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39256384> (дата обращения 18.05.2020)
- Максимов В.А. Влияние разных доз азотной подкормки на зерновую и кормовую продуктивность сортов озимой ржи в условиях Республики Марий Эл / В.А. Максимов, Р.И. Золотарёва // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018. Т.65. № 4. С. 36-41. doi: 10.30766/2072-9081.2018.65.4.36-41. URL <https://elibrary.ru/item.asp?id=35383856> (дата обращения 18.05.2020)
- Мамбетов К.Б. Влияние удобрений на структуру урожая озимой пшеницы / К.Б. Мамбетов // Вестник кыргызского национального аграрного университета им. К.И. Скрябина. 2014. №1 (30) с. 288-291. URL <https://elibrary.ru/item.asp?id=25500621> (дата обращения 18.05.2020)

8. Методика государственного испытания сельскохозяйственных культур. – М.: Колос, 1985. – 267с.
9. Петрова Л.И. Влияние удобрений на формирование урожая озимой тритикале/ Л.И. Петрова., Ю.И. Митрофанов., Н.К. Первушина. В.Н. Лапушкина. // Зерновое хозяйство России. 2019. № 3 (63). С. 69-72. DOI 10.31367/2079-8725-2019-63-3-69-72
10. Потапова Г.Н. Новые сорта и особенности технологии выращивания озимых зерновых культур / Г.Н. Потапова и др. //Пермский аграрный вестник. 2017. № 2. С. 48-56.
11. Продуктивность и структура урожая озимой пшеницы 2016-03-27 [Электронный ресурс] – URL : <https://www.zerno-ua.com/journals/2008/iyul-2008-god/produktivnost-i-struktura-urozhaya-ozimoy-pshenicy> (дата обращения 18.05.2020).
12. Сысеев В.А. Озимая рожь. Возделывание и использование на пищевые и кормовые цели. Проблемы и решения / В.А. Сысеев и др.. // М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2007. 172 с.
13. Тороп Е.А. Структура урожайности озимой ржи в связи с разработкой перспективной модели сорта для условий Центральной-Чернозёмной зоны / Елена Александровна Тороп //: диссертация... кандидата сельскохозяйственных наук: 06.01.05. – Каменная степь, 2000. - 201 с.
14. Турусов В.И. Влияние применения минеральных удобрений на структуру урожая озимой пшеницы / В.И. Турусов, Л.А. Пискарева., Е.Г. Бочарникова. // Современные тенденции в научном обеспечении агропромышленного комплекса коллективная монография. под редакцией В.В. Окоркова. Иваново, 2019 издательство: Федеральное Государственное Бюджетное научное Учреждение "Верхневолжский федеральный аграрный научный центр". стр. 147-150. URL [https://elibrary.ru/query\\_results.asp](https://elibrary.ru/query_results.asp) (дата обращения 18.05.2020)
15. Фаза кущения озимой ржи [Электронный ресурс] – URL : <https://www.activestudy.info/faza-kushheniya-ozimoy-rzhi/> (дата обращения 18.05.2020).

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

1. Dospekhov B. A. Methods of field experience with the basics of statistical processing / B. A. Dospekhov // Ed. 5-e, supplemented and revised. - Moscow: Nauka, 1985. -351 p. [in Russian]
2. Zhuchenko A. A. Rye – the most important food and feed culture of Russia / A. A. Zhuchenko // agro-Food policy. 2012. no. 3. pp. 14-21. [in Russian]
3. Kedrova L. I. Adaptive potential of winter rye varieties under soil stress in the North-East of the non-Chernozem zone of Russia / L. I. Kedrova, E. I. Utkina, E. A. shlyakhtina, S. V. Konovalova // Achievements of science and technology of the agro-industrial complex, 2012, no. 6, Pp. 26-28. [in Russian]
4. Maximov V. A. Productivity and quality of grain varieties of winter rye in the conditions of the Republic of Mari El / V. A. Maximov, R. I. Zolotareva // Bulletin Of The Mari State University. A series of "Agricultural science. Economics». 2018. Vol. 4. No. 1. Pp. 23-28. <https://elibrary.ru/item.asp?id=32785701> [in Russian]
5. Maksimov V. A. Results of ecological testing of new varieties of winter rye in the conditions of the Republic of Mari El / V. A. Maksimov, R. I. Zolotareva // Bulletin of the Mari state University. A series of "Agricultural science. Economics». 2019. Vol. 5. No. 2. Pp. 178-184. DOI: 10.30914/2411-9687-2019-5-2-178-184 access Mode: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39256384> [in Russian]
6. Maksimov V. A. Influence of different doses of nitrogen fertilization on grain and feed productivity of winter rye varieties in the conditions of the Republic of Mari El / V. A. Maksimov, R. I. Zolotareva // agrarian science of the Euro-North-East. 2018. Vol. 65. No. 4. Pp. 36-41. doi: 10.30766/2072-9081.2018.65.4.36-41. <https://elibrary.ru/item.asp?id=35383856>
7. Mambetov K. B. Influence of fertilizers on the structure of the winter wheat crop / K. B. Mambetov // Bulletin of the Kyrgyz national agrarian University named after K. I. Scriabin. 2014. No. 1 (30) p. 288-291. <https://elibrary.ru/item.asp?id=25500621> [in Russian]
8. Methods of state testing of agricultural crops. - М.: Колос, 1985. – 267p. [in Russian]
9. Petrova L. I. Influence of fertilizers on the formation of winter triticale crop/ L. I. Petrova., Yu. I. Mitrofanov., N. K. Pervushina. V. N. Lapushkina. // Grain farming in Russia. 2019. No. 3 (63). Pp. 69-72. DOI 10.31367/2079-8725-2019-63-3-69-72 [in Russian]
10. Potapova G. N. New varieties and features of technology for growing winter grain crops / G. N. Potapova et al. // The Perm agrarian journal. 2017. no. 2. Pp. 48-56. [in Russian]
11. Productivity and structure of the winter wheat crop 2016-03-27 [Electronic resource] - URL : <https://www.zerno-ua.com/journals/2008/iyul-2008-god/produktivnost-i-struktura-urozhaya-ozimoy-pshenicy> (accessed 18.05.2020). [in Russian]
12. Sysuev V. A. Winter rye. Cultivation and use for food and feed purposes. Problems and solutions / V. A. Sysuev et al. // Moscow: FGNU "Rosinformagrotech", 2007. 172 p. [in Russian]
13. Torop E. A. Structure of winter rye yield in connection with the development of a promising variety model for the conditions of the Central-Chernozem zone / Elena Aleksandrovna Torop //: dissertation...candidate of agricultural Sciences: 06.01.05. - Kamennaya steppe, 2000. - 201 p. [in Russian]
14. Turusov V. I. Influence of mineral fertilizers application on the structure of winter wheat crop / V. I. Turusov, L. A. Piskareva., E. G. Bocharnikova. // Modern trends in scientific support of the agro-industrial complex collective monograph. under the editorship of V. V. Okorkova. Ivanovo, 2019 publisher: Federal State Budgetary scientific Institution "Verkhnevolzhsky Federal agrarian scientific center". p. 147-150. [https://elibrary.ru/query\\_results.asp](https://elibrary.ru/query_results.asp) [in Russian]
15. The phase of tillering of winter rye [Electronic resource] – URL : <https://www.activestudy.info/faza-kushheniya-ozimoy-rzhi/> (accessed 18.05.2020). [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.97.7.025>**ВЛИЯНИЕ ЖМЫХ ПЛОДОВ ОБЛЕПИХИ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БУЛКИ СДОБНОЙ**

Научная статья

**Ивлева О.Е. \***

ORCID 0000-0001-8685-3634,

Приморская ГСХА, г. Уссурийск, Россия

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

**Аннотация**

Расширение ассортимента и совершенствование химического состава хлебобулочных изделий за счет введения в рецептуру растительных ингредиентов, в том числе и продуктов переработки облепихи, является актуальной задачей для предприятий хлебопекарной промышленности.

Целью работы являлось определение влияния жмыха плодов облепихи на технологические свойства булки сдобной. При этом рассматривали целесообразность частичной замены в рецептуре муки пшеничной на жмых плодов облепихи, в качестве обогащающего компонента.

Исследования проводили на базе специализированной лаборатории ФГБОУ ВО Приморской ГСХА. В результате определено, что замена в рецептуре 1,0% муки на жмых плодов облепихи является оптимальной. Готовые изделия округлой формы, с желтым достаточно пористым мякишем, приятным слабовыраженным вкусом и запахом облепихи, влажностью 32% и кислотностью 2,1 град. Пищевая ценность (на 100 г продукта): белки – 7,50 г, жиры – 8,94 г, углеводы – 53,76, калорийность – 330,0 ккал (1381,7 кДж).

**Ключевые слова:** булка сдобная, облепиха, жмых, физико-химические показатели качества, пищевая ценность.

**INFLUENCE OF SEA BUCKTHORN FRUIT'S MILL CAKE ON TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF BREAD ROLL**

Research article

**Ivleva O.E. \***

ORCID 0000-0001-8685-3634,

Primorskaya State Academy of Agriculture, Ussuriysk, Russia

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

**Abstract**

Expanding the assortment and improving the chemical composition of bakery products by means of introducing vegetable ingredients into the recipe and including sea buckthorn processing products is an urgent task for the baking industry.

The aim of the work was to determine the effect of mill cake of sea buckthorn fruit on the technological properties of bread rolls. At the same time, the paper considers the feasibility of partial replacement of wheat flour with sea buckthorn's mill cake as an enriching component in the formulation of the bread roll.

The studies were carried out on the basis of a specialized laboratory of FSBEI HE Primorskaya State Academy of Agriculture. As a result, it was determined that the substitution of 1.0% of the flour with sea buckthorn's mill cake would significantly improve the formulation. End products are round in shape, with a yellow crumb which is quite porous, has a pleasant mild taste and the smell of sea buckthorn, the humidity of 32%, and an acidity of 2.1 degrees. The nutrition value (per 100 g of the product) is as follows: proteins - 7.50 g, fats - 8.94 g, carbohydrates - 53.76, calories - 330.0 kcal (1381.7 kJ).

**Keywords:** bread roll, sea buckthorn, mill cake, indicators of physicochemical quality, nutritional value.

На сегодняшний день булочные изделия являются неотъемлемой частью пищевой отрасли. Их доля в рационе человека составляет около 25 % от общей массы потребляемой пищи. Однако в них имеются такие недостатки, как низкая биологическая ценность и высокая калорийность [6].

Одним из наиболее эффективных путей биокоррекции химического состава является обогащение изделий за счёт использования растительного сырья, содержащего комплекс витаминов, макро- и микроэлементов, пищевые волокна, антиоксиданты и др. Наиболее подходящее для этой цели – плодово-ягодное сырьё.

В этом плане особое место занимает облепиха, которая является важным источником ряда важнейших биологически активных соединений.

В 100 г ягод облепихи содержится до 10 суточных доз витамина С (до 1,05), 5...6 суточных доз каротина (11 мг), витамина Е – 7...18 мг, Р – до 1 мг, а также витамина В<sub>1</sub> – 0,35 мг; В<sub>2</sub> – 0,3; В<sub>6</sub> – 0,79; РР и К – 0,8...1,5 мг. Минеральные элементы представлены (мг/100 г): кальцием – 9...16, калием – 180...220, фосфором – 12...17, магнием – 7...12, железом – 6...14, а также цинком, марганцем, алюминием, кремнием [2], [3].

Использование облепихи в продуктах питания является профилактикой для ряда заболеваний. Она улучшает зрение, рост и восстановление костей, положительно влияет на транспорт железа и эритроцитов. Способствует регуляции уровня глюкозы в крови и синтезу белков. Является природным антиоксидантом, расщепляет и выводит холестерин. Полезна для повышения иммунитета. Способствует нормальному обмену веществ [3].

Благодаря своим полезным свойствам облепиха нашла широкое применение в пищевой промышленности. Ее плоды используют в свежем, сушеном и замороженном виде, а также для витаминизации и ароматизации продуктов питания и лекарств, получения поливитаминной продукции, а также жирорастворимого пищевого красителя для сливочного масла и маргарина для добавки в пшеничную муку, в целях улучшения ее физико-химических свойств [1], [2].

Важнейшими тенденциями в производстве пищевых продуктов является рациональное и эффективное использование растительного сырья. В пищевой промышленности в решении этой проблемы принято считать, прежде



всего, комплексную переработку плодово-ягодного сырья из-за его биологической активности и воздействия биоконцентрации веществ [1].

Продукты вторичной переработки плодов облепихи способны играть не последнюю роль в решении проблемы создания хлебобулочных изделий сбалансированного состава.

Так, жмых облепиховый, получают из жома плодов облепихи после выжимки сока и масла, и является ценным высокоэнергетическим сырьём. Содержит весь комплекс биологически активных веществ: макро- и микроэлементы, белки, пектиновые вещества, жирные кислоты, органические кислоты, витамины С, В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, Р, РР, Е, каротиноиды. Белок жмыха имеет высокую биологическую ценность.

Жмых облепиховый, как порошкообразный полуфабрикат, выгодно отличается от других форм пищевой промышленности. Он имеет низкую влажность, что обеспечивает микробиологическую и биохимическую стабильность при хранении [1].

Таким образом, жмых может быть источником функциональных ингредиентов, добавление которых в хлебобулочные изделия повысит их органолептические свойства, пищевую и биологическую ценность и тем самым позволит решить проблемы рационального использования растительного сырья и расширения ассортимента хлебобулочных изделий.

Исследования проводили на базе специализированной лаборатории кафедры агротехнологий ФГБОУ ВО Приморской ГСХА.

Схема опыта включала контрольный вариант (производство булки сдобной по стандартной технологии) и пять вариантов с заменой муки от 0,5 до 2,5% на жмых плодов облепихи. Остальные ингредиенты в рецептуре оставались неизменными.

Тесто готовили безопарным способом [4], [5].

Лабораторные исследования проводили согласно общепринятым методикам.

Органолептический анализ готовых изделий проводили по таким показателям как внешний вид поверхности (форма, цвет, толщина корки) и состояние мякиша (пористость, пропечённость, цвет, вкус и запах).

Введение в рецептуру жмыха плодов облепихи изменило органолептические свойства булки сдобной. С увеличением содержания данной растительной добавки, готовые изделия приобретали более выраженный желтый цвет мякиша (см. рисунок 1), вкус и запах облепихи.

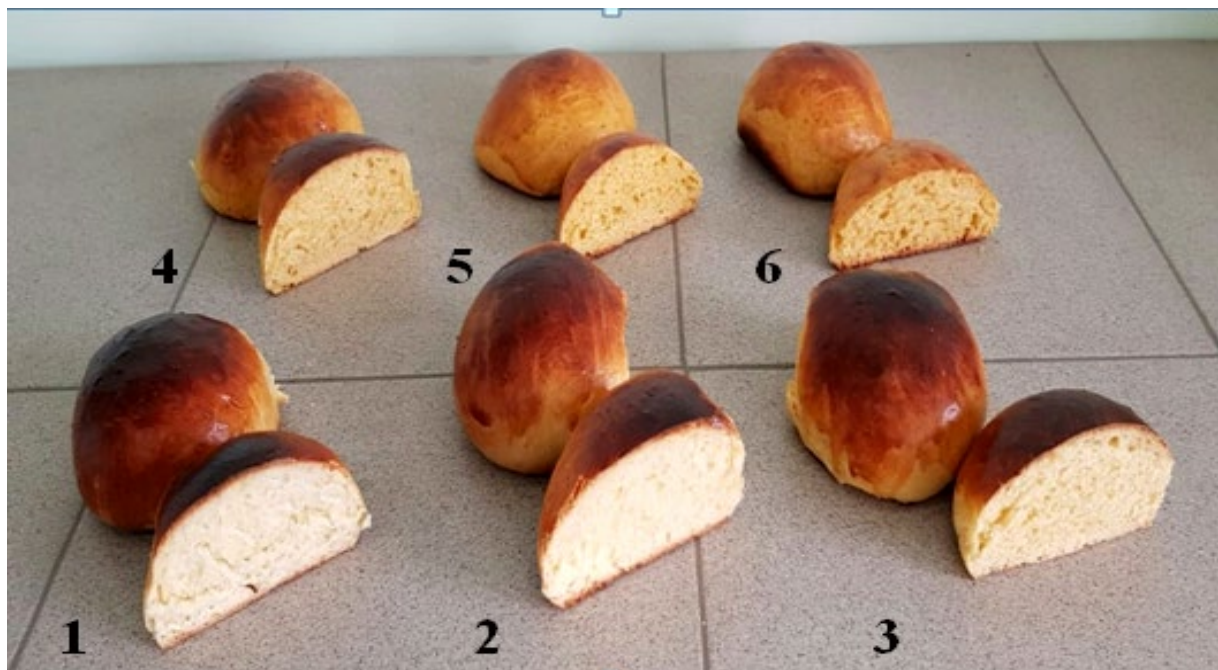


Рис. 1 – Варианты опыта

1. Булка сдобная без облепихи (контроль); 2. Булка сдобная с заменой 0,5% муки на жмых облепихи; 3. Булка сдобная с заменой 1,0% муки на жмых облепихи; 4. Булка сдобная с заменой 1,5% муки на жмых облепихи; 5. Булка сдобная с заменой 2,0% муки на жмых облепихи; 6. Булка сдобная с заменой 2,5% муки на жмых облепихи.

Согласно органолептической оценке наилучшими показателями качества отличались булки с заменой 1,0% муки на жмых плодов облепихи.

Образцы обладали равномерным цветом, слабовыраженным запахом облепихи, без дефектов поверхности, округлой формой, развитой пористостью и хорошей пропечённостью. По результатам дегустационной оценки данный вариант опыта набрал наибольшее количество баллов.

Дальнейшее увеличение содержания жмыха в рецептуре снижает органолептические показатели качества готовых изделий за счет выраженного запаха облепихи и менее развитой пористости мякиша.

Масса тестовых заготовок независимо от варианта опыта составляла 110г. Однако, после выпечки, масса готовых изделий различна и увеличивалась по мере увеличения содержания жмыха в рецептуре (см. таблицу 1), что объясняется его водоудерживающей способностью.

Таблица 1 – Влияние жмыха облепихи на основные показатели качества

Содержание жмыха, %	Масса тестовых заготовок, г	Масса булки, г		Упек		Усушка	
		после выпечки	остывшей	г	%	г	%
0 (контроль)	110,0	100,0	97,0	10,0	9,1	3,0	3,0
0,5	110,0	100,9	97,4	9,1	8,3	3,5	3,5
1,0	110,0	101,5	97,9	8,5	7,7	3,6	3,5
1,5	110,0	102,0	98,3	8,0	7,3	3,7	3,6
2,0	110,0	102,8	98,8	7,2	6,5	4,0	3,9
2,5	110,0	103,5	99,0	6,5	5,9	4,5	4,3

Также в опыте выявлена закономерность, что с увеличением содержания жмыха облепихи в рецептуре упёк изделий снижался, а усушка, напротив, увеличивалась, при этом толщина корки уменьшалась.

Комплексная оценка готовых изделий включала как органолептические показатели качества, так и физико-химические, основными из которых, являлись влажность, кислотность и пористость мякиша.

С увеличением содержания облепихи в рецептуре, показатели влажности и кислотности изделий увеличивались, а пористость несколько снижалась (см. таблицу 2).

Таблица 2 – Влияние жмыха облепихи на физико-химические показатели

Содержание жмыха, %	Показатель		
	влажность, %	пористость, %	кислотность, град.
0 (контроль)	30,0	74,0	1,5
0,5	30,0	74,0	1,8
1,0	32,0	73,6	2,1
1,5	32,5	72,3	2,2
2,0	33,7	71,5	2,3
2,5	34,2	70,0	2,5

По всей видимости, пектиновые вещества и пищевые волокна жмыха, удерживают влагу, препятствуя её свободному испарению при выпечке. А органические кислоты и сахара облепихи, используемые при брожении теста, способствуют накоплению в нем титруемых кислот.

Пищевая ценность продуктов, в частности хлебобулочных изделий – это комплекс свойств, обеспечивающих физиологические потребности человека в энергии и основных пищевых веществах и определяется не только энергетической ценностью, но и составом и усвояемостью биологически активных веществ, роль которых в организме трудно переоценить.

Химический состав продукта напрямую зависит от основного и дополнительного сырья.

Замена в рецептуре булки сдобной муки пшеничной высшего сорта на жмых облепихи способствовала снижению содержания углеводов и белков, а следовательно и калорийности изделий (см. таблицу 3).

Таблица 3 – Влияние жмыха облепихи на пищевую ценность булки сдобной

Содержание жмыха, %	Содержание в 100 г, г			Энергетическая ценность 100г, ккал/кДж
	белки	жиры	углеводы	
0 (контроль)	7,55	8,92	54,11	331,4/1387,6
0,5	7,52	8,93	53,94	330,7/1384,6
1,0	7,50	8,94	53,76	330,0/1381,7
1,5	7,47	8,96	53,58	329,3/1378,7
2,0	7,45	8,97	53,40	328,6/1357,7
2,5	7,42	8,98	53,22	327,9 /1372,7

С увеличением содержания жмыха облепихи в рецептуре калорийность готовых изделий снижается с 331,4 (контроль) до 327,9 ккал на 100г (при замене 2,5% муки на жмых).

Выделенный в ходе исследований вариант с заменой 1,0% муки на жмых, как наиболее оптимальный в опыте содержал 330,0 ккал или 1381,7 кДж на 100 г.

Таким образом в ходе исследований доказана возможность частичной замены муки пшеничной в рецептуре булки сдобной на жмых плодов облепихи, а также выявлено его влияние на качество готовых изделий.

С увеличением содержания жмыха, готовые изделия приобретали желтый с менее развитой пористостью мякиш, вкус и запах облепихи, показатель упёка снижался, а усушки, влажности и кислотности напротив повышались.

Установлено, что замена 1,0% муки пшеничной на жмых облепихи является оптимальной. При этом готовые изделия отличались округлой формой, жёлтым достаточно пористым мякишем, приятным слабовыраженным вкусом и запахом облепихи, влажностью 32% и кислотностью 2,1 град. Пищевая ценность (на 100 г продукта): белки – 7,50 г, жиры – 8,94 г, углеводы – 53,76, калорийность – 330,0 ккал (1381,7 кДж).

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Conflict of Interest**

None declared.

**Список литературы / References**

1. Лисавенко М.А. Безотходная переработка плодов облепихи / Под ред. Лисавенко М.А. - Новосибирск: Сиб. Отделение РАСХН, 1991. - 37 с.
2. Михеев А.М. Облепиха / А.М. Михеев, В.И. Деменко. - М.: Росагропромиздат, 1990. - 48 с.
3. Мельник А. Облепиха - источник здоровья / А. Мельник // Наука и жизнь. - 2000. - № 10. - С. 68-71.
4. Немцова З.С. Хлебобулочные изделия. Методы анализа / З.С. Немцова, Н. П. Волкова. - М: Агропромиздат, 2013. - 517 с.
5. Пашенко Л.П. Технология хлебобулочных изделий: учеб. пособие / Л.П Пашенко, И.М. Жаркова. - М.: Колос, 2008. - 389 с.
6. Скурихина И.М. Химический состав российских пищевых продуктов: Справочник / Под ред. И.М. Скурихина, В.А. Тутельяна. - М.: ДеЛипринт, 2002. - 236 с.
7. Сулимина О.Г. Здоровое питание населения России / О.Г. Сулимина // Пищевая промышленность. - 2004. - № 1. - С. 109.
8. Терещук Л.В. Получение биологически ценных продуктов из плодов облепихи / Л.В. Терещук, С.С. Павлова // Пищевая технология. - 2000. - № 1. - С. 46-48.
9. Шилкина Е. Расширение ассортимента и улучшение качества различных хлебобулочных изделий / Е. Шилкина // Хлебопечение России. - 2008. - № 3. - 32 с.
10. Шлеленко Л.А. Хлебобулочные изделия с использованием растительного сырья нового поколения / Л.А. Шлеленко [и др.] // Кондитерская сфера. - 2014. - №1 (53). - С. 58-59.

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

1. Lisavenko M.A. Non-waste processing of sea buckthorn fruits / Ed. Lisavenko M.A. - Novosibirsk: Sib. Branch of RAAS, 1991. - 37 p. [in Russian]
2. Mikheev A.M. Sea buckthorn / A.M. Mikheev, V.I. Demenko. - M.: Rosagro-promizdat, 1990. - 48 p. [in Russian]
3. Miller A. Sea buckthorn - a source of health / A. Miller // Science and life. - 2000. - No. 10. - P. 68-71. [in Russian]
4. Nemtsova Z.S. Bakery products. Methods of analysis / Z.S. Nemtsov, N.P. Volkova. - M: Agropromizdat, 2013.- 517 p. [in Russian]
5. Pashchenko L.P. Technology of bakery products: textbook. allowance / L.P. Pashchenko, I.M. Zharkova. - M.: Kolos, 2008. - 389 p. [in Russian]
6. Skurikhina I.M. The chemical composition of Russian food products: Handbook / Ed. THEM. Skurikhina, V.A. Tutellana. - M.: DeLiprint, 2002. - 236 p. [in Russian]
7. Sulimina O.G. Healthy nutrition of the population of Russia / O.G. Sulimina // Food industry. - 2004. - No. 1. - P. 109. [in Russian]
8. Tereshchuk L.V. Obtaining biologically valuable products from the fruits of sea buckthorn / L.V. Tereshchuk, S.S. Pavlova // Food Technology. - 2000. - No. 1. - P. 46-48. [in Russian]
9. Shilkina E. Extension of the assortment and improvement of the quality of various bakery products / E. Shilkina // Bakery of Russia. - 2008. - No. 3. - 32 p. [in Russian]
10. Shlelenko L.A. Bakery products using plant-based raw materials of a new generation / L.A. Shlelenko [et al.] // Confectionery industry. - 2014. - No. 1 (53). - P. 58-59. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.97.7.026>**ВЛИЯНИЕ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ КУЛЬТУР ПРЕДПОСАДОЧНОЙ И НЕКОРНЕВОЙ ОБРАБОТОК ГУМИНОВЫМ ПРЕПАРАТОМ РОСТОК**

Научная статья

**Литвиненко Н.В.<sup>1,\*</sup>, Куртова А.В.<sup>2</sup>, Грехова И.В.<sup>3</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0003-4684-15964,<sup>1, 2, 3</sup> Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия

\* Корреспондирующий автор (l1tvnenko[at]mail.ru)

**Аннотация**

Предпосевная и корневая обработки гуминовым препаратом Росток чеснока ярового и лука репчатого существенно повысили массу корневой системы на 36 и 38%, массу растения – на 88 и 44%, длину листьев – на 17 и 30%, массу листьев – на 51 и 91%, площадь листьев – на 34 и 54% соответственно. Неблагоприятные погодные условия отрицательно сказались на развитии луковиц чеснока ярового. На контроле 50% луковиц не разделилось на зубки. При применении препарата Росток однозубок было только 7,3%. Лучшее развитие корневой системы и листьев при применении препарата Росток способствовало существенному повышению параметров луковиц и урожайности чеснока ярового в 2,1 раза, лука репчатого – на 36%. Предпосадочная обработка клубней раствором препарата Росток повысила число товарных клубней, массу товарного клубня и урожайность на 25, 19 и 17%, некорневая обработка растений – на 22, 37 и 46%, обработка клубней и растений – на 40, 26 и 54% соответственно. Наибольший эффект получен при двукратном применении препарата Росток.

**Ключевые слова:** гуминовый препарат Росток, урожайность, лук репчатый, чеснок яровой, картофель.

**INFLUENCE OF CULTURES OF PRESOWING AND NONROOT TREATMENT BY ROSTOK HUMIC DRUG ON PRODUCTIVITY**

Research Article

**Litvinenko N.V.<sup>1,\*</sup>, Kurtova A.V.<sup>2</sup>, Grekhova I.V.<sup>3</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0003-4684-1596,<sup>1, 2, 3</sup> Northern Trans-Ural State Agricultural University, Tyumen, Russia

\* Corresponding author (l1tvnenko[at]mail.ru)

**Abstract**

It was found that presowing and root treatment with the Rostok humic drug of spring garlic and onions significantly increased the mass of the root system: by 36 and 38%, the mass of the plant: by 88 and 44%, the length of the leaves: by 17 and 30%, the mass of the leaves: by 51 and 91%, and the leaf area: by 34 and 54%, respectively. The unfavorable weather conditions negatively affected the development of spring garlic bulbs. 50% of the studied bulbs did not divide into cloves. When using the Rostok drug, there was only 7.3% single-clove garlic. The best development of the root system and leaves when using the Rostok preparation contributed to a significant increase in the parameters of the bulbs and the yield of spring garlic by 2.1 times, and onions by 36%. Presowing treatment of tubers with a solution of Rostok increased the number of marketable tubers, the mass of marketable tubers and productivity by 25, 19 and 17%, non-root treatment of plants by 22, 37 and 46%, and the treatment of tubers and plants by 40, 26 and 54%, respectively. The greatest effect was obtained with two applications of Rostok drug.

**Key words:** Rostok humic drug, productivity, onions, spring garlic, potatoes.

**Введение**

Сократить период вегетации и повысить урожайность культур можно применением гуминовых препаратов из низинного торфа, которые обладают стимулирующими и антистрессовыми свойствами, что важно для экологизации сельского хозяйства. Они нормализуют процессы внутриклеточного метаболизма, уменьшают генетические нарушения и стабилизируют параметры митотического цикла [3], адаптируя растения к действию пестицидов и неблагоприятным факторам окружающей среды. Наибольший эффект от применения гуминовых препаратов наблюдается при отклонении от оптимального значения хотя бы одного из факторов роста и развития растений [2]. В исследованиях на моркови [1] наилучшие показатели стрессоустойчивости растений к неблагоприятным почвенно-климатическим факторам получены при применении препаратов Росток и Биодукс.

Влияние регуляторов на лук репчатый изучено при выращивании в однолетней культуре [5], [6], из севка [7]. Выявлена разная сортовая отзывчивость на применение регуляторов растений лука репчатого [10], картофеля [8], [9].

Цель исследований – изучение влияния гуминового препарата Росток на продуктивность культур в условиях Северного Зауралья.

**Методы и принципы исследования**

Объекты исследований: чеснок яровой сорт Самородок, лук репчатый сорт Стурон, картофель сорт Сафо, гуминовый препарат Росток – универсальный регулятор, обладает иммуностимулирующими, антистрессовыми и антимуtagenными свойствами [4].

Схема опытов на чесноке яровом и луке репчатом: 1. Контроль (вода). 2. Гуминовый препарат Росток. Схема опыта на картофеле: 1. Контроль: обработка клубней водой, некорневая обработка растений инсектицидом, 2. Обработка клубней препаратом Росток, некорневая обработка растений инсектицидом, 3. Обработка клубней водой, некорневая обработка растений баковой смесью (инсектицид+Росток), 4. Обработка клубней препаратом Росток, некорневая обработка растений баковой смесью (инсектицид+Росток).

Предпосевное замачивание зубков чеснока ярового и севка лука репчатого проводили в воде и 0,002% растворе препарата Росток в течение 3 часов. Корневая обработка чеснока – при появлении 2-3 листа 0,001% раствором

препарата, лука репчатого – при высоте листьев 8-10 см 0,002% раствором препарата, через 2 недели – второй полив. Расход рабочего раствора 6 л на 3 м<sup>2</sup>. Предпосадочная обработка клубней картофеля – замачивание в воде и 0,002% растворе препарата Росток в течение 30 минут. Некорневую обработку растений картофеля проводили в фазу бутонизации-начало цветения инсектицидом Престиж Хамелеон (1 мл/10 л) против колорадского жука и баковой смесью инсектицида и препарата Росток (20 мл на 10 л, 0,002 % раствор). Расход рабочего раствора 300 л/га, доза препарата Росток 600 мл/га.

Схема посадки зубков чеснока ярового 8x20 см, севка лука репчатого 10x15 см, картофеля 30x70 см. Повторность 3-х кратная, площадь делянки луковых культур 3 м<sup>2</sup>, картофеля 25 м<sup>2</sup>, размещение делянок последовательное.

Все учеты и наблюдения выполняли согласно Методике опытного дела в овощеводстве и бахчеводстве (под редакцией Белика В.Ф., 1992), Методическим указаниям по производству посадочного материала чеснока ярового (1984), Методике института картофельного хозяйства, 1996, ГОСТ Р51808-2001. Дисперсионный анализ выполнили по Б.А. Доспехову (1985), определение средних значений НСР<sub>05</sub> – по В.И. Короневскому (1985).

### Основные результаты

Всхожесть чеснока ярового на контроле составила 80%, при замачивании зубков в рабочем растворе препарата Росток – 92%. Всходы появились на 2 дня раньше в сравнении с замачиванием зубков в воде. При применении препарата Росток растения чеснока ярового отличались от контроля по внешнему виду. Нижние листья растений на контроле имели желтую окраску. Препарат Росток существенно повысил массу корневой системы на 36%, массу растения – на 88%, длину листьев – на 17%, массу листьев – на 51%, площадь листьев – на 34% по отношению к контролю (табл. 1). На число листьев гуминовый препарат не оказал влияния.

Сроки уборки чеснока имеют большое значение. В литературе по чесноку рекомендуется убирать его при полегании листьев у нестрелкующихся сортов, так мы и сделали. Затягивание с уборкой приводит к рассыпанию луковиц, в результате они плохо хранятся. В нашем опыте рассыпушек не было, значит, мы правильно определились со сроком уборки.

Таблица 1 – Влияние препарата Росток на чеснок яровой сорт Самородок (2012 г.)

Показатели	Варианты		НСР <sub>05</sub>
	Контроль (вода)	Росток	
Всхожесть, %	80	92	-
Масса корневой системы, г	0,9	1,2	0,22
Масса растения, г	3,7	6,9	2,24
Число листьев, шт.	5,7	5,5	1,43
Длина листа, см	14,9	17,5	2,17
Масса листьев, г	2,8	4,3	0,55
Площадь листьев, см <sup>2</sup>	42,1	56,5	7,24
Число однозубок, %	50,0	7,3	-
Масса луковицы, г	9,4	20,1	3,22
Диаметр луковицы, см	2,8	3,1	0,24
Урожайность, г/м <sup>2</sup>	379,6	791,0	90,1
Товарность, %	67	79	-
Классы луковиц на сортовые цели, %:			
1 класс	43	52	-
2 класс	24	27	-

Засушливые условия и высокая температура отрицательно сказались на развитии луковиц чеснока ярового: на контроле 50% луковиц не разделилось на зубки. При применении препарата Росток однозубок было только 7,3%.

Более развитая вегетативная масса растений чеснока ярового благоприятно сказалась на росте луковиц. Диаметр и масса луковиц при применении Ростока существенно превышали контроль на 12% и в 2,1 раза соответственно. По массе луковицы различие значительное из-за большого числа однозубок на контроле.

Предпосевная и корневая обработки препаратом Росток существенно увеличили число зубчиков на 35%, массу зубчиков луковицы – на 42%, массу одного зубчика – на 12%.

Гуминовый препарат Росток как регулятор-адаптоген снизил отрицательное действие погодных условий на растения чеснока ярового. Урожайность увеличилась в 2,1 раза по отношению к контролю. На контроле половина луковиц были однозубки с массой от 2,5 до 10 г, а также 35% луковиц, разделившихся на зубки, тоже имели массу луковицы менее 10 г. На варианте с Ростком масса однозубок была от 7 до 13 г и их всего 7,3%. Луковицы, разделившиеся на зубки, с массой от 10 до 20 г составляли 53%, остальные – с массой от 20 до 35 г.

Согласно ГОСТ 7977-87 «Чеснок свежий заготавливаемый и поставляемый» на продовольственные цели размеры луковиц: товарные не менее 25 мм, остальные – не товарные. Препарат Росток увеличил выход товарных луковиц на 18%.

На сортовые цели по ГОСТ 30106-94 «Чеснок семенной. Сортовые и посевные качества» луковицы делят на 2 класса: 1 класс – не менее 30 мм, 2 класс – не менее 25 мм. Препарат Росток повысил наличие луковиц 1 класса на 21%, 2 класса – на 12%.

Растения лука репчатого сорт Стурон при применении препарата Росток существенно превышали контроль по массе корневой системы на 38%, массе растения – на 41%, числу листьев – на 20%, длине листа – на 30%, массе листьев – на 91%, площади листьев – на 54% (табл. 2).

Таблица 2 – Влияние препарата Росток на растения и продуктивность лука репчатого сорт Стурон (2013-2015, 2018 гг.)

Показатели	Варианты		НСР <sub>05</sub>
	Контроль (вода)	Росток	
Масса корневой системы, г	0,32	0,44	0,06
Масса растения, г	9,1	12,8	4,2
Число листьев, шт.	5	6	1,4
Длина листа, см	18,6	24,2	3,2
Масса листьев, г	6,7	12,8	4,4
Площадь листьев, см <sup>2</sup>	106,0	163,0	16,9
Масса луковицы, г	97,2	133,9	4,08
Диаметр луковицы, см	5,4	6,4	0,8
Урожайность, кг/м <sup>2</sup>	6,7	9,1	1,48

Развитие более мощной корневой системы и увеличение фотосинтетического потенциала листьев при применении препарата Росток способствовало существенной прибавке урожайности лука репчатого в среднем за четыре года на 36%. Луковицы отличались линейными размерами: диаметр и масса существенно превышали контроль на 18 и 38% соответственно.

Предпосадочная и некорневая обработки препаратом Росток картофеля сорт Сафо существенно не повлияли на общее количество клубней в гнезде (табл. 3), но существенно повысили число товарных клубней: обработка клубней – на 25%, некорневая обработка растений – на 22%, двукратная обработка – на 40%.

Таблица 3 – Влияние препарата Росток на продуктивность картофеля сорт Сафо (2014-2016 гг.)

Варианты обработок	Число клубней, шт./куст		Масса клубня, г		Урожайность, т/га
	общее	товарных	в гнезде	товарного	
Контроль	10,9	6,0	106	137	46,0
Росток (клубни)	9,7	7,5	126	163	53,7
Росток (растения)	9,8	7,3	131	188	67,0
Росток (клубни, растения)	10,6	8,4	144	173	71,0
НСР <sub>05</sub>	2,27	0,43	16,4	34,6	1,59

Все способы применения препарата Росток повышали массу клубня в гнезде и массу товарного клубня: на 18, 24, 36% и 19, 37, 26% соответственно по способам обработки. Увеличение урожайности по отношению к контролю составило при обработке препаратом Росток клубней, растений и двойного применения на 17, 46 и 54% соответственно. Наибольший эффект получен при двукратном применении препарата Росток.

#### Заключение

Чеснок яровой и лук репчатый отреагировали на предпосевное и корневое применение гуминового препарата Росток увеличением всхожести, улучшением развития корневой системы и вегетативной массы, формирования луковицы, что способствовало существенному повышению урожайности чеснока ярового в 2,1 раза, лука репчатого – на 36%.

При обработке клубней и растений картофеля сорт Сафо препаратом Росток увеличивалось количество товарных клубней на 22-40%, масса товарного клубня на 19-37%. Увеличение урожайности составило 17-54%.

Для предпосевной обработки зубчиков чеснока ярового, севка лука репчатого, клубней картофеля рекомендуется применять 0,002% раствор препарата Росток. Корневую обработку чеснока ярового проводить 0,001% (10 мл 1% препарата на 10 л воды), лука репчатого – 0,002% раствором препарата Росток. Некорневую обработку растений картофеля – 0,002% раствором препарата Росток (20 мл 1% препарата на 10 л воды или раствора пестицида).

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

- Ахияров Б.Г. Урожайность и качество моркови в зависимости от применения регуляторов роста / Б.Г. Ахияров, Л.М. Ахиярова, Р.Р. Бикметов // Известия Оренбургского ГАУ. – 2015. – №5 (55). – С. 61-63.
- Безуглова О.С. Новый справочник по удобрениям и стимуляторам роста. – Ростов-на-Дону: Феликс, 2003. – С. 197-211.
- Горовая А.И. Обоснование применения торфяных препаратов для целей экологизации сельскохозяйственного производства / А.И. Горовая, Е.С. Редько, Т.В.Скворцова// Торфяная промышленность. – 1992. – № 2. – С. 29-30.
- Грехова И.В. Гуминовый препарат из низинного торфа / И.В. Грехова // Теоретическая и прикладная экология. –

2015. – № 1. – С. 85-88.

5. Зизина Я.Ф. Влияние регуляторов роста на урожайность и качество лука репчатого в однолетней культуре в лесостепи Новосибирского Приобья / Я.Ф. Зизина, Р.Р. Галеев // Аграрный Вестник Урала. – 2014. – №5 (123). – С. 66-68.

6. Козлов И.И. Применение биологически активных веществ при выращивании лука репчатого / И.И. Козлов, Г.А. Кунавин // Аграрный Вестник Урала. – 2011. – №3 (82). – С. 69-70.

7. Кононков П.Ф. Перспективные элементы технологии выращивания зелени лука репчатого для функционального питания / П.Ф. Кононков, С.М. Надежкин, Х.Б. Камалеев, М.С. Гинс // Монография. – М.: изд-во РУДН. – 2006. – 130 с.

8. Матаев В.И. Эффективность элементов технологии возделывания раннеспелых сортов картофеля в северной лесостепи Тюменской области: автореферат диссертации ... к.с.-х.н. – Тюмень, 2009. – 16 с.

9. Мякишев И.В. Совершенствование технологии выращивания картофеля в Северном Зауралье: автореферат диссертации ... к.с.-х.н. – Тюмень, 2003. – 15 с.

10. Надежкин С.М. Эффективность новых видов микроудобрений и регулятора роста на луке репчатом / С.М. Надежкин, В.П. Никульшин // Аграрный Вестник Урала. – 2009. – №5 (59). – С. 60-62.

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

1. Akhiyarov B.G. Urozhajnost' i kachestvo morkovi v zavisimosti ot primeneniya reguljatorov rosta [Productivity and quality of carrots depending on the use of growth regulators] / B.G. Akhiyarov, L.M. Akhiyarova, R.R. Bikmetov // Izvestija Orenburgskogo GAU [Bulletin of the Orenburg State Agrarian University]. – 2015. – № 5 (55). – P. 61-63. [in Russian]

2. Bezuglova O.S. Novyj spravochnik po udobrenijam i stimuljatoram rosta [A new guide to fertilizers and growth stimulants]. – Rostov-on-Don: Felix, 2003. – P. 197-211. [in Russian]

3. Gorovaya A.I. Obosnovanie primeneniya torfjanyh preparatov dlja celej jekologizacii sel'skohozjajstvennogo proizvodstva [Substantiation of the use of peat preparations for the purposes of greening of agricultural production] / A.I. Gorovaya, E.S. Radko, T.V. Skvortsova // Torfjanaja promyshlennost' [Peat industry]. – 1992. – № 2. – P.29-30. [in Russian]

4. Grekhova I.V. Guminovyj preparat iz nizinnogo torfa [Humic preparation from low peat] / I.V. Grekhova // Teoreticheskaja i prikladnaja jekologija [Theoretical and applied ecology]. – 2015. – № 1. – P. 85-88. [in Russian]

5. Zizina Ya.F. Vlijanie reguljatorov rosta na urozhajnost' i kachestvo luka repchatogo v odnoletnej kul'ture v lesostepi Novosibirskogo Priob'ja [The influence of growth regulators on the yield and quality of onions in an annual culture in the forest-steppe of the Novosibirsk Ob region] / Ya.F. Zizina, R.R. Galeev // Agrarnyj Vestnik Urala [Agrarian Bulletin of the Urals]. – 2014. – No. 5 (123). – P. 66-68. [in Russian]

6. Kozlov I.I. Primenenie biologicheskii aktivnyh veshhestv pri vyrashhivanii luka repchatogo [The use of biologically active substances in the cultivation of onions] / I.I. Kozlov, G.A. Kunavin // Agrarnyj Vestnik Urala [Agrarian Bulletin of the Urals]. – 2011. – No. 3 (82). – P. 69-70. [in Russian]

7. Kononkov P.F. Perspektivnye jelementy tehnologii vyrashhivaniya zeleni luka repchatogo dlja funkcional'nogo pitaniya [Promising elements of the technology of growing green onions for functional nutrition] / P.F. Kononkov, S.M. Nadezhkin, Kh.B. Kamaleev, M.S. Gins // Monograph. – M.: Publishing house of RUDN. – 2006. – 30 p. [in Russian]

8. Mataev V.I. Efficiency of technology elements for the cultivation of early ripe potato varieties in the northern forest-steppe of the Tyumen region: dissertation abstract ... candidate of agricultural sciences. – Tyumen, 2009. – 16 p. [in Russian]

9. Myakishev I.V. Jefferktivnost' jelementov tehnologii vozdelevaniya rannespelyh sortov kartofelja v severnoj lesostepi Tjumenskoj oblasti: avtoreferat dissertacii ... k.s.-h.n. [Improving the technology of growing potatoes in the Northern Trans-Urals: abstract of the dissertation ... candidate of agricultural sciences]. – Tyumen, 2003. – 15 p. [in Russian]

10. Nadezhkin S.M. Jefferktivnost' novyh vidov mikroudobrenij i reguljatora rosta na luke repchatom [Efficiency of new types of micronutrient fertilizers and growth regulator on onions] / S.M. Nadezhkin, V.P. Nikulshin // Agrarnyj Vestnik Urala [Agrarian Bulletin of the Urals]. – 2009. – №. 5 (59). – P. 60-62. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.97.7.027>РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ОДНОЛЕТНИХ И ДВУЛЕТНИХ РАЗНОТРАВНЫХ КОРМОВЫХ РАСТЕНИЙ  
СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ МАЛОГО КАВКАЗА

Научная статья

Ибадуллаева С.Дж.<sup>1</sup>, Ахундова С.Т.<sup>2</sup>, Мовсумова Н.В.<sup>3,\*</sup><sup>1</sup> ORCID: 0000-0003-0397-1593;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0002-4730-0954;<sup>3</sup> ORCID: 0000-0002-1909-564X;<sup>1,3</sup> Институт Ботаники НАН Азербайджана, Баку, Азербайджан;<sup>2</sup> Азербайджанский Государственный Аграрный Университет, Гянджа, Азербайджан

\* Корреспондирующий автор (movsumovanuri[at]yahoo.com)

## Аннотация

Развитие животноводства - одного из важнейших отраслей сельского хозяйства может быть успешно решено путем обогащения природных кормовых баз и повышения продуктивности. Следует изучить продуктивность и качество кормовых культур в разных регионах, в связи с чем следует учитывать потенциал пастбищ. По данным опросов, проведенных среди фермеров в равнинных и горных районах северо-восточной части Малого Кавказа, были определены разнотравные кормовые растения, хорошо поедаемые домашним скотом, и было установлено доминирование 14 видов из 7 семейств и 10 родов кормовых культур в группах. Биологические ресурсы этих видов также были рассчитаны согласно высокому качеству корма: *Valerianella coronata* (L.) DC. - 32,0т, *Arctium lappa* L. - 23,4т, *Arctium transcaucasicum* DC. - 98,0 т, *Galium tenuissimum* Bieb. - 25,2т, *Galium spurium* L. - 29,64т, *Anthriscus cerefolium* Bertol. - 39,5т, *Chaerophyllum bulbosum* L. - 30,0т, *Sedum hispanicum* L. - 26,46т, *Geranium robertianum* L. - 24,5т, *Geranium molle* L. - 44,0т, *Valerianella locusta* (L.) Laterrade. - 29,60т, *Bunias orientalis* L. - 40,5т, *Malva erecta* J.et C.Presl. - 9,00т, *Amberboa glauca* (Willd.) Grossh. - 24,0т.

**Ключевые слова:** Малый Кавказ, однолетние и двухлетние разнотравные кормовые культуры, ресурсная оценка.

RESOURCE POTENTIAL OF ANNUAL AND BIENNIAL MOTLEY GRASS FORAGE PLANTS  
OF NORTH-EAST PART OF THE LESSER CAUCASUS

Research article

Ibadullayeva S.J.<sup>1</sup>, Akhundova S.T.<sup>2</sup>, Movsumova N.V.<sup>3,\*</sup><sup>1</sup> ORCID: 0000-0003-0397-1593;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0002-4730-0954;<sup>3</sup> ORCID: 0000-0002-1909-564X;<sup>1,3</sup> Institute of Botany of Azerbaijan NAS, Laboratory of Ethnobotany; Baku, Azerbaijan;<sup>2</sup> Azerbaijan State Agrarian University, Biology Department; Ganja, Azerbaijan

\* Corresponding author (movsumovanuri[at]yahoo.com)

## Abstract

The development of stock raising - one of the most important sectors of agriculture can be successfully solved by enriching of natural fodder bases and increasing productivity. The productivity and quality of fodder crops in different regions should be studied and the capacity of pastures should be taken into account for this goal. Motley grass forage plants well mastered by livestock have been determined and domination of 14 species of 7 families and 10 genera in the groups of forage crops have been established according to a survey conducted among farmers in the lowlands and mountainous regions of the North-Eastern part of the Lesser Caucasus. The biological resources of these species have also been calculated due to the high quality of the feed: *Valerianella coronata* (L.) DC. - 32,0 t, *Arctium lappa* L. - 23,4t, *Arctium transcaucasicum* DC. - 98,0t, *Galium tenuissimum* Bieb. - 25,2t, *Galium spurium* L. - 29,64t, *Anthriscus cerefolium* Bertol. - 39,5t, *Chaerophyllum bulbosum* L. - 30,0t, *Sedum hispanicum* L. - 26,46t, *Geranium robertianum* L. - 24,5t, *Geranium molle* L. - 44,0t, *Valerianella locusta* (L.) Laterrade. - 29,60t, *Bunias orientalis* L. - 40,5t, *Malva erecta* J.et C.Presl. - 9,00t, *Amberboa glauca* (Willd.) Grossh. - 24,0t.

**Keywords:** Lesser Caucasus, annual and biennial motley grass forage crops, resource assessment.

## Introduction

Stock raising is one of the most important sectors of agriculture in Azerbaijan. At present, great challenges lie ahead in the development of stock raising in our Republic. Successful implementation of these tasks should be based on the creation of a fodder base by increasing feed production [1, p.7].

The large number of natural fodder areas in the territory of our Republic, but these do not fully provide the fodder base for developing of livestock. The main reason for this is the low productivity of pastures. This is the result of overgrazing and insufficient care of pastures [2, p.46]; [3, p.26-31]; [4, p.45-46]. Therefore, valuable fodder plants were eliminated from the botanical composition of pastures and instead weeds increased and productivity decreased.

Due to the fact that a large part of pastures is used for growing crops and pasture areas are significantly reduced as shown geobotanical studies. Soils are eroded or saline and landslides are prone to landslides in result of inefficient use of pastures [5, p. 234-239].

Many forage crops are widespread in natural pastures and hayfields. These plants are not eaten equally by livestock due to their different feed values. Therefore, there is a great need for new research to identify important forage plants and gain some insight into them. Such literature source would have closely contributed to the practical work of the meadow and pasture management, forage farming, as well as agricultural educational institutions in the Republic.



The first publication about the characteristics of forage plants belonging to the Gramineales and *Cyperaceae* families in Azerbaijan was published in 1965 [6, p.247]. However, "Motley grass forage plants (*Herbacea*) of pastures and hayfields of Azerbaijan" has not been developed as an object of research. Only, the work "Forage crops (motley grass) of the mountainous areas of Nakhchivan AR" was published in 2015. Importance data about distribution and bioecological characteristics of totally 181 species distributed only in mountainous areas have been presented in this work. However, 396 species belonging to the motley grass forage group (*Herbacea*), which includes dozens of families and genera are widespread in the flora of Azerbaijan. Of these, 286 species (72.2%) are perennials, and 110 species (27.8%) are annual, annual or biennial and biennial [7, p.222].

The most widespread species in the flora of Azerbaijan belongs to the motley grass forage groups: wormwood (*Artemisia*), saline (*Salsola*), cypress (*Kochia*), orach (*Atriplex*), nettle (*Urtica*), greater stitchwort (*Stellaria*), *pelargonium* (*Geranium*), carum (*Carum*), lady's mantle (*Alchemilla*), hogweed (*Heracleum*), *comfrey* (*Symphytum*), bellflower (*Campanula*), plantains or fleaworts (*Plantago*), dandelions (*Taraxacum*) are used for development of livestock.

Natural zones in the territory of the Lesser Caucasus where distributed motley grass forage crops are divided to arid and forestless arid mountainous areas; lowland and mountain forest regions; high mountain-meadow and meadow-steppe regions. Forage crops in each zone are grouped into annuals, biennials and perennials [8, p. 163-167].

### Materials and methods

The research was conducted under expeditions and field works in 2014-2019. Annual and biennial forage crops were studied mainly in the lowland and mountain-forest regions of the Lesser Caucasus. The materials were developed at Ganja State University and Azerbaijan State Agrarian University. The research was conducted using route and stationary methods. Up to 70 herbarium materials were collected and determinates. Life forms of the species was determined by I.G.Serebryakov systems [9, p. 530]. The names of the plants were specified according to the flora [10] and A.Askerov conspect [11]. Resources of species were calculated based on collected materials [12, p.22].

The analyzes were performed according to the generally accepted methodology by to the following schedule [13, p. 549]; [14, p. 456].

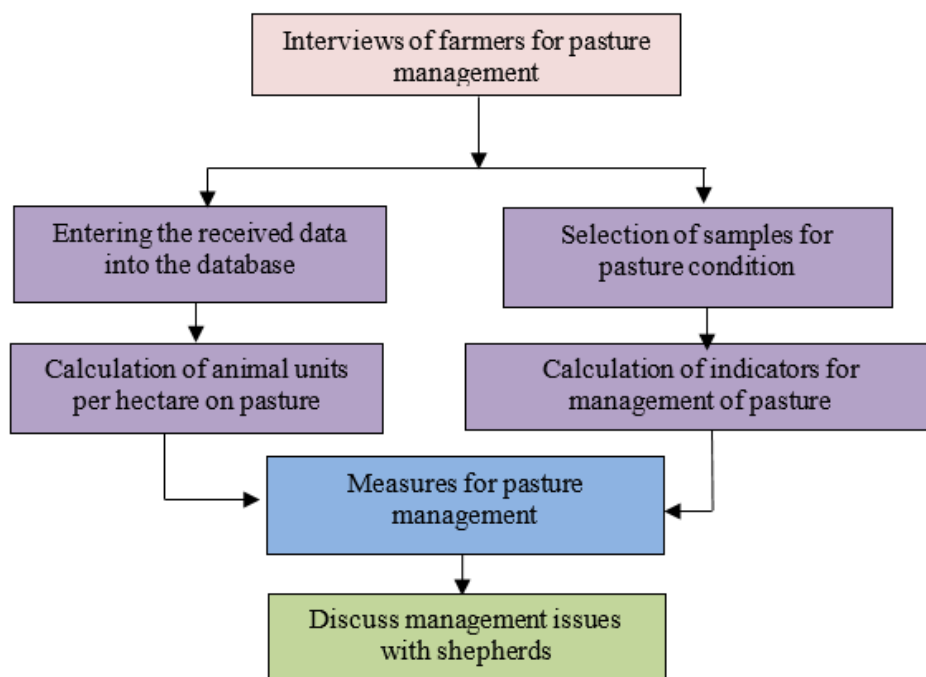


Fig.1 – Graphical indicators

These graphical indicators is important in assessing of the current state of pastures and an algorithmic sequence for taking appropriate measures. This work should be based on interviews of local farmers, as well as methodological guidelines based on individual calculations.

### Results

Domination of 7 family, 14 species, 10 genera of annual and biennial motley grass forage crops plants in lowland and mountainous regions of the North-Eastern part of the Lesser Caucasus have been determinated in results of studies (Fig. 2).

Robert geranium or fox geranium - *Geranium robertianum* L., perennial plant; blooms in May-June and bears seeds in June-August; widespread in all regions of the Lesser Caucasus, in the Alazan-Ayrichay valley of the Greater Caucasus and found in the lower and middle mountain ranges; growing in forests, bushes, rocky river valleys and sometimes in gardens. The plant is sufficiently eaten by cattle.

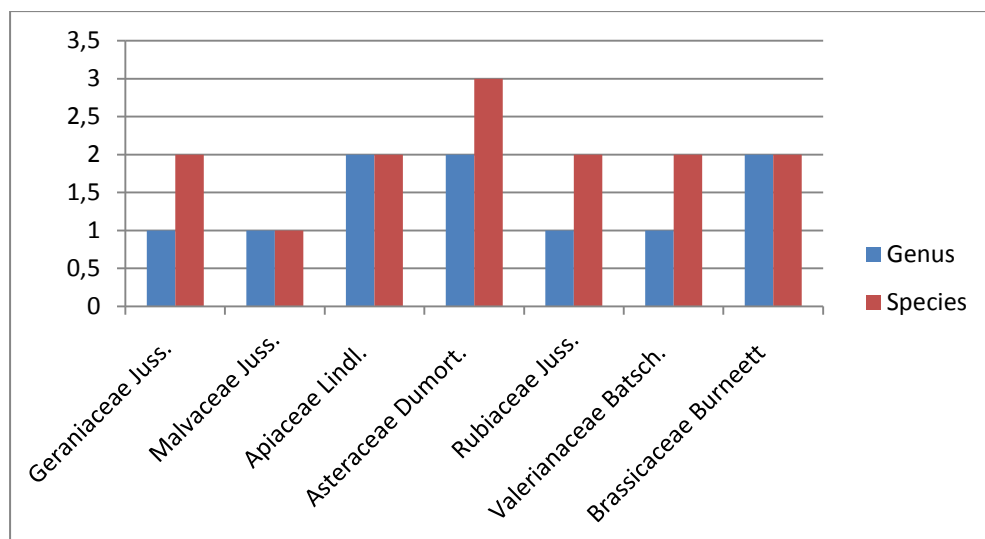


Fig. 2 – Composition of annual and biennial motley grass by families in lowland and mountainous forest regions

Dove's-foot Crane's-bill or Dovesfoot Geranium - *Geranium molle* L., annual or biennial plant; blooms in April-May, bears seeds in May-June and found in all regions of Azerbaijan, on roadsides and in crops. The plant is well eaten by cattle as part of the grass mixes.

Forest mallow - *Malva erecta* J.et C.Presl., annual or biennial plant and perennial plant in rare cases; blooms in May-June and bears seeds in June-October; spread in all regions of Azerbaijan and found from the lowland to the middle mountain belt in the Lesser Caucasus, in thick forests, sparse forests, orchards and in weeds and garbage dumps.

Plant sufficiently eaten by cattle. For the first time, the dynamics of the accumulation of macroelements in the composition of mallow species, depending on the stages of plant development was determined. The study of the quantity of macroelements in the green mass at all stages of plant development, including during forage use, allows to determine the balance of nutrients quantity. The composition of organic residues in the green mass and roots of introduced species was studied during the use of forages for fodder. This indicator increases by 4.39–11.36% in the introducers from the budding phase to the fruit formation phase, and 53.7–57.9% in buds. Organic residues of the *Malva pusilla* species in the harvested areas are less than *M.nicaeensis* species. 42.1-46.3% - in the roots. The mass of organic residues in the flowering phase varies from 7.17 to 17.33% depending on the species, which is more than compare with 2.78-5.97% in the bud formation phase.

French parsley or garden chervil - *Anthriscus cerefolium* Bertol; annual plant; blooms in May-June and bears seeds in June-July; spread in all regions of the Lesser Caucasus and found up to the middle mountain belt; growing in forests, bushes, rocks, gardens, roadsides and weeds. It is eaten by cattle [13, p.331-345].

Turnip-rooted chervil- *Chaerophyllum bulbosum* L., biennial plant; blooms in May-June and bears seeds in June-July-August; spread in all regions of Azerbaijan, in the North-Eastern regions of the Lesser Caucasus from the lower mountain range to the subalpine belt; growing in forests, bushes, meadows, weed-like gardens, plantations, vineyards and along roads. Sufficiently eaten by livestock at the beginning of the vegetation.

Greater burdock - *Arctium lappa* L., biennial plant; blooms and bears fruit in July-September; spread from the middle mountain range to the subalpine meadows in the mountainous regions of the Lesser Caucasus. Occurs in forests, in bushes and on meadows. There is abundance in pastures and part of meadows plant groups. In particular, it feels very good in the subalpine zone in high-grass vegetation periods. Often growing in hollows and around springs. Sometimes there is abundance in trashy secondary plant groups. Forms abundance under organic matter-rich soils around old cattle ranches.

Transcaucasia greater burdock - *Arctium transcaucasicum* DC., biennial plant; blooms and bears fruit in July-September; widespread in Azerbaijan. In particular, it is widespread in the Northern and Central regions of the Lesser Caucasus, from the lowlands to the subalpine belt. It is most common in mountain meadows, weed-like gardens, orchards, roadsides, and bushes.

Young shoots of Transcaucasia greater burdock are not eaten by cattle or eaten poorly, but at the end of the vegetation there are harvested and added to the feed mass. Sometimes animals, especially horses, eat this plant with great pleasure. Horses were willingly eaten during the expeditions.

Blue amberboa - *Amberboa glauca* (Willd.) Grossh., annual or perennial plants; blooms in April-June and bears seeds in May-July; spread in the middle mountain belt in the Steppe plateau and in the foothills of Tovuz-Gazakh districts of Lesser Caucasus; growing on dry, clayey slopes, sometimes on saline soils, on river banks. Does not form jungle.

It is eaten by small cattle in green periods. It is eaten enough in the form of dry grass. Camels well eat blue amberboa in the green form of dry grass, and slightly better in the form of dry grass by cattle.

*Galium tenuissimum* Bieb., annual, multi-branched plant, blooms in March and bears fruit in June-August; found in all regions of Azerbaijan, sometimes in the middle of the mountain range. Meets in gravel and rocky places of the north-eastern regions of the Lesser Caucasus.

Has a medium feed quality. It is eaten by cattle. There is a great need for extensive experiments to determine the feed quality of the *Galium tenuissimum*.

*Galium spurium* L. is annual plant. The flowers are whitish, sometimes bluish. It blooms and bears fruit in June-August; found in all regions of Azerbaijan; spread in the study area from the lowland to the middle mountain belt; growing mostly in bushes, fields and weeds. Plant has 79.4 feed units per 100 kg of green mass according to I.V. Larin and ets (1963) and well eaten by cattle at the beginning of the flowering period. Dye is extracted from the root.

*Valerianella coronata* (L.) DC., annual plant; blooms in May and bears seeds in May-June; widespread in the plains and mountainous parts, up to the middle mountain belt of the Lesser Caucasus. Plant inhabits in dry, stone and rocky slopes, washed-out limestone soils. Sometimes, it grows in quiet areas like weeds. *V. coronata* is found individually and, in rare cases, in groups.

Lamb's lettuce - *Valerianella locusta* (L.) Laterarde, annual plant up to 20 cm tall; blooms in April and bears seeds in May.

Plant is found one by one in weed-free areas and weed-infested areas near reservoir "Yeni yol". Plant well eaten by animals, especially by sheep. So, lamb's lettuce can be included in the list of fodder plants.

Warty-cabbage - *Bunias orientalis* L., an annual or biennial plant, flowers in April-May (June) and bears seeds in June-July; widespread in the mountainous parts of the northern and central regions of the Lesser Caucasus, from the lower mountain range to the subalpine belt; growing around forests, subalpine and steppe meadows, slopes, as weeds in gardens.

Warty-cabbage is propagated by seeds, develops a root system in the first year, and blooms and bears seeds in the second year. Can be propagated by seeds and vegetatively.

Spanish stonecrop - *Sedum hispanicum* L., annual or biennial, branched stem, 15 cm tall; flowers and bears seeds in June-July; spread in all regions of Azerbaijan; mainly found in the middle and lower mountain ranges of the Lesser Caucasus; growing on rocks. It is sufficiently eaten by livestock according to the survey.

Data about the biological resources of the species have been shown in the table (Table 1).

Table 1 – Resource assessments of wild annual and biennial motley grass in districts of Lesser Caucasus in 2017-2019 years (raw weight)

Species name	<i>Amberboa glauca</i>	<i>Malva erecta</i>	<i>Bunias orientalis</i>	<i>Valerianella</i>	<i>Valerianella coronata</i>	<i>Geranium molle</i>	<i>Geranium robertianum</i>	<i>Sedum hispanicum</i>	<i>Chaerophyllum</i>	<i>Anthriscus cerefolium</i>	<i>Galium spurium</i>	<i>Galium tenuissimum</i>	<i>Arctium transcaucas</i>	<i>Arctium lappa</i>
Possible volume of annual resource (tons)	1,20± 0,19	0,45 ± 0,09	2,0± 0,64	1,48± 0,28	1,6± 0,73	2,2± 0,66	1,22± 0,19	1,32± 0,22	1,5± 0,23	1,97± 0,35	1,48± 0,28	1,3± 0,22	4,9± 1,91	1,17± 0,18
Operational resource (tons)	12,0± 2,02	4,5± 0,38	20,2± 2,91	14,8± 2,44	16,0± 1,54	22,0± 4,94	12,25 ±2,04	13,23 ±2,19	15,0± 2,02	19,7± 4,14	14,82 ±2,44	12,7± 1,66	49,0± 4,98	11,7± 1,92
Biological reserve (tone)	24,0± 2,07	9,00 ± 0,82	40,5± 4,79	29,60 ±2,97	32,0± 3,08	44,0± 6,98	24,5± 2,45	26,46 ±2,87	30,0± 3,12	39,5± 3,72	29,64 ±2,97	25,2± 3,94	98,0± 9,27	23,4± 3,95
Mass density per 1 ha (ton)	4,00± 0,58	3,00 ± 0,30	6,75± 1,14	7,40± 1,24	6,90± 0,84	5,50± 0,84	3,15± 0,34	3,78± 0,52	10,0 ±1,75	7,90± 1,29	4,94± 0,71	3,60± 0,51	14,0± 2,30	7,80± 1,28
Phyto-mass of one model plant N=20 (kg)	1,0± 0,17	1,2± 0,19	0,9± 0,09	1,4± 0,23	2,1± 0,18	1,1± 0,18	0,9± 0,09	0,9± 0,09	1,0± 0,17	1,2± 0,19	1,3± 0,22	1,0± 0,17	1,4± 0,23	1,3± 0,22
Quantity of plants per 1ha (thousand)	4,0	2,5	7,5	5,1	7,0	5,0	3,5	4,2	10,0	6,6	3,8	3,6	10,0	6,0
Number of plants per 4m <sup>2</sup>	4	2	3	3	4	2	3	3	4	4	4	2	5	2
The area under the bushes, (ha)	8	3	6	4	5	8	7	7	3	5	6	7	7	3
Total area of massive, (ha)	55	70	40	30	27	25	40	60	110	70	50	65	80	65

## Discussion

High content of dry matter, protein and fat in the seeds are characterized for all species. *M. nicaeensis* was superior to other species in terms of dry matter content compare to *M. pusilla*. Contrariwise *M. pusilla* had the highest amount of protein. According to this indicator, its advantage over *M. nicaeensis* – 3,01%, *M. parviflora* – 2,12%, *M. erecta* 2,31%, *M. sylvestris* – 2,57%. There is a big difference between the species according to the content of nitrogen-free extract. They are most commonly found in the seeds of *M. sylvestris* and least of *M. nicaeensis*. The difference between the other species was up to 7.00%. In terms of lipid content in *M. sylvestris* seeds, 6.82% lagged behind *M. nicaeensis*, from *M. parviflora* and *M. pusilla* - 6.14%. Sufficient cellulose accumulates in the seeds of mallow: *M. sylvestris* 31,86%, *M. erecta* 25,57%, *M. parviflora* 28,12% and *M. pusilla* 29,13%. The introducers were very close due to the amount of ash in the seeds. *M. pusilla* is the exception - 1.03 - 1.45% superior to other species [15, p. 1328-1333]. Due to all this, annual and perennial species of mallow are used as fodder.

Use of annual species of laborers to strengthen the fodder base by mass cultivation in agro-phytocenoses for livestock development is recommended.

Mix growing corn with *M.parviflora*, *M.pusilla*, *M.nicaeensis*, *M.sylvestiris* and *M.erecta* significant increase quantity of protein and vitamins compare under growing separately pure corn. We recommend the cultivation of the mix in this direction as well as taking into account the fact that the high-protein component mixes differs by valuable chemical composition.

Mineral fertilizers have a beneficial effect on the content of protein, lipids and vitamins. Nitrogen among the 3 macroelements has a positive effect on the growth of basic nutrients, chemical composition and productivity of seeds, which are the most abundant in the underground biomass of the seed.

Greater burdock is well eaten by all types of livestock. However, it is not eaten in green period. The seeds are eagerly eaten by poultry. Greater burdock formed 15 tons of green mass per hectare, and so called a good silage plant. Silage is eagerly eaten by cattle. The plant should be mixed with nettles, bark and other plants, as well as straw and buried in silage. Silage of greater burdock mix with other plants is considered very valuable. The milk of cows that eat the silage of this plant increases rapidly according to V.I.Belyayev and etc. [16, p.3].

People make soup from fresh leaves of this plant and eat it with orach or oil according to ethnobotanical research. Sweet puree is also made from it. Contains inulin and sugar. The root contains 19% of inulin. It is very valuable as a medicinal plant. The seeds contain up to 17% fat. Greater burdock is a good honey plant [17, p. 370].

Transcaucasia greater burdock is a very valuable for medicine, a good honey plant. It is considered to be a silage plant due to its high green mass. The green mass obtained from 1 hectare reaches till 10-12 tons. There are not considered valuable as a fodder plant due to their low prevalence. However, to transfer them to the culture in the mountainous area is expedient.

Blue amberboa is considered a valuable plant for silage [18, p.270]. There is a cultivated form of this species in the farm is also used as an ornamental plant. Transfer to cultural conditions is expedient.

In addition to this species, there are two other species of amberboa dwarf (*A. nana*) and sosnovski amberboa (*A. sosnovskyi*) in Azerbaijan. Their feed qualities were studied. No alkaloids were found. Cultivate of all 3 species culturally is advisable.

*Valerianella coronata* is little eaten by cattle in the early stages of development. I.V. Larin and etc. mention it as a fodder plant [13, p. 365]. This plant is eagerly eaten by sheep in summer according to A.Kh.Rollov [19, 599]. Extensive study of feed quality is expedient.

One of the annual species of Corn salad was found in subalpine meadows, which was poorly eaten by animals *V.dentata*. Study the feed quality of Corn salad species extensively is expedient.

Warty-cabbage is found mainly as a weed in spring crops. Normally developed plant overshadows the crops due to the formation of a large surface mass and large leaves. Sometimes it is even in the bushes form; abundance growing in mountain meadows in addition to crops. The plant has a high feed quality in flowering stage, so also well eaten by all types of livestock, and then, due to its roughness, the degree of spoilage decreases.

Warty-cabbage gives a high green mass in plant groups. So, the plant can be used for silage and therefore is advisable to cultivate it. The leaves and sprouts are used as food, both raw and cooked. It is a good honey plant.

### Conclusion

Motley grass forage plants well mastered by livestock have been determined and domination of 14 species of 7 families and 10 genera in the groups of forage crops have been established according to a survey conducted among farmers in the lowlands and mountainous regions of the North-Eastern part of the Lesser Caucasus. The resources of these species have also been calculated and varied between 9,00- 98,0 tonn. Cultivate them in agrophytocenoses is recommended considering the possibility of using high-quality species as both raw and silage.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Conflict of Interest

None declared.

### Список литературы / References

1. Recommendations on relying on feed units in feed production: Ministry of Agriculture of the Azerbaijan SSR. General Directorate of Agricultural Science and Propaganda. –Baku, 1982. – 7p.
2. Aliyev R.A. Improvement and rational use of winter and summer pastures in Azerbaijan / Aliyev R.A., Hacıyev V.D. et.al.. –Baku, NA Az.SSR, – 1965. – 46 p.
3. Akhmedova S.Z. Vegetation of winter pastures of Jeyranchel-Ajinoura of Azerbaijan, its bioecological and agrophytocenotic features: Avtore. Diss...of doc. in biol. –Baku, 2011. – 43 p.
4. Гроссгейм А.А. Растительный покров пастбищ Азербайджана и его кормовое значение / А.А. Гроссгейм. – Баку: Наркомзем, 1932. – 72 с.
5. İbadullayeva S.J. Development Appropriatenesses of Deserting Processes in the KAP and the PAAR/ S.J. İbadullayeva, F.Ch. Nahiyeve //Global Advanced Research Journal of Geography and Regional Planning (ISSN: 2315-5018). – 2013. –1(5). – P. 234-239
6. Feed plants of hayfields and pastures of Azerbaijan (cereals and grasses) // AS of Azerbaijan SSR, Institute of Botany named by V.L.Komarov, Baku. –1965. –vol.1. – P.247
7. Makherramov S. Forage plants of mountainous areas of Nakhchivan AR flora / Makherramov S., Mammedli T., İbadullayeva S.. – Nakhchivan: – Elm. – 2015. – P. 222.
8. İbadullayeva S.J. Determination of quality indicators of basic feed crops belonging to a variety of herbs in summer pastures / İbadullayeva S.J., Movsumova N.V., Akhundova S.T. // Proceedings of ANAS (Biological and Medicinal Sciences). – 2018. – 73(2). – P. 163-167.
9. Серебряков И. Г. Жизненные формы высших растений и их изучение в кн. «Полевая геоботаника» / И.Г.Серебряков. –М.: –1964. –Т. 3: – 530 с.
10. Flora of Azerbaijan. AS of Azerbaijan SSR, – Baku. –1950-1961. – vol. I-VIII.

11. Asgerov A.M. Higher plants of Azerbaijan (Conspect of flora of Azerbaijan) 3 values, – Baku. – Elm: –2006-2008.
12. Крылова И.А. Методические указания по изучению запасов дикорастущих лекарственных растений / И.А. Крылова, А.М.Шретер. – Pres.VILR. – М., 1971. – С. 22.
13. Ларин И.В. Природные сенокосы и пастбища / И.В. Ларин, В.А. Борневик и др. –М.: Сельхозиздат. –1963. – 549 с.
14. Ермаков А.И. Методы биохимического исследования растений / А.И. Ермаков, В. В. Аразимович, М.И. Смирнова-Иконникова. – изд. 2. I.-Колос. – 1972. – 456 с.
15. Iskanderova A.I Forage quality of the species of *Malva* L. genus and definition of organic remainders in the cut areas// International journal of agriculture and crop sciences. – 2013. – vol. 6. – P.1328-1333.
16. Кухарева Л.В. Полезные травянистые растения флоры: справочник по итогам интродукции в Беларуси / Л.В. Кухарева, Г. В. Пашина. – Минск: Наука и техника. –1986. – С.3.
17. İbadullayeva S. Medicinal plants (Ethnobotany and Phytoterapy) / İbadullayeva S., Alekberov R.. Bakı. – Elm. – 2013. –370 p.
18. Shakuri B.H. Summer pastures of Azerbaijan, their current condition and ways to improve them / Shakuri B.H., Giyasi H.A.. –Baku. –MBM. –2006. –270 p.
19. Роллов А. Ч. Дикорастущие растения Кавказа, их распространение, свойства и применение / А. Ч. Роллов.– Тифлис: Типография Козловского. – 1908. –599 с.

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

1. Recommendations on relying on feed units in feed production: Ministry of Agriculture of the Azerbaijan SSR. General Directorate of Agricultural Science and Propaganda. –Baku, 1982. – 7p.
2. Aliyev R.A. Improvement and rational use of winter and summer pastures in Azerbaijan / Aliyev R.A., Hacıyev V.D. et.al.. –Baku, NA Az.SSR, – 1965. – 46 p.
3. Akhmedova S.Z. Vegetation of winter pastures of Jeyranchel-Ajinoura of Azerbaijan, its bioecological and agrophytocenotic features: Avtore. Diss...of doc. in biol. –Baku, 2011. – 43 p.
4. Grossgeym A.A. Rastitelnyy pokrov pastbish Azerbaydjana i ego kormovoe znachenie [The vegetation cover of the pastures of Azerbaijan and its feed value]/ A.A.Grossgeym. – Baku: Narkomzem, 1932. – 72 p. [in Russian]
5. İbadullayeva S.J. Development Appropriatenesses of Deserting Processes in the KAP and the PAAR / İbadullayeva S.J., Nabiyeva F.Ch. //Global Advanced Research Journal of Geography and Regional Planning (ISSN: 2315-5018). – 2013. –1(5). – P. 234-239
6. Feed plants of hayfields and pastures of Azerbaijan (cereals and grasses) // AS of Azerbaijan SSR, Institute of Botany named by V.L.Komarov, Baku. –1965. –vol.1. – P.247
7. Makherramov S. Forage plants of mountainous areas of Nakhchivan AR flora / Makherramov S., Mammedli T., İbadullayeva S.. – Nakhchivan: – Elm. – 2015. – P. 222.
8. İbadullayeva S.J. Determination of quality indicators of basic feed crops belonging to a variety of herbs in summer pastures / İbadullayeva S.J., Movsumova N.V., Akhundova S.T // Proceedings of ANAS (Biological and Medicinal Sciences). – 2018. – 73(2). – P. 163-167.
9. Serebyakov İ.G. Jiznennie formi visshich rastenii I ich izucenie V kn.: «Polevaya geobotanika» [Life forms of higher plants and their study] / İ.G.Serebyakov. –M.: –1964. –v. 3: – 530 p. [in Russian]
10. Flora of Azerbaijan. AS of Azerbaijan SSR, – Baku. –1950-1961. – vol. I-VIII.
11. Asgerov A.M. Higher plants of Azerbaijan (Conspect of flora of Azerbaijan) 3 values, – Baku. –Elm: –2006-2008.
12. Krilova İ.A. Metodiceskie ucazania po izuceniyu zapasov dikorastusshix lekarstvennix rastenii [Methodical guidelines for the study of reserves of wild medicinal plants]/ İ.A.Krilova, A.M.Shreter. – Pres.VILR. – М., 1971. – P. 22. [in Russian]
13. Larin İ.V. Prirodnie senokosi i pastbisha [Natural hayfields and pastures]/Larin İ.V., Borinevic V.A. et al. –M.: Sel'khosizdat. –1963. –549 p. [in Russian]
14. Yermakov A.İ. Metodi biochimiceskogo issledovania rastenii [Methods of biochemical research of plants] / Yermakov A.İ., Arasimovic V.V., Smirnova-Iconnicova M.I. – Izd. 2. I.-Colos. – 1972. – 456 p. [in Russian]
15. Iskanderova A.I. Forage quality of the species of *Malva* L. genus and definition of organic remainders in the cut areas / Iskanderova A.I, İbadullayeva S.J. Forage // International journal of agriculture and crop sciences. – 2013. – vol. 6. – pp.1328-1333.
16. Kukhareva L.V. Poleznie travyanistie rastenie prirodniy flori: spravocnik po itogam introdukcii v Belarussii [Useful herbaceous plants of natural flora: a guide to the results of introduction in Belarus]/ Kukhareva L.V., Pashina G.V. – Minsk: Nauka and technica. –1986. – p.3. [in Russian]
17. İbadullayeva S. Medicinal plants (Ethnobotany and Phytoterapy). Bakı. – Elm. – 2013. –370 p.
18. Shakuri B.H. Summer pastures of Azerbaijan, their current condition and ways to improve them. –Baku. –MBM. –2006. –270 p.
19. Rollov A.Ch. Dikorastusshie rastenie Cavcasa, ich rasprostranenie, svoystva i primeneniye [Wild plants of the Caucasus, their distribution, properties and using] / Rollov A.Ch.–Tiflis: Tipografiya Kozlovskogo. – 1908. –599 p.[in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.97.7.028>**ВЛИЯНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ «ЭНЕРМИКС ПЛЮС»  
НА БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ КОРОВ**

Научная статья

**Тукташева К.А. \***

Южно-Уральский государственный аграрный университет, Троицк, Россия

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

**Аннотация**

В статье приведены результаты исследований по использованию энергетической кормовой добавки. Ее применение позволяет организму лактирующей коровы выйти на максимальный уровень молочной продуктивности, улучшить тенденцию биохимических показателей крови, тем самым способствуя и улучшению физиологического состояния животных. Было установлено, что введение в состав рациона коров разных доз добавки «Энермикс плюс» не оказало отрицательного влияния на состояние их здоровья и способствовало оптимизации обмена веществ.

**Ключевые слова:** энергетическая кормовая добавка, показатели крови.

**INFLUENCE OF ENERMIX PLUS ENERGETIC FEED ADDITIVE  
ON BIOCHEMICAL INDICATORS OF COW BLOOD**

Research article

**Tuktasheva K.A. \***

South Ural State Agrarian University, Troitsk, Russia

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

**Abstract**

The paper presents the results of studies on the use of energetic feed additive. Its usage allows the body of a lactating cow to reach the maximum level of milk productivity, improve the tendency of blood biochemical parameters, thereby contributing to the improvement of the physiological state of animals. It was found that the introduction of different doses of the *Enermix plus* feed additive into a cow diet did not adversely affect their state of health and contributed to the optimization of metabolism.

**Keywords:** energetic feed supplement, blood counts.

**Введение**

Увеличение производства молочных продуктов в значительной степени зависит от организации полноценного сбалансированного кормления животных [1], [3], [4]. С этой целью в последние годы стали использовать различные кормовые добавки, позволяющие обогащать рационы кормления животных биологически активными веществами [5], [6], [7]. Они вводятся в небольших количествах, но способствуют реализации функциональных резервов организма животных, формированию стойкого иммунитета, улучшению физиологического состояния и повышению продуктивности [8], [9], [10].

Одной из наиболее перспективной для использования энергетической кормовой добавки в рационе высокопродуктивных коров является – «Энермикс Плюс».

Энергетическая кормовая добавка «Энермикс Плюс» является средством профилактики и лечения кетоза. Содержит в составе комплекс глюкопластических веществ, быстрорастворимых углеводов, гепатопротекторов, витаминов, минеральных веществ в хелатной форме.

Исходя из вышеизложенного была поставлена цель – дать характеристику животным и провести исследование биохимических показателей крови коров в зависимости от влияния энергетической кормовой добавки.

Исследовательская часть работы проводилась на базе СПК «Звягино», Чебаркульского района Челябинской области. Сформировали три группы коров по 15 голов, по принципу аналогов с учетом происхождения, возраста, живой массы, продуктивности.

В I (опытной) группе коровы получали кормовую добавку в количестве 300 г на голову в сутки, во II (опытной) группе – 400 г, а III (контрольная) группа – основной рацион.

**Обсуждение**

Мы провели оценку стада коров черно-пестрой породы по основным показателям молочной продуктивности за 305 дней последней законченной лактации. Данные приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика коров по показателям молочной продуктивности за законченную лактацию

Показатель	Удой, кг	Молочный			
		жир		белок	
		%	кг	%	кг
Все поголовье	5287	3,80	200,91	3,10	163,90
I лактация	5030	3,72	187,12	2,95	148,39
II лактация	5128	3,79	194,35	3,10	158,97
III лактация и старше	5463	3,88	211,96	3,27	178,64

Средний удой за лактационный период по стаду составлял 5287 кг, при этом большее количество молока в 2019 году было получено от полновозрастных коров – 5463 кг, что выше в сравнении с коровами первого отела на 433 кг (8,6 %), по II лактации – на 335 кг (6,5 %) и всем стадом – на 3,3 %.

Большее количество молочного жира и белка в хозяйстве получено от коров по III лактации и старше – 211,96 кг и 178,64 кг. При сравнении с животными по I лактации разница была выше на 24,84 кг (13,3 %) и 30,25 кг (20,4 %), II лактации – на 17,61 кг (9,1 %) и 19,67 кг (12,4 %) и всего поголовья – на 11,05 кг (5,5 %) и 14,74 кг (9,0 %) соответственно.

Средний процент массовой доли жира и белка всего стада хозяйства составляло 3,8 % и 3,1 % соответственно и варьировало в зависимости от возраста коров: жир – от 3,72 % до 3,88 %, белок – от 2,95 % до 3,27 %.

Кроме того, мы оценили качественную характеристику стада и установили, что важнейшими показателями являются классный и породный состав (табл. 2).

Таблица 2 – Породный и классовый состав стада

Группа животных	Распределение по		
	породности		классам
	чистопородные и IV поколение	элита-рекорд	элита
Всего, в т.ч.	100,0	89,6	10,4
коровы	100,0	93,3	6,7
телки в возрасте от 6 до 11 мес.	100,0	81,9	18,1
телки в возрасте от 12 до 18 мес.	100,0	99,1	0,9
телки старше 18 мес.	100,0	84,2	15,8

Анализируя данные таблицы видно, что все коровы являются чистопородными, неклассные животные отсутствуют. В стаде 93,3 % коров класса элита-рекорд. К классу элита было отнесено 6,7 %. Кроме того, полученные в опытных хозяйствах телки соответствовали классам элита-рекорд и элита.

Таким образом, высокий породный и классный состав стада, указывает на то, что с животными ведется целенаправленная селекционно-племенная работа на высоком зоотехническом уровне.

Результаты исследования биохимических показателей крови коров представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Биохимические показатели крови коров,  $\bar{X} \pm S_x$ 

Показатель	Группа		
	I	II	III
Общий белок, %	78,87 $\pm$ 3,23	78,87 $\pm$ 3,52	85,30 $\pm$ 0,80
Мочевина, ммоль/л	1,16 $\pm$ 0,03	1,97 $\pm$ 0,26	2,07 $\pm$ 0,05
Глюкоза, ммоль/л	2,16 $\pm$ 0,12	2,34 $\pm$ 0,15	2,69 $\pm$ 0,15
Общие липиды, г/л	3,02 $\pm$ 0,31***	4,13 $\pm$ 0,36**	6,20 $\pm$ 0,24
Щелочн. фосф., Е/п	16,19 $\pm$ 1,59***	28,1 $\pm$ 7,6	40,08 $\pm$ 2,00
$\beta$ -липопротеиды, мг%	37,25 $\pm$ 1,78	30,64 $\pm$ 2,72	38,98 $\pm$ 9,81
АСаТ, ммоль/л час	0,69 $\pm$ 0,05	0,73 $\pm$ 0,08	0,76 $\pm$ 0,09
АЛаТ, ммоль/л час	0,24 $\pm$ 0,02*	0,32 $\pm$ 0,07	0,47 $\pm$ 0,05
Кальций, ммоль/л	1,86 $\pm$ 0,05	2,11 $\pm$ 0,10	2,30 $\pm$ 0,21
Фосфор, ммоль/л	1,41 $\pm$ 0,06	1,41 $\pm$ 0,11	1,86 $\pm$ 0,24
Магний, ммоль/л	0,88 $\pm$ 0,04	0,92 $\pm$ 0,10	0,97 $\pm$ 0,03
Железо, ммоль/л	11,90 $\pm$ 0,00	14,90 $\pm$ 1,73	16,90 $\pm$ 2,65
Щелочной резерв, Об. CO <sub>2</sub>	38,67 $\pm$ 2,87	47,80 $\pm$ 6,00	41,80 $\pm$ 3,00

Как видно из данных таблицы, уровень общего белка в сыворотке крови коров обеих групп разного физиологического состояния находился в пределах нормы (60 – 85 г/л) и варьировал от 78,8 до 85,3 г/л. При этом следует отметить, что содержание белка в сыворотке крови коров контрольной группы в зимний стойловый период достоверно выше ( $p < 0,005$ ) в сравнении с I и II опытной группой на 7,54 %.

Содержание глюкозы в сыворотке крови животных анализируемых групп в сухостойный период составило от 2,16 до 2,69 ммоль/л при норме 2,0 – 2,7 ммоль/л, в этот период может быть вызвано усиленной секрецией инсулина и повышенным резервированием питательных веществ перед отелом и лактацией.

Кроме того, в крови коров опытных групп была отмечена тенденция к снижению уровня мочевины на 4,83 – 43,96 %, при норме 3,3 – 6,6 ммоль/л. Это могло происходить в связи с тем, что у них по сравнению с контролем из рубца в меньшем количестве поступало аммиака. Последнее же могло быть обусловлено более высоким биосинтетическими процессами в рубце коров опытных групп, в ходе которых аммиак использовался для синтеза микробного белка.

Содержание общих липидов в крови коров в I опытной группе было ниже, чем во II и III контрольной группе на 26,88 % и на 51,29 %. Если учесть, что из желудочного-кишечного тракта у них ежедневно поступало жира больше, чем в контрольной, то статистически достоверное снижения уровня общих липидов в крови коров в I и II (3,02 и 4,13 ммоль/л) группах на 51,29 % и на 33,39 %, было очевидно обусловлено более активным вовлечением их в синтез молочного жира. Наряду со снижением концентрации общих липидов в крови коров I и II опытной группы по сравнению с III контрольной группой коров происходило снижение и таких их фракций как фосфолипиды и холестерин, что, очевидно, было связано также с усилением синтеза молочного жира.

Концентрация кальция в крови подопытных животных, в отличие от других биохимических показателей было меньше физиологической нормы, что указывает на дефицит в минеральных веществах. В начале во всех группах наблюдалась недостача кальция относительно нормы, в среднем она составляла 40,0 %. Такое низкое содержание кальция обусловлено, прежде всего, низким содержанием витамина D<sub>3</sub> в рационе, а также гипофункцией щитовидной железы, так как коров содержали в стойловый зимний период в закрытом от солнца помещении, при минимальном

свете. Так, содержание кальция у опытных групп животных колебалось от 1,86 до 2,3 ммоль/л, при норме 2,5 – 3,13 ммоль/л, не соответствует нормативным значениям.

Масса неорганического фосфора находилась в нормативном диапазоне с колебаниями у коров черно-пестрой породы I и II опытных и III контрольной групп животных от 1,41 ммоль/л до 1,86 ммоль/л, при норме 1,45 – 1,94 ммоль/л. В целом по содержанию в сыворотке крови кальция и фосфора между группами достоверных различий не установлено.

#### Заключение

Таким образом, введение в состав рациона коров черно-пестрой породы разных доз энергетической кормовой добавки «Энермикс плюс» не оказало отрицательного влияния на состояние их здоровья и способствовало оптимизации обмена веществ в их организме.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Абилов Б. Т. Энергетическая кормовая добавка в кормлении коров / Б. Т. Абилов, И. А. Синельщикова, А. И. Зарытовский, Н. А. Болотов // Сборник научных трудов Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства. – 2014. – Т. 1. – № 7 (1). – С. 78 – 82.

2. Азаубаева Г. С. Связь морфобioхимического состава крови и молочной продуктивности у коров при использовании в рационах различного уровня обменной энергии / Г. С. Азаубаева // Главный зоотехник. – 2009. – № 5. – С. 19 – 25.

3. Булатов А. П. Эффективность использования комплексных добавок в рационах лактирующих коров / А. П. Булатов, Ю. А. Кармацких, Н. М. Костомахин // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. – 2017. – № 6. – С. 3 – 11.

4. Иванова А. С. Использование органических форм цинка и меди в рационах высокопродуктивных коров / А. С. Иванова, Н. М. Костомахин // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. – 2018. – № 6. – С. 5 – 12.

5. Кармацких Ю. А. Морфологические и биохимические показатели крови у коров черно-пестрой породы получавших в период раздоя бентонит, кобальт сернокислый и калий йодистый / Ю. А. Кармацких, И. В. Речкин // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. – 2008. – № 10. – С. 15 – 19.

6. Карабаева М. Э. Повышение молочной продуктивности коров / М. Э. Карабаева, Ю. Г. Гриняева // Аграрный научный журнал. – 2015. – № 9. – С. 19 – 21.

7. Надеев В. Эффективность использования органической формы меди в рационах откармливаемых свиней / В. Надеев, М. Чабаев, Р. Некрасов // Главный зоотехник. – 2012. – № 5. – С. 22 – 26.

8. Некрасов Р. Восполнение уровня обменной энергии в рационах высокопродуктивных коров в начале лактации / Р. Некрасов, М. Вареников, М. Чабаев // Молочное и мясное скотоводство. – 2013. – № 3. – С. 9 – 13.

9. Перцев С. Энергетик в рационе лактирующих коров / С. Перцев // Молоко, корма, менеджмент. – 2007. – № 1. – С. 7 – 10.

10. Ярмоц Г. А. Эффективность использования минерального премикса в рационах сухостойных и лактирующих коров / Г. А. Ярмоц, Л. П. Ярмоц, А. Ш. Хамидуллина // Кормление сельскохозяйственных животных. – 2017. – № 9. – С. 26 – 32.

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

1. Abilov B. T. Jenergeticheskaja kormovaja dobavka v kormlenii korov [Energy feed additive in cow feeding] / B. T. Abilov, I. A. Sinel'shhikova, A. I. Zarytovskij, N. A. Bolotov // Sbornik nauchnyh trudov Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta ovcevodstva i kozovodstva [Collection of scientific papers of the all-Russian research Institute of sheep and goat breeding]. – 2014. – V. 1. – № 7 (1). – P. 78 – 82. [in Russian]

2. Azaubaeva G. S. Svjaz' morfobiohimicheskogo sostava krovi i molochnoj produktivnosti u korov pri ispol'zovanii v racionah razlichnogo urovnja obmennoj jenerгии [Connection of morphobiochemical composition of blood and milk productivity in cows when used in diets of different levels of exchange energy] / G. S. Azaubaeva // Glavnyj zooteknik [Chief zootechnik]. – 2009. – № 5. – P. 19 – 25. [in Russian]

3. Bulatov A. P. Jefferktivnost' ispol'zovanija kompleksnyh dobavok v racionah laktirujushhih korov [Efficiency of using complex additives in the diets of lactating cows] / A. P. Bulatov, Ju. A. Karmackih, N. M. Kostomahin // Kormlenie sel'skhozajstvennyh zhivotnyh i kormoproizvodstvo [Feeding of farm animals and feed production]. – 2017. – № 6. – P. 3 – 11. [in Russian]

4. Ivanova A. S. Ispol'zovanie organicheskikh form cinka i medi v racionah vysokoproduktivnyh korov [The Use of organic forms of zinc and copper in the diets of highly productive cows] / A. S. Ivanova, N. M. Kostomahin // Kormlenie sel'skhozajstvennyh zhivotnyh i kormoproizvodstvo [Feeding of farm animals and feed production]. – 2018. – № 6. – P. 5 – 12. [in Russian]

5. Karmackih Ju. A. Morfologicheskie i biohimicheskie pokazateli krovi u korov cherno-pestroj porody poluchavshih v period razdoja bentonit, kobal't sernokislyj i kalij jodistyj [Morphological and biochemical indicators of blood in black-and-white cows that received bentonite, cobalt sulphuric acid and potassium iodide during the distribution period] / Ju. A. Karmackih, I. V. Rechkin // Kormlenie sel'skhozajstvennyh zhivotnyh i kormoproizvodstvo [Feeding of farm animals and forage production]. – 2008. – № 10. – P. 15 – 19. [in Russian]

6. Karabaeva M. Je. Povyshenie molochnoj produktivnosti korov [Increase of dairy productivity of cows] / M. Je. Karabaeva, Ju. G. Grinjaeva // Agrarnyj nauchnyj zhurnal [Agrarian scientific journal]. – 2015. – № 9. – P. 19 – 21. [in Russian]



7. Nadeev V. Jefferktivnost' ispol'zovanija organicheskoj formy medi v racionah otkarmливаemyh svinej [Efficiency of using the organic form of copper in the diets of fattened pigs] / V. Nadeev, M. Chabaev, R. Nekrasov // Glavnyj zootehnik [Chief zootechnik]. – 2012. - № 5. – P. 22 – 26. [in Russian]
8. Nekrasov R. Vospolnenie urovnja obmennoj jenerгии v racionah vysokoproduktivnyh korov v nachale laktacii [Replenishment of the level of exchange energy in the diets of highly productive cows at the beginning of lactation] / R. Nekrasov, M. Varenikov, M. Chabaev // Molochnoe i mjasnoe skotovodstvo [Dairy and meat cattle breeding]. – 2013. - № 3. – P. 9 – 13. [in Russian]
9. Percev S. Jenergetik v racione laktirujushhih korov [Energetik in the diet of lactating cows] / S. Percev // Moloko, korma, menedzhment [Milk, feed, management]. – 2007. - № 1. – P. 7 – 10. [in Russian]
10. Jarmoc G. A. Jefferktivnost' ispol'zovanija mineral'nogo premiksa v racionah suhostojnyh i laktirujushhih korov [Efficiency of mineral premix use in the diets of dry and lactating cows] / G. A. Jarmoc, L. P. Jarmoc, A. Sh. Hamidullina // Kormlenie sel'skhozjajstvennyh zhivotnyh [Feeding farm animals]. – 2017. - № 9. – P. 26 – 32. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.97.7.029>**ВЫЯВЛЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ УЧАСТКОВ МЕДНО-ПОРФИРОВОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ  
В РАЙОНЕ КАЗАХСКОГО МЕЛКОСОПОЧНИКА НА ОСНОВЕ ДЗЗ**

Научная статья

**Котельников А.Е.<sup>1,\*</sup>, Корлосама Ф.Х.<sup>2</sup>, Котельникова Е.М.<sup>3</sup>, Ибрахим М.А.А.<sup>4</sup>, Хассан М.А.<sup>5</sup>**<sup>1</sup>ORCID: 0000-0003-0622-8391;<sup>3</sup>ORCID: 0000-0001-8909-8953;<sup>5</sup>ORCID: 0000-0003-2691-5703;<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Российский университет дружбы народов (РУДН), Москва, Россия;<sup>1</sup> Российский государственный геологоразведочный университет (МГРИ), Москва, Россия

\* Корреспондирующий автор (kotelnikov-ae[at]rudn.ru)

**Аннотация**

Анализ космических снимков являются мощным инструментом на первых этапах поиска и разведки полезных ископаемых. В работе рассмотрены результаты интерпретации космических снимков территории, которая расположена в зоне полупустынь в районе Казахского мелкосопочника, которая представляет собой интерес с точки зрения геологических критериев. Рассмотрены известные методы отображения различных наборов полос снимков. Полученные результаты выделения зон изменения, характеризующих возможное наличие медно-порфировой минерализации, хорошо коррелируют с результатами литогеохимической съемки территории.

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование, ASTER, медно-порфировая минерализация, литогеохимия, Казахстан.

**IDENTIFICATION OF PERSPECTIVE AREAS OF COPPER-PORPHYRIC MINERALIZATION  
IN THE KAZAKH HILLOCKY AREA BASED ON ERS**

Research article

**Kotelnikov A.E.<sup>1,\*</sup>, Carlosama F. J.<sup>2</sup>, Kotelnikova E.M.<sup>3</sup>, Ibrahim M.A.A.<sup>4</sup>, Hassan M.A.<sup>5</sup>**<sup>1</sup>ORCID: 0000-0003-0622-8391;<sup>3</sup>ORCID: 0000-0001-8909-8953;<sup>5</sup>ORCID: 0000-0003-2691-5703;<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia;<sup>1</sup> Russian State University for Geological Prospecting (MGRI), Moscow, Russia

\* Corresponding author (kotelnikov-ae[at]rudn.ru)

**Abstract**

The analysis of satellite images is a powerful tool in the early stages of the search and exploration of minerals. The paper considers the results of the interpretation of satellite images of the territory, which is located in the semi-desert zone in the region of the Kazakh Hillocky area, which is of interest from the point of view of geological criteria. Known methods for displaying different sets of bands are considered. The obtained results of the identification of alteration zones characterizing the possible presence of copper-porphyry mineralization correlate well with the results of lithogeochemical survey of the territory.

**Keywords:** Remote sensing, ASTER, porphyry copper-mineralization, lithogeochemistry, Kazakhstan.

**Введение**

Применение интерпретации космических снимков во многих случаях позволяет успешно решать различные геологические задачи, в частности, поиски медно-порфировых месторождений. Авторами было проведено исследование по территории, сложенной эффузивными и интрузивными породами, представляющими благоприятные условия для наличия медно-порфировой минерализации. В данной работе не приводятся характеристики геологических единиц и не рассматриваются, а рассматривается лишь один из элементов поисково-оценочного комплекса работ, связанный с интерпретацией космических снимков и сопоставлением с имеющимися геохимическими данными.

Объектом исследования является площадь около 360 км<sup>2</sup>, расположенная в зоне полупустынь в районе Казахского мелкосопочника, к северу от поселка Саяк.

Целью исследования является проведение оценки возможности применения данных дистанционного зондирования для выявления участков, перспективных на обнаружение медной минерализации.

Задачи исследования:

- Выявление зон метасоматоза, зон изменения и благоприятных структур для определения перспективных участков для обнаружения медно-порфировой минерализации.
- Сопоставление результатов интерпретации данных многоспектральных снимков с данными литогеохимической съемки.

**Методы и материалы исследования**

Исходными материалами для исследования являются многоспектральные космические снимки ASTER L1T, которые состоят из 14 полос и сгруппированы в три независимые подсистемы (VNIR – видимая и ближняя инфракрасная, SWIR – коротковолновая инфракрасная, TIR – инфракрасный тепловой) [1]. Литогеохимические данные являются результатами собственных исследований одного из авторов данной работы (Котельников А.Е.), проведенные в период 2016-2019 гг.

Методы исследования. Обработка снимков осуществлялась в программном обеспечении ArcGis 10.7 и QGIS.

Методы интерпретации и обработки снимков ASTER для выявления порфировой минерализации рассматриваются во многих работах [2], [3], [7] (и другие).

### Результаты проведения оценки выявления перспективных участков

Анализировалось малооблачное изображение АСТЕР. Излучение VNIR и SWIR по данным датчика было нормализовано и преобразовано в относительную отражательную способность с использованием метода плоского поля [8]. Опираясь на работы других исследователей [3], [9], [10] и др. была проведена обработка снимков. Комбинация полос 468 получила хорошие результаты (рис. 1-а), где зоны аргиллитизации отмечаются красными тонами. Эти полученные данные могут быть подтверждены комбинацией полос 461, где зона ореола идентифицирована в тоне фуксия (рис. 1-б).

Полосы 5 и 6 показывают характеристики поглощения минералов группы Al-OH, в то время как полоса 7 показывает характеристики минералов Fe-OH, что помогает нам идентифицировать зоны изменения, характерные для медно-порфировой минерализации. С помощью сочетания полос 4/5, 4/6 и 4/7 эти зоны смотрятся на рисунке 2-с белым цветом; они представляют собой потенциальную медно-порфировую минерализацию.

Следует отметить, что расположение полос основано на его отражательном спектре и на положении полос поглощения, связывая появление этих минералов с различными типами изменений.

Если рассмотреть опыт, описанный в работе [11], они использовали комбинацию соотношений полос для выделения зон изменения: 3/1 для выделения зон оксидов железа, (5х7/6х6) для идентификации зон аргиллитизации, 7/6 для зон кварц-сирицитизации, (6+9/7+8) для зон пропилитизации и 13/12 для идентификации зон окварцевания. Применяя эти отношения полос в нашем исследовании, был получен рисунок 2-d; однако при сравнении их с изображениями, полученными ранее, никакой взаимосвязи не обнаружено, конкретная область не выделяется, поэтому считается, что эта комбинация полос слабо информативна для данной территории.

Сочетание полос RGB 468 (рис. 1-а); зона аргиллитовых изменений, отчетливо видна в зоне А, в то время как в зоне В красноватый оттенок не виден, однако образуется кольцо, которое выделяется среди других цветов; его оттенок имеет тенденцию приближаться к розовому цвету.

Сочетание полос RGB 461 (рис. 1-б); оно используется для идентификации зон аргиллитизации, как в комбинации 468, но с этой комбинацией эти зоны изменения можно лучше наблюдать. Зона А, показанная на рисунке 1-б, совпадает с зоной А рисунка 1-а, тогда как зоны В, С, D и E образуют кольцо, упомянутое выше.

Сочетание полос 4/5, 4/6 и 4/7 (рис. 2-с); как уже упоминалось ранее, это сочетание соотношения полос, помогает нам идентифицировать зоны минерализации Al-OH и FeO, поэтому полученные результаты заключены в белый цвет, что указывает на потенциальные медно-порфировые месторождения.

Результаты, изображенные на рисунке 2-d не совпадают с результатами, полученными в других комбинациях полос. Хотя верно то, что некоторые границы могут быть определены, зоны изменения не могут быть установлены с уверенностью.

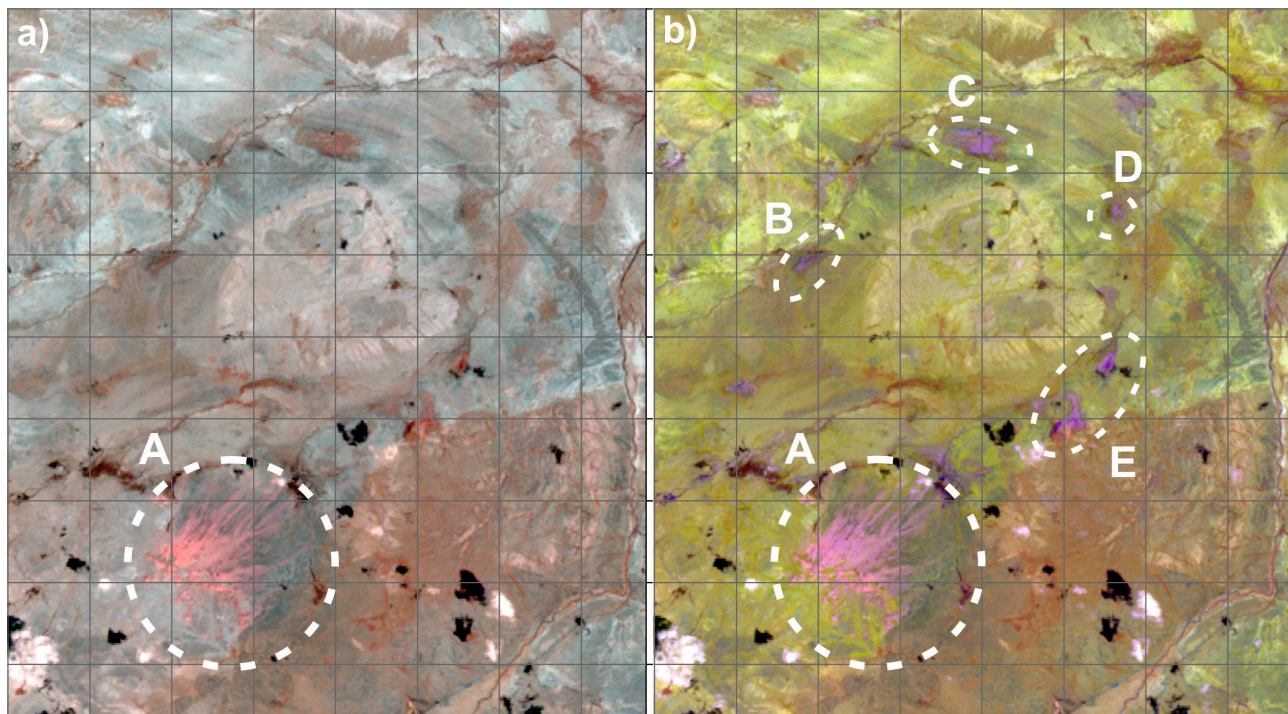


Рис. 1 – Космические снимки: а – сочетания полос RGB 468; б – сочетания полос RGB 461



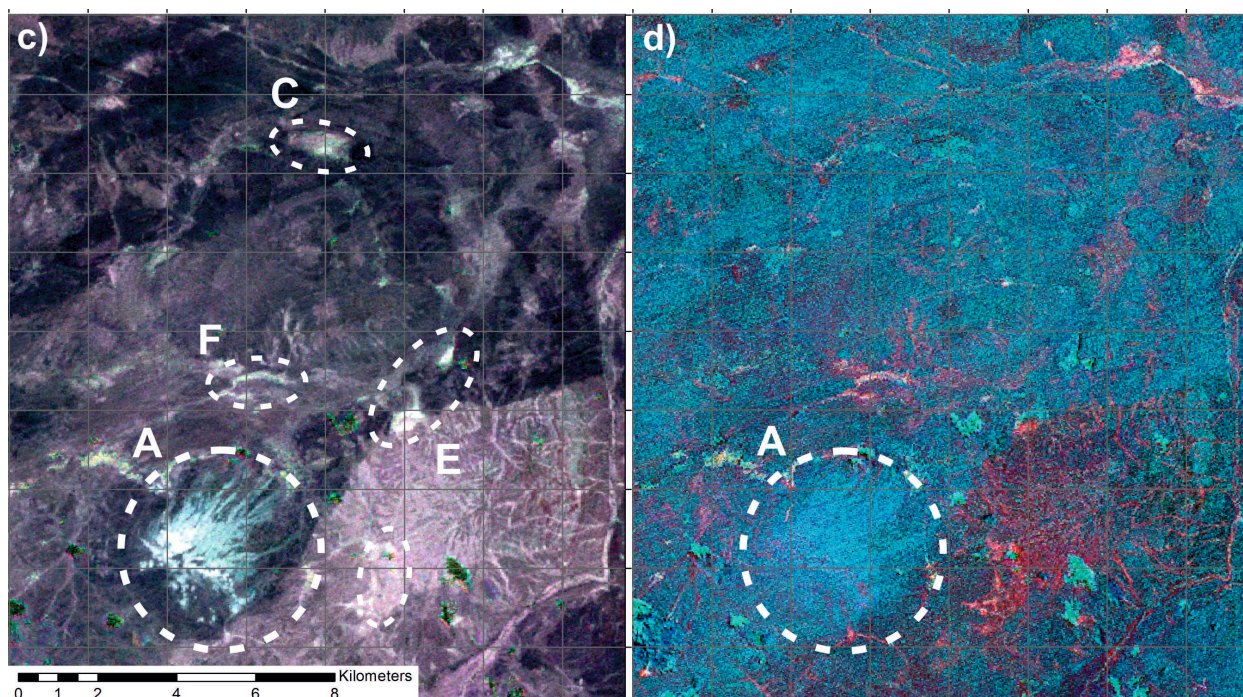


Рис. 2 – Космические снимки: *c* – сочетания полос 4/5, 4/6 и 4/7; *d* – сочетания соотношения полос 3/1, (5x7/6x6), 7/6, (6+9/7+8), 13/12.

Опираясь на проведенные ранее литогеохимические исследования следует сказать, что в пределах участка выделяется минерализация меди, которая образует кольцо вокруг риолитового порфира (ореол) со средним аномальным содержанием меди 150 г/т, а молибден с содержанием 5 г/т. Аномалии свинца – 25 г/т, цинка – 100 г/т хорошо коррелируют между собой и частично совпадают с аномальными значениями меди и молибдена. Сопоставление выделенных ранее потенциально перспективных зон с зонами геохимического медно-порфирового коэффициента  $(Cu*Mo)/(Pb*Zn)$  показаны на рисунке 3. Отчетливо наблюдается пояс положительных значений коэффициента, с которыми хорошо коррелируют выделенные зоны В, С, D (рис. 1-6). Эти места можно считать наиболее перспективными для обнаружения медно-порфировой минерализации.

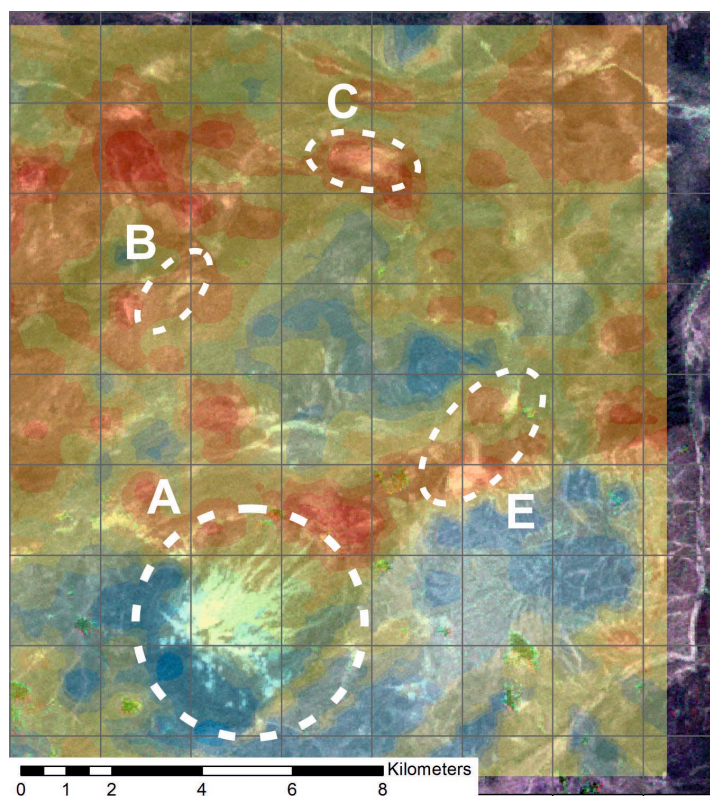


Рис. 3 – Изображение наложения значений геохимического медно-порфирового коэффициента на космический снимок с сочетанием полос 4/5, 4/6 и 4/7.

## Заключение

В результате проведенного исследования было определено, что для изучаемого района полустепных зон возможно проведение предварительных работ по интерпретации космических снимков для целей поисков медно-порфировой минерализации. Сочетание полос, которая лучше всего указала, место, где расположена минерализация, было RGB 4/5, 4/6, 4/7; однако, применяя другие сочетания, упомянутые в этом исследовании, полученные результаты могут быть подтверждены.

Следует отметить, что обработка космических снимков не дает значений аномалий элементов, поскольку при объединении полос учитываются минералы, не элементы, поэтому отмеченные области обозначают зоны изменения, а не зоны аномалий.

Сравнивая результаты обработки космических снимков с результатами, полученными в результате литогеохимического анализа, можно утверждать, что в обоих случаях одни и те же участки были отмечены в качестве перспективных участков для медно-порфировых месторождений.

Были выделены несколько зон, в которых геохимические результаты показали перспективные участки медно-порфировой минерализации, но результаты обработки космических снимков не показали эти участки; это может быть связано с внешними факторами, качеством фотографии или, как упоминалось ранее, с тем, что космические снимки в этом случае указывают не зоны химических аномалий, а зоны изменений.

## Конфликт интересов

Не указан.

## Conflict of Interest

None declared.

## Список литературы / References

1. NASA LP DAAC. ASTER Level 1 Precision Terrain Corrected Registered At-Sensor Radiance V003. 2015, distributed by NASA EOSDIS Land Processes DAAC. [Electronic resource] [https://doi.org/10.5067/ASTER/AST\\_L1T.003](https://doi.org/10.5067/ASTER/AST_L1T.003) (accessed 2020-05-23).
2. Kruse F.A. The Spectral Image Processing System (SIPS) Interactive Visualization and Analysis of Imaging Spectrometer Data / F.A. Kruse, A.B. Lefkoff, J.W. Boardman, K.B. Heidebrecht, A.T. Shapiro, P.J. Barloon, A.F.H. Goetz // *Remote Sensing of Environment*. – 1993. – Vol. 44. – P. 145-163. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(93\)90013-N](https://doi.org/10.1016/0034-4257(93)90013-N)
3. Pour A.B. The application of ASTER remote sensing data to porphyry copper and epithermal gold deposits / A.B. Pour, M. Haslim // *Ore Geology Reviews*. – 2012. – Vol. 44. – P. 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2011.09.009>
4. Pazand, K. Hydrothermal Alteration Mapping Using ASTER Data for Reconnaissance Porphyry Copper Mineralization in the Ahar Area, NW Iran / K. Pazand, J.F. Sarvestani, M.R.S. Ravasan // *J Indian Soc Remote Sens.* – 2013. – Vol. 41. – P. 379–389. <https://doi.org/10.1007/s12524-012-0229-0>
5. Zhang T. Integrating Data of ASTER and Landsat-8 OLI (AO) for Hydrothermal Alteration Mineral Mapping in Duolong Porphyry Cu-Au Deposit, Tibetan Plateau, China / T. Zhang, G. Yi, H. Li, Z. Wang, J. Tang, K. Zhong, Y. Li, Q. Wang, X. Bie // *Remote Sensing*. – 2016. – Vol. 8(11). – P. 890. <https://doi.org/10.3390/rs8110890>
6. Kumara C. Lithological Discrimination and Mapping using ASTER SWIR Data in the Udaipur area of Rajasthan, India / C. Kumara, A. Shettya, S. Ravalb, R. Sharmac, P.K. C. Rayc // *Procedia Earth and Planetary Science*. – 2015. – Vol. 11. – P. 180–188. <https://doi.org/10.1016/j.proeps.2015.06.022>
7. Rowan L.C. Mapping Hydrothermally Altered Rocks at Cuprite, Nevada, Using the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER), a New Satellite-Imaging System / L.C. Rowan, S.J. Hook, M.J. Abrams, J.C. Mars // *Economic Geology*. – 2003. – Vol. 98(5) – P. 1019-1027. <http://dx.doi.org/10.2113/gsecongeo.98.5.1019>
8. Roberts, D.A. Comparison of Various Techniques for Calibration of AIS Data in Proceedings, 2nd AIS Workshop. JPL Publication / Roberts, D.A., Yamaguchi, Y., Lyon, R.J.P. – Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California. – 1986. – Vol. 86(35). – P. 21–30.
9. Tommaso I. Hydrothermal alteration mapping using ASTER data in the Infiernillo porphyry deposit, Argentina / I. Tommaso, N. Rubinstein // *Ore Geology Reviews*. – 2007. – Vol. 32(1-2) – P. 275-290. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2006.05.004>
10. Alimohammadi M. Application of ASTER data for exploration of porphyry copper deposits: A case study of Daraloo–Sarmeshk area, southern part of the Kerman copper belt, Iran. / M. Alimohammadi, S. Alirezaei, D.J. Kontak // *Ore Geology Reviews*. – 2015. – Vol. 70. – P. 290–304. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2015.04.010>
11. Reza N. Prospection for Copper Mineralization with Contribution of Remote Sensing, Geochemical and Mineralogical Data in Abhar 1:100,000 Sheet, NW Iran. / N. Reza, J. Mohammadreza, A. Mehran, F. Faranak, A. Peyman // *Arch. Min. Sci.* – 2013. – Vol. 58(4). – P. 1071–1084. <https://doi.org/10.2478/amsc-2013-0074>

## ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ / CHEMISTRY

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.97.7.030>ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ЗОЛОТА  
В ПРОДУКТАХ ГОК «НЕВСКИЙ» ООО «ДРУЗА»

Научная статья

Истомина Е.Е.<sup>1,\*</sup>, Хаташкеев А.В.<sup>2</sup><sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-1243-4434;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0003-0304-6162;<sup>1</sup> Педагогический институт Иркутского государственного университета;<sup>2</sup> ООО "Брокер Эксперт", г. Санкт-Петербург

\* Корреспондирующий автор (gamlet421[at]yandex.ru)

## Аннотация

В статье рассмотрены процессы определения содержания золота в продуктах горно-обогатительного комбината «Невский» ООО «Друза». Проведено исследование деятельности пробирно-аналитической лаборатории по определению содержания золота в золотосодержащих продуктах. Рассмотрены состав и структура ПАЛ ГОК «Невский» ООО «Друза». В работе описаны методы определения содержания золота в продуктах: атомно-абсорбционный метод, титриметрический метод и пробирно-гравиметрический метод. Определены принципы внутреннего и внешнего лабораторного контроля в ПАЛ золотодобывающей компании.

**Ключевые слова:** золотоизвлекательная фабрика (ЗИФ), пробирно-аналитическая лаборатория (ПАЛ), слиток золота, проба, золотосодержащая руда, методы определения содержания золота: атомно-абсорбционный титриметрический и пробирно-гравиметрический.

RESEARCH OF PROCESSES OF DETERMINATION OF GOLD CONTENT  
IN PRODUCTS OF GOK "NEVSKY "LLC " DRUZA"

Research article

Istomina E.E.<sup>1,\*</sup>, Shataschkeev A.V.<sup>2</sup><sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-1243-4434;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0003-0304-6162;<sup>1</sup> Natural Sciences Pedagogical Institute of Irkutsk state University;<sup>2</sup> Broker Expert LLC, Saint Petersburg

\* Corresponding author (gamlet421[at]yandex.ru)

## Abstract

The article deals with the processes of determining the gold content in the products of the «Nevsky» mining and processing plant of «Druza» LLC. The activity of the assay and analytical laboratory to determine the content of gold in gold-containing products was investigated. The composition and structure of AAL GOK «Nevsky» LLC «Druza» is considered. The paper describes methods for determination of gold content in the products: atomic absorption method, titrimetrically method and Assay-gravimetric method. The principles of internal and external laboratory control in the AAL of a gold mining company are defined.

**Keywords:** gold recovery factory (GRF), assay and analytical laboratory (AAL), gold bar, sample, gold-containing ore, methods for determination of gold by atomic absorption titrimetrically assay and gravimetric.

## Introduction

The Gold (79Au) is found in the environment in its own form, because of this, it acts as the first metal mastered by man of the stone age. The Gold (79Au) is an element of the 11 group of the Periodic table of D. I. Mendeleev [1, p. 21].

The chemical properties of gold are presented by the authors N. N. Greenwood and A. Earnshaw in the work «chemistry of elements» [2, p. 501].

Druza, LLC — one of the major gold mining companies, performing activity on the territory of Bodaibo district, Irkutsk region. In the last decade, there has been a clear trend towards putting into operation deposits with low concentrations of precious metals in the ore (1 gram per ton or less), the profitability of which is achieved only with large volumes of processing (millions of tons per year).

The required volume of technological testing and analysis of samples for gold extraction factories (GEF) - such deposits is extremely high and amounts to more than a hundred thousand samples per year. The volume of analyzed samples of operational Geosciences is no less high. As a result, the daily load on the analytical laboratory usually exceeds 500 samples [3, p. 10]. Taking into account the remoteness of gold mining enterprises and the seasonal nature of their supply, as well as the shortage of qualified personnel in the regions of Siberia and the Far East, the best solution is to automate analytical control processes.

## Goals:

1. Reducing the number of accidents;
2. Improving the quality of measurements performed, reducing the number of defects;
3. Unifying and standardizing workplaces;
4. Increasing labor productivity by reducing the loss of time due to the organization of the workplace.

## Methods

Method of analysis: NSAM # 505-X «Gold and silver».

Method of quantitative chemical analysis (QCA). Determination of gold and silver by assay method in rocks, ores and products of their processing"

Description of the composition of samples received for analysis: gold-silver ore. Measuring instruments: scales MSE2. 7S-0CE-DM «Sartorius».

QCA method: assay-gravimetric. Reproduction of the QCA Protocol in whole or in part is prohibited without special permission from the laboratory.

The structure of the AAL of «Druza» LLC consists of four branches: 1) charging equipment; 2) melting; 3) razvedochnogo; 4) weight.

The main responsibilities of the AAL:

- performing all tasks and functions assigned to the AAL;
- implementation of regulatory legal acts of «Druza» LLC in the field of labor protection, industrial, fire, environmental safety and industrial sanitation,
- ensuring the reliability, objectivity and required accuracy of analytical results;
- conducting tests and issuing protocols in the assigned area of accreditation;
- compliance with the requirements of regulatory documents regulating measurement procedures;
- performing measurements of the composition and properties of objects assigned by the accreditation certificate;
- internal quality control of analysis results;
- submission to the accreditation body of reports on the results of its activities, notification of the accreditation body of any changes in the status, structure, technical equipment;
- registration of works performed in the AAL;
- keeping records of all claims made based on measurement results;
- use of the resources provided by AAL in strict accordance with their purpose and according to the rules established in «Druza» LLC;
- participation in quality checks of analytical work through interlaboratory comparative tests.

Table 1 – The internal structure of the AAL GOK «Nevskiy» «Druza» LLC

Departments AAL	Actions research	Method	Composition
Crushing Department		receiving samples from the OTC (control of the ZIF technology)	
Charging Department	Charge # 1 for poor ore; Charge #2 for rich ore. The charge is mixed with a sample of 50 g, AgNO <sub>3</sub> , covered with a tire (soda, borax), and then placed in a bag. Charging consists in mixing a sample of ore with special additives( charge): flux, lead glet (PBO) and reducing agents.	The bag is sent to the melting Department	SiO <sub>2</sub> , PbO, flour, baking soda, borax
Melting compartment	Crucible melting of cemented samples electric Furnace mine ti-gel operating temperature Range, 0C (950-1100). Melting the charge in the furnace for 40-50 minutes. it is combined with the crucible, beaten off; Merging the lead alloy into iron mills for cooling. Department lead (crude lead) from the slag. Kooperacija lead verbleef gold and silver to the king in the electric Furnace kooperacission, KP-1,2-24 (Cupellation of lead bullion (removal of lead))		
Debarking Department	Gold-silvered kinglet (GSK) is beaten off, boiled (Processing the kinglet with dilute nitric acid (dissolving silver) dissolves Ag in HNO <sub>3</sub> ), evaporated, the gold card remains (GC). Calcination of Golden squats	Atomic absorption method, tetrometric method, spectrum 5-4, assay-gravimetric method	
Weight	Weighing a gold card	Filling in the working sheet of the m3k	
Technical control Department (TOD)	Internal laboratory control	of 10% of samples once a month	Au (gold), X*10 <sup>-4</sup> , %
The standard of the ARRIMS	External laboratory control	Standard (reference) of gold	Au (gold), X*10 <sup>-4</sup> , %

«Druza» LLC has developed solutions to the most urgent problems on the GRF:

1. Complete assay and analytical laboratories (AAL) with measuring, preparatory and auxiliary equipment, including automatic assay analysis
2. automation of testing and analytical control on GRF;
3. automation of head testing of crushed ore.
4. the following standard solutions are offered for AAL with a large load (more than 100,000 samples per year).
5. if the concentration of gold in the samples is more than 1 g/t:
6. Automated sample preparation system
7. Automated assay melting system



8. Automatic milling machine
  9. optical emission spark spectrometer ARL4460FA
  10. SMS2500 Robotic sample management system for the arl4460fa optical emission spec-trometer
  11. Scales for weight control of lead bullion
  12. System bar-coding
  13. at concentrations of gold in samples less than 1 g/t:
  14. Automated sample preparation system
  15. Automated assay melting system
  16. nucomat automatic decomposition, sample preparation and analysis System
  17. bar-coding System
  18. for poor ores ( $Au < 1 \text{ g / t}$ ) and rich industrial products-a combination of the two above-mentioned configurations.
- To automate testing and analytical control on GRF, the following solutions are offered:
1. Automatic selection and preparation of representative samples
  2. transport of samples to the laboratory
  3. the following solutions are offered for head testing of ore:
  4. Automated sampling from the transporter
  5. Automated testing on the embankment
  6. testing according to GOST R 8.563-2009 [4], GOST 14180 [5], GOST 8.010-2013 [6] or ISO
  7. Automatic generation of enlarged (replaceable, daily) samples
  8. Return the reduced sample material to the conveyor

AAL management analyzes the gold content in gold-containing products and measurement activities in order to ensure their continuous effectiveness and improvement, making modern changes. In 2018, work was carried out on laboratory measurements for customers. When performing the work, the following indicators were evaluated: table 2.

Table 2 – The work performed AAL GOK "Nevskiy" "Druza" LLC

Laboratory measurements	Name of the indicator	Number of samples
Services of The Chief Geologist (SCG)		
SCG samples	Au, *10 <sup>-4</sup> %	29875
Repeatability ILC		29875
N.11.2 NSAM-505-X		3005
ILC accuracy (Standard sample)		739
Precision ILC		1297
Charge quality control		720
Repeatability of control samples ILC		5759
External control		245
Total samples:		35634
Quality control department (QCD)		
Samples of ingot-gold-alloys (IGA)	Au, *10 <sup>-4</sup> %	312
Internal laboratory control (ILC) of reproduction		312
ILC accuracy (Standard sample)		40
Precision ILC		71
Total samples:		
Samples of ingot-gold-alloys (IGA)	Au, *10 <sup>-4</sup> %	312
Repeatability ILC		312
ILK accuracy (Standard sample)		40
Precision ILC		71
Total samples:		
ISI	Au, *10 <sup>-4</sup> %	21
External control IC LMS JSC "Polyus"	Au, *10 <sup>-4</sup> %	240

Recommendations for improving performance in AAL:

1. Strengthen control over the implementation of quality Management procedures, management procedures, and QMS Instructions by AAL employees [11, p. 47].
2. To carry out repairs to the premises AAL.
3. Purchase new measuring instruments: pH meter; conductometer.
4. Purchase, in place of outdated, new auxiliary equipment: laboratory plate; rolls electro-mechanical.
5. Use the 5S system in work – a method of organizing the working space, the purpose of which is to create optimal conditions for performing operations, maintaining order, cleanliness, accuracy, saving time and energy.



**Конфликт интересов**

Не указан.

**Conflict of Interest**

None declared.

**Список литературы / References**

1. Третьяков Ю.Д. Неорганическая химия. Химия элементов. Т.2 / Ю.Д. Третьяков, Л.И. Мартыненко, А.Н. Григорьев, А.Ю. Цивадзе. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: МГУ, 2007. – 670 с.
2. Химия элементов. Т.2 / Гринвуд Н.Н., Эрншо А./–М.: 2008, 666 с
3. Паспорт пробирно-аналитической лаборатории СМК-ПС-01-2018 // Н.В. Аксенова ГОК «Невский» ООО «Друза», Бодайбо, 2019 – 25 с.
- 4.ГОСТ Р 8.563-2009 «Государственная система обеспечения единства измерений. Методики выполнения измерений». М.: «Стандартинформ», 2009. 38 с.
- 5.ГОСТ 14180-80 Руды и концентраты цветных металлов. Методы отбора и подготовки проб для химического анализа и определения влаги. М.: «Стандартинформ», 2010. 19 с.
- 6.ГОСТ 8.010-2013 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Методики выполнения измерений. Основные положения. М.: «Стандартинформ», 2019. 36 с.
- 7.СК-РЖ-7.11-2017 Журнал регистрации результатов испытаний технологических проб ЗИФ // Н.В. Аксенова ГОК «Невский» «Друза», Бодайбо, 2017 – 5 с.
- 8.СК-РЖ-7.13-2017 Журнал регистрация выданных протоколов результатов испытаний проб карьера, МСИ, внешних заказчиков. // Н.В. Аксенова ГОК «Невский» ООО «Друза», Бодайбо, 2017 – 5 с.
- 9.СК-РЖ-7.14-2017 Журнал учета расхода реагентов, материалов // Н.В. Аксенова ГОК «Невский» ООО «Друза», Бодайбо, 2017 – 5 с.
- 10.Результаты определения золота в слитках 2017 // Н.В. Аксенова ГОК «Невский» ООО «Друза», Бодайбо, 2017 – 2 с.
11. Истомина Е.Е. Об управлении качеством при проектировании и разработке изделия из пенополиуретана // Компетентность /– 2019 - №5. – С. 46-48.

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

1. Tretyakov Yu.D. Neorganicheskaya khimiya. Khimiya elementov. T.2 [Inorganic chemistry. Chemistry of elements. V.2] / Yu.D. Tretyakov, L.I. Martynenko, A.N. Grigoriev, A.Yu. Tsivadze. – 2<sup>nd</sup> ed., Revised and add. – М.: Moscow State University, 2007. – 670 p. [in Russian]
2. Khimiya elementov. T.2 [Chemistry of elements. V.2] / Greenwood N.N., Ernschaw A / М.: 2008. – 666 p. [in Russian]
3. Passport probirno-analiticheskoy laboratorii SMK-PS-01-2018 [Fire assay laboratory passport SMK-PS-01-2018] // N.V. Aksenova GOK "Nevsky" LLC "Druza", Bodaibo, 2019 – 25 p. [in Russian]
4. GOST R 8.563-2009 Gosudarstvennaya sistema obespecheniya yedinstva izmereniy. Metodiki vypolneniya izmereniy [State system for ensuring the uniformity of measurements. Measurement Techniques.] М.: "Standardinform". – 2009. – 38 p. [in Russian]
5. GOST 14180-80 Rudy i kontsentraty tsvetnykh metallov. Metody otbora i podgotovki prob dlya khimicheskogo analiza i opredeleniya vlagi [Ores and concentrates of non-ferrous metals. Sampling and sample preparation methods for chemical analysis and moisture determination]. М.: "Standardinform". – 2010. – 19 p. [in Russian]
6. GOST 8.010-2013 Gosudarstvennaya sistema obespecheniya yedinstva izmereniy (GSI). Metodiki vypolneniya izmereniy. Osnovnyye polozheniya [State system for ensuring the uniformity of measurements (GSI). Measurement Techniques. The main provisions]. М.: "Standardinform". – 2019. – 36 p. [in Russian]
7. SK-RZH-7.11-2017 Zhurnal registratsii rezul'tatov ispytaniy tekhnologicheskikh prob ZIF [Journal of recording the results of testing of technological samples of the mill] // N.V. Aksenova GOK Nevsky Druza, Bodaibo, 2017 – 5 p. [in Russian]
8. SK-RZH-7.13-2017 Zhurnal registratsiya vydannykh protokolov rezul'tatov ispytaniy prob kar'yera, MSI, vneshnikh zakazchikov [Magazine registration of the issued test results protocols for quarry samples, MSI, external customers]. // N.V. Aksenova GOK "Nevsky" LLC "Druza", Bodaibo, 2017 – 5 p. [in Russian]
9. SK-RZH-7.14-2017 Zhurnal ucheta raskhoda reagentov, materialov [Journal of accounting for the consumption of reagents, materials] // N.V. Aksenova GOK "Nevsky" LLC "Druza", Bodaibo, 2017 – 5 p. [in Russian]
10. Rezul'taty opredeleniya zolota v slitkakh 2017 [Results of determination of gold bullion 2017] // N.V. Aksenova GOK "Nevsky" LLC "Druza", Bodaibo, 2017 - 2 p. [in Russian]
11. Istomina E.E. Ob upravlenii kachestvom pri proyektirovanii i razrabotke izdeliya iz penopoliiuretana [On quality management in design and development of products made of polyurethane foam] // Kompetentnost' [Competence] – 2019 – No. 5. – P. 46-48. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.97.7.031>

**РЕГУЛЯЦИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ РИТМОВ. СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ  
КОРРЕКЦИИ ДЕСИНХРОНОЗОВ**

Обзорная статья

**Бобок М.Н.<sup>1,\*</sup>, Краснюк И.И.<sup>2</sup>, Козлова Ж. М.<sup>3</sup>**

<sup>2</sup> ORCID 0000-0001-8557-8829;

<sup>3</sup> ORCID 0000-0003-1525-732X;

<sup>1,2,3</sup> Первый МГМУ им. И. М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, Россия

\* Корреспондирующий автор (aganusya1[at]yandex.ru)

**Аннотация**

Нарушения биологических ритмов организма возникают при рассогласовании его внутренних ритмов. Причинами этого рассогласования могут быть как патология систем или органов, так и трансмеридианные перелеты, работа в ночное время. В свою очередь, нарушение естественной структуры биоритмов (десинхроноз) приводит к дальнейшему нарушению процесса адаптации организма. Десинхроноз проявляется нарушением сна, головной болью, дневной сонливостью, снижением работоспособности, снижением резистентности организма и др.

**Ключевые слова:** растительные адаптогены, технология лекарств, биологические ритмы, мелатонин, лечение десинхронозов.

**REGULATION OF BIOLOGICAL RHYTHMS. MODERN METHODS  
OF DESYNCHRONOSIS CORRECTION**

Review article

**Bobok M.N.<sup>1,\*</sup>, Krasnyuk I.I.<sup>2</sup>, Kozlova Zh. M.<sup>3</sup>**

<sup>2</sup> ORCID 0000-0001-8557-8829;

<sup>3</sup> ORCID 0000-0003-1525-732X;

<sup>1,2,3</sup> I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of Russia (Sechenov University), Moscow, Russia

\* Corresponding author (aganusya1[at]yandex.ru)

**Abstract**

Violations of the biological rhythms of the body occur because of the mismatch of its internal rhythms. The reasons for this mismatch can be both the pathology of the systems or organs, as well as transmeridian flights, or night shifts at work. In turn, the violation of the natural structure of biorhythms (desynchronosis) leads to further violations of the body's adaptation process. Desynchronosis is manifested in sleep disturbance, headaches, daytime drowsiness, decreased performance, decreased body resistance, etc.

**Keywords:** plant adaptogens, medicine technology, biological rhythms, melatonin, treatment of desynchronosis.

**Введение**

Биологические ритмы (биоритмы) являются важным инструментом, выработанным природой у живых организмов для выживания и оптимального функционирования. Под биоритмами понимают периодически повторяющиеся через равные промежутки времени физиологические процессы, отличающиеся интенсивностью и сложностью вовлекаемых структур.

Основными параметрами биоритмов (рисунок 1) являются: период - расстояние во времени между двумя последовательными пиками (или впадинами и т.д.) повторяющейся волны); акрофаза - точка времени при котором наступает пик ритма; батифаза - точка времени при котором наступает минимальное значение; мезор - среднее значение изучаемого циркадного ритма; амплитуда - разница между пиком (или впадиной) и средним значением волны [8].

Сложное взаимодействие биоритмов имеет внутреннюю и внешнюю регуляцию. Внутренняя регуляция биоритмов связана с функционированием внутренних биологических часов.

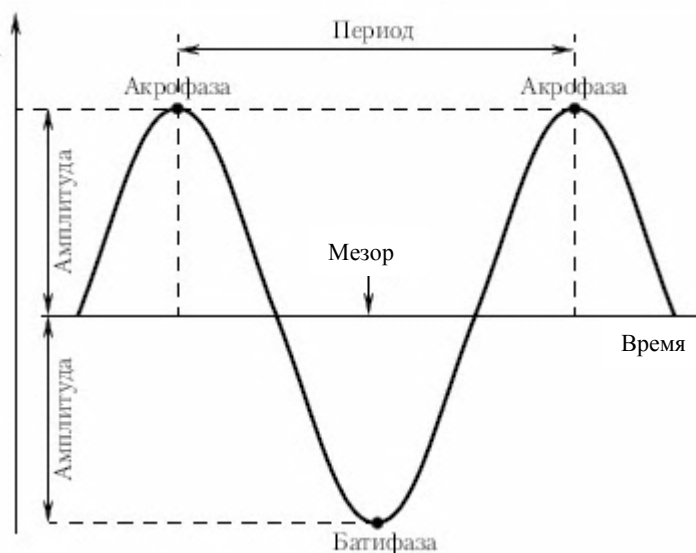


Рис. 1 – Основные параметры биоритмов

Согласно современным представлениям, организм обладает биологическими часами трех уровней [2].

1-ый уровень связан с деятельностью шишковидной железы. Физиологический контроль эндокринной функции шишковидной железы выполняется в значительной мере световым режимом. Деятельность шишковидной железы имеет четко выраженную циклическую динамику: она активно воздействует на указанные органы внутренней секреции днем и слабее – ночью.

Секреторные клетки шишковидной железы выделяют в кровь гормон мелатонин (N-ацетил-5-метокситриптамиин), синтезируемый из серотонина, который, в свою очередь, синтезируется из аминокислоты триптофана, поступающей с едой. Мелатонин, обладающий амфифильными свойствами, быстро диффундирует через биологические мембраны и принимает участие во многих регуляторных процессах, таких как: биологические ритмы, кишечные рефлекс, защита от воспаления, метаболизм и репродукция [9].

2-ой уровень биологических часов связан с супраоптической частью (а именно с супрахизматическим ядром) гипоталамуса, который при поддержке субкомиссурального тела образует связи с шишковидной железой. При помощи данной связи шишковидная железа улавливает сигналы от гипоталамуса и содействует регулировке биоритмов.

3-ий уровень биологических часов связан с деятельностью клеточных мембран. «Концепция биологических мембран», в согласовании с которой циклическим характером наблюдаемых процессов определяется состоянием липидно-белковых мембран и их проницаемостью для ионов калия. Мембранные структуры клетки, наделенные рецепторными свойствами, производят контроль биоритмов, связанные с фотопериодизмом и воздействием температурных факторов.

Разрушение шишковидной железы или же ее связей со зрительным нервом, а также супраоптической части гипоталамуса приводит к нарушению многих биоритмов. Получая ежедневную информацию о времени, шишковидная железа действует как биологические часы.

Внешнее регулирование биоритмов связано с вращением Земли вокруг своей оси, сменой дня и ночи, с движением Земли по околосолнечной орбите, с солнечной активностью и переменами в магнитном поле Земли.

### Основная часть

Десинхронизация – (де- + греч. synchronismos совпадение по времени, одновременность + -оз) болезненное состояние, вызванное десинхронизацией биоритмов и проявляющееся нарушением сна, аппетита, снижением работоспособности [12].

В медицинской литературе также можно встретить синонимы десинхроноза: джетлаг, при трансмеридианном перелете (или авиапутешествиях), трансмеридианный дисхронизм [20]. В различных мировых источниках встречается описание данного заболевания, например, на официальном сайте всемирной организации здравоохранения, десинхроноз представлен термином «jet lag» [21]. В Международной классификации болезней 10 пересмотра (МКБ-10) десинхроноз совместно со всеми циркадианными расстройствами сна отнесен к группе «Нарушения цикличности и бодрствования» (код G47.2) [16]. В Международной классификации расстройств сна этой проблеме уделено большее внимание, и десинхроноз выделен в отдельную нозологию (код 307.45-0) [20].

Основу десинхроноза составляет внешний и внутренний десинхроноз. Внешний десинхроноз связан с дискоординацией существующих в норме периодов и фаз ритмов организма во внешней.

Внутренний десинхроноз, в свою очередь связан с фазовым соотношением ритмов внутри организма. Суть внутреннего десинхроноза заключается в рассогласовании фаз суточных ритмов организма. Такая способность была выявлена во время экспериментов по изучению циркадианных ритмов [7].

Десинхронозы делятся на острые и хронические (открытые и скрытые) [20].

Нет систематических данных о воздействии иных предрасполагающих факторов на развитие десинхроноза, но некоторые исследования показывают, что люди старше 50 лет чаще испытывают это состояние, чем молодые [4]. Связано это с нарушениями функций антиоксидантной системы, вегетативной нервной системы, органов пищеварения, гипофункцией эндокринных желез, повышенного порога чувствительности, ослабленных сенсорных органов, иммунной системы, разнообразных метаболических процессов и т.д. Точной связи с полом и наследственными факторами выявлено не было [20].

Для большинства людей этот синдром является случайным незначительным неудобством, которое может проявляться в самоограничении повседневной деятельности, со скрытыми симптомами на третий день после полета. Адаптация сроков физиологических функций, может занять восемь и более дней.

Вопросы хронобиологии, гомеостаза, адаптации и десинхроноза так взаимосвязаны, что их всесторонний анализ возможен только в комплексе.

Среди подходов, улучшающих адаптацию при десинхронозе различают нелекарственные и лекарственные способы лечения.

*Нелекарственные способы коррекции десинхроноза*

- Соблюдение режима сон-бодрствование и режима активность-отдых;
- Закаливание, физическая активность, времяпровождение на свежем воздухе;
- Световая терапия, электросон, синусоидальные модулированные токи, нейромышечная электростимуляция [15].

*Лекарственные способы коррекции десинхроноза*

Беря во внимание роль шишковидной железы в центральной регуляции суточных ритмов организма, в качестве синхронизирующих веществ могут использоваться препараты на основе мелатонина, его метаболитов, а также другие биологически активные вещества, продуцируемые шишковидной железой и так или иначе участвующие в центральной регуляции суточных биоритмов организма.

Чаще всего мелатонин назначается врачами как легкое снотворное средство и рекомендуется перед длительными перелетами. Мелатонин, как правило, неплохо переносится пациентами. Эффективность и безопасность мелатонина у больных с нарушениями сна была изучена на базе нескольких ведущих российских медицинских учреждений. Среди них ПМГМУ им. И. М. Сеченова (кафедра нервных болезней ФППО, отделение медицины сна), РМАПО (кафедра неврологии) [5].

Синхронизирующее действие на организм оказывают и соли лития, обладающие антидепрессивными свойствами [10]. Применение препаратов на основе янтарной кислоты и витаминов групп А (ретинол), Е (токоферол) и В (метилкобаламин и пиридоксин), позволяет устранять воздействие десинхронозов и патологических адаптационных реакций за счет уменьшения процесса перекисного окисления липидов [14].

В медицинской практике из всего ассортимента лекарственных средств для коррекции десинхронозов, широко используются адаптогены растительного происхождения [13].

Принцип снижения растительными адаптогенами стресс-реакции заключается в стабилизации всех систем организма, подвергающихся воздействию стресса (рисунок 2).



Рис. 2 – Типичная схема реакции адаптации после приема адаптогенов

Механизм действия разнообразен и полностью не изучен до конца [11]. Однако, одним из основных механизмов действия является перевод биохимических реакций на более экономичные пути, где гликозиды активируют фермент глюкозо-6-фосфотрансферазу, который помогает мышечным, нервным тканям и иммунным клеткам получить больше энергии и продлевать стадию адаптации к стрессу [3].

Адаптогены воздействуют на клеточный метаболизм, что приводит к адаптивной перестройке функций органов, систем и организма в целом (рисунок 3) [11].

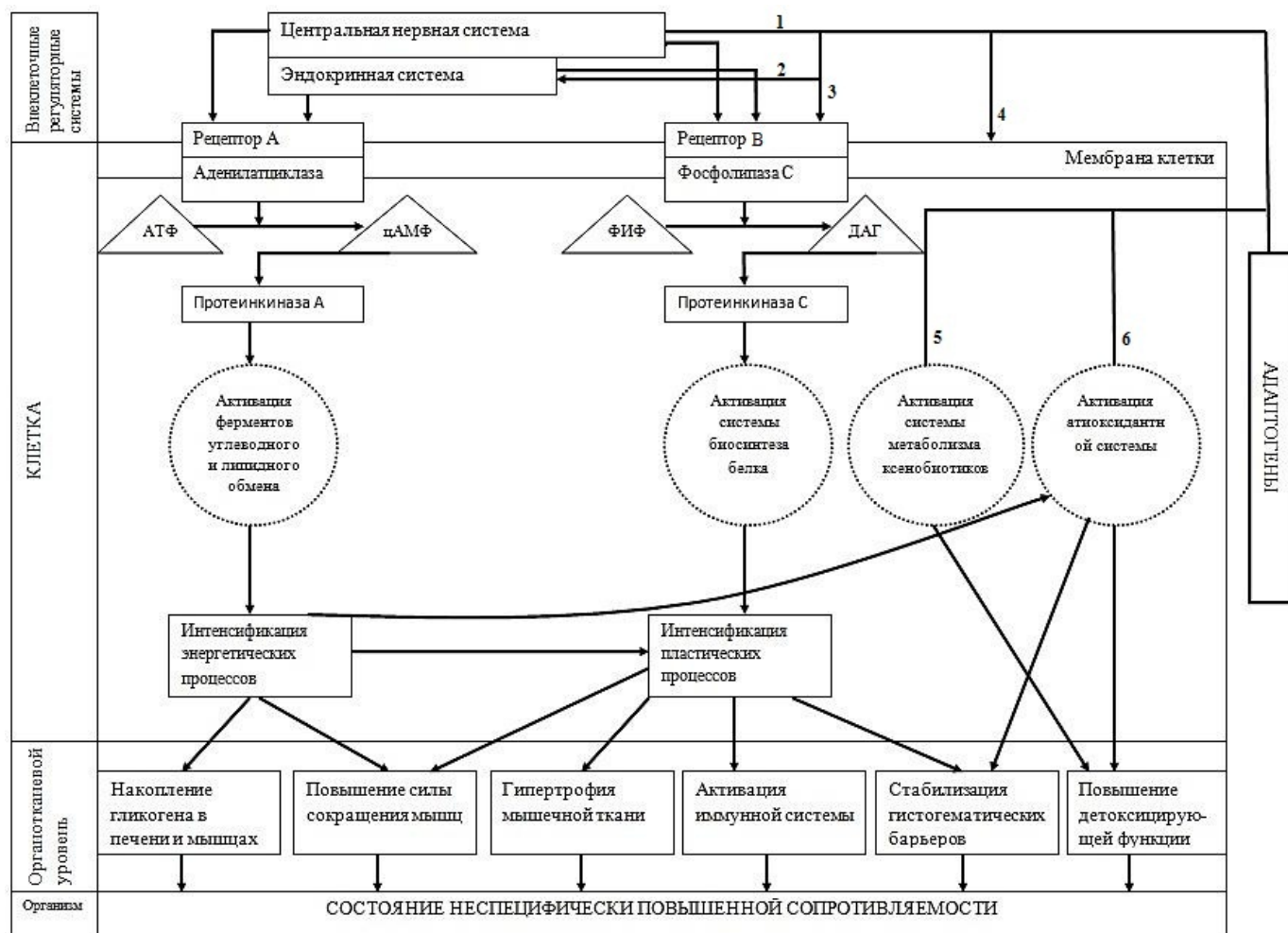


Рис. 3 – Предполагаемый механизм адаптационной перестройки организма под влиянием адаптогенов [по: Е. Я. Каплан и др., 1990].

Адаптогены могут оказывать действие на внеклеточные регуляторные системы – центральную нервную систему (путь 1) и эндокринную систему (путь 2), а также напрямую модулировать их чувствительность к действию нейротрансмиттеров и гормонов (путь 3). Механизм действия адаптогенов происходит в тканях таким образом, что гипотиз-адреналовая система функционирует с меньшим напряжением и стресс-реакция становится излишней или менее необходимой [1].

Поскольку многие адаптогены являются редокс-активными соединениями и обладают антиокислительными свойствами, они способны напрямую воздействовать на мембрану клетки (путь 4), повышая стабильность, изменяя ее селективную проницаемость и активность связанных ферментов, а также активизировать разного рода внутриклеточные системы (путь 5 и 6) и пополнять эндогенный фонд антиокислительной системы.

За относительно короткий срок набор фармакологических препаратов, в той или иной степени обладающих адаптогенным действием, расширился (таблица 1).

Таблица 1 – Растения, описанные в литературе как адаптогены\*

Растение	Семейство
Акантопанакс сидячецветковый - <i>Acanthopanax sessiliflorum</i> Rupr. et Maxim	Аралиевые
Альбиция ленкоранская - <i>Albizia julibrissin</i>	Бобовые
Аралия высокая, сердцевидная, маньчжурская - <i>Aralia elata</i> (Rupr. et Maxim); <i>A. cordata</i> , <i>A. manshurica</i> (Rupr. et Maxim)**	Аралиевые
Бадан толстолистный - <i>Bergenia crassifolia</i>	Камнеломковые
Базилик священный - <i>Ocimum sanctum</i>	Яснотковые
Бакопа Моньери - <i>Bacopa monnieri</i>	Подорожниковые
Бриония белая - <i>Bryonia alba</i> L.**	Тыквенные
Бутея односемянная - <i>Butea monosperma</i>	Бобовые
Витания снотворная - <i>Withania somnifera</i>	Пасленовые
Гарциния кола - <i>Garcinia kola</i>	Клузиевые
Гинкго двулопастный - <i>Ginkgo biloba</i>	Гинкговые
Евгения гвоздичная - <i>Eugenia caryophyllus</i>	Миртовые
Женьшень - <i>Panax ginseng</i> **	Аралиевые
Заманиха высокая - <i>Oplopanax elatus</i>	Аралиевые
Зверобой продырявленный - <i>Hypericum perforatum</i>	Зверобойные

Окончание табл. 1 – Растения, описанные в литературе как адаптогены

Растение	Семейство
Имбирь аптечный - <i>Zingiber officinale</i>	Имбирные
Калопанакс семилопастной – <i>Kalopanax septemlobus</i>	Аралиевые
Камелия китайская - <i>Camellia sinensis</i>	Чайные
Клитория тройчатая - <i>Clitoria ternatea</i>	Бобовые
Княжик сибирский - <i>Atragene sibirica</i>	Лютиковые
Кодонопсис мелковолоосистый - <i>Codonopsis pilosula</i>	Колокольчиковые
Кордицепс китайский - <i>Cordyceps sinensis</i>	Пиреномицеты
Корень сумы - <i>Pfaffia paniculata</i>	Амарантовые
Куркулиго орхидеевидное - <i>Curculigo orchoides</i>	Лилейные
Куркума длинная - <i>Curcuma longa</i>	Имбирные
Левзея сафлоровидная – <i>Rhaponticum carthamoides</i>	Астровые
Лимонник китайский - <i>Schisandra chinensis</i> **	Магнолиевые
Мелия персидская - <i>Azadirachta indica</i>	Мелиевые
Момордика харанция - <i>Momordica charantia</i>	Тыквенные
Нут бараний - <i>Cicer arietinum</i>	Бобовые
Облепиха крушиновидная - <i>Hippophae rhamnoides</i>	Лоховые
Падуб парагвайский - <i>Illex paraguariensis</i>	Падубовые
Полискиас папоротниколистый – <i>Poliscias filicifolia</i>	Аралиевые
Родиола розовая - <i>Rhodiola rosea</i> L.**	Толстянковые
Секурина полукустарниковая – <i>Securinega suffruticosa</i>	Молочайные
Сидя сердцелистная - <i>Sida cordifolia</i>	Мальвовые
Спаржа кистевидная – <i>Asparagus racemosus</i>	Лилейные
Стеркулия платановидная - <i>Sterculia plantanifolia</i> L.	Стеркулиевые
Терминалия Чебула - <i>Terminalia chebula</i>	Комбретовые
Тиноспора сердцелистная - <i>Tinospora Cordifolia</i>	Луносемянниковые
Трихопус индийский - <i>Trichopus zeylanicus</i>	Трихоподовые
Филлантус эмблика - <i>Phyllanthus emblica</i>	Молочайные
Цезальпиния бондук - <i>Caesalpinia bonduc</i>	Бобовые
Центелла азиатская - <i>Centella asiatica</i>	Зонтичные
Шелковица белая - <i>Morus alba</i>	Тутовые
Шлемник байкальский - <i>Scutellaria baicalensis</i>	Яснотковые
Эвкомия вязолистная - <i>Eucommia ulmoides</i> Oliv.	Эвкоммиевые
Эвольвulus алзиновидный - <i>Evolvulus alsinoides</i> L.	Вьюнковые
Эклипта белая - <i>Eclipta alba</i>	Астровые
Элеутерококк колючий - <i>Eleutherococcus senticosus</i> (Rupr. et Maxim)**	Аралиевые
Эхинацея пурпурная – <i>Echinacea purpurea</i> L.	Астровые
Якорцы стелющиеся - <i>Tribulus terrestris</i>	Парнолистниковые

Примечание: \* по Panossian A. 1999; Mendes F.R. 2007; Ishaque S 2012; \*\* - растение с хорошо зарекомендованными по литературным данным свойствами адаптогена растительного происхождения

Эффекты действия растительных адаптогенов зависят от времени суток и сезона их применения, дозы и исходного состояния нервной системы [6].

#### Заключение

Биологические часы играют решающую роль во многих процессах организма, таких как цикл сна-бодрствования, секреция гормонов, гомеостаз уровня глюкозы и регуляция температуры тела. Десинхронизация биологических ритмов может приводить к различным заболеваниям, таким как рак, сердечно-сосудистые заболевания, депрессия, ожирение и метаболический синдром.

Из всего ассортимента средств для лечения десинхронозов, наиболее перспективными являются адаптогены растительного происхождения. Они являются очень важной группой средств для коррекции десинхронозов у лиц не только испытывающих нарушения биологических ритмов при трансмеридианных перелетах или у людей со сменным графиком работы, но и для пожилых лиц, у которых в процессе старения во временной организации биологических процессов происходят комплексные изменения.

#### Конфликт интересов

«Не указан».

#### Conflict of Interest

«None declared»

#### Список литературы / References\*

1. Бальхаев, И.М. Влияние фитоадаптогена «полифитотон» на структуру надпочечников белых крыс при иммобилизационном стрессе / И.М. Бальхаев, И.К. Шантанова, К.С. Иванова, Л.Н. Лоншакова // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. – 2011. – №1-2. – С.142-144
2. Билибин, Д.П. Частная патологическая физиология. Электронный курс / Д.П. Билибин, В.А. Фролов, - М.: Практическая медицина, 2007 г
3. Васильченко, Г.С. Сексопатология. Справочник. / Под ред. Васильченко Г.С. М.: Медицина –1991. – С.576



4. Губин, Д.Г. Возрастной десинхроноз: фундаментальные и прикладные аспекты / Д.Г.Губин // Тюменский медицинский журнал. – 2014. – №2. – С.66-68
5. Датиева, В.К. Перспективы применения мелатонина в клинической практике / В.К. Датиева, Е.Е. Васенина, О.С. Левин // СТПН. – 2013. – №1. – С.47-51
6. Датиева, Ф.С., Сезонная динамика показателей гемостаза и микроциркуляции при экспериментальной ожоговой травме на фоне коррекции комплексными фитоадаптогенами / Датиева, Ф.С., Хетагурова, Л.Г., Урумова, Л.Т. // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – №6. – С.1121
7. Доскин, В.А., Обзорная информация / Доскин, В.А., Лаврентьева, Н.А // Медицина и здравоохранение. - М.: Медицина.- 1985.- Вып. 2.- 81 с
8. Ежов, С.Н. Основные концепции биоритмологии / С.Н.Ежов // Вестник ТГЭУ. – 2008. – №2. – С.104-121
9. Задумина, Е.В. Хронофармакологические аспекты влияния препарата "Мелаксен®" (мелатонин) на физиологические показатели у лиц пожилого и старческого возраста: дис... канд. мед. наук : 14.00.25 / Задумина, Елена Викторовна. – Тюмень, 2005. – 136 с.
10. Заславская, Р.М., Хронофармакология и хрономедицина как новый методологический подход к оптимизации лечения / Заславская, Р.М., Васькова, Л.Б., Болсуновская Ю.Р. // Пространство и Время. – 2012. – №1. – С.195-198
11. Каплан, Е.Я. Оптимизация адаптивных процессов организма / Е.Я.Каплан, О.Д. Цыренжапова, Л.Н. Шантанова. – М.: Наука, 1990. – 94 с.
12. Машковский, М.Д. Лекарственные средства - 15-е изд. – М.: Новая Волна, 2005. – 1164 с
13. Речкалов, А.В. Врачебно-педагогический контроль в физической культуре и спорте: монография / А.В. Речкалов, Д.А. Корюкин. Курган: Издательство Курганского государственного университета, 2011. – 227 с.
14. Симонян, Е.В. Влияние новых лекарственных форм кислоты янтарной на процессы свободнорадикального окисления / Е.В. Симонян, Ю.В. Шикова // Успехи современного естествознания. – 2014. – №12-3. – С.231-234
15. Шурыгина, А.В. Основные принципы хронотерапии, Методическое пособие. - Новосибирск: НГУ, 2002. - 46 с
16. International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems / WHO. - 10th ed. – Geneva: World Health Organization, 1994
17. Ishaque, S. Rhodiola rosea for physical and mental fatigue: a systematic review / S. Ishaque, L. Shamseer, C. Bukutu, S. Vohra // BMC Complementary and Alternative Medicine. – 2012. – Vol.12. – P.1-9
18. Mendes, F.R. Brazilian plants as possible adaptogens: an ethnopharmacological survey of books edited in Brazil / F.R. Mendes, E.A. Carlini // J Ethnopharmacol. – 2007. – Vol.109. – P.493-500
19. Panossian, A. Evidence-based efficacy of adaptogens in fatigue, and molecular mechanisms related to their stress-protective activity / A. Panossian, G. Wikman // Curr Clin Pharmacol. – 2009. – Vol.4. – P.198-219
20. AASM | American Academy of Sleep Medicine. The international classification of sleep disorders: diagnostic and coding manual, 2nd ed. // Westchester: American Academy of Sleep Medicine, 2005. – 293 p.
21. WHO | World Health Organization. URL: [http://www.who.int/ith/mode\\_of\\_travel/jet\\_lag/en/](http://www.who.int/ith/mode_of_travel/jet_lag/en/) (дата обращения: 16.02.2019)

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

1. Balchev, I. M. the Influence of phytoadaptogens "palification" on the structure of adrenal gland of white rats under immobilization stress / I. M. Beljaev, I. K. Antanova, K. S. Ivanov, L. N. Lonshakova // Bulletin of East Siberian scientific center SB RAMS. – 2011. – №1-2. – P. 142-144. [in Russian]
2. Bilibin, D. P. Private pathological physiology. Electronic course / D. P. Bilibin, V. A. Frolov. - M.: Practical medicine, 2007 [in Russian]
3. Vasil'chenko, G. S. Sexual Pathology. Guide. / Ed. Vasilchenko G. S. M.: Medicine -1991. - P. 576 [in Russian]
4. Gubin, D. G. Age-related desynchronosis: fundamental and applied aspects / D. G. Gubin // Tyumen medical journal, 2014, no. 2, Pp. 66-68 [in Russian]
5. Datieva, V. K. Prospects for the use of melatonin in clinical practice / V. K. Datieva, E. E. Vasenina, O. S. Levin // STPN. - 2013. - №1. - P. 47-51 [in Russian]
6. Datieva, F. S., Seasonal dynamics of hemostasis and microcirculation indicators in experimental burn injury against the background of correction with complex phytoadaptogens / Datieva, F. S., khetagurova, L. G., Urumova, L. T. // Modern problems of science and education. - 2014. - №6. - P. 1121 [in Russian]
7. Doskin, V. A., Overview information / Doskin, V. A., Lavrentieva, N. A. // Medicine and healthcare. - M.: Medicine.- 1985. - Issue 2. - 81 p. [in Russian]
8. Ezhov, S. N. Basic concepts of biorhythmology / S. N. Ezhov // Vestnik TSEU. - 2008. - №2. - P. 104-121 [in Russian]
9. Zaimina, E. V. Chronopharmacological aspects of the effect of the drug "Melaxen ®" (melatonin) on physiological indicators in the elderly and senile age: dis... candidate of medical Sciences : 14.00.25 / Zaimina, Elena Viktorovna. Tyumen, 2005, 136 p. [in Russian]
10. Zaslavskaya, R. M., Chronopharmacology and chronomedicine as a new methodological approach to optimizing treatment / Zaslavskaya, R. M., Vaskova, L. B., Bolsunovskaya, Yu.R. // Space and Time. - 2012. - №1. - P. 195-198 [in Russian]
11. Kaplan, E. ya. Optimization of adaptive processes of the organism / E. Ya. Kaplan, O. D. Tsyrenzhapova, L. N. Shantanova. - Moscow: Nauka, 1990. - 94 p. [in Russian]
12. Mashkovsky, M. D. Medicinal products-15th ed. - Moscow: Novaya Volna, 2005. - 1164 p. [in Russian]
13. Rechkalov, A.V. Medical and pedagogical control in physical culture and sport: monograph / A.V. Rechkalov, D. A. Koryukin. Kurgan: Kurgan state University press, 2011. - 227 p. [in Russian]
14. Simonyan, E. V. Influence of new medicinal forms of succinic acid on the processes of free radical oxidation / E. V. Simonyan, Yu. V. Shikova // Advances in modern natural science. - 2014. - №12-3. - P. 231-234 [in Russian]
15. Shurlygina, A.V. Basic principles of chronotherapy, Methodological guide. - Novosibirsk: NSU, 2002. - 46 p [in Russian]

16. International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems / WHO. - 10th ed. – Geneva: World Health Organization, 1994
17. Ishaque, S. Rhodiola rosea for physical and mental fatigue: a systematic review / S. Ishaque, L. Shamseer, C. Bukutu, S. Vohra // BMC Complementary and Alternative Medicine. – 2012. – Vol.12. – P.1-9
18. Mendes, F.R. Brazilian plants as possible adaptogens: an ethnopharmacological survey of books edited in Brazil / F.R. Mendes, E.A. Carlini // J Ethnopharmacol. – 2007. – Vol.109. – P.493-500
19. Panossian, A. Evidence-based efficacy of adaptogens in fatigue, and molecular mechanisms related to their stress-protective activity / A. Panossian, G. Wikman // Curr Clin Pharmacol. – 2009. – Vol.4. – P.198-219
20. AASM | American Academy of Sleep Medicine. The international classification of sleep disorders: diagnostic and coding manual, 2nd ed. // Westchester: American Academy of Sleep Medicine, 2005. – 293 p.
21. WHO | World Health Organization. URL: [http://www.who.int/ith/mode\\_of\\_travel/jet\\_lag/en/](http://www.who.int/ith/mode_of_travel/jet_lag/en/) (accessed: 16.02.2019)



DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.97.7.032>ПОЛИФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ПЛОДОВ ЧЕРЕМУХИ ВИРГИНСКОЙ  
(*PADUS VIRGINIANA MILL.*)

Научная статья

Кузьмичева Н.А.<sup>1,\*</sup>, Михайлова И.В.<sup>2</sup>, Иванова Е.В.<sup>3</sup>, Филиппова Ю.В.<sup>4</sup>, Винокурова Н.В.<sup>5</sup>,  
Воронкова И.П.<sup>6</sup>, Шостак Е.И.<sup>7</sup>, Таренкова И.В.<sup>8</sup><sup>5</sup> ORCID: 0000-0003-4144-1470;<sup>1-8</sup> Оренбургский государственный медицинский университет Минздрава России, Оренбург, Россия

\* Корреспондирующий автор (n.a.kuzmicheva[at]orgma.ru)

## Аннотация

Проведено сравнительное морфолого-анатомическое и фитохимическое изучение плодов черемухи обыкновенной (*Padus avium Mill.*) и черемухи виргинской (*Padus virginiana Mill.*) как перспективного источника биологически активных веществ. Установлено, что образцы плодов черемухи обыкновенной заготовленные на территории Оренбургской области соответствуют требованиям ФС.2.5.0049.15 «Черёмухи обыкновенной плоды» по содержанию дубильных веществ и антоцианов. Показано, что плоды нефармакопейного вида черемухи виргинской не отличаются от плодов черёмухи обыкновенной по содержанию суммы дубильных веществ (в пересчете на танин), флавоноидов (в пересчете на рутин), антоцианов (в пересчете на цианидин-3-О-глюкозид).

**Ключевые слова:** черемуха обыкновенная, черемуха виргинская, флавоноиды, дубильные вещества, антоцианы.

POLYPHENOLIC COMPOUNDS OF THE FRUIT OF THE VIRGINIA CHERRY  
(*PADUS VIRGINIANA MILL.*)

Research article

Kuzmicheva N.A.<sup>1,\*</sup>, Mikhailova I.V.<sup>2</sup>, Ivanova E.V.<sup>3</sup>, Filippova Yu.V.<sup>4</sup>, Vinokurova N.V.<sup>5</sup>,  
Voronkova I.P.<sup>6</sup>, Shostak E.I.<sup>7</sup>, Tarenkova I.V.<sup>8</sup><sup>5</sup> ORCID: 0000-0003-4144-1470;<sup>1-8</sup> Orenburg State Medical University, Orenburg, Russia

\* Corresponding author (n.a.kuzmicheva[at]orgma.ru)

## Annotation

A comparative morphological-anatomical and phytochemical study of the fruits of common cherry (*Padus avium Mill.*) and virgin cherry (*Padus virginiana Mill.*) as a promising source of biologically active substances. It was found that samples of common cherry fruit harvested on the territory of the Orenburg region meet the requirements of FS.2.5.0049.15 "Common Cherry fruit" on the content of tannins and anthocyanins. It is shown that the fruits of the cherry virginiana does not differ from the fruits of common cherry in the content of the sum of tannins (in terms of tannin), flavonoids (in terms of rutin), anthocyanins (in terms of cyanidin-3-O-glucoside).

**Key words:** bird cherry, common bird cherry virgin, flavonoids, tannins, anthocyanins.

## Введение

В настоящее время во всем мире наблюдается тенденция к расширению ассортимента лекарственных препаратов на основе лекарственного растительного сырья, что связано с их способностью оказывать мягкое комплексное воздействие на организм с низкой вероятностью возникновения побочных эффектов. Разработка новых отечественных конкурентоспособных лекарственных средств растительного происхождения является одним из приоритетных направлений в фармацевтической практике. В связи с этим актуальным является поиск новых видов лекарственного растительного сырья, произрастающего на территории нашей страны [3].

Черемуха, произрастающая по всей территории России, является ценным пищевым и лекарственным растением. Широкий спектр фармакологической активности плодов черемухи (противовоспалительные, вяжущие, капилляроукрепляющие, бактерицидные, фунгицидные свойства) обоснован наличием разнообразных классов биологически активных веществ: флавоноидов, фенолкарбоновых кислот, дубильных веществ, тритерпеновых соединений, каротиноидов. В роду черемухи (*Padus Mill.*) насчитывается около 20 видов деревьев и кустарников, растущих в Северном полушарии [1]. На сегодняшний день в России официальными считаются плоды черёмухи обыкновенной (*Padus avium Mill.*), их качество регламентирует ФС 2.5.0049.15 «Черёмухи обыкновенной плоды». Вместе с тем, обширным ареалом произрастания характеризуется нефармакопейный вид - черемуха виргинская (*Padus virginiana Mill.*), широко распространенная на территории Оренбургской области. Исходя из вышеизложенного, целью исследования явилось сравнительное морфолого-анатомическое и фитохимическое изучение плодов черемухи обыкновенной (*Padus avium Mill.*) и черемухи виргинской (*Padus virginiana Mill.*) как перспективного источника биологически активных веществ.

## Методы и принципы исследования

Объектами исследования являлись образцы сырья черемухи обыкновенной и черемухи виргинской, заготовленные в период с 2017 по 2018 гг. на территории Оренбургской области, в Оренбургском районе. Исследования макроскопических и микроскопических признаков сырья выполнялись в соответствии с требованиями ОФС «Плоды», «Техника микроскопического и микрохимического исследования лекарственного растительного сырья и лекарственных растительных препаратов» ГФ РФ XIV издания [2] с помощью цифрового микроскопа «Motic DM-111». Идентификацию биологически активных веществ проводили соответствующими качественными реакциями, а также методом ультрафиолетовой (УФ) спектрофотометрии [2]. Сумму дубильных веществ, в пересчете на танин, определяли перманганатометрическим методом, основанным на окислении фенольных гидроксильных групп дубильных веществ

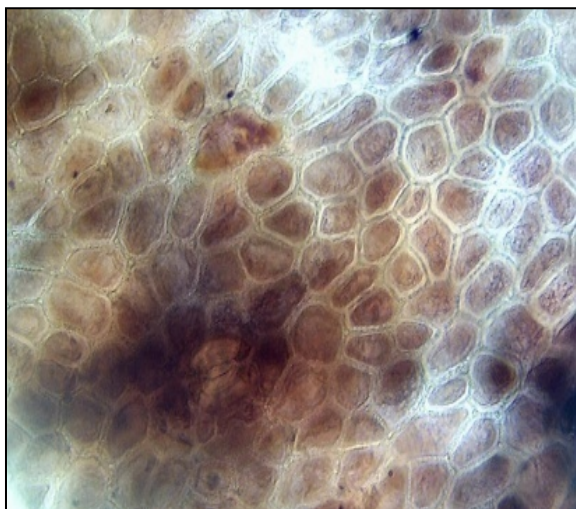
калия перманганатом в присутствии индигосульфокислоты [2].

Содержание антоцианов, в пересчете на цианидин-3-О-глюкозид, определяли методом pH – дифференциальной спектрофотометрии при длинах волн 510 нм и 700 нм. (спектрофотометр UV-3600, Shimadzu, Япония) [4].

Количественное определение флавоноидов в плодах черемухи проводили методом дифференциальной спектрофотометрии (спектрофотометр UV-3600, Shimadzu, Япония) на основе реакции комплексообразования с алюминия хлоридом [5]. Расчет содержания суммы флавоноидов проводили в пересчете на рутин и абсолютно сухое сырье по удельному показателю поглощения. Обработка результатов эксперимента проведена в соответствии с требованиями ОФС «Статистическая обработка результатов химического эксперимента» в программе Microsoft Excel 2016 [2].

#### Основные результаты и их обсуждение

С помощью микроскопического анализа установили характерные анатомо-морфологические признаки плодов черемухи. Все исследуемые образы характеризовались наличием скоплений клеток, заполненные бурым содержимым, окружающих устьичный аппарат (рисунок 1), клетки паренхимы многоугольные, тонкостенные, заполнены красным содержимым, плотно прилегают друг к другу (рисунок 2).



*А*

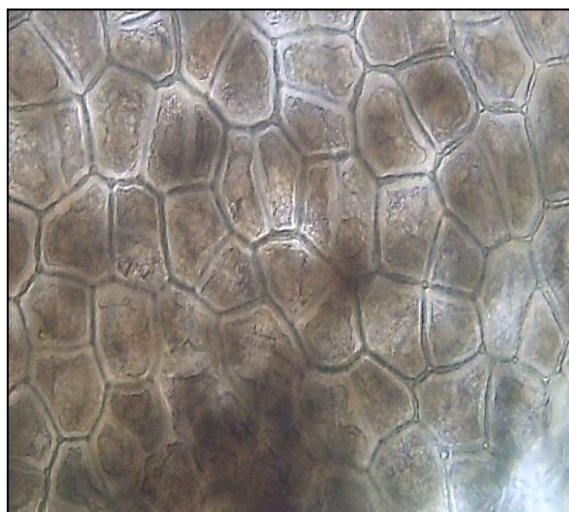


*Б*

Рис. 1 – Скопление клеток, заполненных бурым содержимым (цвет обусловлен накоплением антоцианов), окружающих устьичный аппарат  
(*А* – плоды черемухи обыкновенной; *Б* – плоды черемухи виргинской)



*А*



*Б*

Рис. 2 – Клетки паренхимы многоугольные, тонкостенные, заполнены красным содержимым, плотно прилегают друг к другу  
(*А* – плоды черемухи обыкновенной; *Б* – плоды черемухи виргинской)

Химическими реакциями подтвердили присутствие основных классов биологически активных веществ в исследуемых образцах черемухи обыкновенной и черемухи виргинской. Так, для обнаружения дубильных веществ использовали реакцию с 1 % раствором железо-аммониевых квасцов (темно-зелёное окрашивание, при стоянии выпал темный осадок). Присутствие флавоноидов, в частности, антоцианов в плодах было обнаружено посредством проведения в спирто-водных извлечениях из сырья реакции с 2% раствором хлорида алюминия (желтое окрашивание) и цианидиновой пробы (красное окрашивание). Для дополнительного подтверждения результатов качественных реакций было проведено исследование извлечений из исследуемого растительного сырья методом УФ-спектроскопии.

УФ-спектр поглощения испытуемых растворов в интервале длин волн от 450 до 600 нм имеет максимум поглощения при длине волны  $575 \pm 3$  нм, характерного для антоцианов. Таким образом, предварительный анализ фитохимического состава извлечений из плодов черёмухи обыкновенной и черёмухи виргинской показал, что состав плодов идентичен, и включает в себя флавоноиды, антоцианы, и дубильные вещества.

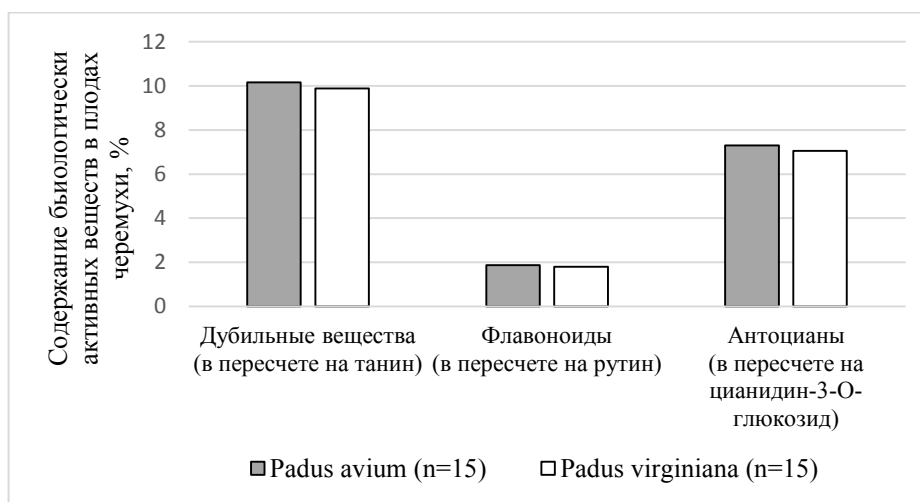


Рис. 3 – Содержание биологически активных веществ в плодах черёмухи обыкновенной и черёмухи виргинской; n – число образцов.

Сравнительный анализ содержания дубильных веществ в исследуемых образцах плодов черёмухи установил, что содержание дубильных веществ, обнаруженное в плодах черёмухи виргинской составило  $9,88 \pm 0,37\%$ , а в плодах черёмухи обыкновенной –  $10,17 \pm 0,26\%$ . Содержание суммы флавоноидов в пересчете на рутин в сырье черёмухи обыкновенной составило  $1,87 \pm 0,08\%$ . В сравнении с образцом плодов черёмухи виргинской ( $1,80 \pm 0,04\%$ ) статистически значимых различий не выявлено. Количественное содержание антоцианов в исследуемых образцах заготовленного растительного сырья варьировало от  $7,05 \pm 0,27\%$  (*Padus avium*) до  $7,3 \pm 0,34\%$  (*Padus virginiana*) (рисунок 3).

#### Заключение

Подводя итоги, можно отметить, что образцы плодов черёмухи обыкновенной заготовленные на территории Оренбургской области соответствуют требованиям ФС.2.5.0049.15 «Черёмухи обыкновенной плоды» по содержанию дубильных веществ (не менее 1,7 %) и антоцианов (не менее 0,5 %). Вместе с тем, изученный нефармакопейный вид черёмухи – черёмуха виргинская (*Padus virginiana* Mill.) не отличался по содержанию в плодах суммы дубильных веществ (в пересчете на танин), флавоноидов (в пересчете на рутин), антоцианов (в пересчете на цианидин-3-О-глюкозид) от плодов фармакопейного вида, черёмухи обыкновенной (*Padus avium* Mill.). Таким образом, подтверждена перспективность использования черёмухи виргинской для расширения сырьевой базы черёмухи. Принимая во внимание соразмерное содержание танина, рутина, цианидин-3-О-глюкозида в плодах черёмухи виргинской и черёмухи обыкновенной, представляется возможным одновременное получение лекарственного растительного сырья от разных видов черёмухи.

#### Конфликт интересов

Не указан

#### Conflict of Interest

None declared

#### Список литературы / References

1. Бекетов Е. В.. Идентификация и количественная оценка флавоноидов в плодах черёмухи обыкновенной / Е. В. Бекетов и др. // Вестн. Моск. ун-та. – 2005. – Т. 2. – С. 259-262.
2. Государственная Фармакопея Российской Федерации XIV [Электронный ресурс]. – М., 2018. – URL: <http://femb.ru/femb/pharmacopea.php>.
3. Куркин В. А. Фармакогнозия: учебник для фармацевтических вузов (факультетов). 2-е изд., перераб. и доп. // Самара: ООО «Офорт», ГОУ ВПО «СамГМУ». – 2007. – 1239 с.
4. Куркин, В. А. Разработка методики определения антоцианов в лекарственном растительном сырье [Текст] / В. А. Куркин [и др.] // Фармация. – 2014. – № 4. – С. 17-20.
5. Куркина А.В. Экспериментально-теоретическое обоснование подходов к стандартизации сырья и препаратов фармакопейных растений, содержащих флавоноиды: автореф. дис. докт. фарм. наук: 14.04.02/Куркина Анна Владимировна. – Самара, 2013. – 48 с.
6. Куркина, А.В. Актуальные аспекты стандартизации лекарственных растений, содержащих флавоноиды / А.В. Куркина // Бюллетень сибирской медицины (Bulletin of Siberian medicine). – 2011. – № 5. – С. 150-153.
7. Куркина, А.В. Современная стандартизация как методологическая основа рационального использования ресурсов лекарственных растений, содержащих флавоноиды / А.В. Куркина // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Т. 14, № 1 (9). – С. 2253-2256.
8. Самылина И.А. Фармакогнозия. Атлас. Том 2. Лекарственное растительное сырье. Анатомо-диагностические признаки фармакопейного и нефармакопейного лекарственного растительного сырья. Учебное пособие / И.А. Самылина, О.Г. Потанина. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2007. – Т.2. – 384 С.

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

1. Beketov E. V.. Identifikacija i kolichestvennaja ocenka flavonoidov v plodah cheremuhi obyknovnoj [Identification and quantification of flavonoids in fruits of a bird cherry ordinary] // Bulletin of Moscow University – 2005. – Vol. 2. – p. 259-262. [in Russian]
2. Gosudarstvennaja Farmakopeja Rossijskoj Federacii XIV [State Pharmacopoeia of the Russian Federation XIV]. – М., 2018. – URL: <http://femb.ru/femb/pharmacopea.php>. [in Russian]
3. Kurkin V. A. Farmakognozija: uchebnik dlja farmacevticheskikh vuzov. 2-e izd., pererab. i dop [Pharmacognosy: textbook for pharmaceutical universities (faculties)] // Samara: ООО «Ofort», GOU VPO «SamGMU». – 2007. – 1239 p. [in Russian]
4. Kurkin, V. A. Razrabotka metodiki opredelenija antocianov v lekarstvennom rastitel'nom syr'e [Development of methods for determining anthocyanins in medicinal plant raw materials] / V. A. Kurkin [i dr.] // Pharmacy. – 2014. – № 4. – p. 17-20. [in Russian]
5. Kurkina A.V. Jeksperimental'no-teoreticheskoe obosnovanie podhodov k standartizacii syr'ja i preparatov farmakopejnyh rastenij, sodержashhih flavonoidy: avtoref. dis. dokt. farm. nauk:14.04.02 [Experimental and theoretical substantiation of approaches to standardization of raw materials and preparations of pharmacopoeial plants containing flavonoids: abstract. farm. Sciences] / Kurkina Anna Vladimirovna. – Samara, 2013. – 48 p. [in Russian]
6. Kurkina, A.V. Aktual'nye aspekty standartizacii lekarstvennyh rastenij, sodержashhih flavonoidy [Actual aspects of standardization of medicinal plants containing flavonoids] / A.V. Kurkina // Bulletin of Siberian medicine – 2011. – № 5. - p. 150-153. [in Russian]
7. Kurkina, A.V. Sovremennaja standartizacija kak metodologicheskaja osnova racional'nogo ispol'zovanija resursov lekarstvennyh rastenij, sodержashhih flavonoidy [Modern standardization as a methodological basis for rational use of medicinal plant resources containing flavonoids] / A.V. Kurkina // Izvestiya Samara scientific center of the Russian Academy of Sciences. - 2012. - Vol. 14, № 1 (9). – p. 2253-2256. [in Russian]
8. Samylina I.A. Farmakognozija. Atlas. Tom 2. Lekarstvennoe rastitel'noe syr'e. Anatomico-diagnosticheskie priznaki farmakopejnogo i nefarmakopejnogo lekarstvennogo rastitel'nogo syr'ja [Pharmacognosy. Atlas. Volume 2. Medicinal plant raw materials. Anatomic and diagnostic signs of the Pharmacopoeia and non-Pharmacopoeia of medicinal plants. Textbook.] / Samylina I.A., Potanina O.G.. – М.: GJeOTAR-Media, 2007. – Vol.2. – 384 p. [in Russian]