

№ 11 (101) ▪ 2020

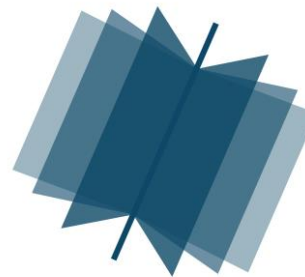
Часть 1 ▪ Ноябрь

**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
Сайт: www.research-journal.org
16+

**№ 11 (101) 2020
Часть 1
Ноябрь**

Дата выхода 17.11.2020
Подписано в печать 11.11.2020
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, поддерживаемой журналом: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0). Актуальная информация об индексации журнала в библиографических базах данных <https://research-journal.org/indexing/>.

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

Члены редколлегии:

Филологические науки:

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

Технические науки:

Пачурин Г.В. д-р техн. наук, проф., Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (Нижний Новгород, Россия);
Федорова Е.А. д-р техн. наук, проф., Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (Нижний Новгород, Россия);
Герасимова Л.Г. д-р техн. наук, Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева (Апатиты, Россия);
Курасов В.С. д-р техн. наук, проф., Кубанский государственный аграрный университет (Краснодар, Россия);
Оськин С.В. д-р техн. наук, проф. Кубанский государственный аграрный университет (Краснодар, Россия).

Педагогические науки:

Куликовская И.Э. д-р пед. наук, Южный федеральный университет (Ростов-на-Дону, Россия);
Сайкина Е.Г. д-р пед. наук, Российский государственный педагогический университет имени А.И. Герцена (Санкт-Петербург, Россия);
Лукиянова М.И. д-р пед. наук, Ульяновский государственный педагогический университет им. И.Н. Ульянова (Ульяновск, Россия);
Ходакова Н.П. д-р пед. наук, проф., Московский городской педагогический университет (Москва, Россия).

Психологические науки:

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

Физико-математические науки:

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

Географические науки:

Умывакин В.М. д-р геогр. наук, к. техн. н. проф., Военный авиационный инженерный университет (Воронеж, Россия);
Брылеев В.А. д-р геогр. наук, проф., Волгоградский государственный социально-педагогический университет (Волгоград, Россия);
Огуреева Г.Н. д-р геогр. наук, проф., МГУ имени М.В. Ломоносова (Москва, Россия).

Биологические науки:

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

Архитектура:

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

Ветеринарные науки:

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

Медицинские науки:

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

Исторические науки:

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

Культурология:

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

Искусствоведение:

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

Философские науки:

Петров М.А. д-р филос. наук, Института философии РАН (Москва, Россия);
Бессонов А.В. д-р филос. наук, проф., Северо-Кавказский федеральный университет г. Пятигорске (Пятигорск, 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);
Мещерякова О.М. д-р юрид. наук, Всероссийская академия внешней торговли (Москва, Россия);
Ергашев Е.Р. д-р юрид. наук, проф., Уральский государственный юридический университет (Екатеринбург, Россия).

Сельскохозяйственные науки:

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

Социологические науки:

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

Химические науки:

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

Науки о Земле:

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

Экономические науки:

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

Политические науки:

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

Фармацевтические науки:

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

ОГЛАВЛЕНИЕ

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHYSICS AND MATHEMATICS

Сдвижков О.А. ПРИМЕНЕНИЕ ФУНКЦИЙ VBA EXCEL В АНАЛИТИЧЕСКОЙ ГЕОМЕТРИИ.....	6
--	---

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING

Барышев Е.Е., Малых Д.А., Тягунов Г.В., Якшина Н.В. ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА В РОССИИ	13
---	----

Амосов В.И., Зубков Д.А., Хломко В.И. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА МАСКИРУЮЩЕГО СИГНАЛА, ФОРМИРУЕМОГО ГЕНЕРАТОРОМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ШУМА, ПРИ УТЕЧКЕ ИНФОРМАЦИИ ПО ТЕХНИЧЕСКИМ КАНАЛАМ	21
---	----

Каменчуков А.В., Тянь, Псаров С.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В СИСТЕМАХ ОБОГРЕВА ПОКРЫТИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ	25
---	----

Шариков Ю.В., Шариков Ф.Ю., Крылов К.А. РОЛЬ И ЗНАЧЕНИЕ УПРАВЛЯЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ В ПРОЦЕССЕ ОБЖИГА НЕФТЯНОГО КОКСА В ТРУБЧАТЫХ ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧАХ	34
--	----

Кузнецов Г.А., Брюховецкая Е.В., Кутуров Д.В. МОДЕЛИ ДВИГАТЕЛЕЙ С ПРОТИВОПОЛОЖНО ДВИЖУЩИМИСЯ ПОРШНЯМИ КОМПАНИИ ACHATES POWER	43
--	----

Лукин А.А., Данилов М.Б. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА НЕКОТОРЫХ ГРИБНЫХ ПРОТЕАЗ.....	47
---	----

Сайид Марам Али, Серпокрьлов Н.С., Нелидин В.В. ВЛИЯНИЕ МОДИФИКАЦИИ ПОГРУЖНОГО ВРАЩАЮЩЕГОСЯ БИОФИЛЬТРА НА ОКИСЛИТЕЛЬНУЮ СПОСОБНОСТЬ ПРИ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД МАЛЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ В СИРИИ	52
--	----

Псаров С.А., Шумилин Е.В., Каменчуков А.В. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СУММАРНОЙ ДЛИНЫ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СКВАЖИН ДЛЯ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ	61
---	----

Смирнов С.В., Морозов Г.А., Морозов О.Г., Насыбуллин А.Р., Анфиногентов В.И., Фархутдинов Р.В., Белов Э.В.	67
РАЗРАБОТКА МЕТОДА КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА МИКРОВОЛНОВОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ЖИВОТНОВОДСТВА	67

Чуб О.П. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРИГОТОВЛЕНИЯ ДЕСЕРТА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ ИЗ КУРАГИ И ВЫЖИМОК МОРКОВИ.....	74
---	----

Яковлев В. А. ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ТЕХНОСФЕРЕ	78
--	----

Гаджиев К.Г., Верховский А.Е., Уртенев Д.С., Гаджиев Д.К. ИЗУЧЕНИЕ ПРИЧИН РАЗРУШЕНИЯ ТРУБОК ПАРОГЕНЕРАТОРОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ	85
---	----

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ / AGRICULTURAL SCIENCES

Воробьева М.В., Залесов С.В., Крекова Я.А., Михайлов Ю.Е., Соловьева М.В. АЛЬТЕРНАТИВА ТОПОЛЮ БАЛЬЗАМИЧЕСКОМУ (<i>POPULUS BALSAMIFERA</i> L.) В ОЗЕЛЕНЕНИИ Г. ЕКАТЕРИНБУРГА.....	92
---	----

Мельникова К.В., Магасумова А.Г., Попов А.С., Башегуров К.А. ДОЛЯ ХВОЙНОГО ПОДРОСТА НА ВЫРУБКАХ ПРИ ОСТАВЛЕНИИ ПЕРЕСТОЙНЫХ ДЕРЕВЬЕВ ОСИНЫ.....	99
--	----

Косенко Т.Г. ХАРАКТЕРИСТИКА АГРОЭКОСИСТЕМ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРИАЗОВСКОЙ ЗОНЫ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ	104
---	-----

Майбородин С.В. АНАЛИЗ ПРОДУКТИВНОСТИ АВТОХТОННЫХ СОРТОВ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ВИНОГРАДНИКАХ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ	108
---	-----

Мануйлов Б.М., Симоненко С.В. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ПРОДУКТЫ ДЕТСКОГО ПИТАНИЯ.....	111
--	-----

Болотова Л.Ю. ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЭМБРИОНАЛЬНОГО ПЕРИОДА ТЕЛОЧЕК И ИХ ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ.....	118
Раджабов Р.Г., Иванова Н.В. ВЛИЯНИЕ СЕЗОНА ГОДА НА ЕСТЕСТВЕННУЮ РЕЗИСТЕНТНОСТЬ МОЛОЧНЫХ КОРОВ РАЗНЫХ ГЕНОТИПОВ	123
Зыков А.В., Юнин В.А., Захаров А.М., Перекопский А.Н. МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕТИКИ СУШКИ С АНАЛИЗОМ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА.....	127
Зыков А.В., Юнин В.А., Захаров А.М., Перекопский А.Н. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ	134
Петенко А.И., Петенко Н.И., Анискина М.В., Юрина Н.А., Юрин Д.А., Хорин Б.В. ИЗУЧЕНИЕ КИСЛОТОСВЯЗЫВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОТДЕЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ КОРМОВ....	140
<hr/> БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ / BIOLOGY <hr/>	
Сапожникова А.И., Есепенок К.В. БИОАКТИВНЫЙ КЕРАТИН КАК ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СЕРОСОДЕРЖАЩАЯ КОРМОВАЯ ДОБАВКА ..	144
Колпакова Т.Ю., Деришева О.П. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МНОГОНОЖЕК (<i>MYRIAPODA</i>) ОМСКА И ОМСКОЙ ОБЛАСТИ.....	150
Ляшев А.А., Прок И.А. ХАРАКТЕРИСТИКА РАЗВИТИЯ ПОПУЛЯЦИИ ДОЖДЕВЫХ КОМПОСТНЫХ ЧЕРВЕЙ В СУБСТРАТЕ ИЗ ГОРОДСКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ОСТАТКОВ	154
Шахов В.В., Федотова И.Э., Ташматова Л.В., Мацнева О.В., Хромова Т.М. ВЛИЯНИЯ СЕЗОННОГО ФАКТОРА НА ПРИЖИВАЕМОСТЬ ЭКСПЛАНТОВ ВИШНИ ОБЫКНОВЕННОЙ В КУЛЬТУРЕ <i>IN VITRO</i>	159
Бугрей И.В. СТРОЕНИЕ ЛИСТА «УСАТЫХ» СОРТОВ ГОРОХА	163
<hr/> ВЕТЕРИНАРНЫЕ НАУКИ / VETERINARY SCIENCE <hr/>	
Нижельская Е.И. СЕЗОННАЯ И ВОЗРАСТНАЯ ДИНАМИКИ УНЦИНАРИОЗА СОБАК	167
Тайлаков А.А., Счисленко С.А., Мороз А.А., Строганова И.Я. ПРОГРАММА «БИОЦЕНОЗ» ДЛЯ РАННЕЙ ДИАГНОСТИКИ ИНФЕКЦИОННЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ РЕПТИЛИЙ	170
<hr/> ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHARMACEUTICS <hr/>	
Поздняков Д.И., Мамлеев А.В., Ладыка А.А., Рыбалко И.Е., Ларский М.В. АНТИОКСИДАНТНЫЙ И АНТИАМИЛОИДНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ПРОИЗВОДНЫХ ЯНТАРНОЙ КИСЛОТЫ.....	175
Червонная Н.М., Аджихметова С.Л., Поздняков Д.И., Папаяни О.И., Туховская Н.А., Оганесян С.О. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ НЕКОТОРЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ СЕМЕЙСТВ <i>ASTERACEAE</i> , <i>PRIMULACEAE</i> , <i>GROSSULARIACEAE</i> И <i>ROSACEAE</i>	179

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHYSICS AND MATHEMATICS

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.101.11.001>

ПРИМЕНЕНИЕ ФУНКЦИЙ VBA EXCEL В АНАЛИТИЧЕСКОЙ ГЕОМЕТРИИ

Научная статья

Сдвижков О.А.*

Российский государственный университет туризма и сервиса, Пушкино, Россия

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

Аннотация

Приведены программные коды двух пользовательских функций VBA Excel. Первая из них находит или координаты точки пересечения двух прямых плоскости, или тангенс угла между ними, или угловой коэффициент прямой, по которой луч света, движущийся по первой прямой, движется после отражения от второй прямой. Вторая функция находит или величину расстояния между скрещивающимися прямыми, или координаты точки, через которую проходит общий перпендикуляр скрещивающихся прямых, или направляющий вектор их общего перпендикуляра, или параметрические уравнения их общего перпендикуляра, или величину расстояния от заданной точки первой прямой до второй прямой. Все вычисления проводятся онлайн и не требуют данных рабочих листов Excel. Применение разработанных пользовательских функций показано на конкретных задачах.

Ключевые слова: луч света, скрещивающиеся прямые, общий перпендикуляр, код, диалоговое окно.

USING VBA EXCEL FUNCTIONS IN ANALYTICAL GEOMETRY

Research article

Sdvizhkov O.A.*

Russian State University of Tourism and Service, Pushkino, Russia

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

Abstract

The article contains the software codes of two VBA Excel custom functions. The first function finds either the coordinates of the point of intersection of two straight planes, or the tangent of the angle between them, or the slope of the straight line, in which a ray of light, while moving along the first straight line, moves after the reflection from the second line. The second function finds either the distance between intersecting lines, or the coordinates of the point, through which passes the common perpendicular of the intersecting lines, or the guiding vector of their common perpendicular, or the parametric equations of their common perpendicular, or the distance from a given point of the first straight line to the second straight line. All calculations are performed online and do not require Excel worksheet data. The application of the developed custom functions is demonstrated through specific tasks.

Keywords: light beam, intersecting straight lines, common perpendicular, code, dialog box.

Введение

В статье «Аналитическая геометрия (пользовательские функции)» [10] приведены программные коды около 15 пользовательских функций VBA Excel, предназначенных для решения задач аналитической геометрии [1], [5], [6] в режиме онлайн. Две из них рассматриваются в данной статье. Следует заметить, что в связи с переходом к информационному обществу, в котором все задачи должны решаться на компьютере, причем в режиме онлайн, задача информатизации вычислений, в том числе и по аналитической геометрии, является одной из наиболее актуальных задач. Рассматриваемые в статье задачи специальных инструментов решений в математических пакетах [4], [8], [9] не имеют.

Применяемый для решения рассматриваемых задач программный комплекс Excel – один из самых популярных и доступных программных комплексов, предназначенный для обработки числовых данных, причем заложенная в Excel среда программирования VBA позволяет пользователю создавать собственные процедуры, автоматизирующие математические вычисления [2], [3], [7].

В основном в VBA Excel разрабатываются проекты [2], [3], [7], то есть процедуры *Sub*. В данной статье применяется более простая, но достаточно эффективная процедура *Function*, которой создаются пользовательские функции VBA, имеющие встроенные диалоговые окна ввода данных, что позволяет не тратить время на создание пользовательских форм.

Основной особенностью рассматриваемых в статье пользовательских функций является то, что они позволяют, используя конструкцию *Select Case*, находить значения нескольких параметров, что существенно уменьшает необходимое число пользовательских функций. Последней переменной каждой функции является строковая переменная, показывающая значение какого параметра требуется вычислить.

Пользовательская функция ОТРАЖЕНИЕ

Пусть уравнениями $A_1x + B_1y + C_1 = 0$ и $A_2x + B_2y + C_2 = 0$ заданы две прямые и надо найти уравнение прямой, по которой луч света, движущийся по первой прямой, будет двигаться после отражения от второй прямой. Программный код пользовательской функции ОТРАЖЕНИЕ, позволяющий решить онлайн эту задачу на компьютере, приведен в листинге 1.1.

Листинг 1.1. Код функции ОТРАЖЕНИЕ и ее описания

```
Function ОТРАЖЕНИЕ(Прямая1() As Variant, Прямая2() _  
As Variant, I_T_L As String)
```

```

Dim A(1 To 2) As Single, B(1 To 2) As Single, C(1 To 2) As Single, M(1 To 2) As Variant
A(1) = Прямая1(1): B(1) = Прямая1(2): C(1) = Прямая1(3)
A(2) = Прямая2(1): B(2) = Прямая2(2): C(2) = Прямая2(3)
D = A(1) * B(2) - A(2) * B(1)
D1 = B(1) * C(2) - B(2) * C(1)
D2 = C(1) * A(2) - C(2) * A(1)
T = D / (A(1) * A(2) + B(1) * B(2))
Select Case I_T_L
Case "I": M(1) = D1 / D: M(2) = D2 / D
ОТРАЖЕНИЕ = M
Case "T"
ОТРАЖЕНИЕ = T
Case "L"
ОТРАЖЕНИЕ = (T * B(2) - A(2)) / (B(2) + T * A(2))
End Select
End Function
Sub InstallFunc1()
Application.MacroOptions Macro:="ОТРАЖЕНИЕ", Description:= _
"При I находит точку пересечения прямых, заданных " & _
"коэф. общ. ур. прямых, при T - тангенс угла между " & _
"прямыми, при L - угл. коэф. прямой, получаемой отражением " & _
"отражением 1-й прямой от 2-й прямой"
End Sub

```

По листингу 1.1 стандартным образом [2], [3] создается функция ОТРАЖЕНИЕ.

Задача 1.1. Луч света направлен по прямой $x-2y+5=0$. Дойдя до прямой $3x-2y+7=0$, луч от нее отразился. Составить уравнение прямой, на которой лежит отраженный луч.

Технология решения. 1. Вызывается функция ОТРАЖЕНИЕ и находятся координаты точки пересечения прямых:

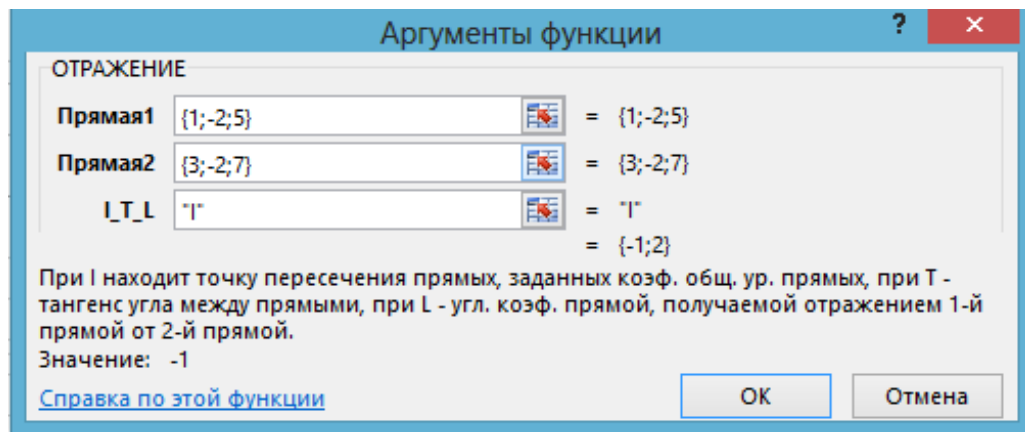


Рис. 1.1 – Первое применение функции ОТРАЖЕНИЕ в задаче 1.1

2. Вызывается функция ОТРАЖЕНИЕ и находится угловой коэффициент прямой, на которой лежит отраженный луч:

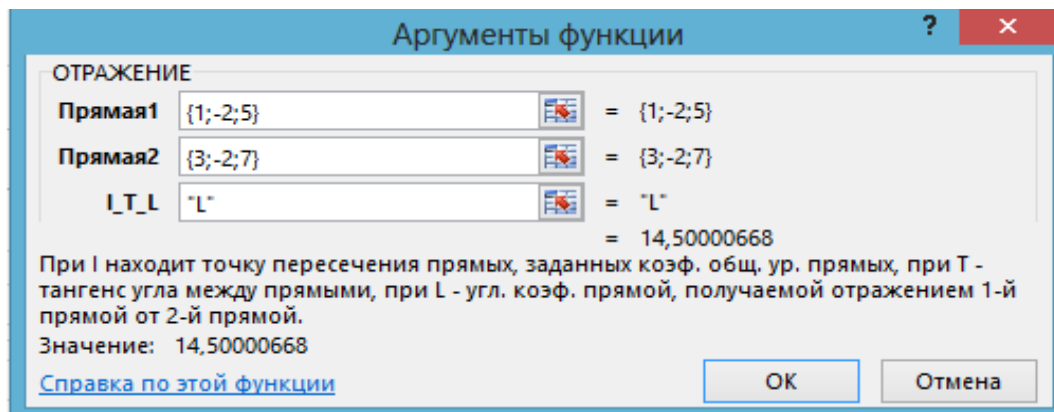


Рис. 1.2 – Второе применение функции ОТРАЖЕНИЕ в задаче 1.1

Остается выписать ответ: $y-2=14,5(x+1)$.

Если надо найти тангенс угла между заданными прямыми, то применяется функция ОТРАЖЕНИЕ, когда значение последнего параметра "Т":

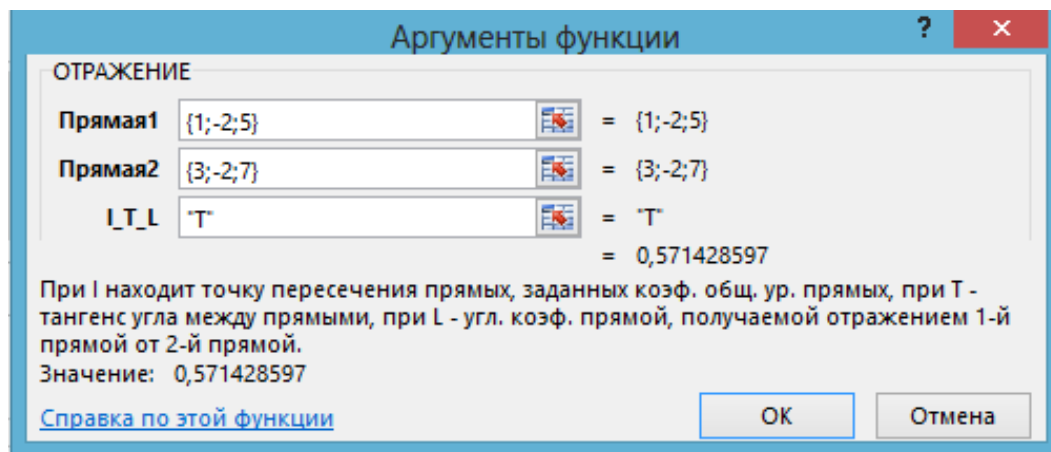


Рис. 1.3 – Нахождение тангенса угла между прямыми

Переход к дробному формату дает:

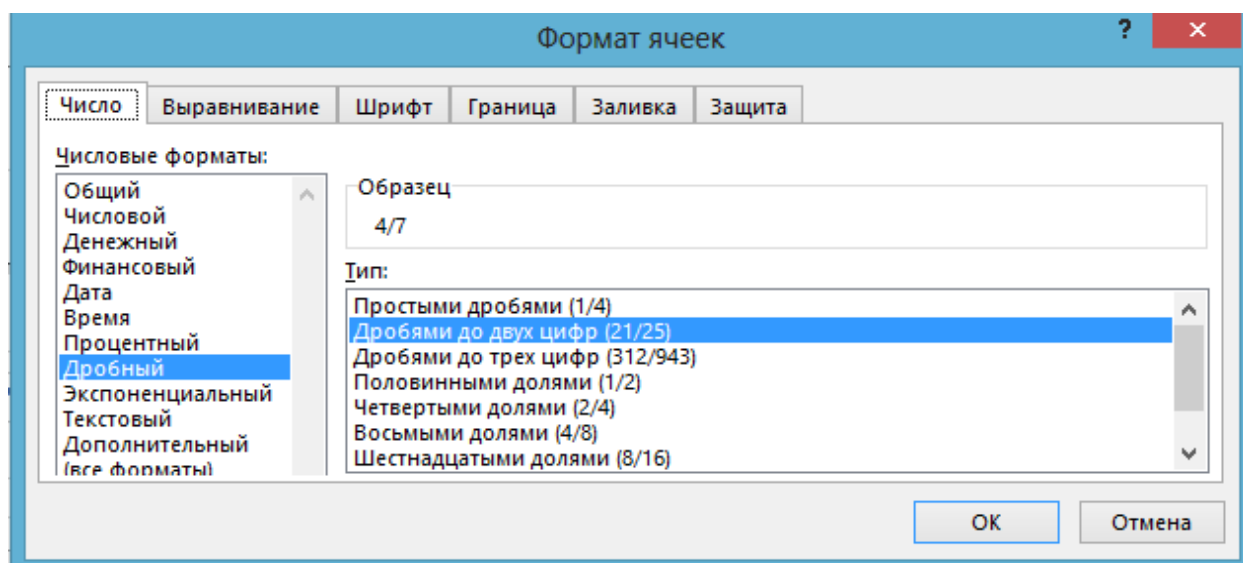


Рис. 1.4 – Диалоговое окно «Формат ячеек»

Задача 1.2. Из точки $M(5, 4)$ выходит луч света под углом $\varphi = \arctg 2$ к оси Ox и отражается от нее. Написать уравнение отраженного луча.

Технология решения. Уравнение падающего луча $y-4=2(x-5)$, подстановка $y=0$ дает $x=3$. Вызывается функция ОТРАЖЕНИЕ и вводятся данные:

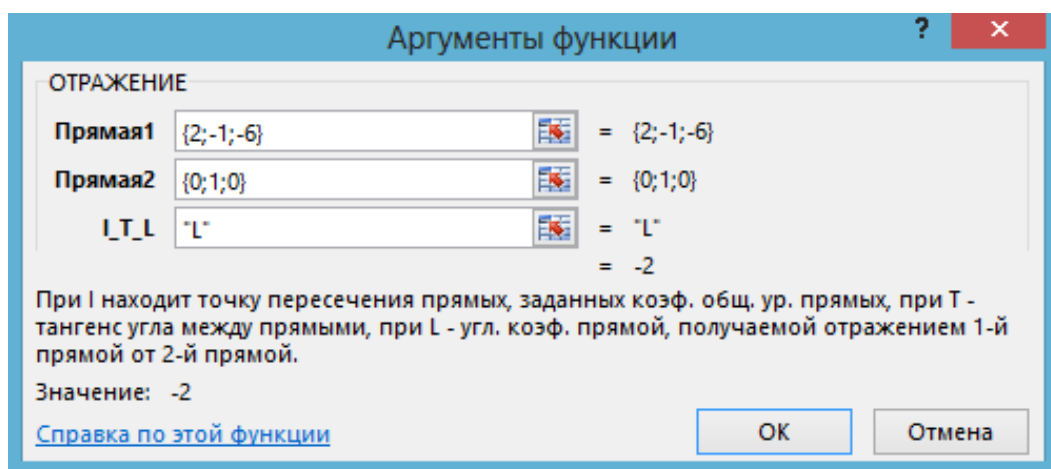


Рис. 1.5 – Применение функции ОТРАЖЕНИЕ в задаче 1.2

Следовательно, уравнение отраженного луча $y=-2(x-3)$.

Пользовательская функция СКРЕЩ

Пусть прямая a задана точкой $M(x_1, y_1, z_1)$ и направляющим вектором $\bar{a} = \{a_1, a_2, a_3\}$, а прямая b задана точкой $P(x_2, y_2, z_2)$ и направляющим вектором $\bar{b} = \{b_1, b_2, b_3\}$, причем векторы $\overline{MP}, \bar{a}, \bar{b}$ – линейно независимые, то есть прямые a и b являются скрещивающимися. Тогда расстояние d между ними вычисляется [5, С. 39] по формуле:

$$d = \frac{|\overline{MP} \cdot \bar{a} \cdot \bar{b}|}{|[\bar{a}, \bar{b}]|} \quad (2.1)$$

Направляющим вектором общего перпендикуляра прямых a и b является вектор $\bar{c} = [\bar{a}, \bar{b}]$. Общий перпендикуляр является пересечением плоскостей, первая из которых определяется точкой М и векторами \bar{a} и \bar{c} , а вторая точкой Р и векторами \bar{b} и \bar{c} .

Расстояние h от точки М до прямой, заданной точкой Р и вектором \bar{b} , находится [1, С. 67] по формуле:

$$h = \frac{|[\overline{OM} - \overline{OP}, \bar{b}]|}{|\bar{b}|} \quad (2.2)$$

Программный код функции СКРЕЩ, возвращающей или величину расстояния между скрещивающимися прямыми, или координаты точки, через которую проходит общий перпендикуляр скрещивающихся прямых, или направляющий вектор их общего перпендикуляра, или параметрические уравнения их общего перпендикуляра, или расстояние от точки 1 до второй прямой, имеет вид, приведенный в листинге 2.1.

Листинг 2.1. Код функции СКРЕЩ и ее описания

```
Function СКРЕЩ(Точка1() As Variant, Вектор1() As Variant, _
Точка2() As Variant, Вектор2() As Variant, D_P_C_L_H _
As String)
Dim M(1 To 3) As Variant, a(1 To 3) As Variant
Dim P(1 To 3) As Variant, b(1 To 3) As Variant
Dim c(1 To 3) As Variant
Dim r(1 To 3) As Variant
Dim g(1 To 3) As Variant
Dim Q(1 To 3) As Variant
Dim X(1 To 3) As Variant
For i = 1 To 3
M(i) = Точка1(i)
a(i) = Вектор1(i)
P(i) = Точка2(i)
b(i) = Вектор2(i)
Next
If a(1) = a(2) = a(3) = 0 Then a(1) = 1
c(1) = a(2) * b(3) - a(3) * b(2)
c(2) = a(3) * b(1) - a(1) * b(3)
c(3) = a(1) * b(2) - a(2) * b(1)
S = (c(1) ^ 2 + c(2) ^ 2 + c(3) ^ 2) ^ (1 / 2)
r(1) = P(1) - M(1): r(2) = P(2) - M(2): r(3) = P(3) - M(3)
g(1) = a(2) * c(3) - a(3) * c(2)
g(2) = a(3) * c(1) - a(1) * c(3)
g(3) = a(1) * c(2) - a(2) * c(1)
h = M(1) * g(1) + M(2) * g(2) + M(3) * g(3)
h = h - P(1) * g(1) - P(2) * g(2) - P(3) * g(3)
t = h / (b(1) * g(1) + b(2) * g(2) + b(3) * g(3))
Q(1) = P(1) + b(1) * t
Q(2) = P(2) + b(2) * t
Q(3) = P(3) + b(3) * t
For i = 1 To 3
c(i) = Round(c(i), 4)
Q(i) = Round(Q(i), 4)
Next
Select Case D_P_C_L_H
Case "D"
СКРЕЩ = (c(1) * r(1) + c(2) * r(2) + c(3) * r(3)) / S
СКРЕЩ = Abs(СКРЕЩ)
```

```

Case "P":СКРЕЩ = Q
Case "C":СКРЕЩ = c
Case "L"
For i = 1 To 3
If c(i) < 0 Then
X(i) = Q(i) & "-" & -c(i) & "t"
Else
X(i) = Q(i) & "+" & c(i) & "t"
End If
Next
СКРЕЩ = X
Case "H"
СКРЕЩ = ((r(2)*b(3)-r(3)*b(2))^2 + _
(r(1)*b(3)-r(3)*b(1))^2+ _
(r(1)*b(2)-r(2)*b(1))^2)^(1/2)/ _
(b(1)^2+b(2)^2+b(3)^2)^(1/2)
СКРЕЩ=Round(СКРЕЩ,4)
End Select
End Function
Sub InstallFunc2()
Application.MacroOptions Macro="СКРЕЩ", Description:= _
"При D находит расстояние между скрещивающимися прямыми," & _
"при P - точку их общего перпендикуляра, при C - " & _
"направляющий вектор этого перпендикуляра, при L - " & _
"уравнение перпендикуляра, при H - расстояние от точки 1 " & _
"до 2-ой прямой"
End Sub

```

Задача 2.1. Заданы прямые:

$$\frac{x+7}{3} = \frac{y+4}{4} = \frac{z+3}{-2}, \quad \frac{x-21}{6} = \frac{y+5}{-4} = \frac{z-2}{-1}.$$

Применяя функцию СКРЕЩ, найти:

- 1) расстояние между прямыми;
- 2) координаты точки, через которую проходит их общий перпендикуляр;
- 3) координаты направляющего вектора их общего перпендикуляра;
- 4) параметрические уравнения их общего перпендикуляра.

Технология решения. 1) Вызывается функция СКРЕЩ, вводятся данные задачи и "D":

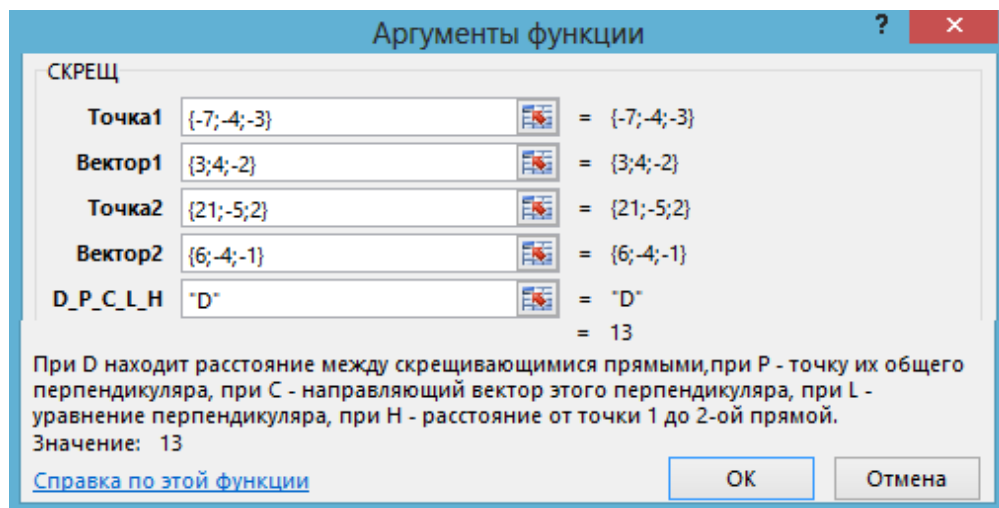


Рис. 2.1 – Применение функции СКРЕЩ в задаче 2.1.1

- 2) Вызывается функция СКРЕЩ, вводятся данные задачи и "P":

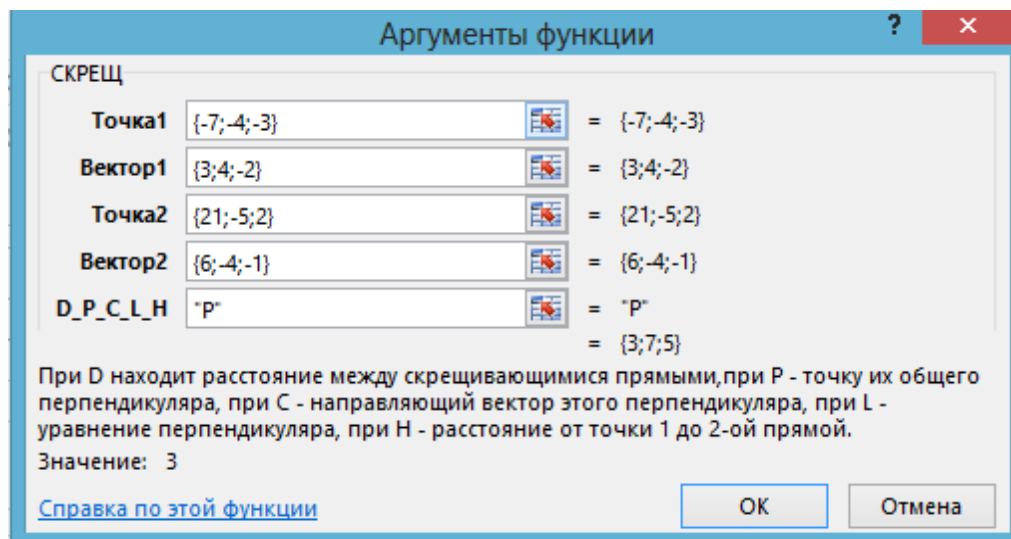


Рис. 2.2 – Применение функции СКРЕЩ в задаче 2.1.2

3) Вызывается функция СКРЕЩ, вводятся данные задачи и “С”:

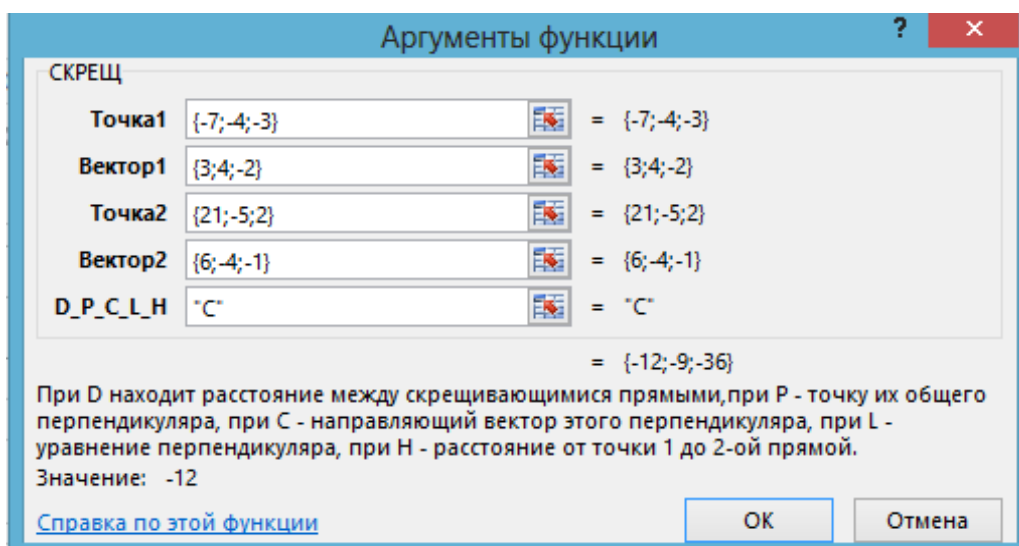


Рис. 2.3 – Применение функции СКРЕЩ в задаче 2.1.3

4) Вызывается функция СКРЕЩ, вводятся данные задачи и “L”:

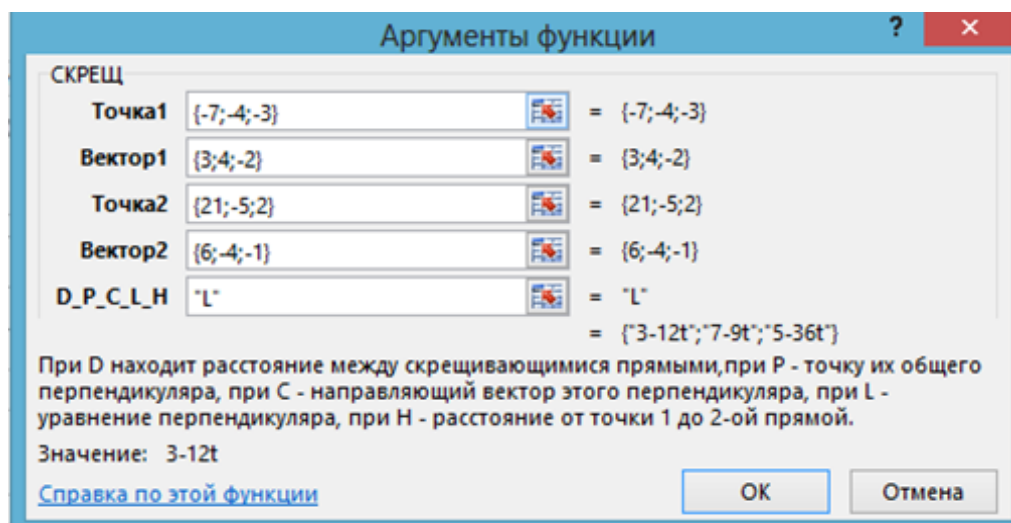


Рис. 2.4 – Применение функции СКРЕЩ в задаче 2.1.4

Задача 2.2. Применяя функцию СКРЕЩ, найдите расстояние от точки М(0, 2, 3) до прямой:

$$\frac{x-3}{2} = \frac{y-1}{1} = \frac{z+1}{2}.$$

Технология решения. Вызывается функция СКРЕЩ, вводятся данные задачи и "Н":

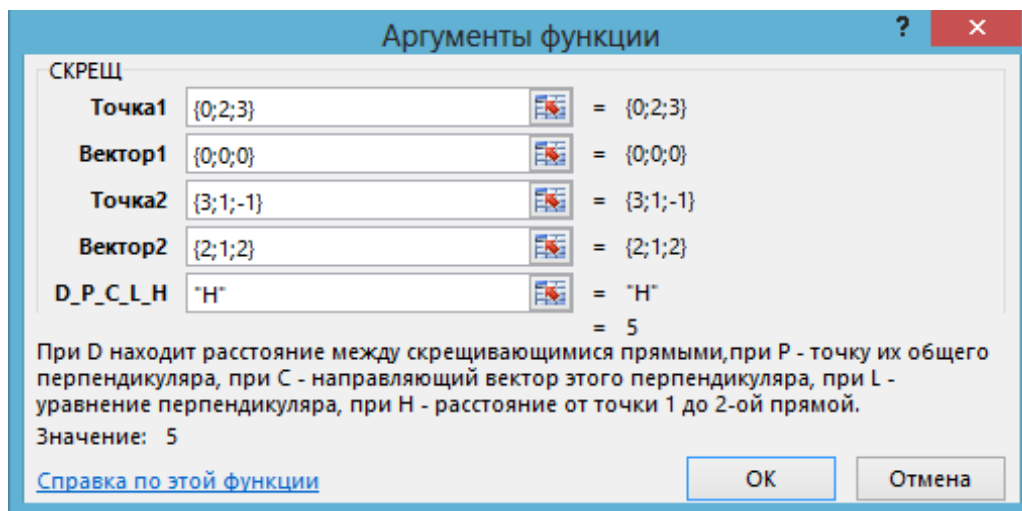


Рис. 2.5 – Применение функции СКРЕЩ в задаче 2.2

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Беклемишев Д.В. Курс аналитической геометрии и линейной алгебры. / Д. В. Беклемишев – М.: «Наука», 1976. – 320с.
2. Гарбер Г.З. Основы программирования на Visual Basic и VBA Excel 2007. / Г. З. Гарбер – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2008. – 192 с.
3. Гарнаев А.Ю. MS Excel 2002: разработка приложений. / А. Ю. Гарнаев – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 768 с.
4. Дьяконов В.П. Mathematica 5/6/7. Полное руководство. / В. П. Дьяконов – М.: ДМК Пресс, 2010. 624 с.
5. Ефимов А.В. Сборник задач по математике для вузов. В 4 частях. Ч. 1: Учебное пособие для вузов / Под общ. ред. А. В. Ефимова и А. С. Поспелова. – 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Издательство Физико-математической литературы, 2003. – 288 с.
6. Клетеник Д.В. Сборник задач по аналитической геометрии: Учебное пособие. 17-е изд., стер. / По ред. Н. В. Ефимова. – СПб.: Издательство «Лань», 2016. – 224 с.
7. Сдвижков О.А. Excel-VBA. Словарь-справочник пользователя / О.А. Сдвижков – М.: Эксмо, 2008.
8. Сдвижков О.А. MATHCAD-2000. / О.А. Сдвижков – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2002. – 204 с.
9. Сдвижков О.А. Математика на компьютере: Maple 8. / О.А. Сдвижков – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2003. – 176 с.
10. Сдвижков О.А. Аналитическая геометрия (пользовательские функции) [Электронный ресурс] – URL: https://oas.ucoz.com/load/analiticheskaja_geometrija_polzovatel'skie_funkcii/1-1-0-31 (дата обращения: 14.10.2020)

Список литературы на английском языке / References in English

1. Beklemishev D. V. Kurs analiticheskoi geometrii i lineinoi algebr [Course in Analytical Geometry and Linear Algebra] / D. V. Beklemishev — M.: "Nauka", 1976 – 320 p. [in Russian]
2. Garber G. Z. Osnovy programmirovaniia na Visual Basic i VBA Excel 2007 [Basics of Programming in Visual Basic and VBA Excel 2007] / G. Z. Garber — M.: SOLON-PRESS, 2008. - 192 p. [in Russian]
3. Garnaev A. Yu. MS Excel 2002: razrabotka prilozhenii [MS Excel 2002: Application Development] / A. Yu. Garnaev — SPb.: BHV-Peterburg, 2003. — 768 p. [in Russian]
4. Diakonov V. P. Mathematica 5/6/7. Polnoe rukovodstvo [Mathematica 5/6/7. A Complete Guide.] / V. P. Diakonov — M.: DMK Press, 2010. 624 p. [in Russian]
5. Efimov, A. V. Sbornik zadach po matematike dlia vuzov. V 4 chastiakh. Ch. 1: Uchebnoe posobie dlia vtuzov [Collection of Problems in Mathematics for Higher Education Institutions. In 4 Parts. Part 1: A Textbook for Higher Education Institutions] / A. V. Efimov et al. Edited by A. V. Efimov and A. S. Pospelova. – 4th Edition. Revised and Updated. M.: Publ. house of Fiz-math literature, 2003, 288 p. [in Russian]
6. Kletenik D. V. Sbornik zadach po analiticheskoi geometrii: Uchebnoe posobie [Collection of Problems in Analytical Geometry: a Textbook] / D. V. Kletenik. Edited by N. N. Efimov. 17th Edition, print run. — SPb: Publ. house "Lan", 2016. - 224 p. [in Russian]
7. Sdvizhkov O. A. Excel-VBA Slovar'-spravochnik pol'zovatel'ia [Excel-VBA. A Reference Book] / O. A. Sdvizhkov — M.: Eksmo, 2008. [in Russian]
8. Sdvizhkov O. A. MATHCAD-2000. / O. A. Sdvizhkov — M.: Publ. house «Dashkov i K°», 2002. - 204 p. [in Russian]
9. Sdvizhkov O. A. Matematika na komp'utere: Maple 8 [Mathematics on the computer: Maple 8] / O. A. Sdvizhkov — M.: SOLON-PRESS, 2003. - 176 p. [in Russian]
10. Sdvizhkov O. A. Analiticheskaja geometriia (pol'zovatel'skie funktsii) [Analytical geometry (user-defined functions)] [Electronic resource] — URL: https://oas.ucoz.com/load/analiticheskaja_geometrija_polzovatel'skie_funkcii/1-1-0-31 (accessed: 14.10.2020) [in Russian]

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.101.11.002>

ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА В РОССИИ

Научная статья

Барышев Е.Е.^{1,*}, Малых Д.А.², Тягунов Г.В.³, Якшина Н.В.⁴¹ ORCID: 0000-0002-6001-563X;^{1, 2, 3, 4} Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

* Корреспондирующий автор (e.e.baryshev[at]urfu.ru)

Аннотация

Проанализирована статистика несчастных случаев на производстве в России и в мире. Выявлено устойчивое сокращение общего числа случаев производственного травматизма в период с 2010 по 2015 года. Наибольший темп снижения числа производственных травм наблюдается в России – за 6 лет произошло сокращение в 1,55 раза, также в 1,5 раза сократилось число летальных случаев. Несмотря на снижение общего уровня производственного травматизма, Россия является лидером по относительному числу смертей на рабочем месте, приходящемуся на 100000 работающих. Причиной высокой доли смертельных травм может являться сокрытие легких несчастных случаев.

Ключевые слова: Россия, производственный травматизм, смертельный случай, статистика.

CHARACTERISTICS OF OCCUPATIONAL INJURIES IN RUSSIA

Research article

Baryshev E.E.^{1,*}, Malykh D.A.², Tyagunov G.V.³, Yakshina N.V.⁴¹ ORCID: 0000-0002-6001-563X;^{1, 2, 3, 4} Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

* Corresponding author (e.e.baryshev[at]urfu.ru)

Abstract

The article analyzes the statistics of industrial accidents in Russia and worldwide. The study notes a steady decrease in the total number of occupational injuries in the period from 2010 to 2015. The highest rate of decline in the number of industrial injuries is observed in Russia – in the course of 6 years there has been a reduction by 1.55 times, while the number of fatal cases has also decreased by 1.5 times. Despite the decline in the overall level of occupational injuries, Russia remains a leading country in the relative number of workplace deaths per 100,000 employees. A high proportion of fatal injuries may be caused by concealing minor accidents.

Keywords: Russia, occupational injuries, fatalities, statistics.

Уровень производственного травматизма в стране зависит от современного состояния условий труда, организации трудового процесса и характера труда на объекте. Этот показатель динамично реагирует на все изменения, связанные с технологическим процессом, организацией работ и т.п. Зная динамику его изменения, можно оценить целесообразность предпринимаемых государством мер [1].

Анализ несчастных случаев является одним из основных путей предотвращения травматизма, так как для снижения числа производственных травм и выработки необходимых профилактических мер необходимо знать причины возникновения несчастного случая. Таким образом, основой всех организационно-технических мероприятий по обеспечению безопасности труда как во всей стране, так и в отдельной организации является всесторонний, комплексный анализ потенциального риска и опасности несчастных случаев на производстве как в количественном, так и в качественном отношении.

Анализируя статистику несчастных случаев, можно выявить опасные точки производства, опасные виды работ и типичные ситуации, при которых происходят несчастные случаи, типичные дни и часы происшествий, их причины. Затем, используя полученные данные, можно определить наиболее травмоопасные места производства, опасные профессии, опасные виды работ и получать прочие сведения, на основе которых проводится профилактика производственного травматизма.

К сожалению, статистические данные о несчастных случаях на производстве, предоставляемые предприятиями, зачастую не являются полными. Так, в 2016 году в ходе осуществления системных мероприятий по выявлению фактов сокрытия работодателями несчастных случаев на производстве должностными лицами федеральной инспекции труда было выявлено и расследовано в установленном порядке 726 сокрытых несчастных случая на производстве, включая 213 несчастных случаев со смертельным исходом [2].

В таких условиях для оценки достоверности статистики производственного травматизма можно использовать методику Международной организации труда (МОТ). Она основывается на положении о том, что травматизм с летальным исходом регистрируется более достоверно, чем общий травматизм (особенно с легким исходом) [3], [4]. Следовательно, наиболее объективную оценку уровня состояния охраны труда в России можно дать, используя статистику производственных несчастных случаев со смертельным исходом.

В данной работе поставлена задача изучения ситуации с производственным травматизмом в России и в мире и установления особенностей статистических показателей смертельного травматизма в разных странах.

Рассмотрим данные, представленные МОТ, которые демонстрируют уровень производственного травматизма за 2010–2015 года в таких странах как США, Германия и Россия [5] (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Динамика показателей частоты несчастных случаев на производстве в различных странах за 2010 – 2015 гг. (на 100 тыс. работников)

Страна	Травматизм по годам					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Общий производственный травматизм						
США	1105,5	1005,1	1005	1005	1005,3	904,8
Германия	1976,7	2059	1956,8	1899,7	1856,8	1811,6
Россия	209	209	188	167,2	144,9	134,8
Производственный травматизм со смертельным исходом						
США	5,5	5,1	5	5	5,3	4,8
Германия	1,2	1,2	1,2	1	1,1	1
Россия	9	9	8	8	7	6
Доля травм со смертельным исходом, %						
США	0,498	0,507	0,498	0,498	0,527	0,531
Германия	0,061	0,058	0,061	0,053	0,059	0,055
Россия	4,31	4,31	4,26	4,79	4,83	4,45

Анализируя приведенные выше данные, можно сказать об устойчивом сокращении общего числа случаев производственного травматизма в период с 2010 по 2015 года. Наибольший темп снижения числа производственных травм наблюдается в России – за 6 лет произошло сокращение в 1,55 раза, также в 1,5 раза сократилось число летальных случаев.

Однако, из числа рассмотренных стран, Российская Федерация лидирует по числу производственных травм со смертельным исходом. Среднее число погибших на производстве за приведенный период (в расчете на 100 тыс. человек) в России равно 7,83, против 1,12 в Германии и 5,12 в США.

Таким образом, можно заключить, что из рассмотренных стран, несмотря на снижение общего уровня производственного травматизма, Россия является лидером по числу смертей на рабочем месте.

Рассмотрим динамику общей численности пострадавших от несчастных случаев на производстве и числа смертельных несчастных случаев на производстве в Российской Федерации по данным Росстата за 2000–2018 года [6] (см. рисунки 1, 2).

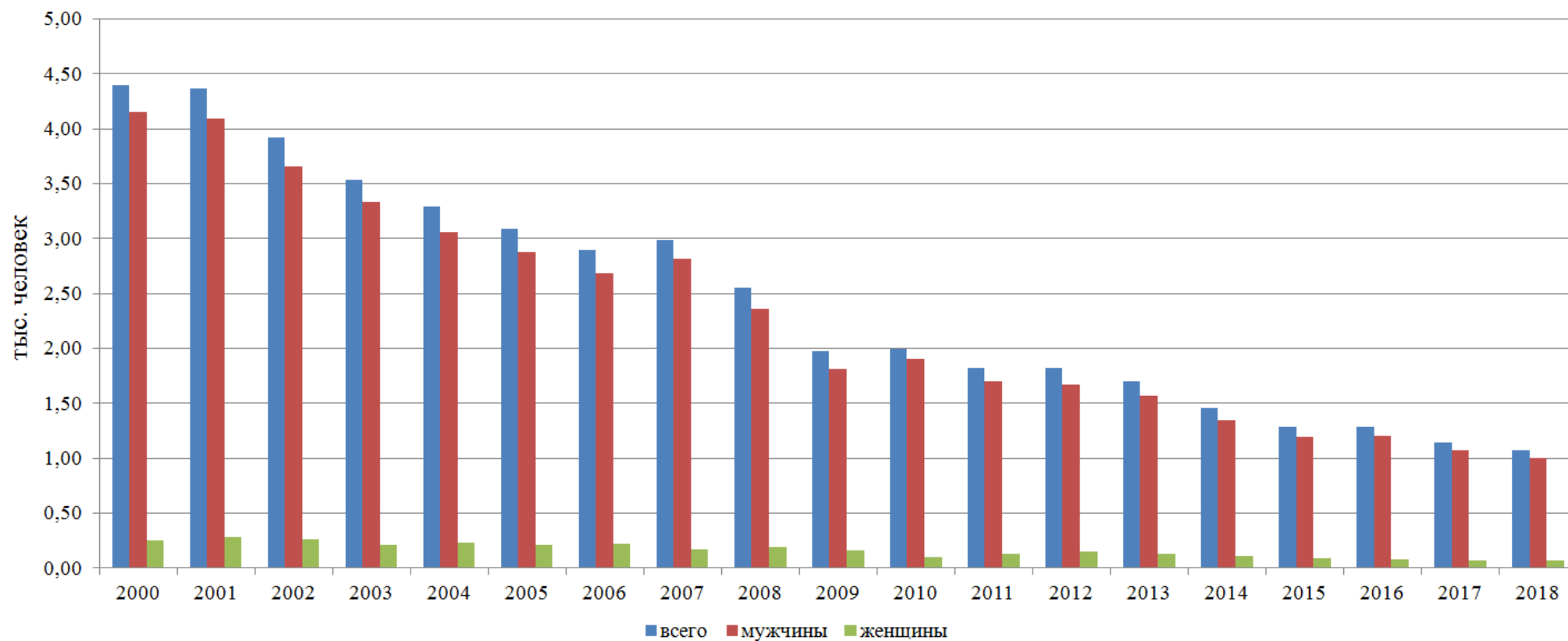


Рис. 1 – Динамика числа пострадавших от несчастных случаев на производстве в Российской Федерации по данным Росстата за 2000 – 2018 года

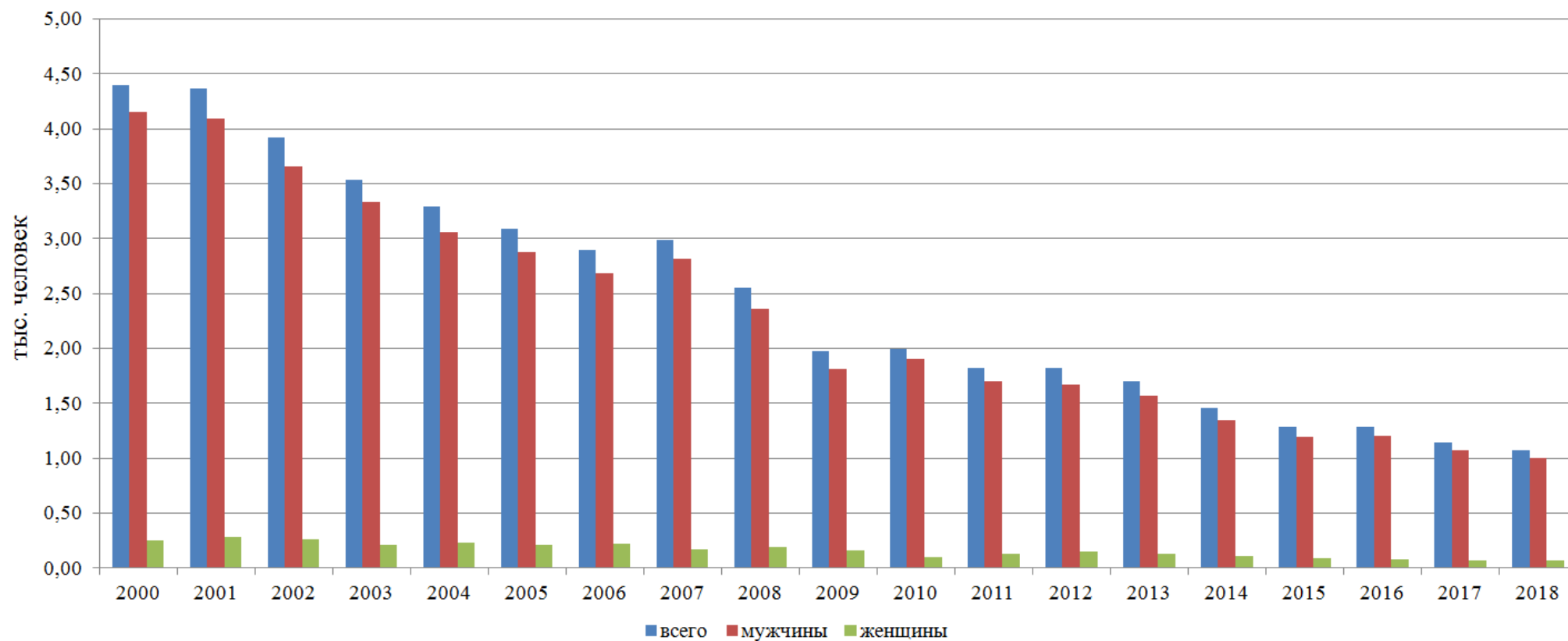


Рис. 2 – Динамика числа смертельных несчастных случаев на производстве в Российской Федерации по данным Росстата за 2000 – 2018 года

Анализируя представленные данные, можно сделать следующие выводы. В период с 2000 по 2018 года число несчастных случаев на производстве в России сократилось в 6,6 раза, количество несчастных случаев с летальным исходом уменьшилось в 4,1 раза. Коэффициент частоты несчастных случаев, приходящийся на 1000 работающих, также снизился в 4,3 раза. Коэффициент частоты смертельных несчастных случаев, приходящийся на 1000 работающих, снизился в 2,8 раза.

Следует отметить, что, несмотря на положительную динамику сокращения уровня производственного травматизма за период с 2000 года по 2018 год, доля смертельных несчастных случаев возросла практически в 1,5 раза, с 2,9% до 4,53% (см. рисунок 3).

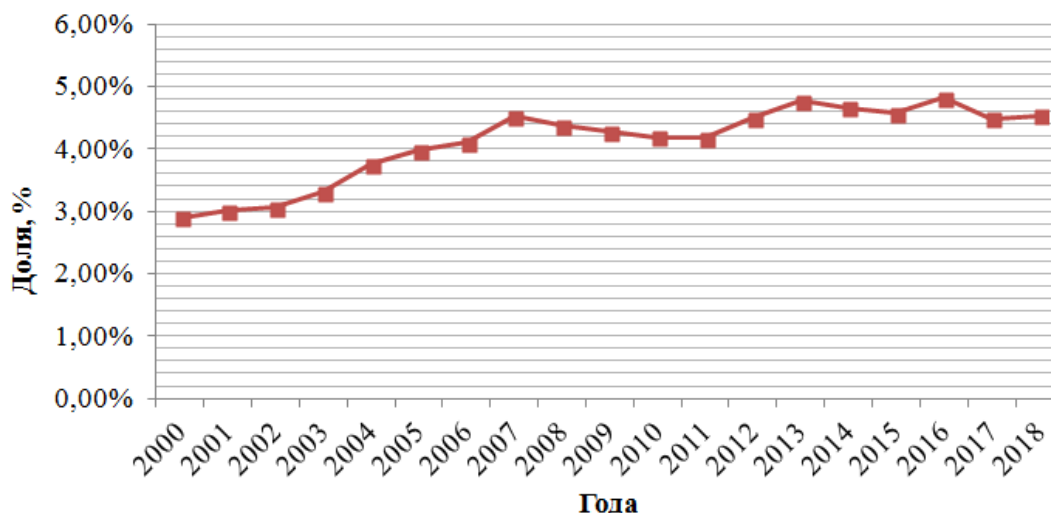


Рис. 3 – Динамика доли смертельных несчастных случаев на производстве в общем числе производственных несчастных случаев в Российской Федерации по данным Росстата за 2000 – 2018 года

Рассмотрим динамику числа человеко-дней нетрудоспособности у пострадавших на производстве в расчете на одного пострадавшего (см. рисунок 4).

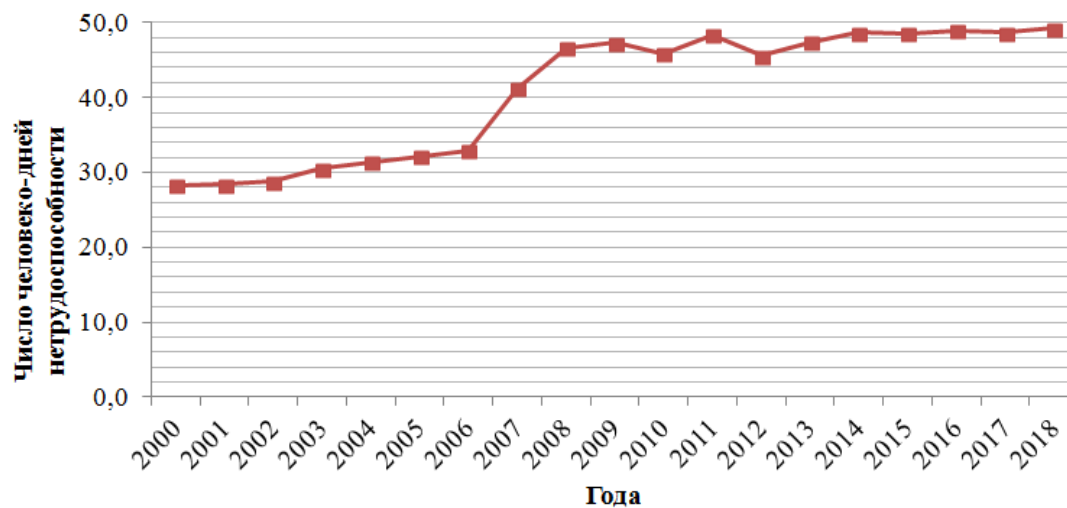


Рис. 4 – Динамика числа человеко-дней нетрудоспособности у пострадавших на производстве в расчете на одного пострадавшего

Можно заметить, что данный показатель за рассматриваемый период увеличился приблизительно в 2 раза, с 28,3 человеко-дней до 49,3 человеко-дней. Это также возможно связано с сокрытием легких производственных травм и, как следствие, с высокой долей тяжелых травм в статистике производственного травматизма.

Исследователи в данной области отмечают, что за период с 2004 г. по 2010 г. доля лиц, работающих в условиях, не отвечающих санитарно-гигиеническим нормативам, выросла во многих областях производства. Так, к примеру, в организациях по добыче полезных ископаемых, рост составил около 27%, а в строительстве даже более 70%. Кроме того, отмечается рост удельного веса работников, занятых тяжелым физическим трудом. Для мужчин этот показатель вырос в 1,9 раза, а для женщин в 2,6 раза [7]. Если же взять удельный вес работников, занятых на работах во вредных и (или) опасных условиях труда в целом по Российской Федерации, то в 2015 года он составил 39% [8].

В отношении несчастных случаев следует отметить еще одну негативную тенденцию. За рассматриваемый период доля несчастных случаев, произошедших с женщинами, увеличилась на 6%. Если в 2000 году практически каждый четвертый несчастный случай приходился на женщину, то в 2018 году это был уже каждый третий несчастный случай. За 2000–2018 года доля смертельных несчастных случаев, произошедших с женщинами, увеличилась с 5,6% в 2000 году до 6,5% в 2018 году [9], [10].

Безусловно, все вышесказанное не может не отразиться на количестве несчастных случаев на производстве.

Производственный травматизм является прямым следствием неудовлетворительных условий и охраны труда. Действительно, только в 2018 г. в России в результате проведенных 136,8 тыс. проверок госинспекторами труда было выявлено более 323 тыс. нарушений трудовых прав работников.

Анализ результатов надзорной деятельности государственных инспекций труда в субъектах Российской Федерации свидетельствует, что причинами и условиями сохраняющейся массовости нарушений трудового законодательства являются [11]:

- неисполнение должностными лицами работодателя своих должностных обязанностей (недостаточное знание положений трудового законодательства);
- слабая дисциплина труда;
- желание работодателей свести к минимуму расходы на юридическую службу и грамотное кадровое обеспечение своей организации;
- низкая активность представителей малого бизнеса при проведении семинаров, совещаний по вопросам разъяснения действующих норм трудового и административного законодательства Российской Федерации;
- отсутствие четко проработанных и эффективных механизмов, способствующих стимулированию работодателя по соблюдению трудового законодательства;
- нестабильное финансовое состояние организаций (отсутствие заказов и прекращение работы предприятий, применение процедур банкротства);
- отсутствие системы управления охраной труда, как основного фундамента соблюдения трудового законодательства;
- отсутствие информированности руководителей и специалистов организаций по вопросам трудового законодательства и иных нормативных правовых актов, содержащих нормы трудового права;
- нежелание работодателей связывать себя дополнительными обязательствами перед работниками, внедрять цивилизованные правила социального партнерства, особенно в негосударственном секторе экономики.

Таким образом, можно сделать вывод, что к числу причин нарушений трудового законодательства, которые напрямую связаны с вопросами охраны труда, относятся слабая дисциплина труда, а иногда и полное отсутствие системы управления охраной труда.

Одним из современных методов снижения производственного травматизма является концепция нулевого травматизма («Vision Zero»), которая представляет качественно новый подход, объединяющий три направления – безопасность, гигиену труда и благополучие работников на всех уровнях производства. Основой данного подхода является стратегия: «Никто не должен умереть или получить травму в процессе совершения своей работы».

В разных странах эта концепция имеет свои особенности. Так, в Японии, концепция нулевого травматизма – это сочетание философии и эффективных технологий. В Швеции в соответствии с новой стратегией, человеческий фактор, то есть несовершенство самого человека, принимают как данность и ему дается право на ошибку. А для достижения нулевого травматизма повышенные требования предъявляют к разработчикам технологических систем [12].

В свою очередь, разработанная Международной ассоциацией социального обеспечения (МАСО) концепция Vision Zero предлагает следующие семь «золотых правил», реализация которых будет содействовать работодателю в снижении показателей производственного травматизма и профессиональной заболеваемости:

1. Стать лидером – показать приверженность принципам. Данная рекомендация устанавливает ответственность руководства за безопасность на предприятии, в том числе и на личном примере. Руководитель должен сделать безопасность приоритетным направлением развития своего предприятия, поощряя при этом безопасное поведение работников.

2. Выявлять угрозы – контролировать риски. Данное правило заключается в идентификации опасностей и рисков на производстве, причем выполнение этой процедуры необходимо осуществлять систематически и регулярно. Важно, что для данной процедуры необходимо привлекать самих работников и учитывать различные психологические аспекты.

3. Определять цели – разрабатывать программы. При определении целей в области безопасности необходимо расставлять акценты и устанавливать приоритеты. Это позволит экономить ресурсы и сделать процесс обеспечения безопасности более эффективным.

4. Создать систему безопасности и гигиены труда – достичь высокого уровня организации. Четко разработанная система управления безопасностью позволит исключить причины организационного характера, приводящие к несчастным случаям на производстве.

5. Обеспечивать безопасность и гигиену на рабочих местах, при работе со станками и оборудованием. В этом случае необходимо соблюдать приоритетность при выборе средств защиты: на первом месте стоят технические решения (наилучшее решение – изменить технологию так, чтобы устранить опасность), далее идут организационные меры, а когда эти решения не смогут обеспечить защиту – использование средств индивидуальной защиты.

6. Повышать квалификацию – развивать профессиональные навыки. Это правило означает систематическое повышение квалификации, в том числе и в области обеспечения безопасного проведения работ, всеми сотрудниками предприятия.

7. Инвестировать в кадры – мотивировать посредством участия. Необходимо использовать знания, опыт, наблюдения своих сотрудников о тех рисках, с которыми им приходится сталкиваться на рабочих местах. Тем самым можно изменить отношение работающих к безопасности с пассивного на активное, и вовлечь их в процесс совместного участия в мероприятиях по снижению травматизма.

Для нашей страны, имеющей богатую историю в области охраны труда, которую можно отсчитывать, начиная с М.В. Ломоносова, впервые описавшего в своем труде «Первые основания металлургии или рудных дел» безопасность проводимых работ еще в 1742 году, в концепцию «Нулевого травматизма» необходимо включать свои особенности.

Одна из них – усиление роли непосредственного руководителя работ (технолога, механика, мастера и др.) в системе управления охраной труда. Контрольная система в сфере охраны труда, которая включает в себя три уровня контроля, была разработана еще в период существования СССР. Не являясь обязательной для всех предприятий, она признана эффективным инструментом охраны труда.

В концепции «Нулевого травматизма» данный уровень контроля является весьма прогрессивным с точки зрения уменьшения производственного травматизма. Ведь именно линейный руководитель сможет сформулировать перед работником конкретную задачу, определяя и контролируя при этом безопасность при ее выполнении, в то время как высшее руководство занимается решением общепроизводственных задач.

Таким образом, можно сделать следующий вывод. Ситуация с несчастными случаями на производстве в нашей стране носит катастрофический характер. Одной из групп причин, которые оказывают существенное влияние на количество несчастных случаев, являются причины организационного характера, такие как отсутствие системы управления охраной труда, как основного фундамента соблюдения трудового законодательства и слабая дисциплина труда. Одним из вариантов решения данной проблемы является внедрение концепции «Нулевого травматизма», которая позволит предотвратить производственный травматизм в целом, обеспечивая устойчивую трудовую деятельность работников и поддерживая благоприятный психологический климат в коллективе.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Бухтияров И.В. Производственный травматизм как критерий профессионального риска / И. В. Бухтияров, Н. Ф. Измеров, Г. И. Тихонова А. Н. Чуранова // Проблемы прогнозирования. – 2017. – № 5. – С. 140-149.
2. Обзор анализа правоприменительной практики контрольно-надзорной деятельности в сфере труда и расследования несчастных случаев, в том числе в целях выявления и устранения устаревших, дублирующих и избыточных обязательных требований, устранения избыточных контрольно-надзорных функций : Доклад с обзором анализа правоприменительной практики контрольно-надзорной деятельности в сфере труда и расследования несчастных случаев : Федеральная служба по труду и занятости. – опублик. 17.05.2017.
3. Евстигнеева Ю. В. Россия: современный уровень производственного травматизма со смертельным исходом [Электронный ресурс] / Ю. В. Евстигнеева, Н. А. Евстигнеева // Международный студенческий научный вестник. – 2017. – № 4-4. – URL: <http://eduherald.ru/ru/article/view?id=17417> (дата обращения: 22.07.2020).
4. Лукьянчикова Т. Л. Компаративистский анализ производственного травматизма: Россия и мир / Т. Л. Лукьянчикова, Т. Н. Ямщикова, Н. В. Клецова // Экономика труда. – 2018. – № 3 (т.5). – С. 647–662. doi 10.18334/et.5.3.39334.
5. Free and open access to labour statistics [Электронный ресурс] // International Labour Organization – URL: <https://ilostat.ilo.org/data/> – (дата обращения: 1.05.2020).
6. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики [Электронный ресурс] – URL: <https://www.gks.ru/statistic> – (дата обращения: 01.05.2020).
7. Измеров Н. Ф. Условия, охрана труда и производственный травматизм в России / Н. Ф. Измеров, Г. И. Тихонова, А. Н. Чуранова, Т. Ю. Горчакова // Здравоохранение Российской Федерации. – 2013. – № 1. – С. 3-7.
8. Самарская Н.А. Состояние условий и охраны труда в современной России / Н. А. Самарская // Экономика труда. – 2017. – Том 4. – № 3. – С. 209-222. – doi: 10.18334/et.4.3.38310.
9. Официальный сайт Федеральной служба по труду и занятости [Электронный ресурс] – URL: <https://www.rostrud.ru/rostrud/> – (дата обращения: 1.05.2020).
10. Официальный сайт Фонда социального страхования Российской Федерации [Электронный ресурс] – URL: <https://fss.ru/ru/statistics/index.shtml> – (дата обращения: 1.05.2020).
11. Общие сведения об осуществлении государственного надзора за соблюдением работодателями трудового законодательства и иных нормативных правовых актов, содержащих нормы трудового права: отчет о деятельности Федеральной службы по труду и занятости за 2018 год. – М., 2019. – 187 с.
12. Кузнецова Е.А. «Нулевой травматизм»: история и современность / Е.А. Кузнецова // Экономика труда. – 2018. – Том 5. – № 2. – С. 521-540. – doi: 10.18334/et.5.2.39212.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Buhtiarov I.V. Proizvodstvennyy travmatizm kak kriteriy professional'nogo riska [Industrial injuries as a criterion of occupational risk] / I. V. Buhtiarov and others // Forecasting problems. – 2017. – № 5. – P. 140-149. [in Russian]
2. Obzor analiza pravoprimeritel'noy praktiki kontrol'no-nadzornoj deyatel'nosti v sfere truda i rassledovaniya neschastnykh sluchayev, v tom chisle v tselyakh vyyavleniya i ustraneniya ustarevshikh, dubliruyushchikh i izbytochnykh obyazatel'nykh trebovaniy, ustraneniya izbytochnykh kontrol'no-nadzornykh funktsiy [Review of the analysis of the law enforcement practice of control and supervisory activities in the field of labor and the investigation of accidents, including in order to identify and eliminate outdated, duplicate and excessive mandatory requirements, eliminate redundant control and supervisory functions] : Report with an overview of the analysis of the law enforcement practice of control and supervisory activities in the world of labor and the investigation of accidents: Federal Service for Labor and Employment. – publ. 17.05.2017. [in Russian]
3. Evstigneeva U. V. Rossiya: sovremennyy uroven' proizvodstvennogo travmatizma so smertel'nyim iskhodom [Russia: current level of fatal occupational injuries] [Electronic resource] / U. V. Evstigneeva, N. A. Evstigneeva // International student scientific bulletin. – 2017. – № 4-4. – URL: <http://eduherald.ru/ru/article/view?id=17417> (accessed: 22.07.2020). [in Russian]
4. Lukyanchikova T. L. Komparativistskiy analiz proizvodstvennogo travmatizma: Rossiya i mir [Comparative analysis of occupational injuries: Russia and the world] / T. L. Lukyanchikova and others // Labor economics. – 2018. – № 3 (V.5). – P. 647–662. doi 10.18334/et.5.3.39334. [in Russian]

5. Free and open access to labour statistics [Electronic resource] // International Labour Organization – URL: <https://ilostat.ilo.org/data/> – (accessed: 1.05.2020).
6. Official website of the Federal State Statistics Service [Electronic resource] – URL: <https://www.gks.ru/statistic> – (accessed: 1.05.2020).
7. Izmerov N. F. Usloviya, okhrana truda i proizvodstvennyy travmatizm v Rossii [Conditions, labor protection and industrial injuries in Russia] / N. F. Izmerov and others // Healthcare of the Russian Federation. – 2013. – № 1. – P. 3-7. [in Russian]
8. Samarskaya N. A. Sostoyaniye usloviy i okhrany truda v sovremennoy Rossii [The state of working conditions and labor protection in modern Russia] / N. A. Samarskaya // Labor economics. – 2017. – V 4. – № 3. – P. 209-222. – doi: 10.18334/et.4.3.38310. [in Russian]
9. Official website of the Federal Service for Labor and Employment [Electronic resource] – URL: <https://www.rostrud.ru/rostrud/> – (accessed: 1.05.2020).
10. Official website of the Social Insurance Fund of the Russian Federation [Electronic resource] – URL: <https://fss.ru/ru/statistics/index.shtml> – (accessed: 1.05.2020).
11. Obshchiye svedeniya ob osushchestvlenii gosudarstvennogo nadzora za soblyudeniym rabotodatelayami trudovogo zakonodatel'stva i inkh normativnykh pravovykh aktov, soderzhashchikh normy trudovogo prava: otchet o deyatel'nosti Federal'noy sluzhby po trudu i zanyatosti za 2018 god [General information on the implementation of state supervision of employers' compliance with labor legislation and other regulatory legal acts containing labor law norms: report on the activities of the Federal Service for Labor and Employment for 2018]. – M., 2019. – 187 p. [in Russian]
12. Kuznetsova E. A. «Nulevoy travmatizm»: istoriya i sovremennost' ["Zero Injury": History and Present // Labor economics. – 2018. – V 5. – № 2. – P. 521-540. – doi: 10.18334/et.5.2.39212. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.101.11.003>

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА МАСКИРУЮЩЕГО СИГНАЛА, ФОРМИРУЕМОГО ГЕНЕРАТОРОМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ШУМА ПРИ УТЕЧКЕ ИНФОРМАЦИИ ПО ТЕХНИЧЕСКИМ КАНАЛАМ

Научная статья

Амосов В.И.¹, Зубков Д.А.^{2,*}, Хломко В.И.³¹ ORCID: 0000-0003-1872-1861;² ORCID: 0000-0003-4711-7479;³ ORCID: 0000-0002-0167-3325;^{1, 2, 3} Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина, Рязань, Россия

* Корреспондирующий автор (zubkov412[at]gmail.com)

Аннотация

Целью настоящей работы является мониторинг маскирующего сигнала, создаваемого генератором электромагнитного шума, для предотвращения возможности утечки информации за счет электромагнитных излучений от технических средств.

Для успешного достижения данной цели требуется решить следующие задачи, обусловленные необходимостью получения и анализа параметров электромагнитных излучений на объекте информатизации:

1. Непрерывный прием и оцифровка радиосигналов в реальном масштабе времени и передача их для обработки в персональный компьютер, входящий в состав средств вычислительной техники объекта информатизации;
2. Переход в частотную область и формирование амплитудного спектра сигнала в заданном диапазоне частот.
3. Оценка параметров полученного шумового сигнала (амплитудных характеристик, соответствия шумового сигнала нормальному закону распределения, стабильности параметров генерируемого шума во времени).

В результате, предлагаемое в данной работе решение, имеющее несравненно более низкую стоимость, а также возможность захвата сразу широкой полосы радиосигнала при сканировании радиочастот, наилучшим образом подходит для решения задачи мониторинга параметров шумового сигнала, формируемого генератором широкополосного электромагнитного шума, и оценки полноты перекрытия шумовым сигналом побочных электромагнитных излучений от средств вычислительной техники.

Ключевые слова: информационная безопасность, маскирующий сигнал, генератор маскирующего сигнала, оценка параметров радиосигнала, SDR-приёмник, амплитудный спектр.

EVALUATING THE QUALITY OF THE MASKING SIGNAL GENERATED BY THE ELECTROMAGNETIC NOISE GENERATOR IN CASES OF INFORMATION LEAKAGE VIA TECHNICAL CHANNELS

Research article

Amosov V.I.¹, Zubkov D.A.^{2,*}, Khlomco V.I.³¹ ORCID: 0000-0003-1872-1861;² ORCID: 0000-0003-4711-7479;³ ORCID: 0000-0002-0167-3325;^{1, 2, 3} V. F. Utkin Ryazan State Radio Engineering University; Ryazan, Russia

* Corresponding author (zubkov412[at]gmail.com)

Abstract

The article aims to monitor the masking signal generated by the electromagnetic noise generator to prevent the possibility of information leakage due to electromagnetic radiation from unintentional radiators.

To successfully achieve this goal, it is necessary to solve the following tasks due to the need to obtain and analyze the parameters of electromagnetic radiation at the objects of informatization:

1. Continuous reception and digitization of radio signals in real time and their transition for processing to a personal computer that is part of the computer equipment of the object of informatization;
2. Transition to the frequency domain and formation of the signal's amplitude spectrum in a given frequency range.
3. Estimation of the parameters of the received noise signal (amplitude characteristics, compliance of the noise signal with the distribution law, stability of the parameters of the generated noise over time).

As a result, the proposed solution of this study is best suited for solving the problem of monitoring a noise signal generated by the broadband generator of electromagnetic noise, and assess the completeness the noise signal overlap of the electromagnetic emissions from computer equipment due to having a much lower cost and the ability to capture from a wide band signal when scanning frequencies.

Keywords: information security, masking signal, masking signal generator, estimation of radio signal parameters, SDR- Receiver, amplitude spectrum.

Введение

В настоящее время средства вычислительной техники широко используются для обработки информации различного рода, в том числе конфиденциальной и имеющей реальную коммерческую ценность. Отключение от сторонних вычислительных сетей не дает полной гарантии защиты от утечки, поскольку процесс обработки информации в них сопровождается генерацией в окружающем пространстве побочных электромагнитных излучений, которые могут быть приняты и проанализированы злоумышленником.

Для блокирования канала утечки информации за счет побочных электромагнитных излучений на объектах вычислительной техники обычно применяются генераторы широкополосного электромагнитного шума. Однако с течением времени вследствие «старения» электронных компонентов параметры генерируемого шума претерпевают изменения, в результате чего шум может перестать перекрывать побочные электромагнитные излучения.

Перспективным путём решения данной проблемы является непрерывный мониторинг создаваемого генератором электромагнитного шума с помощью дешевого широкодоступного аппаратного устройства, подключаемого к самому защищаемому компьютеру, и программной компоненты, функционирующей на том же компьютере в фоновом режиме, используя незадействованные в данный момент времени вычислительные ресурсы.

Аппаратным устройством производится захват и оцифровка радиосигнала, представляемого в виде синфазной и квадратурной составляющих (так называемых I/Q сэмплов). Оцифрованный сигнал с помощью быстрого преобразования Фурье переводится из временной в частотную область, и из получаемых таким образом фрагментов строится полный амплитудный спектр анализируемого диапазона частот, формируется ряд значений амплитуд, для которого вычисляются статистические характеристики и определяется соответствие распределения амплитуд нормальному закону распределения, характерному для шумового сигнала. По изменению параметров амплитуд анализируемого сигнала с течением времени делается вывод об эффективности работы генератора шума и наличии либо отсутствии на объекте вычислительной техники радиосигналов, превышающих уровень создаваемого шума.

Для обеспечения поддержки широкого спектра функций и возможности развития необходимо, чтобы приемопередающее устройство имело возможность модернизации и настройки без изменения аппаратной части, только программными методами. Дешёвым и доступным вариантом таких устройств являются SDR-приёмники, иначе говоря, программноопределяемые радиоустройства. Самые дешевые варианты на основе ТВ-тюнеров формата DVB-T2, использующие чип RTL2832U, имеют цену от 5 долларов США.

Данные устройства работают следующим образом: SDR-приёмник производит начальную оцифровку сигналов к виду синфазной и квадратурной составляющих (так называемых сэмплов) и передаёт данные на компьютер. Дальнейшая обработка производится программно при помощи аналитических алгоритмов соответствующего ПО (SDR#, GNU Radio, HSDR и другие). Одним из оптимальных вариантов состава комплекса для оценки параметров маскирующего сигнала является набор библиотек для работы с ТВ-тюнером через интерфейс rtl-sdr в программах MatLab и Simulink и сами эти программы соответственно ввиду возможности быстрого создания в этих средах прототипа программной компоненты системы радиомониторинга и наличия в них широких возможностей для математической обработки данных и визуализации результатов.

Для реализации поставленной задачи, наряду с традиционным преобразованием Фурье, для сигналов в современных цифровых системах применяется также преобразование Уолша, которое представляется перспективным в том числе за счёт более низкой вычислительной сложности.

В целях исследования данной проблемы был создан аппаратно-программный комплекс, выполняющий данные функции на типовом персональном компьютере в реальном масштабе времени и решающий следующие основные задачи для выполнения цели работы:

- непрерывный прием и оцифровка радиосигналов в реальном масштабе времени и передача их для обработки в персональный компьютер, входящий в состав средств вычислительной техники объекта информатизации;
- переход в частотную область и формирование амплитудного спектра сигнала в заданном диапазоне частот. Для решения этой задачи необходимо выбрать аппаратное средство, способное производить захват и оцифровку радиосигналов в широком диапазоне частот с достаточным разрешением для выполнения последующей математической обработки. Важными критериями выбора являются возможность подключения устройства к компьютеру через типовой интерфейс, его компактность и невысокая цена. При решении этой задачи должен быть произведен выбор программной библиотеки, имеющей возможность осуществлять требуемое преобразование с заданной точностью с использованием данных, выдаваемых устройством оцифровки радиосигнала, выбранным при решении предыдущей задачи. Важным условием является возможность работы в реальном масштабе времени на типовом компьютере, а также учет особенностей и ограничений, накладываемых выбранным аппаратным устройством оцифровки радиосигнала;
- оценка параметров полученного шумового сигнала (амплитудных характеристик, соответствия шумового сигнала нормальному закону распределения, стабильности параметров генерируемого шума во времени). В ходе решения данной задачи должен быть построен динамически обновляемый амплитудный спектр сигнала в заданном диапазоне частот, определены текущие и граничные значения основных статистических характеристик для каждой из частотных компонент амплитудного спектра и вычислено значение критерия, характеризующего степень соответствия распределения амплитуд сигнала в каждой из частотных компонент спектра нормальному закону, характеризующему идеальный «белый шум».

Состав комплекса следующий:

- ТВ-тюнер на чипе RTL2832U с радиомодулем Rafael Micro R820T со штатной антенной с магнитным креплением;
- персональный компьютер под управлением 64-разрядной операционной системы (ОС) Arch Linux;
- среда MatLab версии 2013a с пакетом моделирования Simulink;
- библиотека поддержки работы с ТВ-тюнером rtl-sdr версии 0.5.3;
- набор библиотек для работы с ТВ-тюнером через интерфейс rtl-sdr в программах MatLab и Simulink.

В перспективе предполагается использование более скоростных аппаратных устройств с расширенным частотным диапазоном, комплексирование данных от нескольких устройств, подключенных к одному компьютеру, а также реализация цифровой демодуляции и дальнейшего анализа радиосигналов (в частности, от возможно внедренных на объект закладочных устройств).

На момент проведения практического исследования возможностей ТВ-тюнера на чипе RTL2832U удалось менее чем за полторы минуты с использованием одного экземпляра ТВ-тюнера получить спектрограмму диапазона частот 24-1766 МГц, что перекрывает наиболее вероятные частоты, используемые доступными рядовому злоумышленнику закладочными устройствами для съема акустической речевой информации, а также частоты гармоник побочных электрических интерфейсов VGA, DVI и HDMI.

Для получения общей картины, характеризующей успешность маскирования генератором электромагнитного шума побочных электромагнитных излучений и иных радиосигналов в заданном диапазоне частот необходимо хранить и обновлять на каждом проходе частотного диапазона следующие параметры каждой из его частотных компонент:

- 1) минимальное значение математического ожидания амплитуды частотной компоненты;
- 2) максимальное значение математического ожидания амплитуды частотной компоненты;
- 3) минимальное значение критерия согласия Пирсона, характеризующего соответствие распределения амплитуд шумового сигнала частотной компоненты нормальному закону;
- 4) максимальное значение критерия согласия Пирсона, характеризующего соответствие распределения амплитуд шумового сигнала частотной компоненты нормальному закону.

Ближайшим аналогом разработанного в результате данного исследования программно-аппаратного комплекса, является программа радиомониторинга Филин Ультра, функционирующая совместно с управляемым от компьютера сканирующим приемником Icom IC-R2500. Однако, в отличие от нашей разработки, стоимость программы Филин Ультра составляет 34 тыс. рублей, а сканирующего приемника Icom IC-R2500 составляет около 40 тыс. рублей. Также программа Филин Ультра работает только совместно с ОС Windows, что сужает возможную сферу ее применения.

В результате, предлагаемое решение имеет несравненно более низкую стоимость, а также возможность захвата сразу широкой полосы радиосигнала при сканировании радиочастот и подходит для оценки полноты перекрытия шумовым сигналом побочных электромагнитных излучений от средств вычислительной техники.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список использованных источников /References

1. Уравнение: Звезда Смерти Галактики вредоносных программ [Электронный ресурс] // – URL: <http://securelist.com/blog/research/68750/equation-the-death-star-of-malware-galaxy/> (дата обращения: 12.10.2020)
2. Указ Президента Российской Федерации от 17.03.2008 № 351 «О мерах по обеспечению информационной безопасности Российской Федерации при использовании информационно-телекоммуникационных сетей международного информационного обмена».
3. Ширей Р. Глоссарий Интернет-Безопасности, Версия 2 / Р. Ширей [Электронный ресурс] // – URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc4949> (дата обращения: 12.10.2020)
4. Каниа Б. « VGASIG: FM-радиопередатчик с использованием видеокарты VGA» / Б. Каниа [Электронный ресурс] // – URL: <http://bk.gnarf.org/creativity/vgasig/vgasig.pdf> (дата обращения: 12.10.2020)
5. Вайсанен Т. Защита мобильных устройств для высокопоставленных чиновников и лиц, принимающих решения. Центр передового опыта совместной киберзащиты НАТО / Т. Вайсанен, А. Фарар, Н. Писсанидис, К.Браччини, Б.Блумберг, Э. Диез. [Электронный ресурс] // – URL: https://ccdc.org/sites/default/files/multimedia/pdf/Defending_mobile_devices_for_high_level_officials_and_decision-makers.pdf (дата обращения: 12.10.2020)
6. TetraFast - широкополосный шумовой генератор [Электронный ресурс] // – URL: <http://vrtp.ru/index.php?act=categories&CODE=article&article=538> (дата обращения: 12.10.2020)
7. Галкин В.А. Основы программно-конфигурируемого радио / В.А. Галкин. М.: Горячая линия-Телеком, 2013.
8. Касс. С. А Программно-Определяемое Радио За 40 Долларов. Перепрофилированный ТВ тюнер может показать широкий диапазон спектра / Стивен Касс. [Электронный ресурс] // – URL: <http://spectrum.ieee.org/geek-life/hands-on/a-40-softwaredefined-radio> (дата обращения: 12.10.2020)
9. Маркграф С. RtlSdr / С. Маркграф, Д. Стольников. [Электронный ресурс] // – URL: <http://sdr.osmocom.org/trac/wiki/rtl-sdr> (дата обращения: 12.10.2020)
10. Филин Ультра. Универсальная программа радиомониторинга и обнаружения средств негласного съема информации [Электронный ресурс] // – URL: <http://www.nelk.ru/node/303> (дата обращения: 12.10.2020)
11. Icom IC-R2500. Сканирующий приемник [Электронный ресурс] // – URL: <http://www.nelk.ru/node/400> (дата обращения: 12.10.2020)
12. Arch Linux [Electronic resource] // – URL: <https://www.archlinux.org/> (accessed: 12.10.2020)

Список использованных источников /References in English

1. Uravnenie: Zvezda Smerti Galaktiki vredonosnykh programm [Equation: the Death Star of the Galaxy of Malware] [Electronic resource] // – URL: <http://securelist.com/blog/research/68750/equation-the-death-star-of-malware-galaxy/> (accessed: 12.10.2020) [in Russian]
2. Ukaz Prezidenta Rossiiskoi Federatsii ot 17.03.2008 № 351 «O merakh po obespecheniiu informatsionnoi bezopasnosti Rossiiskoi Federatsii pri ispol'zovanii informatsionno-telekommunikatsionnykh setei mezhdunarodnogo informatsionnogo obmena». [Decree of the President of the Russian Federation No. 351 of 17.03.2008 "on measures to ensure information security of the Russian Federation when using information and telecommunication networks for international information exchange"] [in Russian]
3. Shirey R. Glossarii Internet-Bezopasnosti, Versiia 2 [Glossary of Internet Security, Version 2] [Electronic resource] / R. Shirei // – URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc4949> (accessed: 12.10.2020) [in Russian]

4. Kania B. VGASIG: FM-radioperedatchik s ispol'zovaniem videokarty VGA [VGASIG: FM Radio Transmitter with a VGA Video Card], 19.04.2009] [Electronic resource] / B. Kania // – URL: <http://bk.gnarf.org/creativity/vgasig/vgasig.pdf> (accessed: 12.10.2020) [in Russian]
5. Vaisanen T. Zashhita mobil'nyh ustroystv dlja vysokopostavlennyh chinovnikov i lic, prinyimajushhih reshenija. Centr peredovogo opyta sovmestnoj kiberzashhity NATO [Mobile Device Protection for High-Level Officials and Decision Makers. The NATO Cooperative Cyber Defence Centre of Excellence] [Electronic resource] / T. Vaisanen, A. Farar, N. Pissanidis et al. // – URL: <https://ccdcoc.org/uploads/2018/10/Defending-mobile-devices-for-high-level-officials-and-decision-makers.pdf> (accessed: 12.10.2020) [in Russian]
6. TetraFast - širokopolosnyi shumovoi generator [TetraFast-Broadband Noise Generator] [Electronic resource] // – URL: <http://vrtp.ru/index.php?act=categories&CODE=article&article=538> (accessed: 12.10.2020) [in Russian]
7. Galkin V. A. Osnovy programmno-konfiguriruемого radio [Fundamentals of Software-Configurable Radio] / V. A. Galkin M.: Goriachaia liniia-Telekom, 2013 [in Russian]
8. Cass S. A \$40 Software-Defined Radio. A repurposed TV tuner can reveal a wide swath of spectrum [Electronic resource] / S. Cass // – URL: <http://spectrum.ieee.org/geek-life/hands-on/a-40-softwaredefined-radio> (accessed: 12.10.2020) [in Russian]
9. Markgraf S. RtlSdr [Electronic resource] // – URL: <http://sdr.osmocom.org/trac/wiki/rtl-sdr> (accessed: 12.10.2020) [in Russian]
10. Universal'naia programma radiomonitoringa i obnaruzheniia sredstv neglasnogo s"ema informatsii [Filin Ultra. Universal Program of Radio Monitoring and Detection of Means of Eavesdropping] [Electronic resource] – URL: <http://www.nelk.ru/node/303> (accessed: 12.10.2020) [in Russian]
11. Icom IC-R2500 Skaniruiushchii priemnik [Communications Receiver] [Electronic resource] – URL: <http://www.nelk.ru/node/400> (accessed: 12.10.2020) [in Russian]
12. Arch Linux [Electronic resource] – URL: <https://www.archlinux.org/> (accessed: 12.10.2020)

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.101.11.004>**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ
В СИСТЕМАХ ОБОГРЕВА ПОКРЫТИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

Научная статья

Каменчуков А.В.^{1,*}, Тянь², Псаров С.А.³¹ ORCID: 0000-0001-7997-3195;³ ORCID: 0000-0002-4368-7848;^{1, 2, 3} Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Россия

* Корреспондирующий автор (006641[at]pnu.edu.ru)

Аннотация

В работе исследованы вопросы эффективности применения гидравлических систем снеготаяния на сосредоточенных элементах автомобильных дорог, к которым относятся покрытия мостовых переходов и стоянки автомобилей. Выполнен анализ применимости всех способов борьбы с зимней скользкостью и наледообразования в районах с обильным выпадением твердых осадков. Разработана принципиальная схема системы гидравлического снеготаяния, внедряемая в бетонные слои покрытия мостовых сооружений. Выполнен теплофизический расчет почасовой работы системы гидравлического снеготаяния с использованием современных средств математического моделирования. Сделаны выводы и рекомендации по эффективности использования систем гидравлического снеготаяния на автомобильных дорогах.

Ключевые слова: автомобильные дороги, гидравлические системы обогрева, снегоочистка, зимнее содержание.

MODELING OF HEAT TRANSFER PROCESSES IN ROAD SURFACE HEATING SYSTEMS

Research article

Kamenchukov A.V.^{1,*}, Tian², Psarov S.A.³¹ ORCID: 0000-0001-7997-3195;³ ORCID: 0000-0002-4368-7848;^{1, 2, 3} Pacific National University, Khabarovsk, Russia

* Corresponding author (006641[at]pnu.edu.ru)

Abstract

The paper examines the effectiveness of using hydraulic snowmelt systems on certain elements of automobile roads, which include paving of bridge crossings and car parks. The study performs an analysis of the applicability of all methods to combat winter slipperiness and ice formation in areas with heavy precipitation. The study demonstrates the developed basic scheme of the hydraulic snowmelt system implemented in the concrete layers of the pavement of bridge structures. A thermophysical calculation of the hourly operation of the hydraulic snowmelt system is performed using modern mathematical modeling tools. The study provides conclusions and recommendations on the effectiveness of using hydraulic snowmelt systems on highways.

Keywords: highways, hydraulic heating systems, snow removal, winter maintenance.

Введение

Образование зимней скользкости является одним из зимних факторов, которые наиболее неблагоприятно влияют на дорожную обстановку. При образовании скользкости коэффициент сцепления с дорогой уменьшается от нормативных 0,7-0,8 до 0,08-0,15 [1]. Из-за этого увеличивается число дорожно-транспортных происшествий, снижается подвижность транспортных средств, что негативно сказывается на общих транспортных системах. По официальным данным, из-за плохих погодных условий происходит более 1,5 млн несчастных случаев ежегодно. Это приводит к потерям для экономики до 3% ВВП [2]. Поэтому борьба с зимней скользкостью является одной из важных проблем дорожного хозяйства.

На Дальнем Востоке России, в регионе с холодными продолжительными зимами, эксплуатация объектов дорожно-транспортной инфраструктуры в зимний период года является актуальной проблемой, требующей постоянного внимания дорожных специалистов и ученых, которые изучают и исследуют новые эффективные технологии эксплуатации и содержания автомобильных дорог в зимний период. Зимние условия характеризуются снегопадами и метелями, формирующими снежные отложения [3], [4], [5]. Очистка дорог от снега в зимних условиях имеет первостепенное значение для безопасной работы транспорта и движения пешеходов. Борьба с обледенением производится, в основном, химическими методами, поэтому в водные бассейны и на земную поверхность попадают большие массы химических реагентов, приводящих к существенным изменениям химического состава основных компонентов окружающей среды (почвы, воды, воздуха). Это вызывает изменение и разрушение видового состава обитающих в них организмов [6], [7], [20].

Технологии удаления снега и льда с покрытия автомобильных дорог

Основным видом очистки дорог от снега является патрульная снегоочистка, которая производится периодическими проходами плужных или плужно-щеточных снегоочистителей в течение всей метели или снегопада. Патрульная снегоочистка проводится одиночными машинами или отрядом плужно-щеточных снегоочистителей, движущихся уступом с интервалом 30 – 60 м с перемещением снега от оси дороги к обочине с перекрытием следа 0,3 – 0,5 м.

В государственных членах Таможенного Союза, а также за рубежом наиболее распространены следующие способы борьбы с зимней скользкостью: фрикционный, химический, физико-химический, комбинированный.

Комбинированный, химический и фрикционный способы направлены на повышение фрикционных свойств покрытия или плавление снежно-ледяных отложений химическими реагентами. Существует достаточно обширная

классификация противогололедных материалов (ПГМ). Ниже рассмотрены основные положения данной классификации.

Фрикционные ПГМ должны повышать коэффициент сцепления со снежно-ледяными отложениями на покрытии для обеспечения безопасных условий движения; иметь высокие физико-механические свойства, препятствующие разрушению, износу, дроблению и шлифованию ПГМ, и обладать свойствами, препятствующими увеличению запыленности воздуха и загрязнения придорожной полосы.

Химические ПГМ применяют в твердом, жидком и смоченном виде. Сырьем для получения этих материалов чаще всего являются природные запасы бишофита, галита или отходы промышленности, например, сильвинитовые, карнолитовые отходы. По химическому составу ПГМ этой группы разделяют на четыре подгруппы. Первая подгруппа – хлориды. К ней относятся ПГМ на основе NaCl , CaCl_2 и MgCl_2 . Вторая подгруппа – ацетаты, третья подгруппа – карбамиды, четвертая – нитраты.

Основной целью использования антигололедных реагентов является снижение температуры замерзания снега и льда. Противогололедные реагенты не используют тепловую энергию для физического или химического плавления. Эти химические вещества обычно применяются перед снегопадом, чтобы предотвратить замерзание дороги за счет понижения точки замерзания воды и, следовательно, облегчить удаление слякоти ручным методом.

Комбинированные ПГМ обладают одновременно функциями фрикционных и химических материалов и состоят, из смеси песка и химических ПГМ. В качестве химических добавок используют твердые соли: технический хлористый натрий, соль сильвинитовых отвалов и хлористый кальций.

Значительный интерес представляет опыт работы муниципалитетов канадских городов (Монреаль, Оттава, Торонто) по уборке улиц в зимний период [12], [13], [17]. Утилизация снежной массы, вывозимой с городской территории, производится на «сухих» снегосвалках. Эти снегосвалки представляют собой огороженные площадки, на которые снег свозится и сдвигается бульдозерами и мощными шнековыми устройствами в штабель высотой 20-30 метров. Таяние осуществляется под действием естественного тепла. Основание площадки выполнено из уплотненного асфальтового гранулята, срезаемого при ремонте асфальтовых дорожных покрытий.

Термические способы удаления снежно-ледяной массы с дорожного покрытия путем плавления при воздействии потока тепловой энергии являются менее распространенными по сравнению с фрикционным, химическим. В зависимости от направления теплового потока существующие термические способы можно разделить на два типа:

- тепловой поток направлен от источника теплоты к верхней границе снежного слоя – наружный;
- тепловой поток направлен от источника теплоты к нижней границе снежного слоя – внутренний.

В данной работе рассмотрены термические системы удаления снежного слоя внутреннего типа, когда тепловой поток направлен от источника теплоты к нижней границе слоя.

Гидравлические системы снеготаяния

Основой термических способов снеготаяния и антиобледенения является система распределения греющего теплоносителя (трубопроводы для жидких теплоносителей, паропроводы или газопроводы), то есть система подогрева поверхности дорожного покрытия. Тепловые системы снеготаяния используются для обогрева взлетно-посадочных полос, сложных участков дорог, мостов, площадок для таяния снега, тротуаров и подъездов к гаражам.

Одним из преимуществ систем снеготаяния, использующих жидкие теплоносители (гидравлические системы), является возможность использования различных источников тепловой энергии: котлов на различных видах топлива, электрических котлов и так далее [14]. В целом система, использующая жидкие теплоносители, включает четыре основных компонента: источник тепловой энергии, циркуляционный насос, теплоноситель и трубопроводную систему. Наиболее важным элементом является трубопроводная система [18].

Для равномерного распределения тепловой энергии по поверхности дороги обычно используется один из двух типов раскладки трубопроводов: схема обратного возврата или змеевидное расположение.

На рисунке 1 показана типичная гидравлическая система таяния снега. Эта система включает в себя бетонную плиту или тротуар и гидравлические трубы (для простоты нет необходимости моделировать изоляцию, поскольку плита находится в земле).

В итоговой модели, для простоты и удобства приведены следующие допущения [23], [24], [25]:

- бетонное покрытие однородно и изотропно;
- термическая деформация не учитывается;
- термические сопротивления конвективной теплоотдачи от теплоносителя к стенке трубы и самой трубы не учитываются;
- испарение льда и таяние снега не учитывается;
- расход теплоносителя и уменьшение температуры при движении теплоносителя по трубе не учитываются.

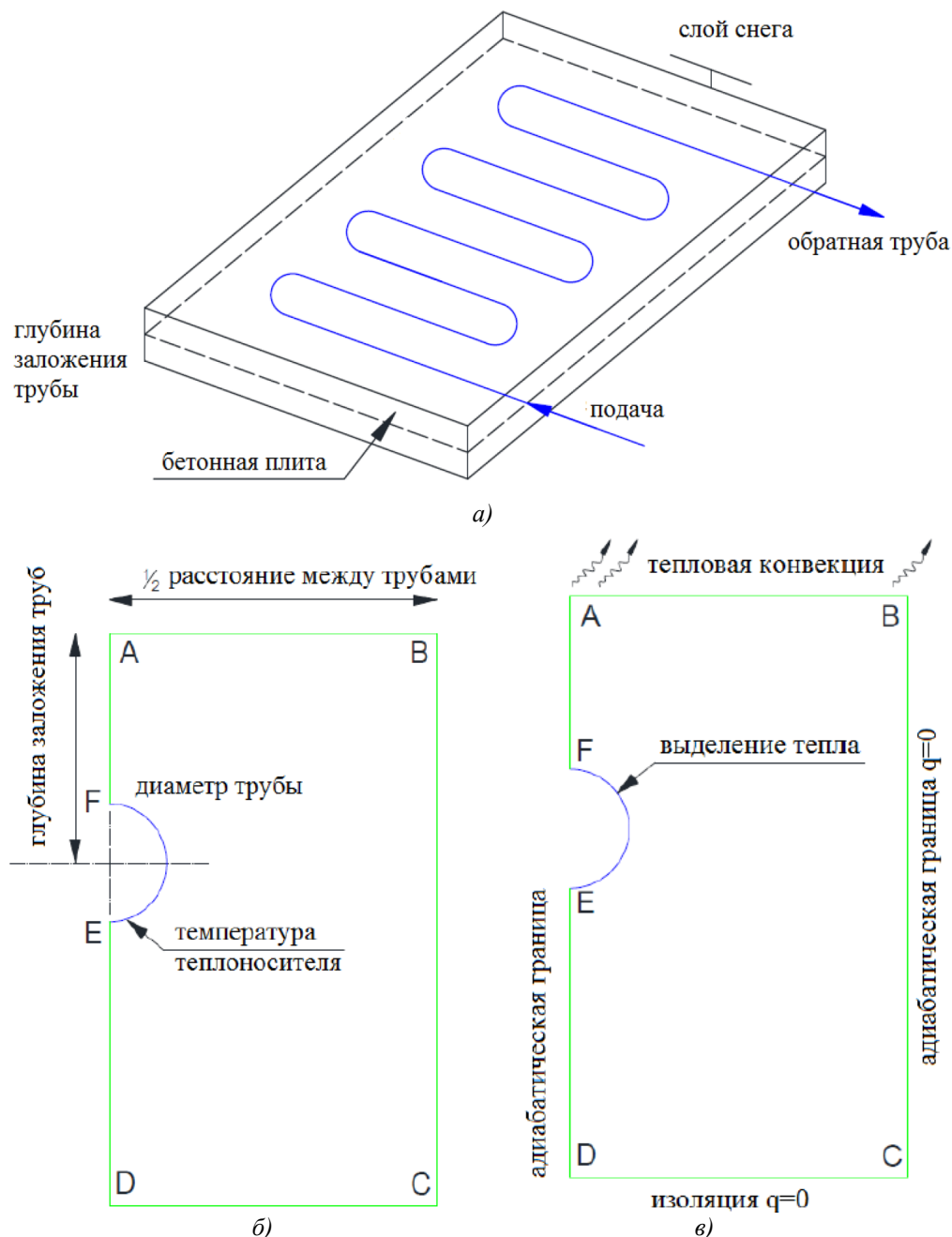


Рис. 1 – Схема гидравлической системы снеготаяния (а), вид симметричного участка (б) и граничные условия (в)

Математическое моделирование системы гидравлического снеготаяния

Для математического моделирования системы гидравлического снеготаяния использовалось стационарное двумерное уравнение теплопроводности:

$$-\frac{\partial}{\partial x}\left(k_x \frac{\partial T}{\partial x}\right) - \frac{\partial}{\partial y}\left(k_y \frac{\partial T}{\partial y}\right) = f(x, y) \text{ в } \Omega \quad (1)$$

На верхней поверхности бетонной плиты задавались граничные условия третьего рода. При этом коэффициент теплоотдачи считался функцией скорости ветра и вычислялся по формуле: $\alpha = 9,6 + 1,12v$, где v – скорость ветра, м/с [16].

Вдоль полуокружности EF накладывалось существенное граничное условие $T = T_{\text{ж}}$ (температура теплоносителя). Линии BC, AF, DE из-за симметрии задачи считались адиабатными (тепловой поток и градиент температуры перпендикулярно линии принимались равными нулю). Нижняя поверхность бетонной плиты (вдоль CD) из-за наличия слоя теплоизоляции слоя также принималась адиабатной.

Основное дифференциальное уравнение для стационарного теплообмена в плоской системе описывается выражением (1).

Для наружной границы бетонной плиты граничное условие представляет собой баланс передачи энергии через границу из-за теплопроводности и конвекции, как обсуждалось выше:

$$k_x \frac{\partial T}{\partial x} n_x + k_y \frac{\partial T}{\partial y} n_y + \alpha(T - T_{\infty}) = q_n \quad (2)$$

Первые два слагаемых – подвод тепловой энергии к границе плиты за счет теплопроводности, третье слагаемое – теплоотдача. Ω – двумерная область, а T – температура внутри бетонной плиты или тротуара. Кроме того, k_x, k_y – теплопроводность бетона вдоль направлений x и y , $f(x, y)$ – внутреннее тепловыделение на единицу объема. T_∞ – температура окружающей среды. q_n – тепловой поток на границе, который в данной постановке задачи равен нулю.

Умножая (1) и (2) на произвольную весовую функцию w и интегрируя по конечному элементу Ω^e , получим следующее выражение:

$$\begin{aligned} 0 &= \int_{\Omega^e} \left(k_x \frac{\partial w \partial T}{\partial x \partial x} + k_y \frac{\partial w \partial T}{\partial y \partial y} - w f \right) \partial x \partial y - \oint_{\Gamma^e} w \left(k_x \frac{\partial T}{\partial x} n_x + k_y \frac{\partial T}{\partial y} n_y \right) \partial s = \\ &= \int_{\Omega^e} \left(k_x \frac{\partial w \partial T}{\partial x \partial x} + k_y \frac{\partial w \partial T}{\partial y \partial y} - w f \right) \partial x \partial y - \oint_{\Gamma^e} w (q_n - \alpha [T - T_\infty]) \partial s \end{aligned} \quad (3)$$

Модель конечных элементов получается путем подстановки приближенного значения температуры в виде суммы по различным весовым функциям:

$$T = \sum_{j=1}^n T_j^e \psi_j^e(x, y) \quad (4)$$

$$w = \psi^e(x, y) \quad (5)$$

Подстановка (4) в (3) приводит к следующему выражению:

$$\sum_{j=1}^n (K_{ij}^e + H_{ij}^e) T_j^e = F_i^e + P_i^e, \quad (6)$$

где коэффициенты могут быть определены путем вычисления интегралов от весовых функций по конечному элементу:

$$K_{ij}^e = \int_{\Omega^e} \left(k_x \frac{\partial \psi_i \partial \psi_j}{\partial x \partial x} + k_y \frac{\partial \psi_i \partial \psi_j}{\partial y \partial y} \right) \partial x \partial y \quad (7)$$

$$H_{ij}^e = \alpha \oint_{\Gamma^e} \psi_i \psi_j \partial s \quad (8)$$

$$F_i^e = \int_{\Omega^e} f \psi_i \partial x \partial y + \oint_{\Gamma^e} q_n \psi_i \partial s \quad (9)$$

$$P_i^e = \alpha \oint_{\Gamma^e} \psi_i T_\infty \partial s \quad (10)$$

Коэффициенты H_{ij}^e и P_i^e для плоского четырехстороннего элемента определяются по формулам:

$$H_{ij}^e = \alpha_{12} \oint_0^{h_{12}} \psi_i \psi_j \partial s + \alpha_{23} \oint_0^{h_{23}} \psi_i \psi_j \partial s + \alpha_{34} \oint_0^{h_{34}} \psi_i \psi_j \partial s + \alpha_{41} \oint_0^{h_{41}} \psi_i \psi_j \partial s \quad (11)$$

$$P_i^e = \alpha_{12} T_\infty^{12} \oint_0^{h_{12}} \psi_j \partial s + \alpha_{23} T_\infty^{23} \oint_0^{h_{23}} \psi_j \partial s + \alpha_{34} T_\infty^{34} \oint_0^{h_{34}} \psi_j \partial s + \alpha_{41} T_\infty^{41} \oint_0^{h_{41}} \psi_j \partial s \quad (12)$$

где α_{ij} – коэффициент теплоотдачи для боковых соединительных узлов i и j и элемента Ω^e , T_∞^{ij} – температура окружающей среды, а h_{ij} – длина стороны. Для плоских прямоугольных элементов матрицы имеют вид:

$$[H^e] = \frac{\alpha_{12} h_{12}}{6} \begin{bmatrix} 2 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} + \frac{\alpha_{23} h_{23}}{6} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} + \frac{\alpha_{34} h_{34}}{6} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} + \frac{\alpha_{41} h_{41}}{6} \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 2 \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$[P^e] = \frac{\alpha_{12} T_\infty^{12} h_{12}}{6} \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} + \frac{\alpha_{23} T_\infty^{23} h_{23}}{6} \begin{Bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{Bmatrix} + \frac{\alpha_{34} T_\infty^{34} h_{34}}{6} \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix} + \frac{\alpha_{41} T_\infty^{41} h_{41}}{6} \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{Bmatrix} \quad (14)$$

Результаты моделирования температурного поля

В данной работе был проведен расчет поля температур в бетонной плите мостового перехода [22], не имеющей внутреннего тепловыделения. Температура окружающей среды принималась равной минус 27°C. Значения других исходных данных приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения исходных данных

Характеристики	Единица измерения	Значения	Характеристики	Единица измерения	Значения
Толщина плиты	см.	15,0	Теплоемкость бетона	Дж/(кг°C)	1090
Теплопроводность бетона	Вт/(см°C)	0,062	Плотность бетона	Кг/м ³	2400
Коэффициент конвективного теплообмена	Вт/(см ² °C)	0,009	Температура окружающей среды	°C	-27
Температура теплоносителя	°C	30	Расстояние между трубами	см.	25,0
Глубина заложения трубы	см.	10,0	Диаметр трубы	см.	2,5

Расчет температурного поля выполнен в программном обеспечении ABAQUS. Результаты представлены на рисунках 2, 3, 4, 5, 6 и 7.

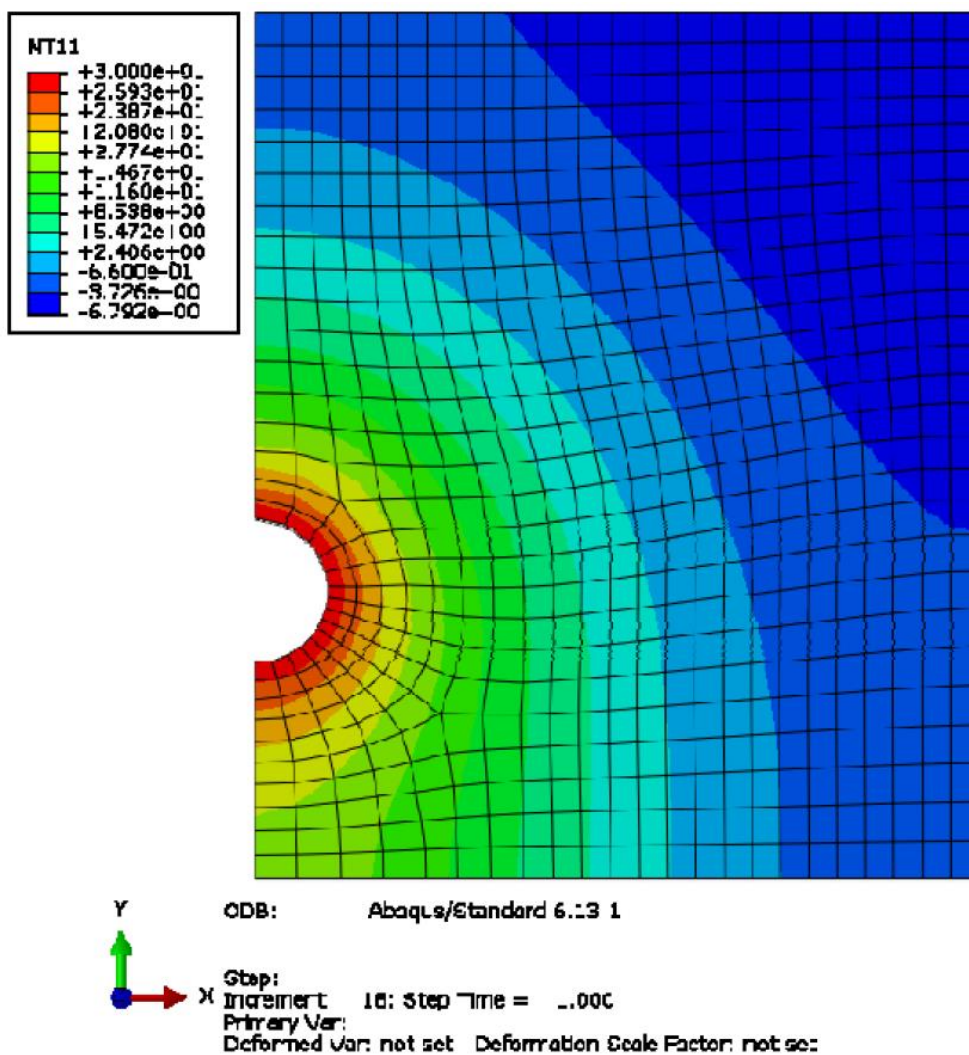


Рис. 2 – Распределение температуры при работе системы 1 час

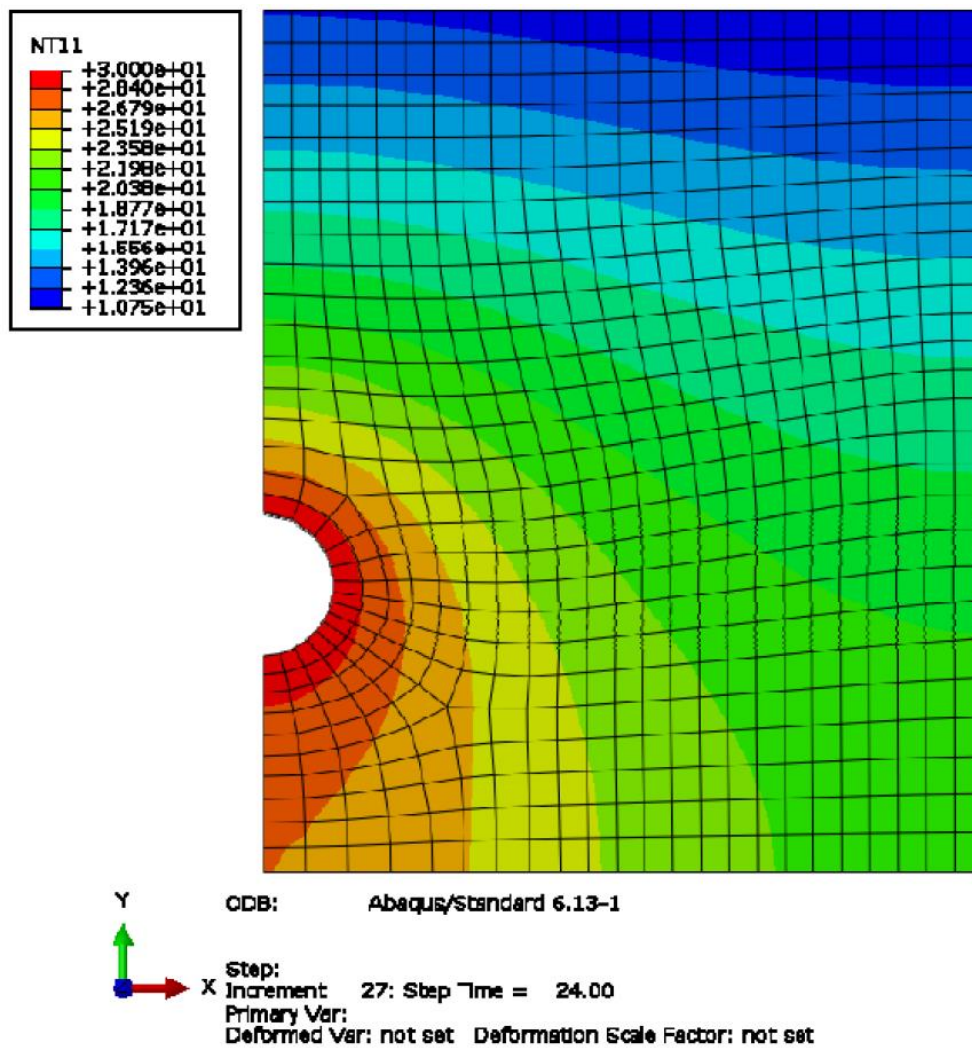


Рис. 3 – Распределение температуры при работе системы 12 часов

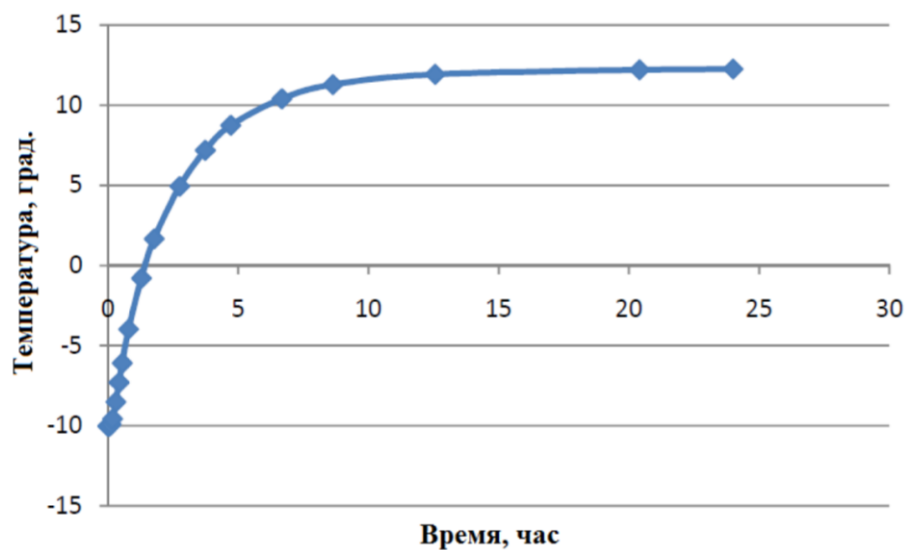


Рис. 4 – Распределение температуры в точке А при работе системы 24 часа

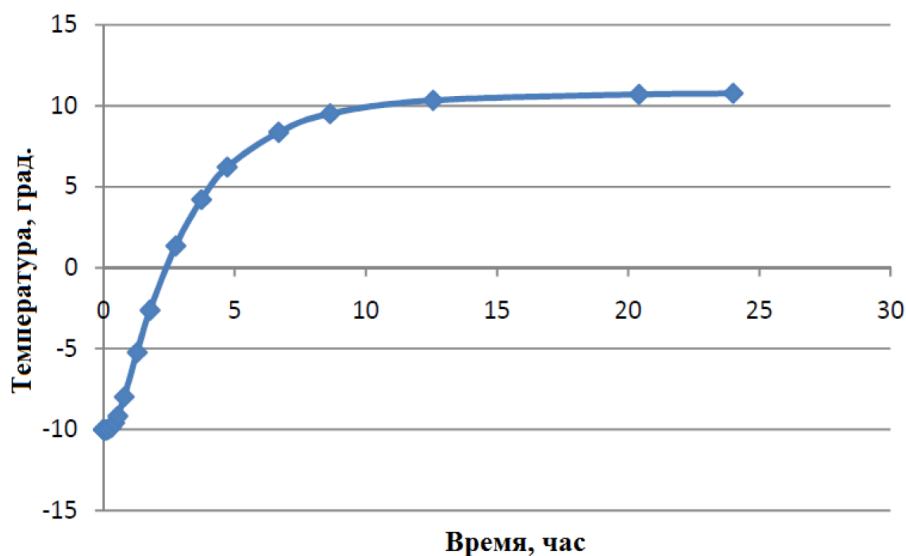


Рис. 5 – Распределение температуры в точке Б при работе системы 24 часа

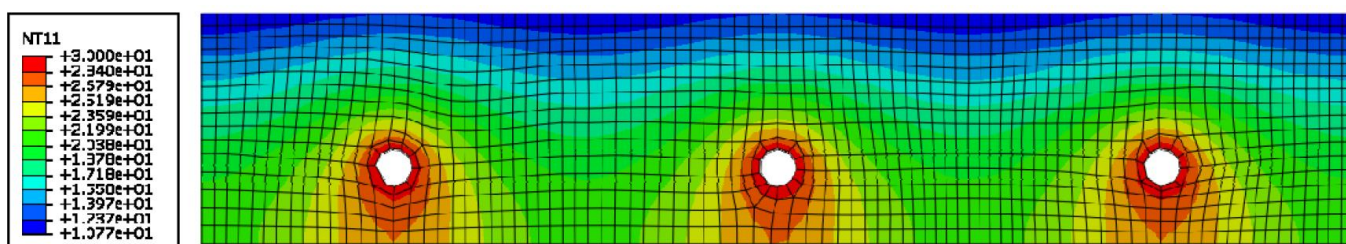


Рис. 6 – Распределение температуры в бетонной плите при работе системы 24 часа

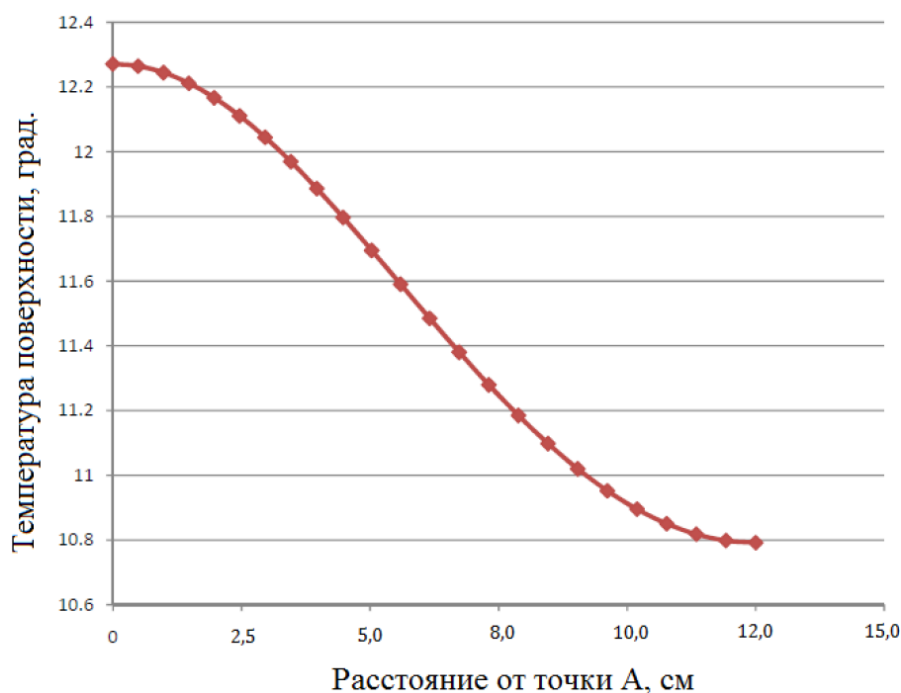


Рис. 7 – Распределение температуры по поверхности

Заключение

На рисунке 5 видно, что неравномерность распределения температуры по поверхности плиты составляет $\pm 0,75^{\circ}\text{C}$. При этом положительные температуры на поверхности плиты между греющими трубами (точка Б) достигаются через 2,5 часа после начала обогрева, что соответствует нормативным значениям по снегоочистке [26].

При средней температуре поверхности бетонной плиты $11,5^{\circ}\text{C}$ потери тепловой энергии с поверхности плиты будут составлять 412 кВт (0,3549 Гкал/ч) на 1000 м^2 при температуре наружного воздуха минус 27°C и скорости ветра 1 м/с. При этом до 125 кВт может быть полезно использовано для плавления снега и льда, что обеспечит полную очистку дорожного покрытия при интенсивности снегопада до 1,3 мм/час и очистку дорожного покрытия от снежной массы за 3 часа при интенсивности снегопада до 4 мм/час.

Выполненные расчеты позволяют говорить о том, что системы гидравлического снеготаяния могут применяться при достаточно интенсивных снегопадах на стационарных дорожных объектах, покрытие которых не подвержены вертикальным колебаниям, например, мостовых переходах.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Дергун А.А. Современные технологии борьбы с обледенениями на дорогах и линиях электропередач / А.А. Дергун // СТУДЕНТ: НАУКА, ПРОФЕССИЯ, ЖИЗНЬ материалы IV Всероссийской студенческой научной конференции с международным участием. Омский государственный университет путей сообщения. 2017. С. 81-87.
2. Лазарев Ю.Г. Оценки и прогнозирования температурного режима дорожных одежд как фактора безопасности дорожного движения / Ю.Г. Лазарев, Е.Е. Медрес, Ю. Ряту // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах Сборник трудов (электронная версия) участников двенадцатой международной научно-практической конференции. 2016. С. 420-427.
3. Бабков В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения / В.Ф. Бабков – М.: Транспорт, 1993. – 270 с.
4. Бялобжеский Г.В. Борьба с зимней скользкостью на автомобильных дорогах / Г.В. Бялобжеский. – М.: Транспорт, 1975. – 175 с.
5. Васильев А.П. Состояние дорог и безопасность движения автомобилей в сложных погодных условиях / А.П. Васильев. – М.: Транспорт, 1976. – 224 с.
6. Аржанухина С.П. Проблемы разработки и применения нормативно-методического обеспечения охраны окружающей среды при зимнем содержании автомобильных дорог / С.П. Аржанухина, М.Л. Ермаков, Н.Е. Кокодева // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2008. № 4. С. 171-176.
7. Васильев Г.П. Теплоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоев Земли / Г.П. Васильев. – М.: Граница, 2006. 176 с.
8. Виноградов Б.А. Экологические аспекты предупреждения образования льда на поверхности искусственных покрытий транспортных сооружений / Б.А. Виноградов. – М.: Московский государственный автомобильно-дорожный институт. 1999. – 93 с.
9. Корецкий В.Е. Противогололедная обработка дорожных покрытий в Москве / В.Е. Корецкий. – М.: Прима-Пресс-М, 2001. – 212 с.
10. Подольский В.П. Автотранспортное загрязнение придорожных территорий / В.П. Подольский. – Воронеж: Издательство Воронежского государственного института. 1999. – 264 с.
11. Подольский В.П. Комплексная оценка придорожной территории в зимний период года / В.П. Подольский. – М.: Издательство МАДИ (ТУ), 1999. – 90 с.
12. Корецкий В.Е. Зарубежный опыт зимнего содержания дорожных покрытий / В.Е. Корецкий. – М.: Чистый город, 2002. – 23 с.
13. Эльсенар П. Современные взгляды в Европе по вопросу улучшения методов борьбы со снегом и льдом / П. Эльсенар. – М.: Транспорт, 1986. – 74 с.
14. Chapman WP. Design of snow melting systems / Chapman WP. // Heat Vent 1952;49:88-95
15. Reddy J. N. - Introduction to the Finite Element Method / J. N. Reddy.
16. Hassan H.F. Development of Asphalt Pavement Temperature Models for Oman / Hassan H.F., Al-Nuaimi A.S., Taha R., Jafar T.M.A. // The Journal of Engineering Research. 2005. Vol. 2, No. 1. Pp. 32-42.
17. Hou, Z.F. Research on making and application of carbon fiber electrically concrete for deicing and snow-melting / Hou, Z.F., Li, Z.Q., Tang, Z.Q., // Journal of Wuhan Institute of Technology (Natural Journal Edition) 24, 32–34.
18. Kilkis, I.B. Design of Embedded Snow-Melting Systems: Part 1: Heat Requirements — An overall assessment and recommendations / Kilkis, I.B. //ASHRAE Transactions. 1994. 100 (1). P. 423-433.
19. Lazarev Yu.G. Effectiveness of Soil Reinforcement Based on Complex Ash-Cement Bonder / Lazarev Yu.G. // Applied Mechanics and Materials. 2015. No. 725. Pp. 208–213.
20. Lazarev Yu.G. Research of processes of improving soil properties based on complex ash cement binder / Lazarev Yu.G. // Applied Mechanics and Materials. 2014. No. 584. Pp.1681–1686.
21. Matić B. Development and evaluation of the model for the surface pavement temperature prediction / Matić B., Tepić J., Sremac S., Radonjanin V., Matić D., Jovanović P. // Metalurgija. 2012. Vol. 51. No. 3. Pp. 329-33
22. Ojas, W. An experimental and numerical study of the thermal performance of a bridge deck de-icing system : dissertation candidate for the Degree of Master of Science / Ojas, W. Stillwater, Oklahoma, State University. 1997. 276 pp.
23. Paliukaite M. Analysis of temperature and moisture influence on asphalt pavement strength / Paliukaite M., Vaitkus A. // Environmental engineering: The 8th International Conference. 2011. Vol. 3, No. 1. Pp. 1160-1165.
24. Wang D. Analytical Approach to Predicting Temperature Fields in Multi-Layered Pavement Systems / Wang D., Roesler J.R., Guo D. // Journal of engineering mechanics. 2009. Vol. 135. No. 4. Pp. 334-344.
25. Xiao, X. Modeling of hydronic and electric-cable snow-melting systems for pavements and bridge decks : dissertation candidate for the Degree of Master of Science / Xiao, X. Oklahoma, State University. 2002. 178 pp.
26. ОДМ 218.4.001 - 2008. Методические рекомендации по организации обследования и испытания мостовых сооружений на автомобильных дорогах. Федеральное дорожное агентство (Росавтодор). Москва, 2008.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Dergun A.A. Sovremennye tehnologii bor'by s obledenienijami na dorogah i linijah jelektropredach [State-of-the-art anti-icing technology on roads and power lines] / Dergun A.A. // STUDENT: NAUKA, PROFESSION, LIFE materials of the IV All-Russian student scientific conference with international participation [STUDENT: SCIENCE, PROFESSION, LIFE materials of the IV All-Russian student scientific conference with international participation]. Omskij gosudarstvennyj universitet putej soobshhenija. 2017. P. 81-87. [in Russian]
2. Lazarev Ju.G. Ocenki i prognozirovaniya temperaturnogo rezhima dorozhnyh odezhd kak faktora bezopasnosti dorozhnogo dvizhenija [Assessment and prediction of the temperature regime of road pavements as a factor of road safety] /

Lazarev Ju.G., Medres E.E., Rjatu Ju. // Organizacija i bezopasnost' dorozhnogo dvizhenija v krupnyh gorodah Sbornik trudov (jelektronnaja versija) uchastnikov dvenadcatoj mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii [Organization and road safety in large cities Proceedings (electronic version) of the participants of the twelfth international scientific and practical conference]. 2016. P. 420-427. [in Russian]

3. Babkov V.F. Dorozhnye uslovija i bezopasnost' dvizhenija [Road conditions and traffic safety] / Babkov V.F. – M.: Transport, 1993. – 270 p. [in Russian]

4. Bjalobzheskij G.V. Bor'ba s zimnej skol'zkoj na avtomobil'nyh dorogah [Combating winter slipperiness on highways] / Bjalobzheskij G.V. – M.: Transport, 1975. – 175 p. [in Russian]

5. Vasil'ev A.P. Sostojanie dorog i bezopasnost' dvizhenija avtomobilej v slozhnyh pogodnyh uslovijah [Road conditions and traffic safety in difficult weather conditions] / Vasil'ev A.P. – M.: Transport, 1976. – 224 p. [in Russian]

6. Arzhanuhina S.P. Problemy razrabotki i primeneniya normativno-metodicheskogo obespechenija ohrany okruzhajushhej sredy pri zimnem soderzhanii avtomobil'nyh dorogah [Problems of the development and application of regulatory and methodological support for environmental protection during winter maintenance of highways] / Arzhanuhina S.P., Ermakov M.L., Kokodeeva N.E. // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta [Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering.]. 2008. № 4. P. 171-176. [in Russian]

7. Vasil'ev G.P. Teplosnabzhenie zdaniy i sooruzhenij s ispol'zovaniem nizkopotencial'noj teplovoj jenerгии poverhnostnyh sloev Zemli [Heat supply of buildings and structures using low-potential thermal energy of the surface layers of the Earth] / Vasil'ev G.P. – M.: Granica, 2006. 176 p. [in Russian]

8. Vinogradov B.A. Jekologicheskie aspekty preduprezhdenija obrazovanija l'da na poverhnosti iskusstvennyh pokrytij transportnyh sooruzhenij [Environmental aspects of preventing ice formation on the surface of artificial coatings of transport structures] / Vinogradov B.A. – M.: Moskovskij gosudarstvennyj avtomobil'no-dorozhnyj institut. 1999. – 93 p. [in Russian]

9. Koreckij V.E. Protivogolodnaja obrabotka dorozhnyh pokrytij v Moskve [Anti-icing treatment of road surfaces in Moscow] / Koreckij V.E. – M.: Prima-Press-M, 2001. – 212 p. [in Russian]

10. Podol'skij V.P. Avtotransportnoe zagraznenie pridorozhnyh territorij [Roadside road traffic pollution] / Podol'skij V.P. – Voronez: Publ. house of Voronezh state institute. 1999. – 264 p. [in Russian]

11. Podol'skij V.P. Kompleksnaja ocenka pridorozhnoj territorii v zimnij period goda [Comprehensive assessment of the roadside area in the winter season] / Podol'skij V.P. – M.: Publ. house MADI (TU), 1999. – 90 p. [in Russian]

12. Koreckij V.E. Zarubezhnyj opyt zimnego soderzhanija dorozhnyh pokrytij [Foreign experience in winter maintenance of road surfaces] / Koreckij V.E. – M.: Chistyj gorod, 2002. – 23 p. [in Russian]

13. Jel'senar P. Sovremennye vzgljady v Evrope po voprosu uluchshenija metodov bor'by so snegom i l'dom [Contemporary views in Europe on improving snow and ice management] / Jel'senar P. – M.: Transport, 1986. – 74 p. [in Russian]

14. Chapman WP. Design of snow melting systems / Chapman WP. // Heat Vent 1952;49:88-95

15. Reddy J. N. - Introduction to the Finite Element Method / J. N. Reddy.

16. Hassan H.F. Development of Asphalt Pavement Temperature Models for Oman / Hassan H.F., Al-Nuaimi A.S., Taha R., Jafar T.M.A. // The Journal of Engineering Research. 2005. Vol. 2, No. 1. Pp. 32-42.

17. Hou, Z.F. Research on making and application of carbon fiber electrically concrete for deicing and snow-melting / Hou, Z.F., Li, Z.Q., Tang, Z.Q., // Journal of Wuhan Institute of Technology (Natural Journal Edition) 24, 32-34.

18. Kilgis, I.B. Design of Embedded Snow-Melting Systems: Part 1: Heat Requirements — An overall assessment and recommendations / Kilgis, I.B. // ASHRAE Transactions. 1994. 100 (1). P. 423-433.

19. Lazarev Yu.G. Effectiveness of Soil Reinforcement Based on Complex Ash-Cement Bonder / Lazarev Yu.G. // Applied Mechanics and Materials. 2015. No. 725. Pp. 208-213.

20. Lazarev Yu.G. Research of processes of improving soil properties based on complex ash cement binder / Lazarev Yu.G. // Applied Mechanics and Materials. 2014. No. 584. Pp. 1681-1686.

21. Matić B. Development and evaluation of the model for the surface pavement temperature prediction / Matić B., Tepić J., Sremac S., Radonjanin V., Matić D., Jovanović P. // Metalurgija. 2012. Vol. 51. No. 3. Pp. 329-33

22. Ojas, W. An experimental and numerical study of the thermal performance of a bridge deck de-icing system : dissertation candidate for the Degree of Master of Science / Ojas, W. Stillwater, Oklahoma, State University. 1997. 276 pp.

23. Paliukaite M. Analysis of temperature and moisture influence on asphalt pavement strength / Paliukaite M., Vaitkus A. // Environmental engineering: The 8th International Conference. 2011. Vol. 3, No. 1. Pp. 1160-1165.

24. Wang D. Analytical Approach to Predicting Temperature Fields in Multi-Layered Pavement Systems / Wang D., Roesler J.R., Guo D. // Journal of engineering mechanics. 2009. Vol. 135. No. 4. Pp. 334-344.

25. Xiao, X. Modeling of hydronic and electric-cable snow-melting systems for pavements and bridge decks : dissertation candidate for the Degree of Master of Science / Xiao, X. Oklahoma, State University. 2002. 178 pp.

26. ODM 218.4.001 - 2008. Metodicheskie rekomendacii po organizacii obsledovanija i ispytaniya mostovyh sooruzhenij na avtomobil'nyh dorogah [Methodical recommendations for the organization of inspection and testing of bridge structures on highways]. Federal'noe dorozhnoe agentstvo (Rosavtodor). Moscow, 2008. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.101.11.005>**РОЛЬ И ЗНАЧЕНИЕ УПРАВЛЯЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ В ПРОЦЕССЕ ОБЖИГА НЕФТЯНОГО КОКСА В ТРУБЧАТЫХ ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧАХ**

Обзорная статья

Шариков Ю.В.¹, Шариков Ф.Ю.², Крылов К.А.^{3,*}¹ ORCID: 0000-0001-7264-1198;² ORCID: 0000-0002-1139-3968;³ ORCID: 0000-0002-0587-8192;^{1, 2, 3} Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

* Корреспондирующий автор (krylov-j[at]yandex.ru)

Аннотация

Статья представляет собой обзор важнейшей технологической стадии получения высококачественного нефтяного кокса в промышленных масштабах – стадии прокалики сырого кокса в трубчатых вращающихся печах после установок замедленного коксования. Именно эта стадия закладывает и формирует важнейшие свойства конечного продукта в соответствии с требованиями химической и металлургической промышленности. В отличие от каменноугольного кокса, сырьевая база которого постоянно сокращается ввиду постепенного истощения известных месторождений коксующихся углей, производство нефтяного кокса на НПЗ имеет устойчивую сырьевую базу, которая обеспечивается базовыми процессами глубокой нефтепереработки.

Физико-химические свойства каменноугольного и нефтяного кокса во многом схожи, однако, кокс, производимый из высококачественного каменного угля (марок Д, Ж, К или ОС), нередко превосходит по качеству нефтяной кокс, произведенный без должного учета состава и свойств конкретного сырья. Как следствие, невысокое качество коммерческого нефтяного кокса снижает его потребительские характеристики и значительно ограничивает область применения. Для того, чтобы стабильно получать нефтяной кокс необходимого качества, следует оптимизировать стадию прокаливания с учетом свойств исходного сырого кокса и требований к конечному продукту.

Высококачественный электродный кокс очень важен для производства легких металлов (Al и Mg). Большое значение при этом имеет достижение равномерного состава и структуры кокса в объеме гранул в процессе прокалики. Для обеспечения этого требования необходимо определить ключевые параметры процесса прокаливания и установить четкую взаимосвязь регулируемых технологических параметров с показателями качества продукции.

Ключевые слова: нефтяной кокс, прокаленный кокс, обжиг, управление прокаливанием, температура прокалики, трубчатая печь.

THE ROLE AND IMPORTANCE OF CONTROLLED PARAMETERS IN THE PROCESS OF CALCINING PETROLEUM COKE IN TUBULAR ROTARY KILNS

Review article

Sharikov Yu.V.¹, Sharikov F.Yu.², Krylov K.A.^{3,*}¹ ORCID: 0000-0001-7264-1198;² ORCID: 0000-0002-1139-3968;³ ORCID: 0000-0002-0587-8192;^{1, 2, 3} Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russia**Abstract**

The article provides an overview of the most important technological stage of obtaining high-quality petroleum coke on an industrial scale — the stage of calcining of raw coke in tubular rotary kilns after delayed coking units. It is this stage that lays down and forms the most important properties of the final product in accordance with the requirements of the chemical and metallurgical industry. In contrast to coal coke, the raw material base of which is constantly decreasing due to the gradual depletion of known coking coal deposits, the production of petroleum coke at refineries has a stable raw material base, which is provided by the basic processes of advanced oil refining.

The physical and chemical properties of coal and petroleum coke are similar in many ways; however, coke produced from high-quality coal (long-flame coal, fat coal, coke, or lean caking coal (OS coal)), often exceeds the quality of petroleum coke produced without due consideration for the composition and properties of specific raw materials. As a result, the low quality of commercial petroleum coke reduces its consumer characteristics and significantly limits the scope of application. In order to consistently obtain the required quality of petroleum coke, it is necessary to optimize the calcining stage, taking into account the properties of the initial raw coke and the requirements for the final product.

High-quality electrode coke is very important for the production of light metals (Al and Mg). It is of great importance to achieve a uniform composition and structure of coke in the volume of granules during calcining. To meet this requirement, it is necessary to determine the key parameters of the calcining process and establish a clear relationship between the regulated process parameters and product quality indicators.

Keywords: petroleum coke, calcined coke, furnacing, calcining control, calcining temperature, tube furnace.

Введение

Сырая нефть по природе является сложной смесью углеводородов различного строения и молекулярной массы с примесью гетероциклических и гетероатомных соединений. Современные технологии нефтепереработки направлены на максимальное извлечение светлых нефтепродуктов из нефти. С углублением процесса нефтепереработки количество легких водородсодержащих компонентов в сырье постепенно снижается от стадии к стадии до тех пор, пока от нефти не остается лишь вязкий полутвердый нефтяной остаток, большую часть которого составляют компоненты, близкие по

составу к сырому нефтяному коксу. Нефтяной кокс как производственный ресурс имеет огромный потенциал и может быть применен во многих промышленных областях, что делает особенно важным и актуальным исследование и улучшение физико-химических характеристик кокса, в частности нефтяного. [1], [2].

Основная часть

Сырой (или зеленый) нефтяной кокс – это полутвердое инертное вещество, преимущественно состоящее из углерода. Коксование является важным процессом нефтепереработки, поскольку использует тяжелые полиароматические фракции и остатки от других процессов глубокой переработки и трансформирует их в ценный и востребованный продукт. Примерный состав сырого кокса приведен в Таблица 1 [3], [4], [5].

Таблица 1 – Элементный состав кокса

Элемент	Доля, %
C	91 - 99,5
H	0,035 - 4
S	0,5 – 8
N+O	1,3 – 3,8
Металлы	Остаток

По своим физико-химическим свойствам и структуре гранул такой кокс близок к высококачественному коксующемуся углю. Часто уголь и кокс используются совместно или как альтернатива друг другу. Высокие мировые темпы добычи и переработки нефти также повсеместно стимулируют производство нефтяного кокса. Все чаще в мире возникает ситуация, когда производство нефтяного кокса оказывается дешевле, чем добыча угля. Кроме того, разведанные мировые запасы высококачественного угля стремительно сокращаются, в то время как производители нефтяного кокса имеют устойчивую сырьевую базу для его производства на много лет вперед при сохранении сегодняшних объемов переработки сырой нефти.

Область применения кокса определяется комплексом его характеристик. Качество нефтяного кокса закладывается на стадиях подбора сырья и замедленного коксования, а окончательно формируется на стадии прокалки. Гранулы зеленого кокса образованы неструктурированными кристаллитами, которые связаны между собой преимущественно валентными связями. Таким образом, внутреннее строение гранул петкокса на микроуровне непосредственно определяет его важнейшие свойства [4], [6], [7].

Электропроводный игольчатый кокс востребован в цветной металлургии, особенно в алюминиевой промышленности. Сырой кокс до прокалки обладает высоким внутренним сопротивлением. Низкая электропроводность и теплопроводность значительно сужают область использования петкокса [8]. Именно стадия прокалки закладывает высокие электрофизические характеристики электродного кокса.

Обычно процесс прокалки осуществляют в трубчатых вращающихся печах (см. **Ошибка! Источник ссылки не найден.**). Высокотемпературная обработка способствует очистке кокса от примесей летучих и гетероатомных соединений, а также структурированию его гранул. Только у оптимально прокаленного кокса проявляются нужные свойства – высокая тепло- и электропроводность, жаростойкость и механическая прочность. Такой кокс используют для производства электродных материалов [9].

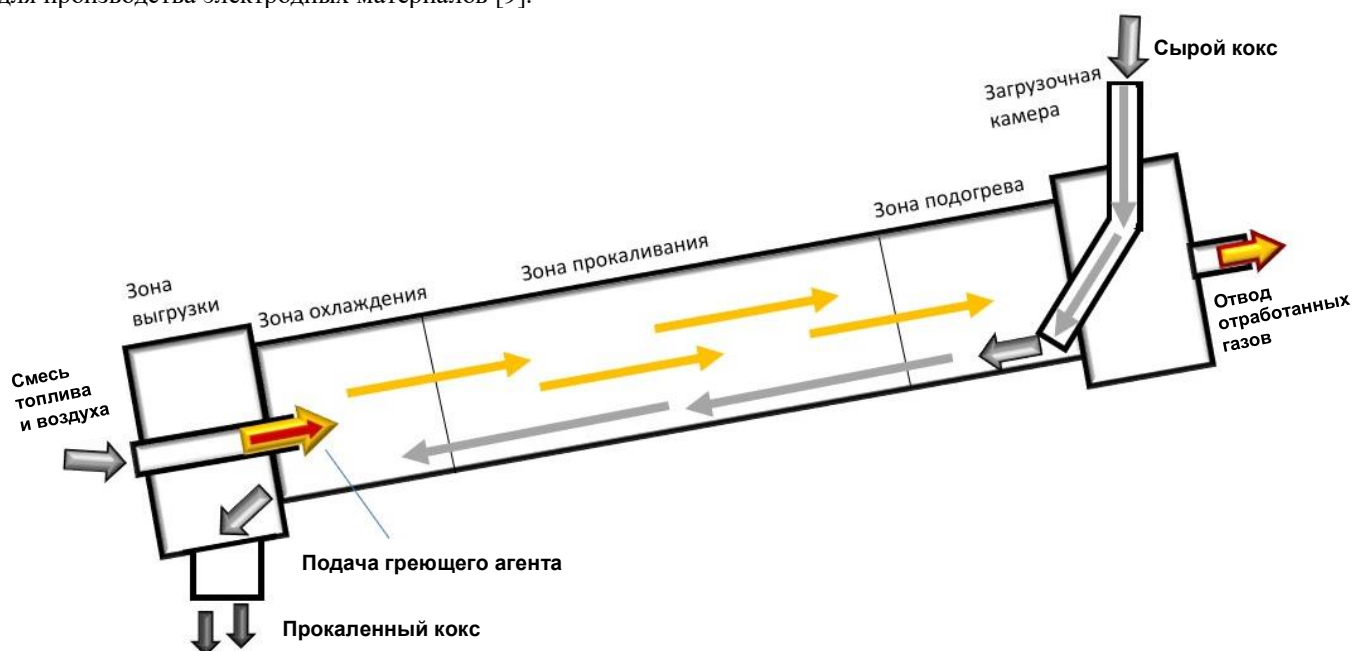


Рис. 1 – Схема прокалки сырого кокса в трубчатой вращающейся печи

Многолетняя практика показывает, что на данный момент в мире не существует лучшего аппарата для получения высококачественного металлургического кокса из нефти в промышленных масштабах, чем трубчатая вращающаяся печь. При прокаливании сырого кокса в печи реализуется несколько температурных зон, и в самой высокотемпературной из них температура составляет 1200-1450°C. По ходу процесса молярное отношение углерода к водороду резко возрастает (от 20 до 1000 и более). Помимо улучшения физико-химических свойства сырого кокса за счет формирования оптимальной микроструктуры, кокс также очищается от остаточных летучих примесей и гетероатомных соединений.

Процесс прокаливания кокса в трубчатой вращающейся печи может и должен контролироваться с использованием многоуровневой системы автоматизации. КПД процесса обжига петкокса составляет от 45 до 80%, в зависимости от качества конкретного сырья, параметров трубчатой печи и технологического режима прокаливания [10]. Одним из ключевых критериев оценки качества прокаливания кокса является однородность распределения температурных полей по всему объему сырого материала и внутри каждой отдельной гранулы. Температурное поле в данном случае – это сложная совокупность значений температуры во всех точках рассматриваемого пространства в текущий момент времени [9], [11], [12].

До настоящего времени в промышленности не используется универсальный алгоритм управления процессом прокаливания с учетом свойств конкретного сырого кокса. В зависимости от происхождения нефти и технологий ее переработки, предшествовавших формированию сырьевой базы, образцы сырого нефтяного кокса сильно различаются по микроструктуре и набору физико-химических свойств. Например, если в таком коксе содержится повышенное процентное содержание летучих веществ, то время обжига должно быть увеличено. Для проявления нужных электропроводных свойств у изотропного кокса процедуру его прокаливания необходимо проводить при более высоких температурах, чем в случае анизотропного кокса. Поиск решения задачи оптимального прокаливания нефтяного кокса является одним из приоритетных направлений исследования в нефтепереработке и металлургии [13].

Обжиг, как и любой другой эндотермический процесс, требует больших затрат тепловой энергии. Содержание большого количества летучих веществ и коксовой пыли в коксе может служить дополнительным источником энергии. При сгорании в трубчатой печи эти компоненты выделяют необходимое для протекания реакции прокаливания тепло [3], [14], [15]. Но при этом, естественно, снижается выход конечного товарного кокса.

Высококачественный плотный кокс мало выгорает и почти не вступает в другие химические реакции, поэтому срок службы анодных материалов из такого кокса будет на порядок выше. У пористого кокса коэффициенты износостойкости и жаропрочности намного ниже соответствующих коэффициентов анодного кокса. Металлические включения в анодном коксе оказывают дополнительное негативное воздействие на качество производимого с его использованием алюминия. Поэтому к петкоксу, предназначенному для производства электродного кокса, предъявляют весьма жесткие требования. Высокое содержание летучих веществ, серы и металлических примесей недопустимо, так как это отрицательно влияет на пористость конечного материала и другие важнейшие характеристики.

Оценку реакционной способности кокса при его непосредственном контакте с углекислым газом и кислородом воздуха проводят с использованием двух стандартных лабораторных тестов. В первом тесте проверяют реакционную способность материала по отношению к CO₂. Образцы кокса разогревают до температуры, близкой к 1000°C, и помещают в среду с высоким содержанием CO₂. Основная задача второго теста – определение устойчивости кокса к выгоранию при контакте с воздухом. Для этого образцы анодного кокса разогревают до температуры 550°C. В ходе каждого теста идут химические реакции (1) и (2), соответственно:



Перед проведением тестов все образцы кокса взвешивают, затем помещают их в лабораторную печь, имитирующую реальные производственные условия, где эти образцы выдерживают определенное время. После извлечения из печи образцы повторно взвешивают. Разница массы образцов до и после эксперимента характеризует потери углерода. Чем меньше изменяется масса тестируемых образцов, тем более качественным считается кокс [3], [6], [11].

Качество кокса зависит также от длины кристаллитов L_c. Чем больше длина кристаллитов L_c, тем выше качество кокса при прочих равных условиях. Длину кристаллитов кокса можно качественно оценить через режим его термической обработки. На Рис. 2 представлены обобщенные графики функций, отражающие изменение длины кристаллитов кокса в зависимости от температуры прокаливания.

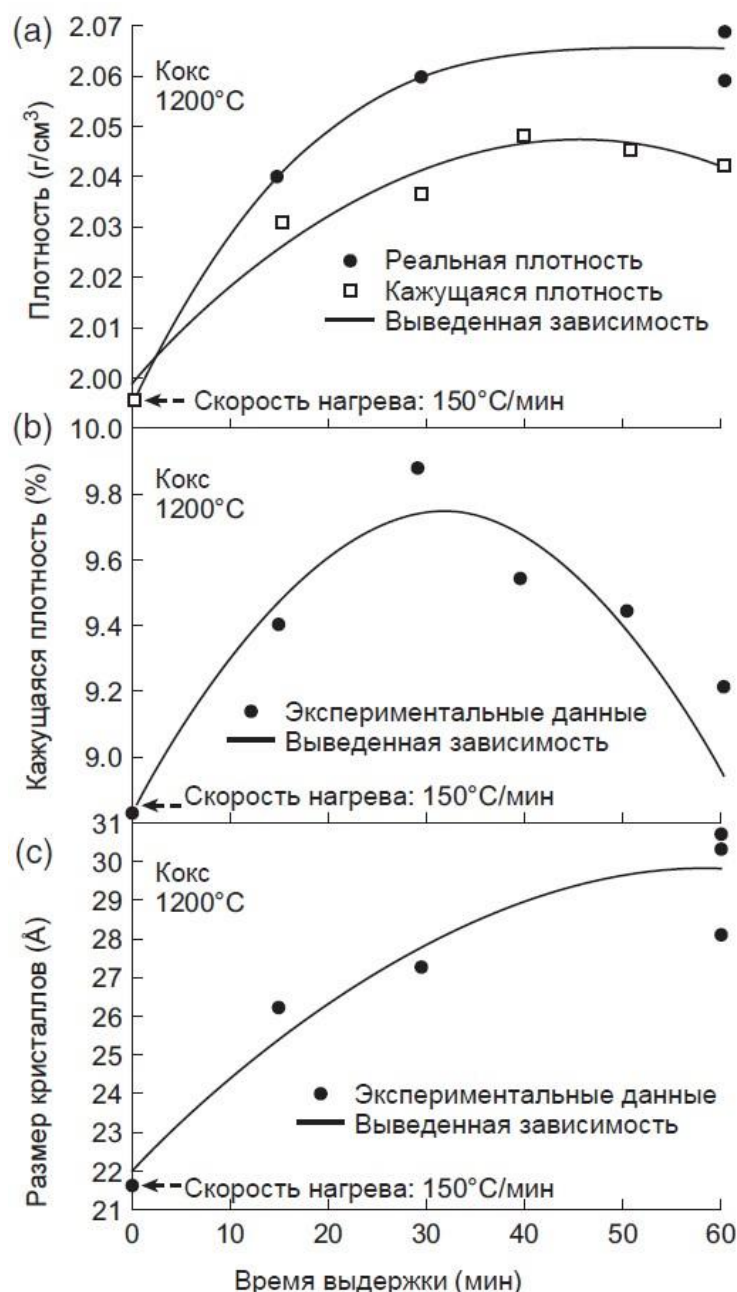


Рис. 2 – Изменение длины кристаллов кокса в процессе прокалики [6]

Увеличение длины зерен кокса в процессе прокалики происходит в соответствии с механизмом зародышеобразования, который описывается известным уравнением Аврами [6]. Для процесса обжига кокса в трубчатой печи это уравнение принимает следующий вид:

$$\Delta H = \frac{H^2 - H^1}{\rho_2 - \rho_1} = \int_{T_1}^{T_2} \frac{d}{dt} (\rho(T)) dT, \quad (3)$$

где H^1 и H^2 – тепловая функция кокса и графита соответственно, $T_{1,2}$ – начальная и конечная температура кокса, $\rho_{1,2}$ – плотности кокса и графита, $\rho(T)$ – корреляционная зависимость между плотностью и температурой.

Существует три ключевых параметра, оказывающих влияние на кинетику процесса прокаливания кокса: скорость и температура нагрева, а также время выдержки (Рис. 3). Зависимости плотности, пористости и размера кристаллов прокаленного кокса от температуры прокаливания (каждого из трех по отдельности) можно описать при помощи полинома третьей степени [6], [16]:

$$Y = a_0 + a_1 X + a_2 X^2 + a_3 X^3 \quad (4)$$

где X – температура, °C.

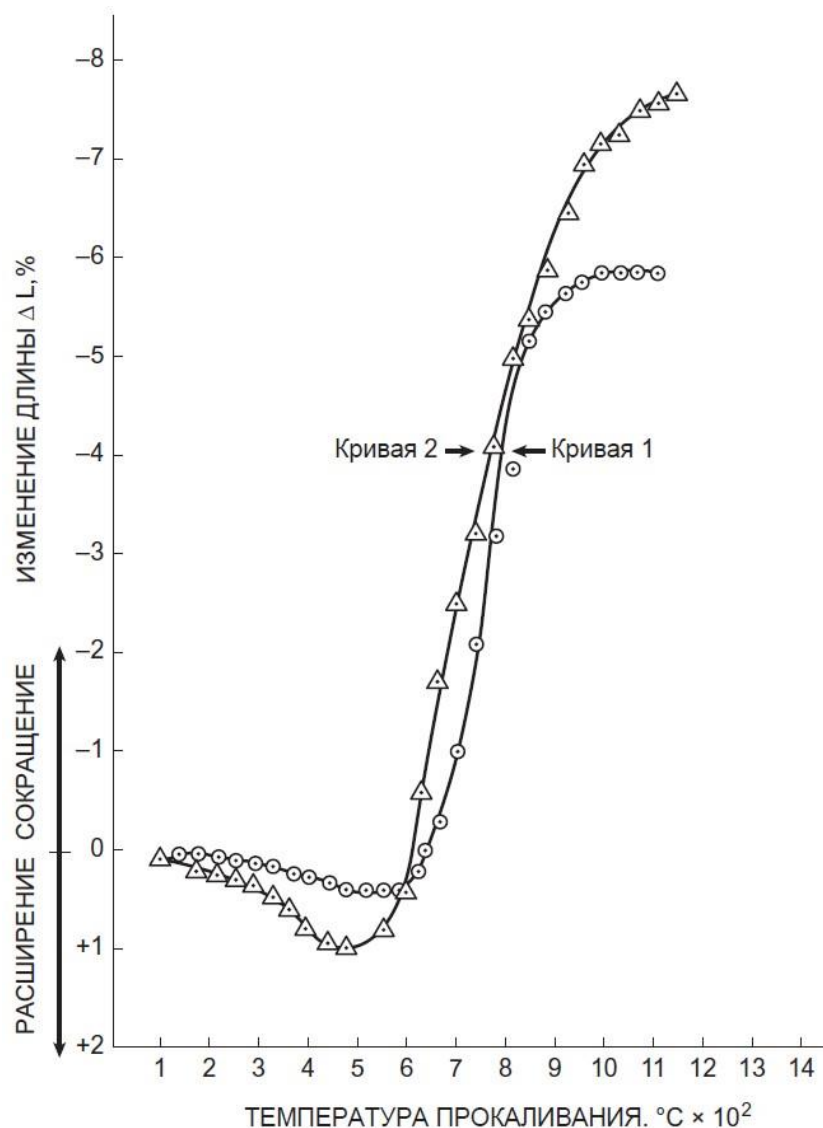


Рис. 3 – Влияние времени выдержки и температуры нагрева на свойства кокса (кривая 1 – анизотропный кокс; кривая 2 – изотропный кокс) [6]

С увеличением максимальной температуры обжига при прокаливании будет происходить активный рост кристаллитов кокса, возрастать пористость и увеличиваться реальная и кажущаяся плотности. С возрастанием скорости нагрева размер кристаллитов и реальная плотность уменьшаются, хотя кажущаяся плотность незначительно возрастает. Если в системе определены оптимальные скорость и температура нагрева, то размер кристаллитов и реальная плотность кокса будут возрастать с увеличением времени выдержки кокса в печи. Время выдержки является одной из важнейших характеристик процесса, поскольку изменение кажущихся плотности и пористости проходит через максимум [6], [9].

Чтобы достоверно оценить изменения, происходящие с коксом в процессе прокалики, необходим анализ температурного профиля используемой для этого процесса печи. Температурный профиль трубчатой вращающейся печи — это график, получаемый в ходе эксплуатации печи, на котором отображены фактические изменения температуры по всей длине трубчатой печи и во всем объеме обрабатываемого материала [17].

В промышленности не существует печей с полностью идентичными входными параметрами, что обусловлено геометрией и состоянием печи, качеством сырого кокса и технологией производства. С увеличением длины печи эффективность процесса прокалики кокса возрастает, достигая максимальных показателей, но затем плавно и незначительно снижается, поэтому использование необоснованно длинных трубчатых печей экономически и технологически нецелесообразно. Печи разных конструкций обладают различной энергоэффективностью, так как потребляют разное количество топливного газа на единицу продукции [18]. Информация по температурным профилям печей позволяет определить оптимальную длину трубчатой вращающейся печи для конкретного процесса и в значительной степени улучшить и оптимизировать процесс прокалики сырого кокса с данными характеристиками [6], [17].

Оценить эффективность очистки кокса от остаточных примесей можно при помощи технологических графиков, отражающих изменение массовых концентраций этих веществ в целевом продукте по мере его движения по длине печи. На

Рис. 4 приведен такой график, отражающий изменения массовых концентраций летучих компонентов в печи в результате происходящих внутри печи химических реакций при прокалике кокса [19], [20], [21].

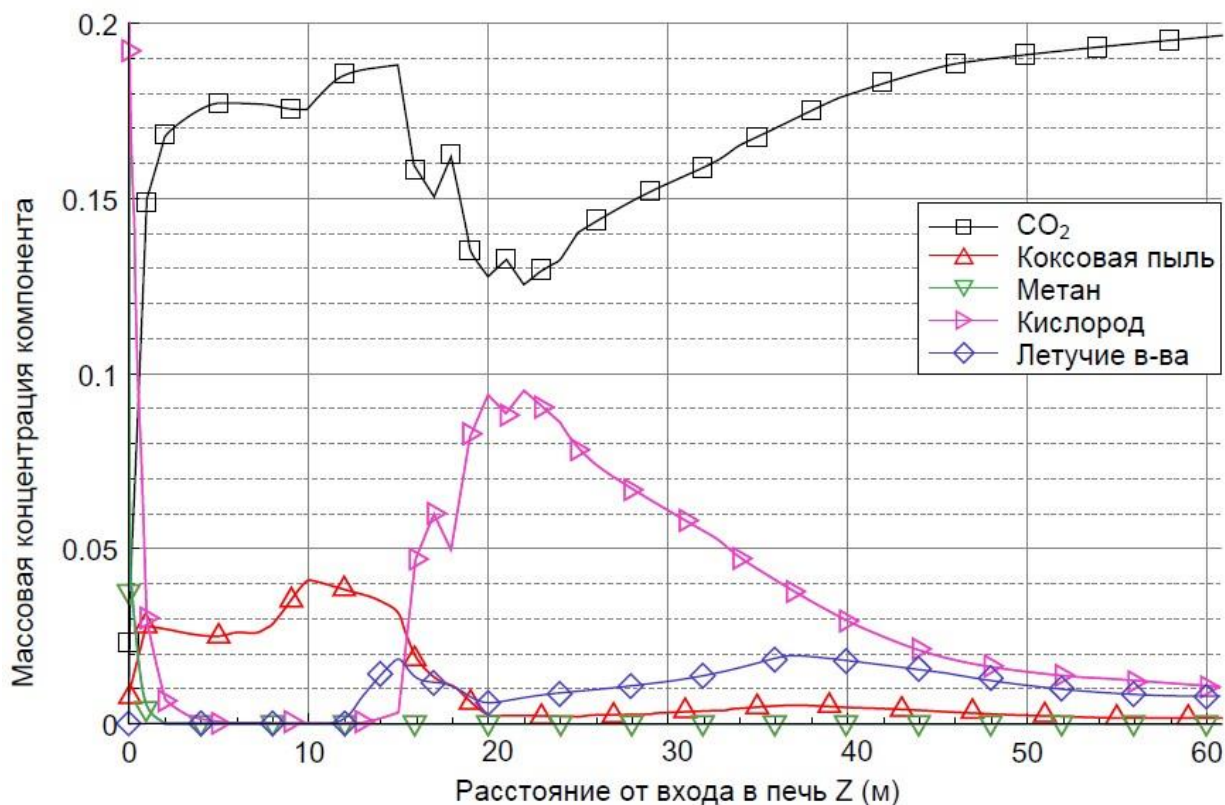


Рис. 4 – Распределение содержания количества примесей в коксе по длине печи [21]

По мере продвижения кокса в печи образуется углекислый газ, а массовые доли примесей остаточных летучих компонентов, содержащихся в коксе, постепенно снижаются. Это является результатом выжигания содержащихся в коксе примесей. Поэтому в зону протекания реакции необходимо организовать подачу кислорода, расходуемого при горении, чтобы интенсифицировать протекающие внутри печи реакции. По мере движения кокс прогревается, и в печи должен наблюдаться незначительный рост массовых концентраций летучих веществ, что вызвано высвобождением этих веществ из химически связанного состояния под воздействием высоких температур [19], [22]. Высвобождение химически связанных компонентов свидетельствует о том, что температурный режим прокаливания подобран правильно. На выходе из печи массовые концентрации кислорода и летучих компонентов должны стремиться к нулю, что будет свидетельствовать о том, что активная фаза прокаливания проходила равномерно во всем объеме кокса и в течение достаточного временного отрезка. Крайне малые массовые доли летучих веществ и кислорода на выходе из печи могут свидетельствовать о высоком качестве получаемого в ходе прокаливания продукта [15], [23], [24].

Для обеспечения удовлетворительных результатов прокаливания необходимо учитывать следующие технологические особенности:

1. В зоне высвобождения летучих компонентов необходимо обеспечить максимальное перемешивание гранул кокса с теплоносителем. Сгорание летучих веществ и пыли может значительно ускорить процесс нагрева обрабатываемого в печи кокса. Изменение скорости нагрева и увеличение температуры обжига влияет на плотность, пористость и размер зерна обжигаемого материала, что приводит к улучшению или ухудшению качества получаемого в результате обжига продукта [6], [16], [17].

2. Температура в зоне протекания целевой реакции должна достигать значений 1200-1400°C. Конструкция современных трубчатых печей такова, что температура, обеспечивающая оптимальное проведение физико-химических превращений в коксе, может поддерживаться на половине от всей длины корпуса печи. На практике доказано, что можно подобрать такую скорость движения кокса в печи, чтобы было обеспечено оптимальное время пребывания материала в горячей зоне и получение кокса с необходимой микроструктурой и свойствами [16], [20], [21].

3. Остаточные летучие вещества, содержащиеся в сыром коксе, относительно богаты водородсодержащими соединениями. Поэтому довольно заметную часть продуктов сгорания составляет водяной пар, который может быть отделен и использован в других технологических операциях. Водяной пар является наиболее распространенным средством закалки и охлаждения раскаленного кокса. Такая закалка необходима для предотвращения протекания в коксе нежелательных реакций при медленном остывании. Известно, что вода оказывает закалочное воздействие на структуру зерен металла и это явление хорошо изучено, но аналогичные данные, описывающие воздействие воды на структуру кокса, практически отсутствуют [22], [23], [25].

Заключение

Параметры, воздействующие на качество получаемого при прокатке кокса в наибольшей степени – это:

- 1) температура в горячей зоне печи,
- 2) длина горячей зоны,
- 3) время пребывания материала в горячей зоне.

На качество кокса также оказывает заметное влияние процедура закалки горячего кокса для остановки нежелательных побочных реакций. Поэтому для создания оптимальной системы управления необходимо разработать

математическую модель процесса прокаливания нефтяного кокса, учитывающую распределение температур внутри гранул в разных точках по длине печи. Такая математическая модель должна включать кинетическую модель реакции прокаливания для конкретного сырого кокса. Эту модель следует использовать в контуре управления технологическим режимом трубчатой вращающейся печи для выработки управляющих воздействий с целью компенсации поступающих возмущений [22].

Благодарности

Авторы благодарны руководству Санкт-Петербургского горного университета за внимание и поддержку.

Acknowledgement

The authors are grateful to the management of Saint Petersburg Mining University for their attention and support.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Савченков А. Л. Первичная переработка нефти и газа: учебн. пособие / А. Л. Савченков // ТюмГНГУ. - 2014. - 128 С. ISBN: 978-5-9961-0958-6
2. Joseph A. Caruso Petroleum Coke in the Urban Environment: A Review of Potential Health Effects / Caruso Joseph A. et al. // International Journal of Environmental Research and Public Health. - 2015. - V. 12. - P. 6218-6231. doi:10.3390/ijerph120606218
3. Кауфман А. А. Технология коксохимического производства / А. А. Кауфман, Г. Д. Харлампович // ВУХИН-НКА. - 1994. - 287 С. ISBN: 5-9900190-2-5
4. Твердохлебов В. П. Нефтяной кокс для алюминиевой промышленности. Технологии и свойства / В. П. Твердохлебов, С. А. Храменко, Ф. А. Бурюшкин, И. В. Павлов, С. Е. Прошкин // Журнал СФУ. Химия. - 2010. - Т.3. - №4 - С. 369-386. eISSN: 2313-5530
5. Савёлов В.Д. Стандартные образцы влагосодержания и насыпной плотности доменного кокса для нейтронных влагомеров и влагомеров-плотномеров: опыт разработки и применения / В.Д. Савёлов, А.С. Запорожец // Стандартные образцы. - 2016. - №1. - С. 31-41. doi:10.20915/2077-1177-2016-0-1-31-41
6. Boateng A. A. Rotary Kilns, Second Edition: Transport Phenomena and Transport Processes / A. A. Boateng // Butterworth-Heinemann, - 2016. - P. 368. ISBN: 9780128038536
7. Валявин Г. Г. Процесс замедленного коксования и производство нефтяных коксов, специализированных по применению / Г. Г. Валявин, В. П. Запорин, Р. Г. Габбасов, Т. И. Калимулин // Процесс замедленного коксования и производство нефтяных коксов, специализированных по применению // Территория Нефтегаз. - 2011. - №8. - С. 44-49. eISSN: 2072-2761
8. Сизяков В. М. Формирование структуры и свойств анодов Соденберга / В. М. Сизяков, В. Ю. Бажин, Е. О. Судницин // Международный научно-исследовательский журнал. - 2016. - Т. 49. - №7(4). - С. 62-64. doi:10.18454/IRJ.2016.49.146
9. Perry R. H. O. Perry's chemical engineers' handbook, 9th edition / R. H. Perry, D. W. Green, J.O. Maloney // McGraw-Hill. - 2019. - P. 5293. ISBN: 0071834087
10. Delyukin N. Y. Opportunities of industrial use of products of in-depth refining / N. Y. Delyukin // Colloquium-journal. - 2018. - V. 23. - N. 12. - P. 8-10. ISSN 2520-6990
11. Кубасов А. А. Химическая кинетика и катализ. Часть 1 / А. А. Кубасов // Изд-во Московского университета. - 2004. - 144 С. [Электронный ресурс] : – URL: <http://www.chemnet.ru/rus/teaching/kubasov/all.pdf> (дата обращения: 13.10.2020)
12. Герасименко Т. Е. Тепловой баланс объемных зон процесса прокаливания в режиме прямотока углеродных Материалов в барабанной вращающейся печи / Т. Е. Герасименко // Северо-Кавказский горно-металлургический институт. - 2013. - Т. 5. - № 1. - С. 5-9. ISSN:1998-4502
13. Дошлов О. И. Влияние тяжелой смолы пиролиза на свойства анодной массы / И. О. Дошлов, В. В. Кондратьев, А. А. Угайев // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. - 2014. - Т. 7. - № 2 - С. 67-75. ISSN:2227-2925
14. Корпенкова К. Г. Анализ работы установки прокаливания кокса / К. Г. Корпенкова, М. А. Шевченко // Наука и образование сегодня. - 2017. - Т. 203. - № 12. - С. 20-21. ISSN 2541-7789
15. Кауфман А. А. Отечественные и зарубежные коксовые печи: конструкции и оборудование: учебн. пособие / А. А. Кауфман, Ю. Я. Филоненко. // Изд-во Уральского Университета. - 2013. - 88 С. ISBN 978-5-7996-1129-3
16. Kocaefe D. Green coke pyrolysis: investigation of simultaneous changes in gas and solid phases / D. Kocaefe, A. Charette, L. Castonguay // Fuel. - 1995. - V. 74. - N. 6. - P. 791-799. doi:10.1016/0016-2361(95)00022-w
17. Edwards L. The History and Future Challenges of Calcined Petroleum Coke Production and Use in Aluminum Smelting / Edwards L. // JOM. - 2014. - V. 67. - N. 2. - P. 308-321. doi:10.1007/s11837-014-1248-9
18. Тагиров М. А. Оптимальная длина барабанной вращающейся печи для активирования углеродного материала / М. А. Тагиров и др. // Башкирский химический журнал. - 2014. - Т. 21. - № 1. - С. 29-32. ISSN: 0869-8406
19. Kevin H. Improving the Precision and Productivity of Green Coke Volatile Matter Analysis / H. Kevin, L. Edwards, J. Marino, M. Lubin // TMS Light Metals. - 2012. - P. 1267-1272. doi:10.1002/9781118359259.ch218.
20. Zhang Z. Simulation of combustion and thermal-flow inside a petroleum coke rotary calcining kiln - Part I: process review and modeling / Z. Zhang, T. Wang // Journal of Thermal Science and Engineering Applications. - 2010. - V. 2. - N. 021006. - P. 1-11. doi:10.1115/1.4002524

21. Zhang Z. Simulation of combustion and thermal-flow inside a petroleum coke rotary calcining kiln - Part II: analysis of effects of tertiary airflow and rotation / Z. Zhang, T. Wang // Journal of Thermal Science and Engineering Applications. - 2010. - V. 2. - N. 021007. - P. 1-7. doi:10.1115/1.4002525
22. Sharikov F. Yu. The study and modeling of coals and cokes behaviour with applying thermal analysis technique / F. Yu. Sharikov, V. Yu. Bazhin // Proceedings of XIX International Coal Preparation Congress. - 2019. - N. 1. - P. 105-114. ISBN: 9783319409429
23. Kocaefe D. Hydrodesulfurization of Petroleum Coke/ D. Kocaefe et al. // Proceedings of the 36th International ICSOBA Conference. - 2018. - P. 495-510.
24. Rohani A. Calcinations of Petroleum coke / A. Rohani, K. Sharifi, R. Golpasha // Proceedings of 3rd International Conference on Chemical, Ecology and Environmental Sciences. - 2014. - P. 118-120. [Electronic resource] : URL: https://www.researchgate.net/publication/315765367_Calcinations_of_Petroleum_coke (accessed: 13.10.2020)
25. Zhang Z. Investigation of Combustion and Thermal-Flow Inside a Petroleum Coke Rotary Calcining Kiln with Potential Energy Saving Considerations/ Z. Zhang, T. Wang // Journal of Thermal Science and Engineering Applications. - 2011. - V. 5. - N. 1. - P. 1-13. doi:10.1115/IMECE2011-64643

Список литературы на английском языке / References in English

1. Savchenkov A. L. Pervichnaya pererabotka nefi i gaza: ychebnoe posobie [Primary processing of oil and gas: a textbook] / A. L. Savchenkov // TumGNGU [TSU]. - 2014. P. 128. ISBN: 978-5-9961-0958-6 [in Russian]
2. Joseph A. Caruso Petroleum Coke in the Urban Environment: A Review of Potential Health Effects / Caruso Joseph A. et al. // International Journal of Environmental Research and Public Health. - 2015. - V. 12. - P. 6218-6231. doi:10.3390/ijerph120606218
3. Kaufman A. A. Tekhnologiya koksohimicheskogo proizvodstva [Coking chemical production technology] / A. A. Kaufman, G. D. Harlampovich // VUKHIN-NKA [VUKHIN-NKA]. - 1994. - P. 287. ISBN: 5-9900190-2-5 [in Russian]
4. Tverdokhlebov V. P. Neftyanoi koks dlya aluminievoi promishlennosti. Tekhnologiya i svoystva [Petroleum coke for the aluminum industry. Technology and properties] / V. P. Tverdokhlebov, S. A. Khramenko, F. A. Buryukin, I. V. Pavlov, S. E. Proshkin // Zhurnal SFU. Khimiya [Magazine of SFU. Himiya]. - 2010. V.3. №4 P. 369-386. eISSN: 2313-5530 [in Russian]
5. Savelov V. D. Standartnye obrazci vlagosoderzhaniya i nasypnoi plotnosti domennogo koksa dlya neitronnykh vlagomerov i vlagomerov-plotnomerov: opyt razrabotki i primeneniya [Standard samples of moisture content and bulk density of blast furnace coke for neutron moisture meters and moisture density meters: experience in development and application] / V. D. Savelov, A. S. Zaporozhets // Standartnye obrazci [Standard samples]. 2016. №1. P. 31-41. doi:10.20915/2077-1177-2016-0-1-31-41 [in Russian]
6. Boateng A. A. Rotary Kilns, Second Edition: Transport Phenomena and Transport Processes / A. A. Boateng // Butterworth-Heinemann, - 2016. - P. 368. ISBN: 9780128038536
7. Valyavin G. G. Process zamedlennogo koksovaniya i proizvodstvo neftyanikh koksov, specializirovannykh k primeneniyu [Process of delayed coking and production of petroleum coxes specialized in application] / G. G. Valyavin, V. P. Zaporin, R. G. Gabbasov, T. I. Kalimulin // Territoriya NEFTEGAZ [Territory of Neftegaz]. - 2011. - Issue. 8. - P. 44-49. eISSN: 2072-2761 [in Russian]
8. Sizyakov V. M. Formirovanie struktury i svoystv anodov [Formation of structure and properties of Soderbergh anodes] / V. M. Sizyakov, V. Yu. Bazhin, E. O. Sudnitsyn // Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal [International research journal]. - 2016. - V. 49. - Issue. 7(4). - P. 62-64. doi:10.18454/IRJ.2016.49.146 [in Russian]
9. Perry R. H. Perry's chemical engineers' handbook, 9th edition / R. H. Perry, D. W. Green, J.O. Maloney // McGraw-Hill. - 2019. - P. 5293. ISBN: 0071834087
10. Delyukin N. Y. Opportunities of industrial use of products of in-depth refining / N. Y. Delyukin // Colloquium-journal. - 2018. - V. 23. - N. 12. - P. 8-10. ISSN 2520-6990
11. Kubasov A. A. Himicheskaya kinetika i kataliz. Chast' 1. [Chemical kinetics and catalysis. Part 1] / A. A. Kubasov // Moscow University publishing House. - 2004. - 144 P. [Electronic resource] : URL: <http://www.chemnet.ru/rus/teaching/kubasov/all.pdf> (accessed: 13.10.2020) [in Russian]
12. Gerasimenko T. E. Teplovoj balans ob'emnykh zon processa prokalivaniya v rezhime prjamotoka uglerodnykh Materialov v barabanno- vrashhajushhejsja pechi [Thermal balance of volume zones of calcination process in the mode of direct flow of carbon Materials in a drum rotating furnace] / T. E. Gerasimenko // Severo-Kavkazskij gorno-metallurgicheskij institut [North Caucasus mining and metallurgical Institute]. - 2013. - V. 5. - N. 1. P. 5-9. ISSN: 1998-4502 [in Russian]
13. Doshlov O. I. Vliyanie tjazhelej smoly piroliza na svoystva anodnoj massy [Influence of heavy pyrolysis resin on the properties of anode mass] / I. O. Doshlov, V. V. Kondrat'ev, A. A. Gapeev // Izvestija vuzov. Prikladnaja himija i biotekhnologija [News from universities. Applied chemistry and biotechnology]. - 2014. - V. 7. - N. 2 - P. 67-75. ISSN:2227-2925 [in Russian]
14. Karpenkova K. G. Analiz raboty ustanovki prokalivaniya koksa [Analysis of the work of the coke calcination plant] / K. G. Karpenkova, M. A. Shevchenko // Nauka i obrazovanie segodnja [Science and education today]. - 2017. - V. 203. - Issue. 12. - P. 20-21. ISSN 2541-7789 [in Russian]
15. Kaufman A. A. Otechestvennye i zarubezhnye koksovyje pechi: konstrukcii i oborudovanie [Domestic and foreign coke ovens: structures and equipment: textbook] / A. A. Kaufman, Yu. Ya. Filonenko. // Publishing house of the Ural University. - 2013. - 88 P. ISBN 978-5-7996-1129-3 [in Russian]
16. Kocaefe D. Green coke pyrolysis: investigation of simultaneous changes in gas and solid phases / D. Kocaefe, A. Charette, L. Castonguay // Fuel. - 1995. - V. 74. - Issue. 6. - P. 791-799. doi:10.1016/0016-2361(95)00022-w
17. Edwards L., The History and Future Challenges of Calcined Petroleum Coke Production and Use in Aluminum Smelting / Edwards L. // JOM. - 2014. - V. 67. - Issue. 2. - P. 308-321. doi:10.1007/s11837-014-1248-9
18. Tagirov M. A. Optimal'naja dlina barabanno- vrashhajushhejsja pechi dlja aktivirovaniya uglerodnogo materiala [Optimal length of a drum rotating furnace for activating carbon material] / M. A. Tagirov et al. // Bashkirskij himicheskij zhurnal [Bashkir chemical journal]. - 2014. - Vol. 21. - Issue. 1. - P. 29-32. ISSN: 0869-8406 [in Russian]

19. Kevin H. Improving the Precision and Productivity of Green Coke Volatile Matter Analysis / H. Kevin, L. Edwards, J. Marino, M. Lubin // TMS Light Metals. - 2012. - P. 1267-1272. doi:10.1002/9781118359259.ch218.
20. Zhang Z. Simulation of combustion and thermal-flow inside a petroleum coke rotary calcining kiln - Part I: process review and modeling / Z. Zhang, T. Wang // Journal of Thermal Science and Engineering Applications. - 2010. - V. 2. - Issue. 021006. - P. 1-11. doi:10.1115/1.4002524
21. Zhang Z. Simulation of combustion and thermal-flow inside a petroleum coke rotary calcining kiln - Part II: analysis of effects of tertiary airflow and rotation / Z. Zhang, T. Wang // Journal of Thermal Science and Engineering Applications. - 2010. - V. 2. - Issue. 021007. -P. 1-7. doi:10.1115/1.4002525
22. Sharikov F. Yu. The study and modeling of coals and cokes behaviour with applying thermal analysis technique / F. Yu. Sharikov, V. Yu. Bazhin // Proceedings of XIX International Coal Preparation Congress. - 2019. - Issue. 1. - P. 105-114. ISBN: 9783319409429
23. Kocaefe D. Hydrodesulfurization of Petroleum Coke/ D. Kocaefe et al. // Proceedings of the 36th International ICSOBA Conference. - 2018. - P. 495-510.
24. Rohani A. Calcinations of Petroleum coke / A. Rohani, K. Sharifi, R. Golpasha // Proceedings of 3rd International Conference on Chemical, Ecology and Environmental Sciences. - 2014. - P. 118-120. [Electronic resource] : – URL: https://www.researchgate.net/publication/315765367_Calcinations_of_Petroleum_coke (accessed: 13.10.2020)
25. Zhang Z. Investigation of Combustion and Thermal-Flow Inside a Petroleum Coke Rotary Calcining Kiln with Potential Energy Saving Considerations/ Z. Zhang, T. Wang // Journal of Thermal Science and Engineering Applications. - 2011. - V. 5. - Issue. 1. - P. 1-13. doi:10.1115/IMECE2011-64643

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.101.11.006>**МОДЕЛИ ДВИГАТЕЛЕЙ С ПРОТИВОПОЛОЖНО ДВИЖУЩИМИСЯ ПОРШНЯМИ
КОМПАНИИ ACHATES POWER**

Обзорная статья

Кузнецов Г.А.^{1,*}, Брюховецкая Е.В.², Кутуров Д.В.³^{1, 2, 3} Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

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

Аннотация

В последнее время наблюдается интерес к двухтактным двигателям с противоположно движущимися поршнями со стороны различных научных организаций и предприятий всего мира. В статье проведен анализ научно-исследовательской деятельности компании Achates Power, занимающейся проектированием и созданием двухтактных двигателей с противоположно движущимися поршнями. Представлена поэтапная технология создания двигателей. Компанией предложены 7 моделей двигателей в мощностном диапазоне от 64 до 460 л.с. Приведены основные технические характеристики моделей двигателей. Показано, что компьютерное моделирование позволяет масштабировать технологию создания двухтактных двигателей с противоположно движущимися поршнями в широком мощностном диапазоне.

Ключевые слова: двигатели с противоположно движущимися поршнями, модели двухтактных двигателей, компьютерное моделирование.

MODELS OF TWO-STROKE ENGINES WITH OPPOSITE PISTONS BY ACHATES POWER

Review article

Kuznetsov G.A.^{1,*}, Bryukhovetskaya E.V.², Kuturov D.V.³^{1, 2, 3} Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

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

Abstract

Recently, there has been interest in two-stroke engines with opposite pistons from various scientific organizations and enterprises around the world. The article analyzes the research activities of the Achates Power company, which is engaged in the design and creation of two-stroke engines with opposite pistons. A step-by-step technology for creating engines is presented. The company offers 7 engine models in the power range from 64 to 460 HP. The main technical characteristics of engine models are given. It is shown that computer modeling makes it possible to scale the technology for creating two-stroke engines with opposite pistons in a wide power range.

Keywords: engines with opposite pistons, two-stroke engine models, computer modeling.

Введение

В последние 20 лет наблюдается повышение интереса к двухтактным двигателям с противоположно движущимися поршнями (OP2S), к технологии их создания и производства со стороны различных научных организаций и предприятий всего мира. К положительным качествам двигателей OP2S по сравнению с четырехтактными двигателями следует отнести: высокую литровую мощность, меньшие габариты и массу; больший термический и механический КПД; хорошую уравновешенность и большую равномерность крутящего момента даже при малом количестве цилиндров; простоту конструкции и др.

Первые двигатели OP2S были созданы в 1880-х годах в Германии. Мощный толчок в развитии начался в 1930-х годах в связи с разработкой и массовым производством фирмой Junkers дизельных двигателей Jumo 205, Jumo 207 и других модификаций для авиации [1]. В дальнейшем двигатели OP2S разрабатывались и изготавливались во многих странах мира. Они устанавливались на корабли, тепловозы, танки и другие транспортные средства. Кроме того, они применялись как генераторные установки для выработки электрической энергии.

Главными трудностями на пути широкого применения двигателей OP2S оставались: повышенное потребление топлива и масла, а также высокая токсичность выхлопа, что в конечном итоге значительно уменьшило их производство в конце XX века. На сегодняшний день разработкой и производством двигателей OP2S занимаются: Харьковский завод имени В.А. Малышева, Fairbanks Morse Engine, Superior Air Parts, Achates Power и другие компании. Для насыщения рынка и обеспечения транспортной и энергетической промышленности современными двигателями необходимо создание моделей двигателей OP2S в широком диапазоне мощностей.

Цель работы: исследование моделей двухтактных двигателей с противоположно движущимися поршнями компании Achates Power.

О компании Achates Power

В 2004 году в Сан-Диего (шт. Калифорния, США) была создана инжиниринговая компания Achates Power. Она занимается проектированием и созданием двухтактных двигателей с противоположно движущимися поршнями, а также продвижением своих технологий к промышленному применению. В компании проводятся фундаментальные исследования внутрицилиндровых процессов в двигателях OP2S, разработка современных методов проектирования двигателей, программных продуктов и др. Специалисты компании публикуют большое количество научных статей, имеют более 250 патентов, демонстрируют разработки на международных выставках, конференциях, автосалонах. Компания разрабатывает модели двигателей, готовит предложения по ремоторизации и по стимулированию перехода на двигатели более высокого экологического класса.

Компания Achates Power активно сотрудничает с более чем 12 стратегическими партнерами: Cummins (компания по разработке и производству дизельных двигателей и их компонентов); Fairbanks Morse Engine (компания, производящая дизельные двигатели); Delphi Technologies (компания, производящая компоненты двигателей и др.); Peterbilt Motor Company (компания, производящая грузовые автомобили); GVSC (ведущий научно-технический центр сухопутных транспортных средств Армии США); Argonne National Laboratory (национальный исследовательский центр Министерства энергетики США); CARB (калифорнийский совет по воздушным ресурсам, разработчик стандартов и норм выбросов вредных веществ); ARPA-E (агентство перспективных исследований в области энергетики Министерства энергетики США); CALSTART (национальная некоммерческая организация, занимающаяся разработкой и продвижением экологических транспортных технологий); OGCi (нефтегазовая климатическая инициатива, объединяющая порядка 13 крупнейших мировых нефтяных компаний, включая Saudi Aramco) и др.

Источниками финансирования компании Achates Power являются собственные средства, средства федерального бюджета, а также средства коммерческих организаций и иные внебюджетные источники. Всего компания привлекла более 185 млн. долларов инвестиций в виде различных грантов от государства и частных инвесторов [2].

Технология создания двигателей в компании Achates Power

В основу технологии создания двухтактных двигателей с противоположно движущимися поршнями положено компьютерное моделирование. Оно позволяет моделировать рабочие процессы в двигателе и описывать их в детальной пространственной постановке. С помощью компьютерного моделирования строятся геометрические, физические, термодинамические, математические и др. модели. При этом используются самые современные компьютерные программы.

Создание двухтактных двигателей с противоположно движущимися поршнями проводится в несколько этапов. На первом этапе выбираются целевые показатели, в качестве которых могут быть: мощность, крутящий момент, удельный расход топлива и др. Проводится расчет основных геометрических параметров двигателя (диаметр цилиндра, ход поршня, степень сжатия и др.). Выполняется предварительный расчет рабочих характеристик двигателя с учетом газодинамики и механических потерь в нулевой постановке с помощью специализированного программного комплекса. Создается расчетная схема с помощью блоков, отвечающих за конкретный узел двигателя. Термодинамический расчет позволяет оценить рабочие характеристики двигателя в зависимости от частоты вращения коленчатого вала и различных углов открытия дроссельной заслонки.

В ходе проведенных исследований было выявлено преимущество двигателей OP2S по сравнению с 4-тактными дизельными двигателями такой же мощности. Двигатели обладают большей эффективностью благодаря: меньшему отношению площади камеры сгорания к ее объему (~36%); увеличенному термическому КПД; более эффективной продувке и др. В двигателе OP2S происходит более короткое и интенсивное сгорание с более высоким пиком высвобождения энергии, что повышает тепловую эффективность двигателя [3], [4], [6].

Второй этап – моделирование газо- и термодинамических процессов в двигателе OP2S проводится в трехмерной постановке с учетом геометрических особенностей двигателя и теплоотдачи в стенки камеры сгорания. Выполняется трехмерная модель двигателя, после чего проводятся прочностные и теплофизические расчеты этой модели. По созданной трехмерной модели двигателя выполняются рабочие чертежи деталей.

В результате компьютерного моделирования двигателей OP2S были оптимизированы: формы камеры сгорания и головки поршня; расположение продувочных отверстий в гильзе цилиндра и схема распыления; масляное охлаждение поршня; системы охлаждения и смазки двигателя и др. [5], [7]. Кроме того, было определено оптимальное количество цилиндров – для многоцилиндрового двигателя OP2S оно равно 3. Оптимальное отношение хода поршня к диаметру цилиндра находится в диапазоне от 2,2 до 2,65 [4], [7].

Компьютерное моделирование дает возможность прогнозировать другие модели двигателей большей или меньшей мощности, что позволяет масштабировать технологию. В компании посредством компьютерного моделирования были разработаны 4 модели двигателей OP2S с рабочим объемом от 3,2 до 9,8 литра и количеством цилиндров в двигателе от 3 до 4 (табл. 1) [5], [7], [8], [9]. Модели двигателей сформированы на базе трех типоразмеров цилиндропоршневых групп (ЦПГ). Диапазон мощности двигателей составлял от 190 до 460 л.с.

Таблица 1 – Модели двигателей OP2S компании Achates Power

Параметры	Модель 1	Модель 2	Модель 3	Модель 4
Рабочий объем двигателя, л	3,2	4,3	4,9	9,8
Количество цилиндров	3	4	3	3
Диаметр цилиндра, мм	80	80	98,425	120
Общий ход поршней, мм	212,8	212	215,9	288
Отношение S/D	2,66	2,65	2,19	2,4
Степень сжатия	16,7	17,4	15,6	21
Среднее эффективное давление, бар	13,6	13,6	12,8	11,6
Максимальная мощность, кВт (л.с.) при частоте вращения, об/мин	140 (190) 2400	210 (285) 2400	160 (217) 2160	340 (460) 1800
Максимальный крутящий момент, Нм при частоте вращения, об/мин	720 1600	920 1500	1000 1200-1600	2100 1200-1400
Литература	[9]	[8]	[7]	[5]

Третий этап – изготовление и испытание экспериментального одноцилиндрового двигателя OP2S. Данные испытания проводят для оптимизации рабочего процесса и контроля за состоянием деталей (поршень, цилиндр и др.), подвергнутых тепловым нагрузкам. В компании изготовили и подвергли испытаниям два экспериментальных одноцилиндровых двигателя A40 и A48-1 двух типоразмеров максимальной мощностью 64 и 72 л.с. соответственно. Основные параметры двигателей представлены в табл. 2 [4], [7], [9]. Компания провела более 5 000 часов стендовых испытаний экспериментальных одноцилиндровых двигателей.

Таблица 2 – Экспериментальные одноцилиндровые двигатели OP2S

Параметры	A40	A48-1
Рабочий объем двигателя, л	1,07	1,64
Количество цилиндров	1	1
Диаметр цилиндра, мм	80	98,425
Общий ход поршней, мм	212,8	215,9
Отношение S/D	2,66	2,19
Степень сжатия	16,7	15,6
Среднее эффективное давление, бар	13,6	12,8
Максимальная мощность, кВт (л.с.)	47 (64)	53 (72)
при частоте вращения, об/мин	2400	2200
Литература	[8], [9]	[4], [7]

Четвертый этап – изготовление и испытание экспериментального многоцилиндрового двигателя OP2S. Данные испытания проводят для подтверждения заданных целевых показателей по функциональности и надежности, а также по расходу топлива и вредным выбросам. При этом проводятся испытания системы охлаждения, системы смазки, снятие вибрационных характеристик, ресурсные испытания и др. В компании изготовили и подвергли испытаниям экспериментальный трехцилиндровый двигатель A48-3 (рис. 1) номинальной мощностью 280 л.с. [5], [10]. Он был разработан на базе ЦПГ двигателя A48-1. Основные параметры двигателя представлены в табл. 3. В общей сложности компания провела более 15 000 часов стендовых испытаний своих экспериментальных двигателей [2].

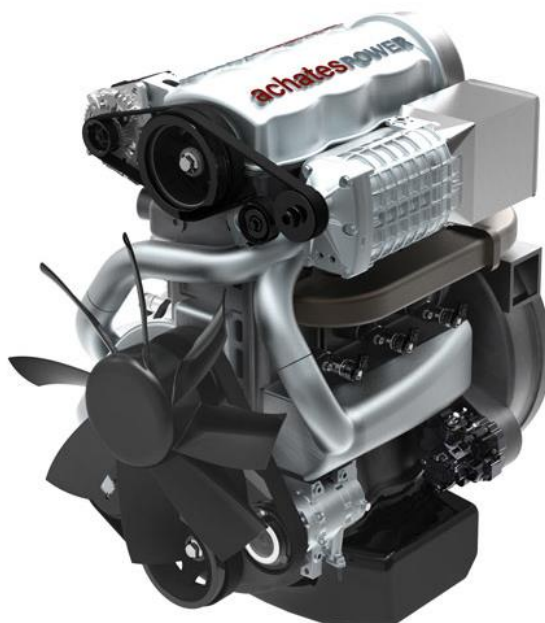


Рис. 1 – Двигатель OP2S с рабочим объемом 4,9 л.

Таблица 3 – Экспериментальный трехцилиндровый двигатель OP2S

Параметры	A48-3
Рабочий объем двигателя, л	4,9
Количество цилиндров	3
Диаметр цилиндра, мм	98,4
Общий ход поршней, мм	216
Отношение S/D	2,2
Степень сжатия	17,4
Среднее эффективное давление, бар	13,6
Номинальная мощность, кВт (л.с.)	205 (280)
при частоте вращения, об/мин	2200
Литература	[5], [10]

Предложенная технология позволит создать модельные ряды двухтактных двигателей с противоположно движущимися поршнями. Двигатели должны соответствовать требованиям международных стандартов по предельно допустимым выбросам вредных веществ, топливной экономичности. Специалисты компании Achates Power считают, что с помощью современных технологий, компьютерного управления работой двигателя, топливной системы common rail с высоким давлением многостадийного впрыска, системы рециркуляции отработавших газов, высокоэффективного турбонаддува и др., можно повысить литровую мощность двигателя, снизить значения предельно допустимых выбросов вредных веществ и удельного расхода топлива.

Заключение

Двухтактные двигатели с противоположно движущимися поршнями являются современными энергетическими установками. Широкое применение компьютерного моделирования позволит облегчить процессы унификации узлов и деталей двигателей. Серийное производство двигателей может быть организовано на базе традиционных технологий и не требует совершенно новой инфраструктуры. Применение масштабируемой технологии позволит создавать модельные ряды мощных, экономичных и экологичных двигателей гражданского и военного назначения.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Pirault J.-P. Opposed Piston Engines: Evolution, Use, and Future Applications / J.-P. Pirault, M. Flint. Warrendale, PA, SAE International, 2010, 562 p.
2. Redon F. Performance and Emissions / F. Redon. [Electronic resource] : – URL: https://www.achatespower.com/achates-power-opes_achates-power_redon.pdf (accessed 01.09.2020).
3. Herold R. Thermodynamic Benefits of Opposed-Piston Two-Stroke Engines / R. Herold, M. Wahl, G. Regner, J. Lemke et al. // SAE Technical Paper, 2011-01-2216, 2011, doi:10.4271/2011-01-2216.
4. Naik S. Practical Applications of Opposed-Piston Engine Technology to Reduce Fuel Consumption and Emissions / S. Naik, D. Johnson, J. Koszewnik, L. Fromm et al. // SAE Technical Paper, 2013-01-2754, 2013, doi:10.4271/2013-01-2754.
5. Abani N. Developing a 55% Commercial Heavy-Duty Opposed-Piston Engine without a Waste Heat Recovery System / N. Abani, N. Nagar, R. Zermenio, M. Chiang et al. // SAE Technical Paper, 2017-01-0638, 2017, doi:10.4271/2017-01-0638.
6. Redon F. Meeting Stringent 2025 Emissions and Fuel Efficiency Regulations with an Opposed-Piston, Light-duty Diesel Engine / Redon F., Kalebjian C., Kessler J., Rakovec N. et al. // SAE Technical Paper, 2014-01-1187, 2014, doi:10.4271/2014-01-1187.
7. Regner G. Modernizing the Opposed-Piston, Two-Stroke Engine for Clean, Efficient Transportation / Regner G., Fromm I., Johnson D., Koszewnik J. et al. // SAE Technical Paper, 2013-26-0114, 2013, doi:10.4271/2013-26-0114.
8. Johnson D. Opposed-Piston Two-Stroke Diesel Engine - a Renaissance / Johnson D., Wahl M., Redon F., Dion E. et al. // Symposium on International Automotive Technology (SIAT), 2011. [Electronic resource]: – URL: <https://www.achatespower.com/SIATKeynoteOpposedPistonTwoStroke.pdf> (accessed 01.09.2020).
9. Regner G. The Achates Power Opposed-Piston Two-Stroke Engine: Performance and Emissions Results in a Medium-Duty Application / Regner G., Herold R., Wahl M.H., Dion E. et al. // SAE Technical Paper, 2011-01-2221, 2011, doi:10.4271/2011-01-2221.
10. Naik S. Opposed-Piston 2-Stroke Multi-Cylinder Engine Dynamometer Demonstration / Naik S., Redon F., Regner G., Koszewnik J. // SAE Technical Paper, 2015-26-0038, 2015, doi:10.4271/2015-26-0038.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.101.11.007>

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА НЕКОТОРЫХ ГРИБНЫХ ПРОТЕАЗ

Научная статья

Лукин А.А.^{1,*}, Данилов М.Б.²¹ ORCID: 0000-0003-4753-3210;¹ Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия;² Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, Улан-Удэ, Россия

* Корреспондирующий автор (lukin3415[at]gmail.com)

Аннотация

Ферменты применяются во многих отраслях — пищевая, кормовая, сельскохозяйственная, бумажная, кожевенная и текстильная промышленность. Большинство, почти 75 % промышленных ферментов, используемых в настоящее время, обладают гидролитическим действием и используются для разложения различных природных веществ. В данной статье рассмотрено два ферментных препарата грибного происхождения. Протозим С — препарат щелочной грибной протеазы, продуцируемой *Acremonium chrysogenum*. Флаворзим 1000 Л (Flavourzyme 1000 L) — это комплекс эндо- и экзопротеаз, полученный из гриба *Aspergillus oryzae*. В представленной статье были определены физико-химические и органолептические показатели ферментных препаратов. Также было исследовано влияние pH и температуры на активность ферментных препаратов. Сделаны выводы по целесообразности применения грибных протеаз.

Ключевые слова: грибные протеазы, Протозим С, Флаворзим 1000 Л, pH, температура, активность.

COMPARATIVE EVALUATION OF SOME FUNGAL PROTEASES

Research article

Lukin A.A.^{1,*}, Danilov M.B.²¹ ORCID: 0000-0003-4753-3210;¹ South Ural State University, Chelyabinsk, Russia;² East Siberia State University of Technology and Management, Ulan-Ude, Russia

* Corresponding author (lukin3415[at]gmail.com)

Abstract

Enzymes are used in food, feed, agricultural, pulp and paper, leather, textile and many other industries. Almost 75% of the currently utilized industrial enzymes have a hydrolytic effect and are used for the decomposition of various natural substances. The article discusses two enzyme preparations of fungal origin. Protozym C (Протозим С) is a preparation of an alkaline fungal protease produced by *Acremonium chrysogenum*. Flavourzyme 1000 L is a complex of endo- and exoproteases derived from the fungus *Aspergillus oryzae*. The study determines the physicochemical and organoleptic parameters of enzyme preparations, and examines the effect of pH and temperature on the activity of enzyme preparations. Conclusions are drawn on the feasibility of using fungal proteases.

Keywords: fungal proteases, Protozyme C, Flavourzyme 1000 L, pH, temperature, activity.

Введение

Микроорганизмы являются основными источниками ферментов, эффективных и специфических биокатализаторов, которые применяются в различных отраслях промышленности, таких как продукты питания, корма для животных, средства личной гигиены, моющие средства, текстиль и бумага, биотопливо. Высокая специфичность, быстрое действие и способность к биологическому разложению — позволяют проводить эффективную биоконверсию сырья с низкими энергозатратами и высокими экологическими стандартами [1], [2], [3].

За последние несколько десятилетий были проведены значительные исследования ферментов, продуцируемых широким спектром микроорганизмов. Ферменты были получены из нескольких грибов, дрожжей, бактерий и актиномицетов [4], [5].

Нитчатые грибы могут эффективно секретировать различные гидролитические ферменты, и одной из основных групп секретируемых ферментов в грибах является протеаза. Известно, что грибы продуцируют кислотные, нейтральные, щелочные и металлопротеазы. Один организм может продуцировать более одного типа протеазы. Грибковые протеазы активны в широком диапазоне pH (pH от 4 до 11) и проявляют широкую субстратную специфичность [6]. Имеется несколько исследований о производстве протеаз грибами, принадлежащими к роду *Aspergillus*; *Penicillium*; *Rhizopus*; *Humicola*; *Mucor*; *Thermomyces*; *Acremonium* и др [7].

Ферментативный гидролиз — эффективный способ получения чистого белка. Эффективность зависит от таких факторов, как тип фермента, субстрат и условия гидролиза, включая pH, температуру, время инкубации и концентрация фермента.

Ферментативный гидролиз сырья грибными протеазами происходит в более мягких условиях обработки при pH 6-8 и температуре 40-60 °C, что минимизирует побочные реакции. Использование селективных протеаз при ферментативном гидролизе делает реакции намного более специфичные, чем при щелочном или кислотном гидролизе или термическом процессе. В частности, в пищевой и фармацевтической промышленности предпочтительным является метод ферментативного гидролиза из-за отсутствия остаточных органических растворителей или токсичных реагентов в продуктах, а конечный гидролизат содержит меньше соли.

Белковые гидролизаты широко используются в пищевой промышленности для различных целей, например, заменители мясного и молочного сырья, протеиновые добавки, усилители вкуса и т.д. [8].

Методы и принципы исследования

Объектами исследования были выбраны два ферментных препарата – Протозим С (производства компании «Энзим», г. Ладыжин) и Флаворзим 1000 Л (Flavourzyme 1000 L) (производства компании «Novozymes», Дания). Оба ферментных препарата являются ферментами грибного происхождения.

Продуцентом Протозим С является гриб - *Acremonium chrysogenum*, а Флаворзим 1000 Л - *Aspergillus oryzae*.

Определение внешнего вида и цвета ферментных препаратов проводили следующим образом: 3,00 г исследуемого препарата помещали на гладкую чистую поверхность листа белой бумаги и визуально определяли внешний вид и цвет, перемешивая при естественном свете; 5 мл исследуемого препарата наливали в пробирку и визуально определяли внешний вид и цвет.

Протеолитическую активность ферментных препаратов проводили согласно рекомендациям - ГОСТ 34430-2018. Ферментные препараты для пищевой промышленности. Метод определения протеолитической активности [9].

Определение pH-профиля протеолитической активности ферментов проводили при 30-70 °С в диапазоне значений pH от 3,0 до 11,0. Для pH-профиля активности Протозим С измерения проводили при 55 °С в диапазоне значений pH от 4,0 до 11,0. Для pH-профиля активности Флаворзим 1000 Л измерения проводили при 50 °С в диапазоне значений pH от 4,0 до 9,0. Для создания растворов с заданным значением pH использовали 0,1 М универсальный буфер. Определение температурного профиля активности Протозим С проводили при pH 9 в диапазоне температур от 30 до 70 °С; температурного профиля активности Флаворзим 1000 Л – при pH 7-7,5 в диапазоне температур от 40 до 60 °С.

В кислой зоне pH от 3,0 до 6,0 протеолитическую активность определяли по отношению к гемоглобину, а в щелочной зоне pH от 7,0 до 12,0 – по отношению к казеинату натрия, используя 0,1М универсальный буфер. Определение оптимумов температуры (30–90 °С) проводили, используя 0,1М карбонатно-бикарбонатный буфер, при pH 10,0, измеряя активность протеазы по отношению к казеинату натрия. Оптимальными считали pH и температуру, при которых протеаза проявляла не менее 80 % активности от максимальной [10], [11].

Основные результаты

На первом этапе исследований были изучены основные физико-химические и органолептические показатели ферментных препаратов (таблица 1 и 2).

Таблица 1 – Физико-химические и органолептические показатели Протозим С

Показатель	Норма	Значение
Физико-химические и органолептические показатели		
Внешний вид	Порошок	Порошок
Цвет	От белого до коричневого	Коричневый
Запах	Типовой для ферментов	Соответствует, легкий запах брожения
Активность протеолитическая (ФОЛП), ед/г не менее	5000,0	50381,3

Таблица 2 – Физико-химические и органолептические показатели Флаворзим 1000 Л

Показатель	Норма	Значение
Физико-химические и органолептические показатели		
Внешний вид	Жидкость или порошок	Жидкость
Цвет	Темно коричневый	Темно коричневый
Запах	Типовой для ферментов	Соответствует
Активность протеолитическая, г/мл не менее	800	1200

По физико-химическим и органолептическим показателям ферментные препараты соответствуют требованиям, предъявляемым в нормативных документах.

На рисунках 1 и 2 представлены зависимости активности Протозим С и Флаворзим 1000 Л от pH.

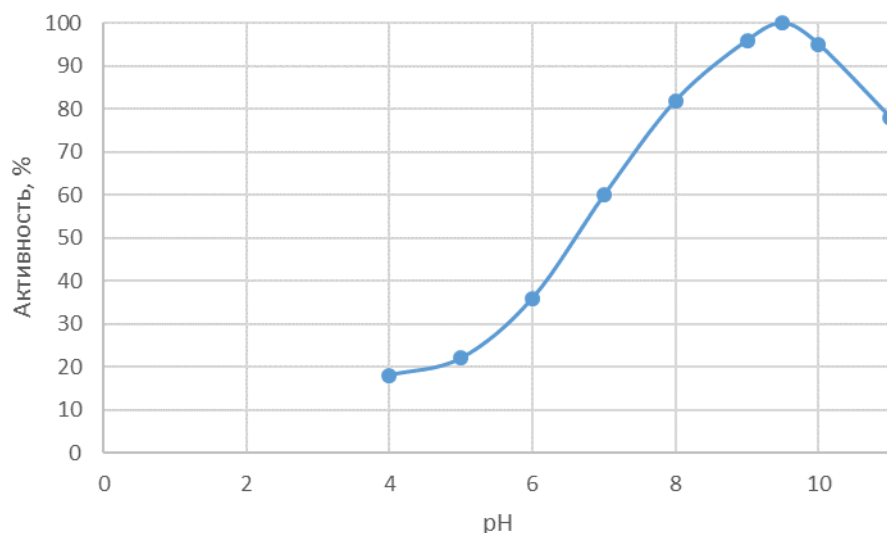


Рис. 1 – Зависимость активности Протозим С от pH

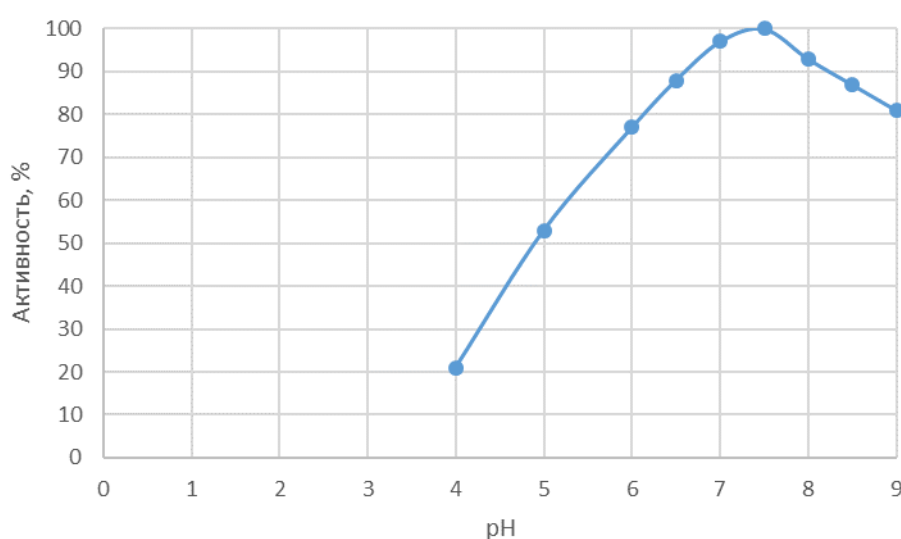


Рис. 2 – Зависимость активности Флаворзим 1000 Л от pH

Оптимум pH среды составляет для Протозим С – 8-10,5, для Флаворзим 1000 Л – 6,5-7,5. Для протеолиза ферментным препаратом Протозим С следует подбирать слабо щелочные и щелочные среды, что в дальнейшей усложнит технологические операции по биотрансформации сырья. Поэтому по pH профилю наиболее привлекательным в технологическом плане следует считать Флаворзим 1000 Л [12].

На рисунках 3 и 4 представлены зависимости активности Протозим С и Флаворзим 1000 Л от температуры.

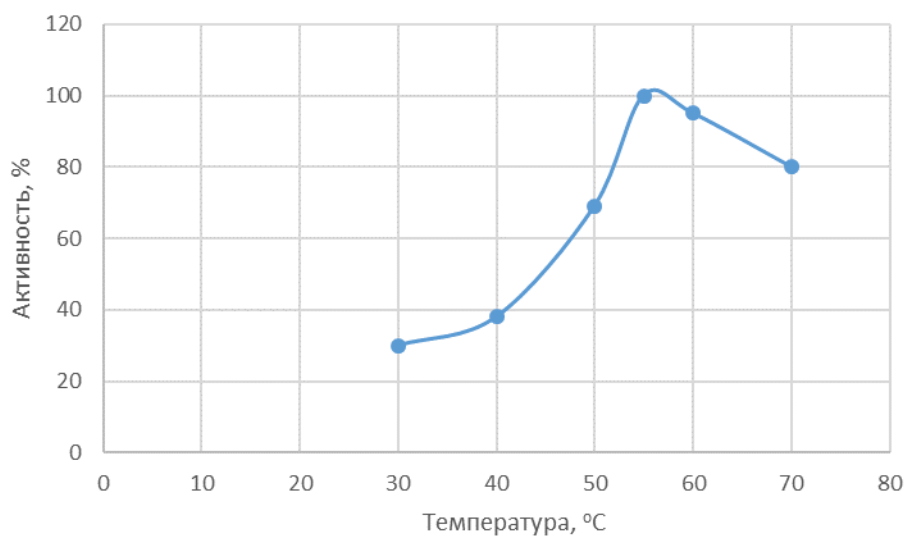


Рис. 3 – Зависимость активности Протозим С от температуры

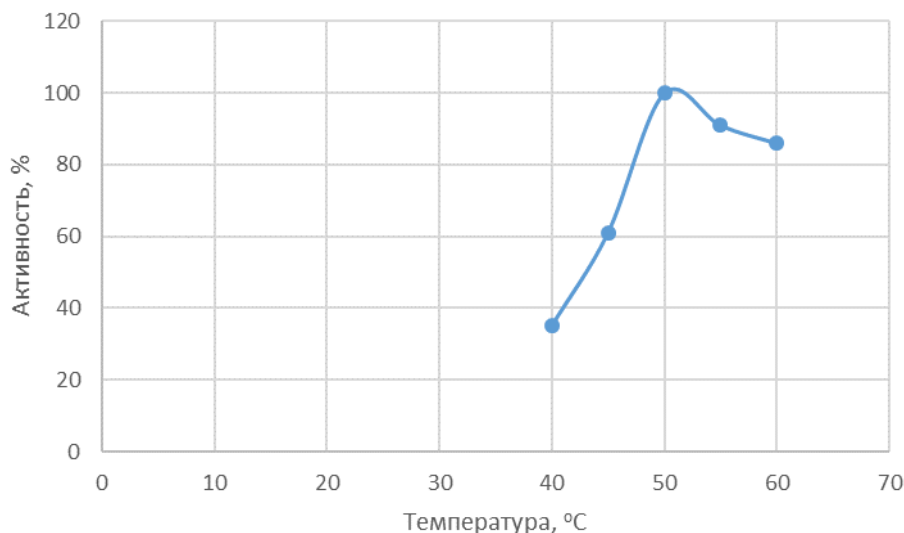


Рис. 4 – Зависимость активности Флаворзим 1000 Л от температуры

Протозим С наиболее активен в диапазоне температур 50-65 °С, максимальная активность Флаворзим 1000 Л проявляется при температуре 50 °С. Флаворзим 1000 Л по оптимальному температурного действия также является более перспективным ферментным препаратом, за счет того, что протеолиз сырья можно проводить при более «мягких» режимах.

Заключение

Оба ферментных препарата обладают высокой протеолитической активностью. Протозим С можно рекомендовать как ферментный препарат для переработки вторичного сырья, в частности для производства гидролизатов, так как pH (8-10,5) и температурный оптимум действия (50-65 °С) подходит для гидролиза коллагенсодержащего сырья. Флаворзим 1000 Л работает в нейтральной среде (pH=6,5-7,5) и проявляют свою активность при температуре 50 °С, поэтому его можно рекомендовать как препарат широкого действия для биотрансформации животного сырья.

Финансирование

Статья выполнена при поддержке Правительства РФ (Постановление № 211 от 16.03.2013 г.), соглашение № 02.A03.21.0011.

Funding

The work was supported by Act 211 of the Government of the Russian Federation, contract № 02.A03.21.0011.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Кислухина, О.В. Ферменты в производстве пищи и кормов / О.В. Кислухина. – М.: ДеЛи принт, 2002. – 336 с.
2. Mienda B.S. An overview of microbial proteases for industrial applications / Mienda B.S., Yahya A., Galadima I.A., Shamsir M.S. // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2014. – v. 5(1). – P. 388–396.
3. Meyer V. Genetic engineering of filamentous fungi – progress, obstacles and future trends / Meyer V. // Biotechnology Advances. – 2008. – v. 26. – P. 177–185.
4. Bamforth C.W. Current perspectives on the role of enzymes in brewing / Bamforth C.W. // Journal of Cereal Science. – 2009. – v. 50. – P. 353–357.
5. Adrio J.I. Microbial enzymes: tools for biotechnological processes / Adrio J.I., Demain A.I. // Biomolecules. – 2014. – v. 4. – P. 117–139.
6. Kumar N.S. A review on microbial proteases / Kumar N.S., P.S. Sreeja Devi, Nair A.S. // International Journal of Advanced Research. – 2016. – v. 4(7). – P. 2048–2053.
7. Souza P.M. A biotechnology perspective of fungal proteases / Souza P.M., Bittencourt M.L., Caprara C.C., Freitas M., et al. // Brazilian Journal of Microbiology. – 2015. – v. 46(2). – P. 337–346.
8. Соколова, Т.В. Применение ферментных препаратов в народном хозяйстве / Т.В. Соколова // Пищевая промышленность. – 2001. – № 6. – С. 37–38.
9. ГОСТ 34430-2018. Ферментные препараты для пищевой промышленности. Метод определения протеолитической активности. – М.: Стандартинформ. – 2018. – 16 с.
10. Антипова Л.В. Методы исследования мяса и мясных продуктов / Л.В. Антипова, И.А. Глотова, И.А. Рогов. – М.: Колос, 2001. – 376 с.
11. Ovissipour, M. The effect of enzymatic hydrolysis time and temperature on the properties of protein hydrolysates from the Persian sturgeon (*Acipenser persicus*) viscera / M. Ovissipour, A. M. Abedian, A. Motamedzadegan, B. Rasco, R. Safari, H. Shahiri // Food Chemistry. – 2009. – v. 115. – P. 238–242.
12. Márquez U.M.L. Caracterização de hidrolisados enzimáticos de pescado / U.M.L. Márquez, N.V.M. Mira, R.A.M. Neves // Ciência e Tecnologia de Alimentos. – 2004. – v. 24. – P. 101–108.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kislukhina, O. V. Fermenty v proizvodstve pishhi i kormov [Enzymes in Food and Feed Production] / O. V. Kislukhina, M.: DeLi print, 2002, 336 p. [in Russian]
2. Mienda B.S. An overview of microbial proteases for industrial applications / Mienda B.S., Yahya A., Galadima I.A., Shamsir M.S. // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. — 2014 — Vol. 5(1) — pp. 388–396.
3. Meyer V. Genetic engineering of filamentous fungi – progress, obstacles and future trends / Meyer V. // Biotechnology Advances. – 2008. – Vol. 26. – pp. 177–185.
4. Bamforth C.W. Current perspectives on the role of enzymes in brewing / Bamforth C.W. // Journal of Cereal Science. – 2009. – Vol. 50. – pp. 353–357.
5. Adrio J.L. Microbial enzymes: tools for biotechnological processes / Adrio J.L., Demain A.L. // Biomolecules. – 2014. – v. 4. – pp. 117–139.
6. Kumar N. S. A review on microbial proteases / Kumar N. S., P. S. Sreeja Devi, Nair A. S. // International Journal of Advanced Research. – 2016. – Vol. 4(7). – pp. 2048–2053.
7. Souza P. M. A Biotechnology Perspective of Fungal Proteases / Souza P.M., Bittencourt M.L., Caprara C.C., Freitas M., et al. // Brazilian Journal of Microbiology. – 2015. – Vol. 46(2). – pp. 337–346.
8. Sokolova T. V. Primenenie fermentnyh preparatov v narodnom hozyajstve [The Use of Enzyme Preparations in the National Economy] / T. V. Sokolova // Food Industry, 2001, no. 6, pp. 37-38. [in Russian]
9. GOST 34430-2018. Fermentnye preparaty dlja pishhevoj promyshlennosti [Enzyme Preparations for the Food Industry Method for Determining Proteolytic Activity] - M.: Standartinform. - 2018. - 16 p. [in Russian]
10. Antipova L. V. Metody issledovanija mjasa i mjasnyh produktov [Methods of Research of Meat and Meat products] / Antipova L. V., Glotova I. A., Rogov I. A. – M.: Kolos, 2001. – 376 p. [in Russian]
11. Ovissipour, M. The effect of enzymatic hydrolysis time and temperature on the properties of protein hydrolysates from the Persian sturgeon (*Acipenser persicus*) viscera / M. A. M. Ovissipour A. M. Abedian, A. Motamedzadegan, B. Rasco, R. Safari, H. Shahiri // Food Chemistry. – 2009. – Vol. 115. – pp. 238–242.
12. Márquez U.M.L. Caracterização de hidrolisados enzimáticos de pescado / U.M.L. Márquez, N.V.M. Mira, R.A.M. Neves // Ciência e Tecnologia de Alimentos. – 2004. – v. 24. – pp. 101–108.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.101.11.008>

ВЛИЯНИЕ МОДИФИКАЦИИ ПОГРУЖНОГО ВРАЩАЮЩЕГОСЯ БИОФИЛЬТРА НА ОКИСЛИТЕЛЬНУЮ СПОСОБНОСТЬ ПРИ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД МАЛЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ В СИРИИ

Научная статья

Сайид Марам Али^{1,*}, Серпокрьлов Н.С.², Нелидин В.В.³^{1, 2, 3} Донской государственный технический университет, Ростов на Дону, Россия

* Корреспондирующий автор (e-ms-87[at]hotmail.com)

Аннотация

Модифицированный погружной вращающийся биофильтр (МПВБ) был разработан для очистки сточных вод малых населенных пунктов в Сирии. Модификации направлены на повышение окислительной способности фильтра без необходимости использования дополнительных элементов аэрации, что снижает потребление электроэнергии. Это достигается за счет выполнения вентиляционных зазоров в корпусе биофильтра, а также за счет установления черпалок по периметру биофильтра и использования мобильных загрузочных материалов с большой площадью поверхности. Модификации оказали положительное влияние на увеличение стандартной окислительной способности (далее СОС), особенно заметно при процентах заполнения барабана на 75% и 90%. Наибольшее значение окислительной способности СОС составило 409 г/м³.ч при заполнении 60%, скорости вращения 15% и глубине погружения 35%. По сравнению с результатами аналогичных исследований МПВБ получено увеличение окислительной способности на 62.6%.

Ключевые слова: модифицированный погружной вращающийся биофильтр, окислительная способность, сточные воды, Сирия.

THE EFFECT OF THE SUBMERSIBLE ROTATING BIOFILTER MODIFICATION ON THE OXIDATIVE CAPACITY IN WASTEWATER TREATMENT OF SMALL SETTLEMENTS IN SYRIA

Research article

Saijd Maram Ali^{1,*}, Serpokrylov N.S.², Nelidin V.V.³^{1, 2, 3} Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

* Corresponding author (e-ms-87[at]hotmail.com)

Abstract

The purpose of the modified submersible rotating biofilter (MSRB) is the treatment of wastewater in small localities in Syria. Modifications are aimed at increasing the oxidizing capacity of the filter without the need for additional aeration elements, which reduce energy consumption. This is achieved by making ventilation gaps in the body of the MSRB as well as by installing scoops around its perimeter and using mobile loading materials with a large surface area. The modifications had a positive effect on increasing the standard oxidizing capacity (hereinafter referred to as SOC). It was especially noticeable when the percentage of drum filling averaged 75% and 90%. The highest value of the SOC was 409 g / m³/h at 60% filling, 15% rotation speed, and 35% submersion depth. In comparison with the results of similar studies of the MSRB, an increase in the oxidative capacity by 62.6% was obtained.

Keywords: modified submersible rotating biofilter, oxidizing capacity, waste water, Syria.

Введение

В Сирии в последнее время прилагаются целенаправленные усилия по очистке сточных вод и их повторному использованию, что способствует улучшению условий и предотвращает возникновение катастроф в области здравоохранения. Хотя канализационные сети были построены во многих городах и поселках, всегда существовал значительный дефицит в количестве очистных сооружений, особенно в малых населенных пунктах, которые чаще всего страдают от проблем, наиболее важными из которых является неудачный выбор метода очистки.

Одним из приоритетных методов очистки сточных вод малых населенных пунктов, согласно справочному руководству, разработанному Министерством водных ресурсов, в Сирии считаются погружные вращающиеся биофильтры (ПВБ) благодаря следующим преимуществам: относительно малые занимаемые площади и простота в строительстве и эксплуатации; устойчивость к колебаниям загрязнений и токсическим нагрузкам; компактность погружного биофильтра и возможность промышленного изготовления ротора для такого биофильтра, а также всего сооружения в промышленных условиях; по сравнению с методом активного ила затраты электроэнергии в 3-5 раз ниже, а также объем избыточной биопленки из вторичного отстойника в 5–10 раз меньше; возможность применения этого метода в качестве централизованного или децентрализованного очистного сооружения, что позволяет снизить затраты на строительство протяженных канализационных линий и потребность в больших земельных площадях [1], [3], [5].

Однако изучение основных типов ПВБ и технологических факторов, влияющих на их работу, показывает, что ПВБ барабанного типа с мобильной загрузкой были эффективно применены в качестве заменителей дисков, которые имеют ограничения при эксплуатации [6]. Такие загрузки обеспечивают большую площадь для прикрепления биопленки в пределах того же размера реактора ПВБ, способствуя более высокой эффективности массообмена из-за повышенной турбулентности. Кроме того, они имеют низкое энергопотребление, а стоимость их изготовления почти на треть меньше, чем у дисков. К тому же, большинство из них имеют относительно низкую удельную площадь поверхности носителей биомассы, от 150 до 220 м²/м³ [7].

С другой стороны, ПВБ имеют недостатки, самый существенный из которых заключается в том, что большинство современных ПВБ барабанного типа имеют конструктивные факторы, отрицательно влияющие на скорость переноса кислорода, включая относительно большую длину барабана и прямоугольные стены внутри него, которые препятствуют перемешиванию загрузочного материала и равномерному переносу кислорода во всех точках внутри барабана. Кроме того,

процесс массообмена между загрязнениями сточных вод и биомассой загрузки происходит только во время вращения барабана внутри резервуара, что снижает интенсивность процесса очистки, тогда как сточные воды внутри резервуара часто аэрируются только посредством контакта с кислородом воздуха, что также снижает окислительную способность [7], [8].

Исходя из вышесказанного, был разработан и запатентован (патент РФ № 2 720 150 С1) [7] модифицированный погружной вращающийся биофильтр (далее МПВБ) с целью повышения эффективности очистки и качества очищенной воды за счет увеличения скорости массообмена и окислительной способности ПВБ барабанного типа при внедрении некоторых конструктивных модификаций в барабане биофильтра.

Методы и принципы исследования

МПВБ барабанного типа отличается от обычных следующими характеристиками: соотношение диаметр / длина барабана увеличено до 1.5, что позволяет увеличить длину траектории, пройденной загрузочным материалом, и, как следствие, захватывать больше кислорода в его порах; создание восьми вентиляционных зазоров в поперечном сечении барабана по диагонали, ширина каждого зазора равна 1% периметра, что обеспечивает равномерную аэрацию во внутренних и наружных слоях фильтра; создание вентиляционного зазора, ширина которого равна 6% длины барабана, перпендикулярно валу вращения, чтобы барабан был разделен на два соседних цилиндра, соединенных ребрами, что обеспечивает вентиляцию загрузочного материала в средней части биофильтра, который имеет небольшой контакт с атмосферным кислородом; установление 16 черпалок в виде открытой коробки по периметру барабана с длиной, равной длине барабана, которые поднимают воду, а затем выливают ее при вращении барабана, что обеспечивает дополнительную аэрацию сточных вод внутри резервуара биофильтра, дополнительный контакт загрузочного материала со сточными водами во время вращения в атмосфере и обеспечение смешивания сточных вод внутри резервуара фильтра: все это улучшает процесс массообмена и переноса кислорода одновременно; разделение каждого цилиндра в барабане на восемь ячеек, разделенных друг от друга вентиляционными зазорами и заполненных мобильным (подвижным) загрузочным материалом с большой площадью поверхности, внутри каждой ячейки смонтирован стержень для перемешивания загрузочного материала перпендикулярно валу вращения, что позволяет предотвращать засорение и агломерацию загрузочного материала, и улучшить процесс массообмена и переноса кислорода со всем загрузочным материалом. На рис. 1 для МПВБ показаны: вид сзади (а), поперечное сечение (б) и вид спереди (в) [8].

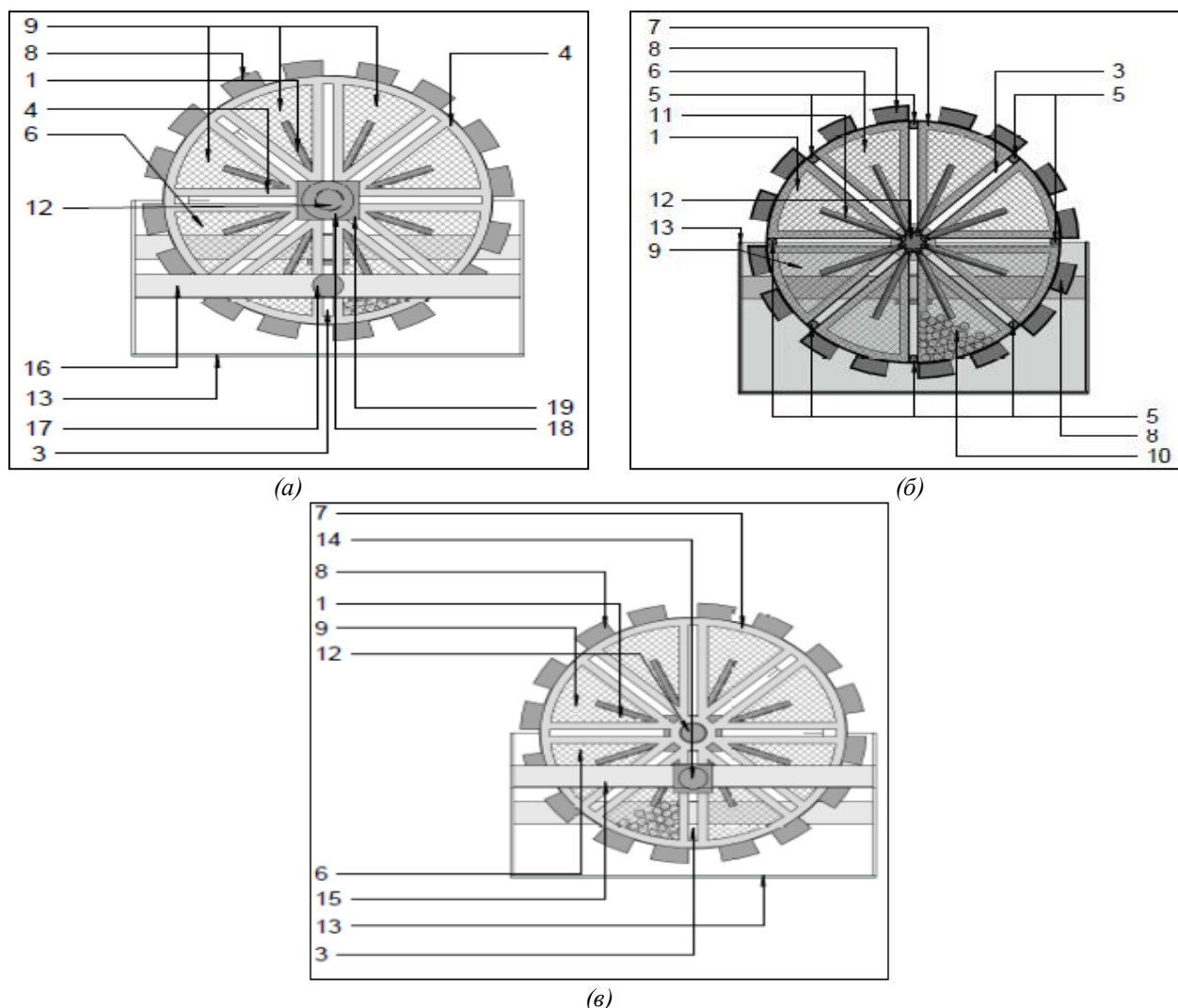


Рис. 1 – Модифицированный погружной вращающийся биофильтр

1. барабан биофильтра; 2. цилиндры биофильтра; 3. вентиляционный зазор; 4. опорное кольцо; 5. соединительные ребра; 6. сетка; 7. корпус барабана; 8. черпалка; 9. ячейка; 10. загрузочный материал; 11. стержень; 12. вал вращения; 13. резервуар; 14. труба подачи воды; 15. лоток распределения воды; 16. лоток отвода воды; 17. труба отвода воды; 18. механический двигатель; 19. потенциометр.

Лабораторная установка МПВБ состоит из барабана в виде двух соседних цилиндров, диаметр барабан $D = 32$ см и длина $L = 23$ см. Все элементы фильтра изготовлены из акрила. Ребра и опорные цилиндры вместе образуют каркас корпуса барабана. На каждый цилиндр наложена пластмассовая сетка (12×12) мм и разделяется на восемь ячеек, также выполненных из пластмассовой сетки, и разделенных друг от друга вентиляционными зазорами. Ячейки заполнены мобильными загрузочными материалами с большой площадью поверхности XEL-X (HXF13KLL +), имеет цилиндрическую форму диаметром 13 мм и длиной 12 мм, ее защищенная площадь поверхности составляет $806 \text{ м}^2 / \text{м}^3$, изготовлена из переработанных гранул ПЭВП (черного цвета). Устанавливаются по внешнему периметру барабана 16 черпалок, выполненных из фанеры. Каркас барабана установлен на вал вращения, который изготовлен из алюминия диаметром 30 мм. Вращение барабана осуществляется механическим двигателем «G-MOTOR GK44», управление вращением барабана осуществляется с помощью электрической панели, содержащей: реверс направления вращения; потенциометр для регулирования частоты вращения; амперметр; вольтметр; электросчетчик и электрический выключатель. На рис. 2 и 3 приведены фото установки МПВБ.

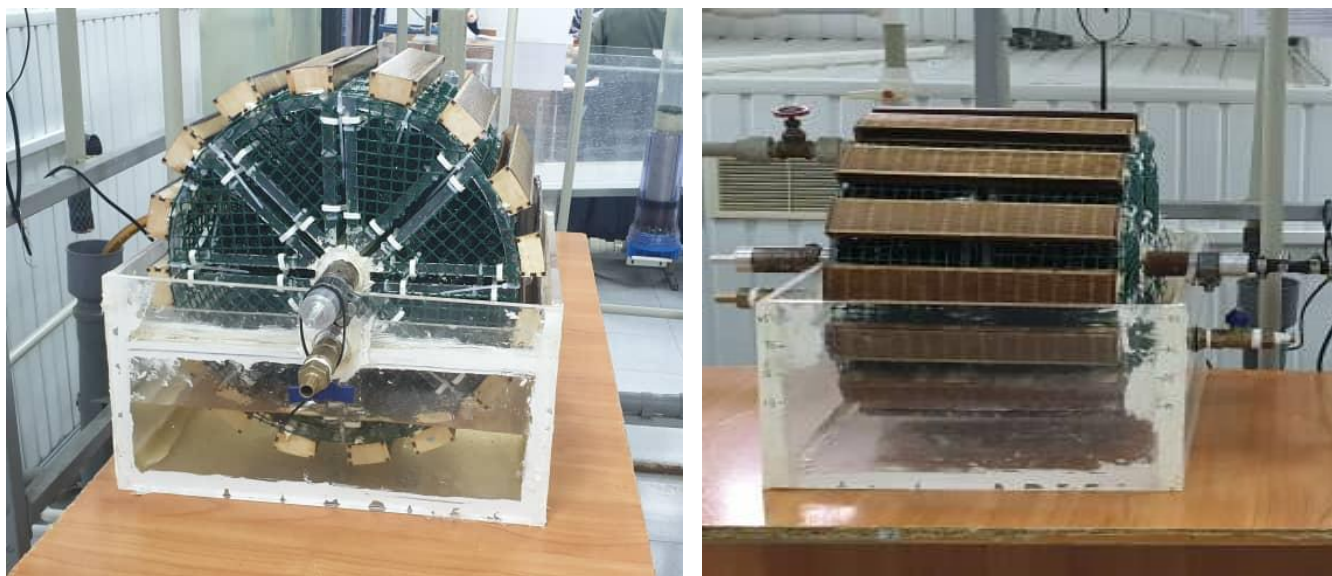


Рис. 2 – Общий вид лабораторной установки МПВБ



Рис. 3 – Электрическая панель установки МПВБ

Расчет окислительной способности производился методом неуставившегося режима аэрации водопроводной воды с добавлением сульфита натрия (Na_2SO_3) с последующей реаэрацией до уровня насыщения [9]. Сульфит натрия добавляли в воду растворением его в отдельном баке - смесителе перед его введением в испытательный резервуар; после окончания каждого опыта вода полностью отводилась из резервуара. Перенос кислорода в объем воды контролируется в течение периода реаэрации путем измерения концентрации растворенного кислорода в нескольких точках, выбранных для наилучшего представления содержимого резервуара.

Данные, полученные в каждой точке определения, затем анализируются с помощью упрощенной модели массопереноса для определения объемного коэффициента массопередачи $K_L a$ и концентрации O_2 в установившемся режиме насыщения C^* . Основная модель задается уравнением:

$$C = C_{\infty}^* - (C_{\infty}^* - C_0) \exp(-k_L a \cdot t) \quad (1)$$

C - концентрация растворенного кислорода O_2 , мг/л;

C_{∞}^* - экспериментальное значение концентрации насыщения O_2 в установившемся режиме при приближении времени к бесконечности, мг/л;

C_0 - концентрация O_2 в нулевое время, мг/л;

$k_L a$ - экспериментальное значение объемного коэффициента массопереноса, t^{-1} .

График зависимости $\ln(C_{\infty}^* - C)$ от времени имеет наклон $k_L a$ в единицах взаимного времени (мин^{-1} , час^{-1} или сут^{-1}). После экспериментального определения значения $k_L a$ и C_{∞}^* окислительная способность ОС ($\text{г/м}^3 \cdot \text{час}$) рассчитывается по формуле:

$$OC = \frac{\partial c}{\partial t} = k_L a (C_{\infty}^* - C_0) \quad (2)$$

Эти значения корректируются затем к стандартным условиям (формулы (3) и (4), и *стандартная окислительная способность* СОС, которая представляет собой ОС в чистой воде, когда концентрация O_2 равна нулю во всех точках в объеме воды, температура воды составляет 20°C , а атмосферное давление равно 1,00 атм (101,3 кПа) по формуле (5):

$$k_L a_{20} = k_L a \cdot \theta^{(20-T)} \quad (3)$$

$$C_{\infty 20}^* = C_{\infty}^* (1/\tau\Omega) \quad (4)$$

$$COC = k_L a_{20} \cdot C_{\infty 20}^* \quad (5)$$

$k_L a_{20}$ - значение $k_L a$ скорректировано для 20°C ;

θ - эмпирический температурный поправочный коэффициент должен приниматься равным 1,024, если не доказано, что он имеет другое значение для системы аэрации и испытанного резервуара;

$C_{\infty 20}^*$ - значение концентрации насыщения O_2 в установившемся режиме, скорректированное для 20°C , и стандартное атмосферное давление 1,00 атм (101,3 кПа);

τ - температурный поправочный коэффициент C_{st}^* / C_{s20}^* ;

C_{st}^* - табличное значение концентрации насыщения поверхности растворенного кислорода, мм^{-3} , при температуре испытания, стандартное общее давление 1,00 атм (101,3 кПа) и относительная влажность 100% [10];

C_{s20}^* - табличное значение концентрации насыщения поверхности растворенного кислорода, мм^{-3} , при 20°C , стандартном общем давлении 1,00 атм (101,3 кПа) и относительной влажности 100% [10];

Ω - поправочный коэффициент давления, P_b / P_s для резервуаров до 20 футов (6,1 м);

P_b - барометрическое давление на испытательном месте во время испытания, фЛ^{-2} ;

P_s - стандартное атмосферное давление 1,00 атм (101,3 кПа), фЛ^{-2} ;

T - температура воды во время эксперимента, $^\circ\text{C}$.

В данном исследовании используются следующие переменные параметры: процент заполнения барабана грузочным материалом (60, 75, 90)%; скорость вращения (1, 5, 10, 15) об/мин, глубина погружения корпуса барабана в жидкость (15, 25, 35)%. Была проведена серия экспериментов в направлении, в котором черпалки поднимают воду и подают ее в биофильтр (+), а в противоположном направлении без черпалок, поднимающих воду (-), сравнение результатов окислительной способности обоих направлений, позволяет определить влияние предложенных конструктивных модификаций на корпус биофильтра.

Основные результаты

На рисунках 4 – 12 приведены результаты сравнения СОС биофильтра при процентах заполнения грузкой (60, 75, 90)% в обоих направлениях (-) и (+).

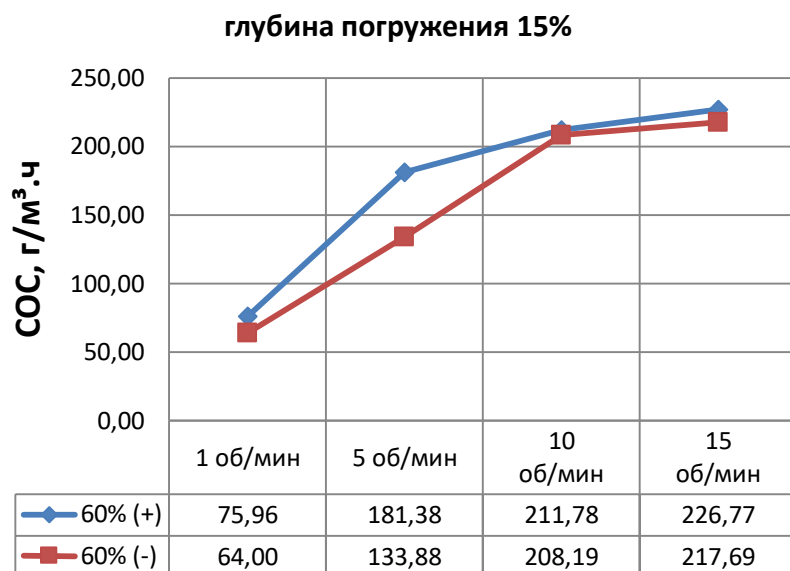


Рис. 4 – Результат сравнения СОС при заполнении барабана биофильтра 60% и погружении 15%

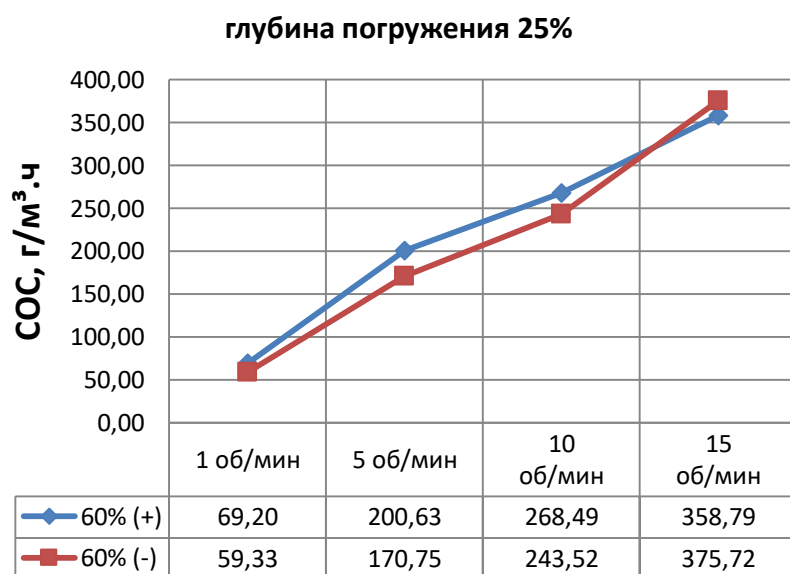


Рис. 5 – Результат сравнения СОС при заполнении барабана биофильтра 60% и погружении 25%

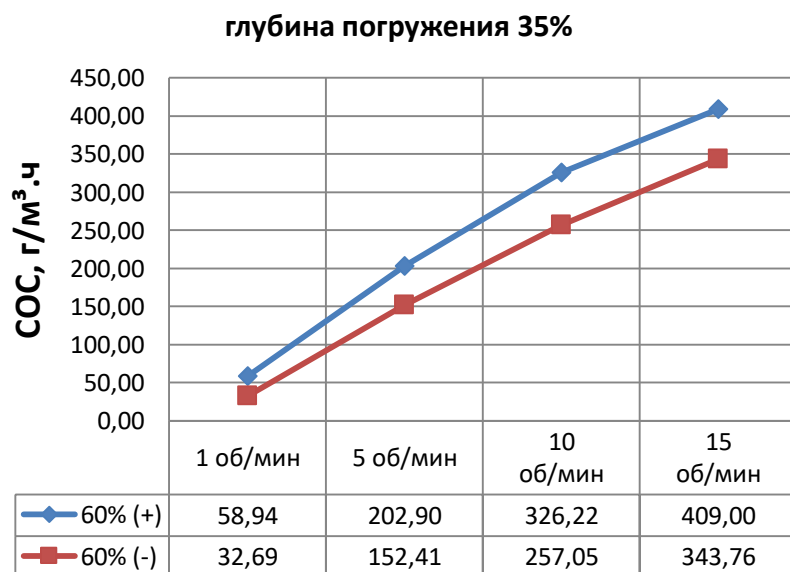


Рис. 6 – Результат сравнения СОС при заполнении барабана биофильтра 60% и погружении 35%

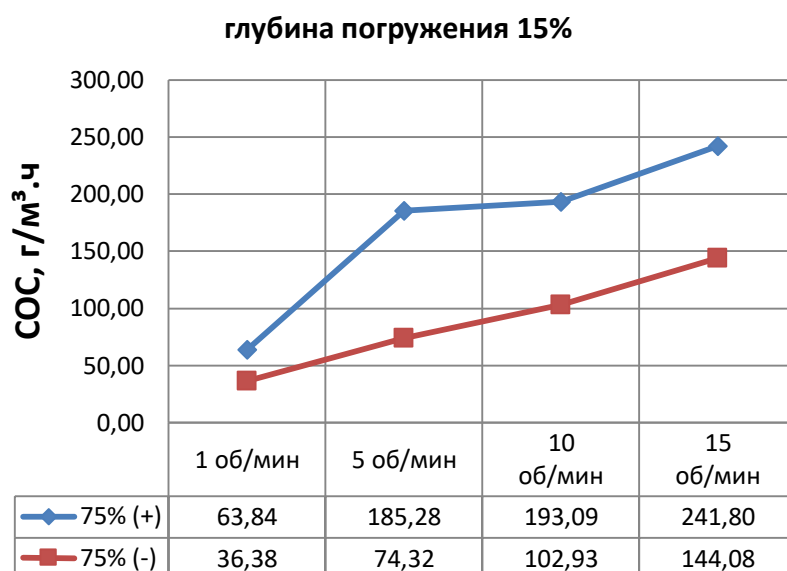


Рис. 7 – Результат сравнения СОС при заполнении барабана биофильтра 75% и погружении 15%

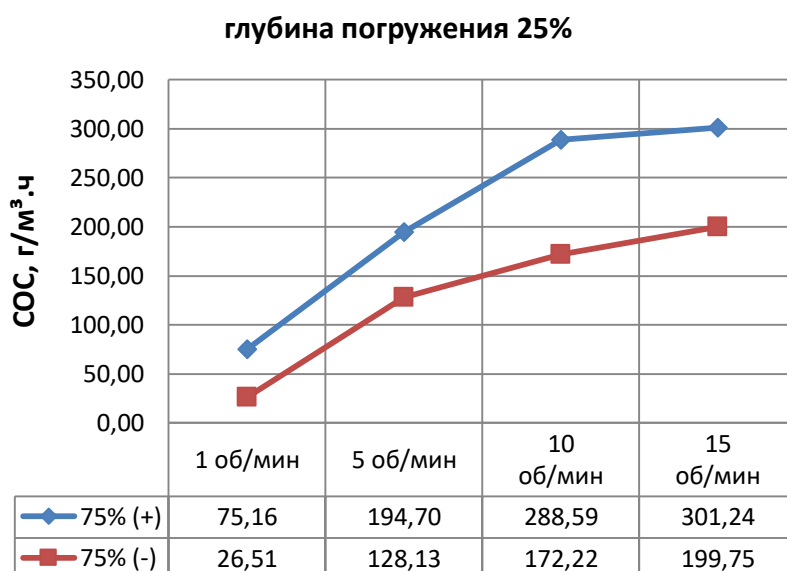


Рис. 8 – Результат сравнения СОС при заполнении барабана биофильтра 75 % и погружении 25%

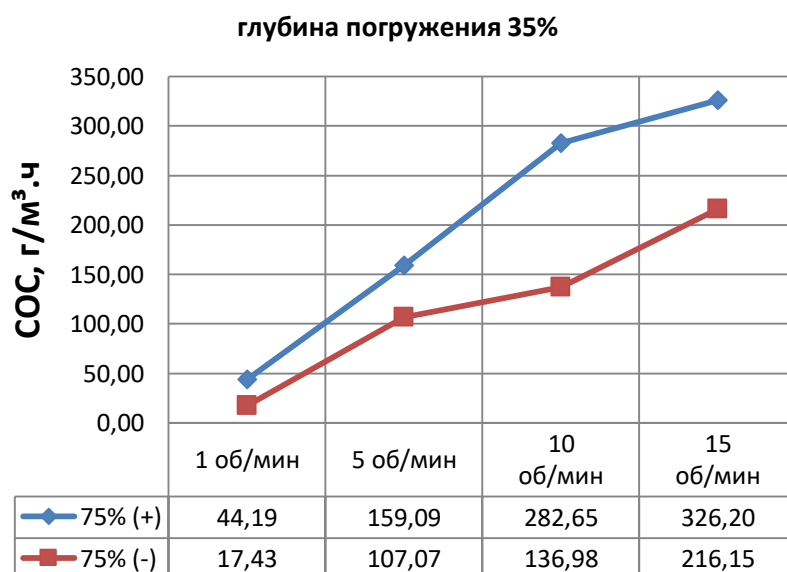


Рис. 9 – Результат сравнения СОС при заполнении барабана биофильтра 75% и погружении 35%

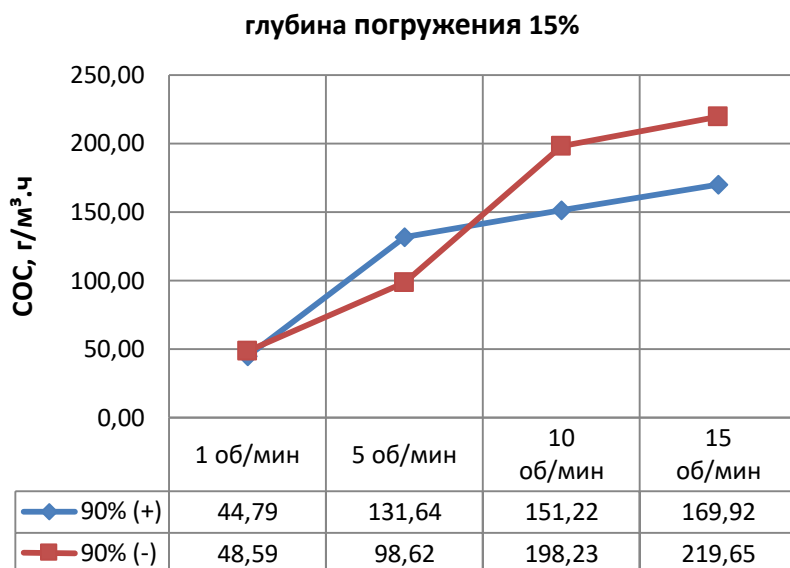


Рис. 10 – Результат сравнения СОС при заполнении барабана биофильтра 90% и погружении 15%

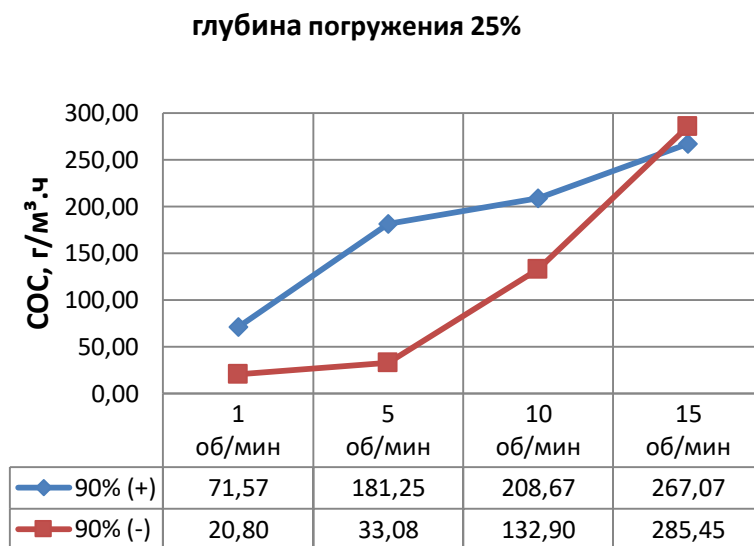


Рис. 11 – Результат сравнения СОС при заполнении барабана биофильтра 90% и погружении 25%

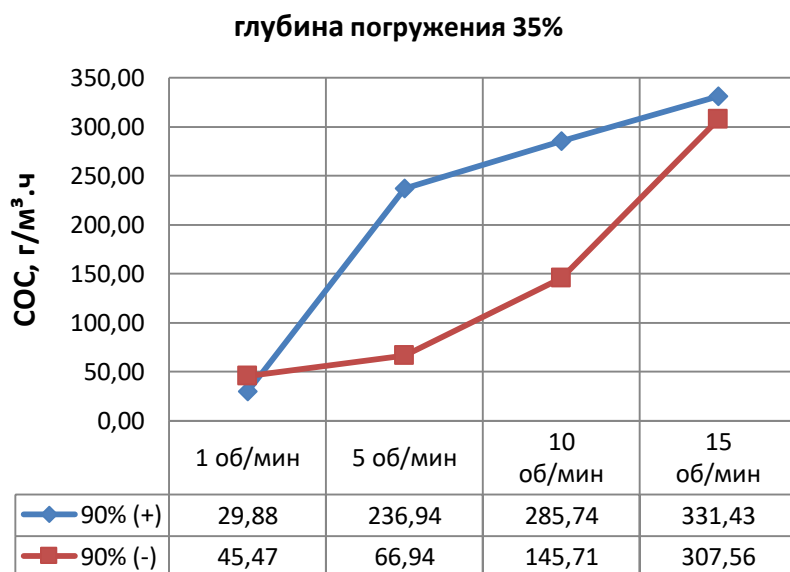


Рис. 12 – Результат сравнения СОС при заполнении барабана биофильтра 90% и погружении 35%

Обсуждение

Рисунки 4 – 12 показывают, что модификации, сделанные закреплением черпалок к периметру барабана, оказали положительное влияние на увеличение окислительной способности СОС. Это особенно заметно при процентах заполнения 75% и 90%. Это может быть связано с тем, что увеличение процента заполнения уменьшает движение загрузки и, как следствие, поступление кислорода воздуха в некоторые мертвые зоны внутри барабана, что вызывает уменьшение количества кислорода, захваченного загрузкой, для переноса в жидкость внутри резервуара. Наибольшее значение окислительной способности СОС в направлении (+) составило 409 г/м³.ч при проценте заполнения 60%, скорости вращения 15 об/мин и глубине погружения 35%. В то время как наивысшее значение окислительной способности СОС в направлении (-) было 375.72 г/м³.ч при проценте заполнения 60%, скорости вращения 15 об/мин и глубине погружения 25%.

Согласно результатам исследования [11] значение окислительной способности достигало 28.4 г/м³.ч при глубине погружения 15% и скорости вращения 0,7 об / мин во вращающемся биофилтре типа барабан в виде кольца с большим диаметром по отношению к его длине, заполненному губкой. Поперечное сечение, содержит вентиляционное отверстие, которое разделяет барабан на внешнее кольцо и внутреннее кольцо.

По сравнению с результатами нашего исследования при вращении барабана в направлении (+) в тех же технологических условиях значение окислительной способности при глубине погружения 15% и скорости вращения 1 об / мин и проценте заполнения барабана (60, 75, 90) % составило (75.96, 63.84, 44.79) г/м³.ч, то есть получено увеличение на (62.6 ~ 57.7) % по сравнению со значением 28.4 г/м³.ч. Однако, сравнивая данные [11] с результатами нашего исследования при вращении в направлении (-), мы обнаруживаем, что в аналогичных технологических условиях окислительная способность достигнута при глубине погружения 15% и скорости вращения 1 об / мин и проценте заполнения барабана (60, 75, 90) %, (64, 36.38, 48.59) г/м³.ч, то есть увеличение на (55.6 ~ 21.9) % по сравнению со значением 28,4 г/м³.ч.

Это указывает на то, что предлагаемые конструктивные модификации в наших исследованиях с точки зрения формы и расположения вентиляционных зазоров и соотношения диаметр / длина барабана обеспечивают большую окислительную способность массообмена кислорода по сравнению с конструкцией, предложенной в этом исследовании [11].

Согласно результатам другого исследования [12], самые высокие значения окислительной способности были отмечены для установки (1) при глубине погружения 30% и скорости вращения 16.3 об/мин и достигли 200 г/м³.ч, а при добавлении дополнительных элементов аэрации достигли 256 г/м³.ч. По сравнению с результатами нашего исследования при вращении в направлении (+) в аналогичных технологических условиях мы находим, что при проценте заполнения 90%, более высокой глубине погружения 35% и более низкой скорости вращения 15 об/мин окислительная способность составляет 307.65 г/м³.ч, что на 35% выше, чем у аналога 200 г/м³.ч.

Заключение

Модифицированный погружной вращающийся биофилтр МПВБ был разработан для очистки сточных вод малых населенных пунктов в Сирии. Модификации направлены на повышение окислительной способности фильтра без необходимости использования дополнительных элементов аэрации, что снижает потребление электроэнергии. Это достигается за счет выполнения вентиляционных зазоров в корпусе биофилтра, а также за счет установления черпалок по периметру биофилтра и использования мобильных загрузочных материалов с большой площадью поверхности. Модификации оказали положительное влияние на увеличение окислительной способности СОС, особенно заметно при процентах заполнения барабана 75% и 90%. Наибольшее значение окислительной способности СОС составило 409 г/м³.ч при проценте заполнения 60%, скорости вращения 15% и глубине погружения 35%. По сравнению с результатами аналогичных исследований, МПВБ добился увеличения значений окислительной способности на 62.6%.

Финансирование

Исследование финансировалось совместно Министерством высшего образования Сирии и Министерством науки и высшего образования Российской Федерации.

Funding

This research was jointly funded by the Ministry of Higher Education in Syria and the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

Благодарности

Благодарим компанию ООО «ГУДФИД», г. Ростов на Дону- Россия за поддержку этого исследования при обеспечении загрузочных материалов биофилтра бесплатно без какой-либо финансовой платы.

Acknowledgement

Grateful for ООО «Goodfeed», Rostov-on-Don, Russia for supporting this study by providing biofilter with mobile carriers free of charge without any financial charge.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Саид Марам Али. Особенности очистки сточных вод в Сирии / Саид Марам Али. // Материалы IX международной научно-практической конференции «технологии очистки воды», г. Ростов на Дону, 2016г. – с. 240-243.
2. Саид Марам Али. Оценка эффективности некоторых систем канализации в провинции Латакия: Магистерская диссертация / Саид Марам Али. Латакия, 2014. 165 с.
3. Саид Марам Али. Перспективы применения погружных вращающихся биофильтров для очистки сточных вод малых населенных пунктов в Сирии / Саид Марам Али // Наука и инновации современные концепции: конф.- Москва, 2019.- С. 109 – 114.
4. Саид Марам Али. Очистка сточных вод малых населенных пунктов в Сирии методом погружных вращающихся биофильтров / Саид Марам Али // Научные разработки: евразийский регион: конф.- Москва, 2019.- С. 194 – 199.
5. Саид Марам Али Анализ практики использования вращающихся биофильтров в очистке сточных вод применительно к условиям Сирии / Саид Марам Али, Н. С. Серпокрьлов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань: ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2019. № 4 (30). С. 100–104.
6. Ravi R. Rotating Biological Contactors / Sarayu K, Sandhya S, Swaminathan T // Air Pollut. Prev. Control Bioreact. Bioenergy.- 2013.- С. 207-220. doi:10.1002/9781118523360.ch9.
7. Саид Марам Али Эколого-экономический анализ применения погружных вращающихся биофильтров для очистки сточных вод малых населенных пунктов в Сирии / Саид Марам Али, Н. С. Серпокрьлов // Яковлевские чтения: конф.- Москва, 2020.- С. 80 – 86.
8. Патент РФ № 2720 150 «Модифицированный погружной вращающийся биофильтр для очистки сточных вод от загрязнений». МПК CO2F 3 / 06, № 2019137412, заявл. 21.11.2019, опубл. 24.04.2020.
9. Measurement of Oxygen Transfer in Clean Water. American Society of Civil Engineers.- 2007.- 42 P.
10. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.- 20th Ed. – APHA.- 1998.- WPCF, AWWA.
11. Hewawasam C. Oxygen transfer dynamics and nitrification in a novel rotational sponge reactor / Matsuura N. Maharjan N. Hatamoto M. and Yamaguchi T. // Biochemical Engineering Journal.- 2017.- № 128.- pp. 162-167.
12. Давод, К. Совершенствование технологии очистки сточных вод на вращающихся биоконтакторах// дис. ... канд. Техн. Наук; С.- Питербург. гос. архит. – строит.ун. – СПб. 2003. – 165с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Saied Maram Ali. Osobennosti ochistki stochnykh vod v Sirii [Features of wastewater treatment in Syria] / Saied Maram Ali. // Materialy IX mezhdunarodnoy nauno-prakticheskoy konferentsii «tehnologii oistki vody» [Materials of the IX international scientific-practical conference "water purification technologies"], Rostov-on-Don, 2016. - P. 240-243. [in Russian]
2. Saied Maram Ali. Otsenka effektivnosti nekotorykh sistem kanalizatsii v provintsii Latakiya [Evaluation of the Efficiency of some Sewerage Systems in Latakia] // Magisterskaya dissertatsiya [Master's Thesis] / Saied Maram Ali, Latakia, 2014,- 165 p. [in Russian]
3. Saied Maram Ali. Perspektivy primeneniya pogruzhnykh vrashchayushchikhsya biofil'trov dlya ochistki stochnykh vod malykh naselennykh punktov v Sirii [Prospects for the use of submersible rotating biofilters for the treatment of wastewater from small settlements in Syria] / Saied Maram Ali // Nauka i innovatsii sovremennyye kontseptsii: konf. [Science and innovation modern concepts: conference].- Moscow, 2019 - pp. 109 - 114. [in Russian]
4. Saied Maram Ali. Ochistka stochnykh vod malykh naselennykh punktov v Sirii metodom pogruzhnykh vrashchayushchikhsya biofil'trov [Wastewater treatment of small settlements in Syria by the method of submersible rotating biofilters] / Saied Maram Ali // Nauchnyye razrabotki: yevraziyskiy region: konf. [scientific developments: Eurasian region: conference].- Moscow, 2019 - pp. 194 - 199. [in Russian]
5. Saied Maram Ali Analiz praktiki ispol'zovaniya vrashchayushchikhsya biofil'trov v ochistke stochnykh vod primenitel'no k usloviyam Sirii [Analysis of the practice of using rotating biofilters in wastewater treatment in relation to the conditions of Syria] / Saied Maram Ali, N. S. Serpokrylov // Inzhenerno-stroitel'nyy vestnik Prikaspiya : nauchno-tehnicheskiiy zhurnal [Engineering and construction bulletin of the Caspian region: scientific and technical journal] / Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering. Astrakhan: GAOU JSC VO "AGASU", 2019.- No. 4 (30).- P. 100-104. [in Russian]
6. Ravi R. Rotating Biological Contactors / Sarayu K, Sandhya S, Swaminathan T // Air Pollut. Prev. Control Bioreact. Bioenergy.- 2013.- С. 207-220. doi:10.1002/9781118523360.ch9.
7. Saied Maram Ali Ekologo-ekonomicheskiiy analiz primeneniya pogruzhnykh vrashchayushchikhsya biofil'trov dlya ochistki stochnykh vod malykh naselennykh punktov v Sirii [Ecological and economic analysis of the use of submersible rotating biofilters for the treatment of wastewater from small settlements in Syria] / Saied Maram Ali, N. S. Serpokrylov // Yakovlevskiy chiyeniya: konf. [Yakovlevskie readings: conference].- Moscow, 2020 - pp. 80 - 86. [in Russian]
8. Patent RF № 2720 150 «Modifitsirovanny pogruzhnoy vrashchayushchiysya biofil'tr dlya ochistki stochnykh vod ot zagryazneniy» [Modified submersible rotating biofilter for treatment of wastewater from pollution]. IPC CO2F 3/06, No. 2019137412, App. 11/21/2019, publ. 04.24.2020. [in Russian]
9. Measurement of Oxygen Transfer in Clean Water. American Society of Civil Engineers.- 2007.- 42 P.
10. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.- 20th Ed. – APHA.- 1998.- WPCF, AWWA.
11. Hewawasam C. Oxygen transfer dynamics and nitrification in a novel rotational sponge reactor / Matsuura N. Maharjan N. Hatamoto M. and Yamaguchi T. // Biochemical Engineering Journal.- 2017.- № 128.- pp. 162-167.
12. Davod, K. Sovershenstvovaniye tekhnologii ochistki stochnykh vod na vrashchayushchikhsya biokontaktorakh [Improving the technology of wastewater treatment on rotating biocontactors] / dis. ... kand. Tekhn. Nauk [dis. ... Cand. Tech. Sciences]; St.Petersburg. state architect. - build.un.- SPB. 2003. —P 165. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.101.11.009>**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СУММАРНОЙ ДЛИНЫ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СКВАЖИН
ДЛЯ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ**

Научная статья

Псаров С.А.^{1,*}, Шумилин Е.В.², Каменчуков А.В.³¹ ORCID: 0000-0002-4368-7848;² ORCID: 0000-0002-3210-1469;³ ORCID: 0000-0001-7997-3195;^{1, 2, 3} Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Россия

* Корреспондирующий автор (006212[at]pnu.edu.ru)

Аннотация

В работе предложена методика определения требуемой длины геотермальных скважин для тепловых насосов типа «грунт» – «вода» на основе трех составляющих: среднегодового потребления тепловой мощности, среднемесячного потребления тепловой мощности в наиболее холодный месяц и пикового потребления тепловой мощности в расчетный период (например, наиболее холодную пятидневку с обеспеченностью 0,92). Проведено моделирование работы теплового насоса и поля геотермальных скважин для среднемесячных климатических условий г. Хабаровска для одноэтажного жилого дома площадью 105 м². Показано, что в климатических условиях г. Хабаровска треть скважин необходимы для обеспечения безаварийной работы теплового насоса в течение многолетнего периода, треть скважин необходимы для обеспечения работы насоса в наиболее холодный месяц и треть скважин необходимы для обеспечения пиковых нагрузок в течение наиболее холодной пятидневки. Предложенная методика позволяет провести анализ составляющих требуемой суммарной длины скважин с целью ее уменьшения, что приводит к уменьшению стоимости обустройства теплоснабжения на базе геотермальных тепловых насосов и увеличению их экономической привлекательности.

Ключевые слова: геотермальный тепловой насос, геотермальная скважина, термическое сопротивление геотермальной скважины, g-функция.

**METHOD FOR DETERMINING THE TOTAL LENGTH OF VERTICAL WELLS
FOR GEOTHERMAL HEAT PUMPS**

Research article

Psarov S.A.^{1,*}, Shumilin E.V.², Kamenchukov A.B.³¹ ORCID: 0000-0002-4368-7848;² ORCID: 0000-0002-3210-1469;³ ORCID: 0000-0001-7997-3195;^{1, 2, 3} Pacific National University, Khabarovsk, Russia

* Corresponding author (006212[at]pnu.edu.ru)

Abstract

The study proposes a method for determining the required length of geothermal wells for the soil-water heat pumps on the basis of three components: the average annual heat power consumption, the average monthly heat power consumption in the coldest month, and the peak heat power consumption in the calculation period (for example, the coldest five-day period with a supply of 0.92). The research includes a simulation of the heat pump and geothermal field operation for the average monthly climatic conditions of Khabarovsk for a one-story residential building with an area of 105 m². The study illustrates that in the climatic conditions of Khabarovsk, a third of wells are necessary to ensure a trouble-free operation of the heat pump over a multi-year period, a third of wells are necessary to ensure pump operation in the coldest month, and a third of wells are necessary to ensure peak loads during the coldest five-day period. The proposed method makes it possible to analyze the components of the required total length of wells in order to reduce it, which leads to a reduction in the cost of arranging heat supply based on geothermal heat pumps and an increase in their economic attractiveness.

Keywords: geothermal heat pump, geothermal well, geothermal well thermal resistance, g-function.

Введение

Для работы теплового насоса необходим энергоёмкий источник низкопотенциальной теплоты естественного или искусственного происхождения. К таким источникам можно отнести наружный воздух, грунт, подземные или поверхностные воды, сбросные воды, удаляемый воздух систем вентиляции и другие. Наибольшее распространение получили тепловые насосы, использующие в качестве источника теплоты наружный воздух («воздух» – «вода» или «воздух» – «воздух») или грунт («грунт» – «вода» с вертикальными скважинами) [1]. Это связано с относительной доступностью данных источников теплоты и отсутствием проблем с выполнением законов о защите земных недр при обустройстве геотермальных скважин до первого водного горизонта (до 30 ÷ 50 метров). Горизонтальные геотермальные контуры для тепловых насосов «грунт» – «вода» получили меньшее распространение из-за большого объема земляных работ [2]. Следует отметить, что оба типа тепловых насосов: «воздух» – «вода» и «грунт» – «вода» имеют свои преимущества и недостатки, поэтому сделать однозначный выбор между ними невозможно.

Например, у воздушных тепловых насосов при температурах наружного воздуха ниже минус 15 °С существенно уменьшаются коэффициент трансформации теплоты и мощность. А тепловые насосы, получающие тепловую энергию из грунта, могут работать в узком диапазоне температур от минус 3 до плюс 8 °С. Поэтому все элементы системы теплоснабжения и горячего водоснабжения на базе теплового насоса должны хорошо соответствовать друг другу по мощности, температуре и остальным параметрам. Неправильный выбор геотермального контура для отбора тепловой

энергии грунта может привести к отключению или выходу из строя теплового насоса [2]. При этом обустройство геотермальных скважин является одной из наиболее затратных составляющих теплоснабжения на базе тепловых насосов. Увеличение глубины или количества скважин приводит к экономической нецелесообразности данного вида теплоснабжения. Поэтому корректная оценка требуемой глубины и количества скважин является важной задачей.

В данной работе предложена методика определения требуемой длины вертикального геотермального контура, которая учитывает среднюю годовую тепловую нагрузку на тепловой насос и геотермальный контур, среднемесячную нагрузку и пиковую тепловую нагрузку при расчетных параметрах (например, в наиболее холодную пятидневку с обеспеченностью 0,92).

Теоретические положения

Линейная плотность теплового потока от грунта к геотермальной скважине может быть определена по формуле [3]:

$$q_l(t) = \frac{T_g - T_b}{R_q(t)} \quad (1)$$

$$R_q(t) = \frac{1}{2\pi\lambda_g} g(t, a_g, H, r_b, \text{геометрия поля скважин}) \quad (2)$$

где t – время, T_g – температура грунта вдали от геотермальных скважин может быть принята плюс 8 °С, T_b – температура поверхности обсадной трубы геотермальной скважины, $R_q(t)$ – термическое сопротивление теплопередаче от грунта к геотермальной скважине, λ_g – теплопроводность грунта, a_g – температуропроводность грунта, H – глубина скважин, r_b – наружный диаметр скважины.

Функция $g(t)$ является безразмерным термическим сопротивлением поля геотермальных скважин и называется g -функцией [3]. При расчете g -функции геометрические параметры нормируются на глубину скважин H , а временные параметры на характерное время $t_s = H^2/(9a_g)$.

На рисунке 1 приведены зависимости g -функции от времени для одной геотермальной скважины и квадратного поля геотермальных скважин с размерами 2х2, 4х4, 8х8 скважин. Глубина скважин 40 м, наружный диаметр обсадной трубы скважин 150 мм, температуропроводность грунта $a_g = 10^{-6}$ м²/с, расстояние между скважинами по обеим координатам 7,5 м.

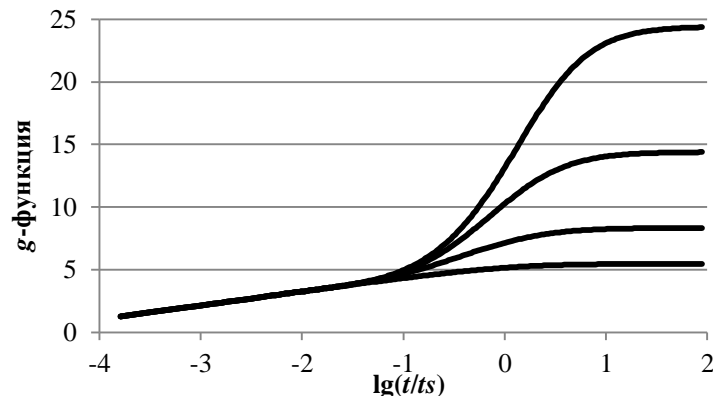


Рис. 1 – Безразмерное термическое сопротивление (g -функция) одиночной геотермальной скважины (нижняя кривая) и поля геотермальных скважин (снизу вверх) 2х2, 4х4, 8х8 скважин

На рисунке 1 видно, что термическое сопротивление скважин увеличивается со временем, при этом можно выделить три характерных временных диапазона.

В диапазоне от нуля до момента времени $t_s/10$ (ближняя асимптотика) термическое сопротивление скважин не зависит от геометрии поля скважин, то есть отдельные скважины не влияют друг на друга. Данный период крайне важен для анализа, поскольку при указанных параметрах характерное время t_s составляет 5,5 лет. Соответственно ближняя асимптотика занимает временной диапазон до 0,55 года, что приблизительно равно отопительному периоду для климатических условий большей части России.

Во втором временном диапазоне от $t_s/10$ до $10t_s$ (переходный период от 0,55 до 55 лет) происходит основное увеличение термического сопротивления поля геотермальных скважин. Например, для поля размером 8х8 скважин безразмерное термическое сопротивление после первого отопительного сезона составит приблизительно 4,8, а после второго отопительного сезона уже 7,8. То есть термическое сопротивление увеличится, а теплоотдача от скважин уменьшится в 1,6 раза.

В третьем временном диапазоне (дальняя асимптотика, более $10t_s$ или более 55 лет) термическое сопротивление практически не изменяется и для поля размером 8х8 скважин равняется 25, что в 5 раз больше термического сопротивления после первого отопительного периода.

Учитывая вышесказанное, расчет длины геотермальных скважин должен учитывать среднегодовое потребление тепловой энергии, среднемесячное потребление тепловой энергии в месяц наибольшего потребления и максимальное теплоснабжение при расчетных параметрах. В данной работе предложено следующее выражение:

$$L = \frac{Q_y R_y + Q_m R_m + Q_h (R_h + R_b)}{T_{гр} - T_{cin}} \quad (3)$$

где Q_y – среднегодовая мощность скважины; Q_m – среднемесячная мощность скважины в месяц наибольшего теплотребления; Q_h – мощность скважины при пиковом расчетном теплотреблении; R_y – термическое сопротивление поля скважин для среднегодового потребления; R_m – термическое сопротивление поля скважин для среднемесячного потребления; R_h – термическое сопротивление поля скважин для расчетного периода; R_b – термическое сопротивление, учитывающее внутреннюю конфигурацию скважины; $T_{гр}$ – температура грунта вдали от скважинного поля; T_{cin} – минимально допустимая температура антифриза внутри скважины по условиям безаварийной работы теплового насоса.

Очевидно, что для среднемесячного теплотребления и пикового теплотребления термическое сопротивление должно приниматься за месяц эксплуатации и за расчетный период (например, пятидневку). При этом термическое сопротивление будет находиться в области ближней асимптотики, для которой существует инженерная формула [3]. Например, для пятидневки и месячного периода значения g -функции равны $g_h = 1,242$, $g_m = 3,426$.

Для определения R_b можно использовать следующую формулу [6], [7], [8]

$$R_b = \frac{1}{2\pi\lambda_{гр}} \left(\ln \left(\frac{d_b}{d_{рн}} \right) - \frac{3}{4} + \left(\frac{s}{d_b} \right)^2 - \frac{1}{4} \ln \left(1 - \left(\frac{s}{d_b} \right)^8 \right) - \frac{3}{4} \ln \left(\frac{s\sqrt{2}}{d_{рн}} \right) \right) + \frac{1}{2\pi\lambda_p} \ln \left(\frac{d_{рн}}{d_{рв}} \right) \quad (4)$$

где $\lambda_{гр}$ – теплопроводность грунта; λ_p – теплопроводность материала труб с антифризом, Вт/(м°C); d_b – диаметр скважины; $d_{рн}$ – наружный диаметр труб с антифризом; $d_{рв}$ – внутренний диаметр труб с антифризом; s – расстояние между центрами U-образной трубы с антифризом, м.

Термическое сопротивление грунта для среднегодового потребления тепловой энергии можно принимать для дальней асимптотики (см. рисунок 1), так как многие производители гарантируют безаварийную эксплуатацию тепловых насосов в течение длительного периода (от 20 до 50 лет), а срок эксплуатации геотермальных скважин часто принимают еще больше (от 60 до 80 лет).

Пример расчета

В качестве примера был выполнен подбор теплового насоса и расчет поля геотермальных скважин для одноэтажного жилого дома площадью 105 м², расположенного в пригороде г. Хабаровска. Расчетные условия приняты для г. Хабаровска: температура воздуха наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92 минус 29°C; продолжительность отопительного периода 204 суток; средняя температура отопительного периода минус 9,5°C. Воздухообмен принимался равным однократному воздухообмену в жилых комнатах и составил приблизительно 205 м³/ч. Для горячего водоснабжения (ГВС) принимался электрический бойлер с электронагревателем мощностью 2 кВт. При расчете среднемесячного потребления энергии на горячее водоснабжение общий расход воды принимался равным 20 м³/мес на четверых проживающих. Нагрев горячей воды осуществляется в баке-накопителе до температуры внутреннего контура теплового насоса, затем в электрическом бойлере до температуры 65°C. Расчетная тепловая нагрузка на систему отопления с учетом рекуперации теплоты удаляемого вентиляционного воздуха составила 6,39 кВт. Среднемесячная тепловая нагрузка на тепловой насос для горячего водоснабжения составила 0,47 кВт.

Таким образом, пиковое теплотребление для наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92 составляет 6860 Вт. Для наиболее холодного месяца средняя нагрузка на систему отопления и ГВС составит 4915 Вт. Среднегодовая нагрузка на систему отопления и ГВС с учетом тепlopоступлений составляет 2570 Вт.

По результатам расчета тепловых потерь жилого дома были подобраны электрические парокомпрессионные геотермальные тепловые насосы DanHeat D&S-9 (HC) или аналог SPRSUN CGD-9 (HC). Оба тепловых насоса представляют собой моноблочные конструкции и имеют сходные характеристики: номинальную мощность нагрева 9,9 кВт; охлаждения 8,4 кВт; потребляемую электрическую мощность в режиме нагрева 1,92 кВт, в режиме охлаждения 1,7 кВт; температурный диапазон наружного контура (температура антифриза, поступающего в теплообменный аппарат) от минус 3 °C до плюс 30 °C; максимальная температура нагрева плюс 60°C. На сайте производителя приведены все характеристики, необходимые для расчета, проектирования и моделирования работы тепловых насосов в указанных диапазонах температур.

Как было указано, среднегодовая нагрузка на систему отопления и ГВС с учетом тепlopоступлений составляет 2570 Вт. При расчетном коэффициенте преобразования тепловой энергии равном 4,2 среднегодовая мощность, потребляемая из скважин, составит $2570 \cdot (4,2 - 1) / 4,2 = 1960$ Вт. Среднегодовая нагрузка на систему кондиционирования (при тепловом насосе отопление / охлаждение и установленных фанкойлах) составит 345 Вт, поэтому при расчетном коэффициенте охлаждения 4,0 получим среднегодовую мощность, возвращаемую в скважину, равной $345 \cdot (4,0 + 1) / 4,0 = 430$ Вт. Таким образом, в среднем за год из скважин будет потребляться мощность 1530 Вт.

Аналогичным образом можно получить, что для наиболее холодного месяца среднемесячная тепловая мощность, потребляемая из скважины, составит 3740 Вт. Пиковая тепловая мощность, потребляемая из скважины, составит 5220 Вт.

При приведенных параметрах и теплопроводности грунта 1,7 Вт/(м°C) требуемая длина скважины согласно формуле составит

$$L = \frac{1530 \cdot 0,8034 + 3740 \cdot 0,3207 + 5220 \cdot (0,1163 + 0,0952)}{8 - (-3)} = 111,7 + 109,2 + 100,3 = 321,2 \text{ м} \quad (5)$$

Из расчета видно, что для обеспечения работы теплового насоса необходимо восемь скважин по 40 м каждая. При этом в условиях климата г. Хабаровска треть скважин необходимы для обеспечения работы теплового насоса в течение длительного периода, треть скважин необходимы для обеспечения работы насоса в наиболее холодный месяц и треть скважин необходимы для обеспечения пиковых нагрузок в течение наиболее холодной пятидневки.

Отметим, что часто для расчета требуемой длины геотермальной скважины используется упрощенная методика, основанная на величине удельного теплосъема 50 Вт/м [1], [2]. Согласно данной методике, требуемая длина скважины для теплового насоса DanHeat D&S-9 (НС) составит $(9900 - 1900) / 50 = 160$ м, то есть в 2 раза меньше.

Нами было выполнено моделирование температуры для поля из четырех геотермальных скважин прямоугольной формы 2 x 2 и для поля из восьми геотермальных скважин 2 x 4. Глубина каждой скважины составляла 40 м в обоих случаях. Суммарная длина скважин в первом случае составила 160 м, во втором – 320 м.

Моделирование проведено для тридцатилетнего периода с усреднением всех параметров по месяцам. Начальным месяцем моделирования был октябрь 2009 года. Среднемесячные параметры наружного воздуха для первых 10 лет принимались фактическими для г. Хабаровска (с 2009 по 2019 год), для следующих 20 лет среднемесячными по СП «Строительная климатология». Результаты моделирования приведены на рисунках 2 и 3.

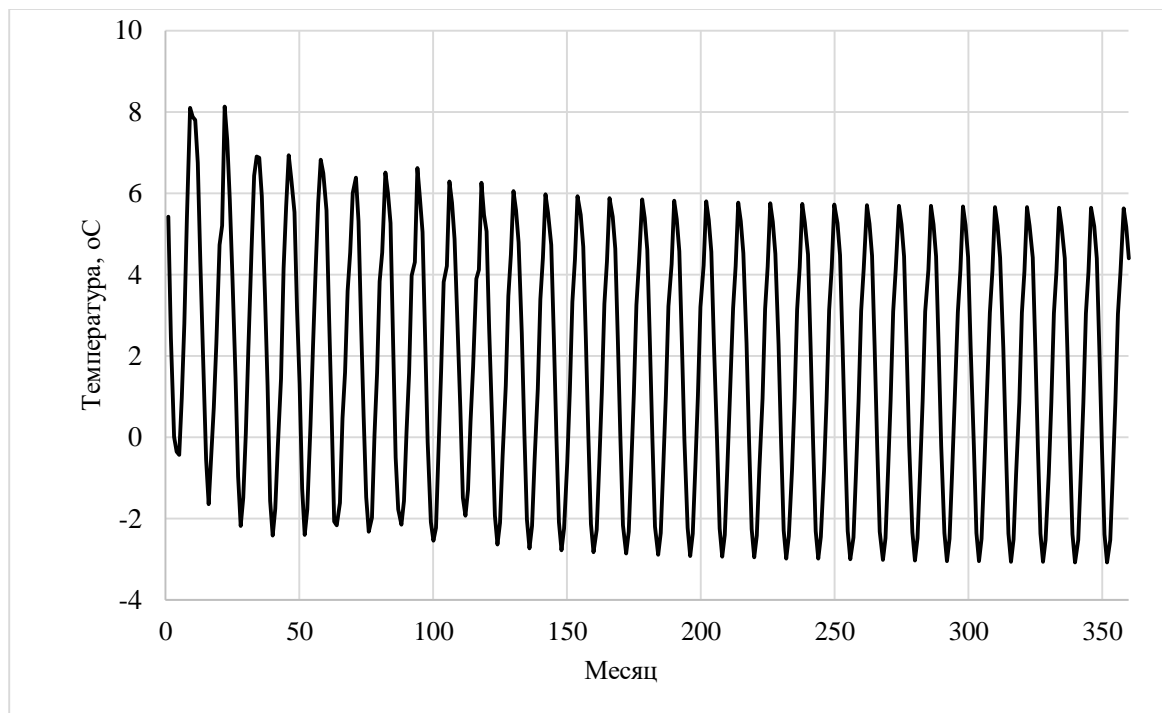


Рис. 2 – Температура скважин в зависимости от месяца эксплуатации для поля скважин 2 x 2. Скважины имеют длину 40 м каждая

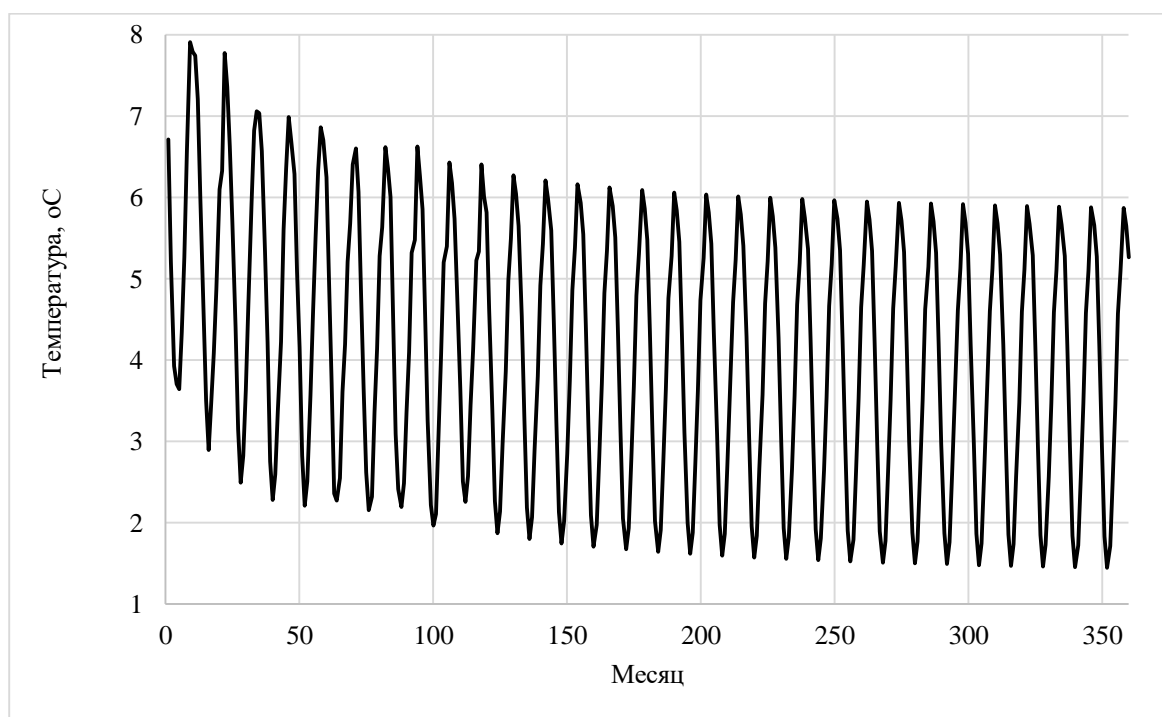


Рис. 3 – Температура скважин в зависимости от месяца эксплуатации для поля скважин 2 x 4. Скважины имеют длину 40 м каждая

На рисунке 2 видно, что при суммарной длине скважин 160 м температура антифриза в первый же отопительный сезон опускается ниже 0 °С. Как было указано выше, минимальная температура скважины составляет минус 3 °С. Поэтому при пиковом потреблении тепловой энергии в наиболее холодный период января аварийное отключение теплового насоса может произойти уже в первый отопительный сезон. Что и случилось с несколькими геотермальными насосами, установленными в пригороде г. Хабаровска в 2016 – 2018 годах.

При суммарной длине скважин 320 м сохраняется запас по температуре скважин 4,5 °С, который обеспечит бесперебойную работу теплового насоса в течение многолетнего периода эксплуатации.

На рисунке 4 приведены дисконтированные сроки окупаемости теплового насоса в зависимости от стоимости электрической энергии для норм дисконта от 5% (безрисковая составляющая нормы дисконта) до 11% (безрисковая и инфляционная составляющие нормы дисконта). Сравнение было проведено для отопления рассмотренного выше жилого дома с помощью теплового насоса DanHeat D&S-9 (HC) и электрического котла ZOTA-9 «Lux».

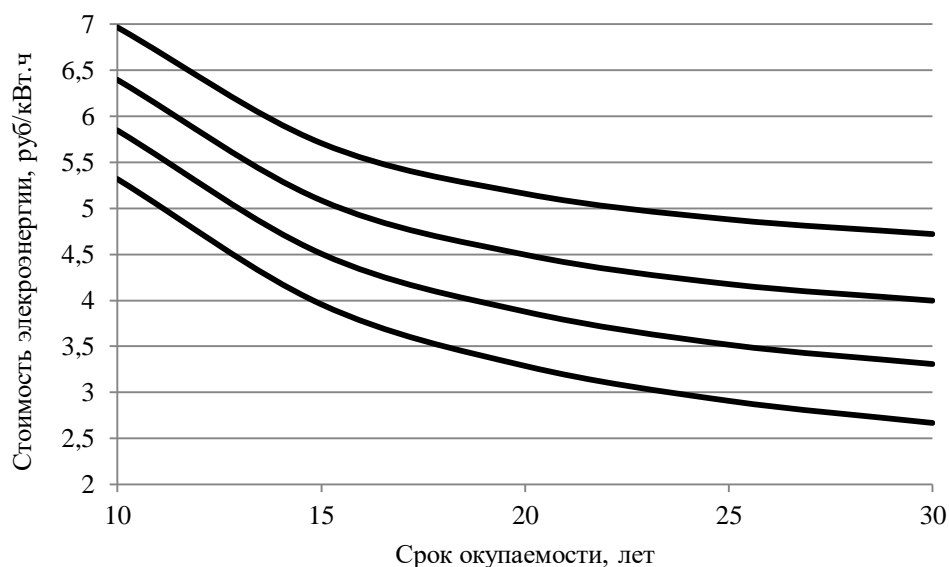


Рис. 4 – Требуемая стоимость электрической энергии в зависимости от срока окупаемости для норм дисконта 5% (нижняя кривая), 7%, 9% и 11% (верхняя кривая)

Из графиков, приведенных на рисунке 4, видно, что срок окупаемости геотермальных тепловых насосов при благоприятном инвестиционном климате (норме дисконта 5%) и текущей стоимости электрической энергии составляет не менее 15 лет.

Срок окупаемости тепловых насосов можно существенно уменьшить, если проводить мероприятия по восстановлению теплоты грунта в летний период. В этом случае в формуле (5) первое слагаемое будет равно нулю, и требуемая суммарная длина скважин уменьшится на 111,7 м и составит около 210 м. Это приведет к уменьшению первоначальных инвестиций в устройство геотермального теплового насоса на 200 тысяч рублей.

Использование мероприятий по восстановлению теплоты грунта в летний период является на данный момент актуальным направлением исследований [9], [10]. После отопительного периода грунт имеет температуру около 0 °С. Поэтому для восстановления теплоты грунта в летний период могут быть использованы вакуумные солнечные коллекторы, плоские солнечные коллекторы, открытые солнечные коллекторы [10], воздушные отопительные агрегаты типа Volcano, установленные снаружи здания, и другие. На первый взгляд открытые солнечные коллекторы и воздушные отопительные агрегаты кажутся наиболее перспективными, так как имеют невысокую стоимость и могут работать круглосуточно, нагревая грунт за счет температуры наружного воздуха даже в ночные часы. Однако, анализ совместной работы геотермальных тепловых насосов и устройств, восстанавливающих теплоту грунта в летний период, требует проведения дополнительных исследований.

Заключение

В данной работе предложена методика определения требуемой длины геотермальных скважин для тепловых насосов типа «грунт» – «вода» на основе трех составляющих: среднегодового потребления тепловой мощности, среднемесячного потребления тепловой мощности в наиболее холодный месяц и пикового потребления тепловой мощности в расчетный период (например, наиболее холодную пятидневку с обеспеченностью 0,92). К достоинствам предложенной методики можно отнести следующее. Во-первых, методика позволяет провести анализ составляющих требуемой длины. Например, данная методика позволяет оценить: насколько уменьшится требуемая длина скважин при использовании резервного источника тепловой энергии в пиковом режиме потребления; насколько уменьшится требуемая длина скважин при восстановлении теплоты грунта в летний период. Во-вторых, для расчета требуемой длины скважин используются достаточно простые инженерные формулы, не требующие годового моделирования работы скважин и теплового насоса. Исключение составляет только расчет термического сопротивления грунта для периода 10 и более лет, который может быть проведен с использованием библиотеки для языка программирования Python [4].

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Крылов Э. Г. Комбинированная система отопления здания в сельской местности с применением тепловых насосов / Э. Г. Крылов, З. С. Саидова // Международный научно-исследовательский журнал. – 2015. – № 3 (34), часть 1. – С. 78 – 80.
2. Москаленко И.В. Тепловые насосы. Практический опыт внедрения и проблемы рынка / И.В. Москаленко // Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2018. – № 3. – С. 54-67.
3. Eskilson P. Thermal analysis of heat extraction boreholes / P. Eskilson. – Sweden: University of Lund, Department of Mathematical Physics, 1987. – 222 p.
4. Cimmino M. pygfunction: an open-source toolbox for the evaluation of thermal response factors for geothermal borehole fields / M. Cimmino // The Canadian Chapter of the International Building Performance Simulation Association : Proceedings of eSim 2018, the 10th conference of IBPSA, Canada, May 9-10, 2018. – Canada, Montreal. – P. 492-501.
5. Cimmino, M. Fast calculation of the *g*-functions of geothermal borehole fields using similarities in the evaluation of the finite line source solution / M. Cimmino // Journal of Building Performance Simulation. – 2018. – 11(6). – P. 655-668.
6. Xuedan Zhang Comparison of Four Methods for Borehole Heat Exchanger Sizing Subject to Thermal Response Test Parameter Estimation / Xuedan Zhang, Tiantian Zhang, Bingxi Li, Yiqiang Jiang // Energies. – 2019. – № 12, 4067.
7. Rolando, D. A Web Application for Geothermal Borefield Design / D. Rolando, J. Acuna, M. Fossa // Proceedings World Geothermal Congress, Australia, Melbourne, 19-25 April, 2015. – P. 1-10. [Electronic resource] – URL: https://www.kth.se/polopoly_fs/1.571174.1550157681!/rolando%20et%20%20a1%20web%20application.pdf (accessed 01.10.2020).
8. Claesson, J. An analytical method to calculate borehole fluid temperatures for time-scales from minutes to decades / J. Claesson, S. Javed // ASHRAE Transactions. – 2011. – vol. 117(2), P. 279-288.
9. Lei Xia Performance Simulation of a Ground Source Heat Pump System Integrated with Solar Photovoltaic Thermal Collectors for Residential Applications / Lei Xia, Zhenjun Ma, G. Kokogiannakis // Building Simulation 2017 : Proceedings of the 15th IBPSA Conference San Francisco, CA, USA, Aug. 7-9, 2017. – USA, 2017. – P. 839-847.
10. Bertram E. Heat Pump Systems with Vertical Ground Heat Exchanger and Uncovered Solar Thermal Collectors / E. Bertram. – Umschlag: MV-Verlag, 2015. – 258 p.

Список литературы на английском языке/ References in English

1. Krylov Je. G. Kombinirovannaja sistema otoplenii zdanija v sel'skoj mestnosti s primeneniem teplovyh nasosov [The combined heating system of building in countryside with heating pumps] / Je. G. Krylov, Z. S. Saidova // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Research Journal]. – 2015. – № 3 (34), part 1. – P. 78 – 80. [in Russian]
2. Moskalenko I.V. Teplovyje nasosy. Prakticheskij opyt vnedrenija i problemy rynka [Heating pumps. Practical experience of application and market problems] / I.V. Moskalenko // Sanтехника, otoplenie, kondicionirovanie [Sanitary engineering, heating, air conditioning]. – 2018. – № 3. – P. 54-67. [in Russian]
3. Eskilson P. Thermal analysis of heat extraction boreholes / P. Eskilson. – Sweden: University of Lund, Department of Mathematical Physics, 1987. – 222 p.
4. Cimmino M. pygfunction: an open-source toolbox for the evaluation of thermal response factors for geothermal borehole fields / M. Cimmino // The Canadian Chapter of the International Building Performance Simulation Association : Proceedings of eSim 2018, the 10th conference of IBPSA, Canada, May 9-10, 2018. – Canada, Montreal. – P. 492-501.
5. Cimmino, M. Fast calculation of the *g*-functions of geothermal borehole fields using similarities in the evaluation of the finite line source solution / M. Cimmino // Journal of Building Performance Simulation. – 2018. – 11(6). – P. 655-668.
6. Xuedan Zhang Comparison of Four Methods for Borehole Heat Exchanger Sizing Subject to Thermal Response Test Parameter Estimation / Xuedan Zhang, Tiantian Zhang, Bingxi Li, Yiqiang Jiang // Energies. – 2019. – № 12, 4067.
7. Rolando, D. A Web Application for Geothermal Borefield Design / D. Rolando, J. Acuna, M. Fossa // Proceedings World Geothermal Congress, Australia, Melbourne, 19-25 April, 2015. – P. 1-10. [Electronic resource] – URL: https://www.kth.se/polopoly_fs/1.571174.1550157681!/rolando%20et%20%20a1%20web%20application.pdf (accessed 01.10.2020).
8. Claesson, J. An analytical method to calculate borehole fluid temperatures for time-scales from minutes to decades / J. Claesson, S. Javed // ASHRAE Transactions. – 2011. – vol. 117(2), P. 279-288.
9. Lei Xia Performance Simulation of a Ground Source Heat Pump System Integrated with Solar Photovoltaic Thermal Collectors for Residential Applications / Lei Xia, Zhenjun Ma, G. Kokogiannakis // Building Simulation 2017 : Proceedings of the 15th IBPSA Conference San Francisco, CA, USA, Aug. 7-9, 2017. – USA, 2017. – P. 839-847.
10. Bertram E. Heat Pump Systems with Vertical Ground Heat Exchanger and Uncovered Solar Thermal Collectors / E. Bertram. – Umschlag: MV-Verlag, 2015. – 258 p.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.101.11.010>**РАЗРАБОТКА МЕТОДА КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА
МИКРОВОЛНОВОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ЖИВОТНОВОДСТВА**

Научная статья

**Смирнов С.В.^{1,*}, Морозов Г.А.², Морозов О.Г.³, Насыбуллин А.Р.⁴, Анфиногентов В.И.⁵,
Фархутдинов Р.В.⁶, Белов Э.В.⁷**¹ ORCID: 0000-0002-1586-136X;¹⁻⁷ Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, Казань, Россия

* Корреспондирующий автор (svsmirnov93[at]mail.ru)

Аннотация

В данной статье обсуждаются вопросы контроля параметров процесса микроволновой переработки куриного помета в топливные брикеты. Необходимость описанного в статье технологического комплекса объясняется острой проблемой охраны окружающей среды, связанной с отходами животноводческих комплексов. Важнейшей задачей является быстрая утилизация и переработка образующихся навозосодержащих отходов. За счет своих преимуществ перед традиционным нагревом, применение микроволнового нагрева в установке конвейерного типа позволит ускорить процесс переработки помета [1]. Для эффективной переработки отходов разработана конструкция датчиков для контроля процесса переработки на основе измерения комплексной диэлектрической проницаемости обрабатываемого материала. Полученная измерительная информация может быть использована для адаптивного управления установкой. Представлены результаты компьютерного электромагнитного моделирования планарного резонансного датчика и СВЧ камеры для переработки куриного помета в брикетированное топливо.

Ключевые слова: микроволновая переработка, отходы животноводства, планарная полосковая структура, датчик контроля влажности, диэлектрические свойства.

**DEVELOPMENT OF A METHOD FOR MONITORING THE PARAMETERS OF THE MICROWAVE
PROCESSING OF ANIMAL WASTE**

Research article

**Smirnov S.V.^{1,*}, Morozov G.A.², Morozov O.G.³, Nasybullin A.R.⁴, Anfinogentov V.I.⁵,
Farkhutdinov R.V.⁶, Belov E.V.⁷**¹ ORCID: 0000-0002-1586-136X;¹⁻⁷ A. N. Tupolev Kazan National Research Technical University, Kazan, Russia

* Corresponding author (svsmirnov93[at]mail.ru)

Abstract

The article discusses the control of parameters of the microwave processing of chicken manure into fuel briquettes. The need for the technological complex described in the article is explained by the acute problem of environmental protection associated with waste from livestock complexes. The most important task is the rapid disposal and processing of the resulting manure-containing waste. Due to its advantages over traditional heating, the use of microwave heating in a conveyor-type installation will speed up the process of manure processing [1]. The study presents the design of sensors for monitoring the processing based on the measurement of the complex permittivity of the processed material for efficient waste processing. The resulting measurement data can be used for adaptive plant management. The study provides the results of computer electromagnetic modeling of a planar resonant sensor and a microwave chamber for processing chicken manure into briquetted fuel.

Keywords: microwave processing, animal waste, planar strip structure, humidity control sensor, dielectric properties.

Введение

На современном уровне развития животноводческой отрасли требуются принципиально новые подходы к проблеме утилизации отходов производства. Целью данного исследования является исключение ущерба, наносимого окружающей природной среде в результате накопления отходов, а также создание условий для получения дополнительного дохода от реализации уже переработанных так называемых отходов [2]. Одним из вариантов утилизации куриного помета является его переработка в брикетированное топливо. Благодаря низкому уровню зольности и небольшому проценту выделяемого углекислого газа популярность топливных брикетов из навоза растет с каждым годом. Сравнение брикетов с другими видами топлива приведены в таблице 1. Теплота сгорания навозных топливных брикетов сравнима с углем.

Таблица 1 – Сравнение брикетов с другими видами топлива

Вид топлива	Теплота сгорания (МДж/кг)	Зола, %	Сера, %
Каменный уголь	15-25	10-35	1-3
Дрова	10	2	0
Брикеты навозные	18,4	2,5	0,1
Брикеты торфяные	14,9	23	1-3

За счет меньшего образования продуктов сгорания, увеличивается срок службы оборудования. Малый процент серы при сгорании (0,1%) практически не наносит вреда окружающей среде [3].

Начальная влажность куриного помета может составлять 30-75% в зависимости от способа удаления отходов из помещения для хранения. Готовый продукт должен содержать влажность 10-15%, поэтому появляется задача контроля влажности в процессе СВЧ сушки.

СВЧ конвейерная установка по переработке навоза и помета

В настоящее время разработана и внедрена в производство микроволновая установка по переработке помета в удобрение и твердое топливо. Доказаны эффективность и экологичность процесса переработки, показана возможность стерилизации обрабатываемого материала от условно-патогенных микроорганизмов и жизнеспособных личинок и яиц гельминтов [4].

За время работы установки возникла необходимость создания адаптивной системы управления процессом переработки, применение которой позволит контролировать влажность перерабатываемого материала и улучшить качество изготавливаемых продуктов.

Решить данную задачу возможно размещением измерительных датчиков на входе конвейерной установки для контроля исходного материала, датчика промежуточного контроля, который будет установлен между камерами «сушки» и «досушки», и датчика контроля на выходе [5]. Структурная схема конвейерной СВЧ установки для сушки показана на Рис 1.

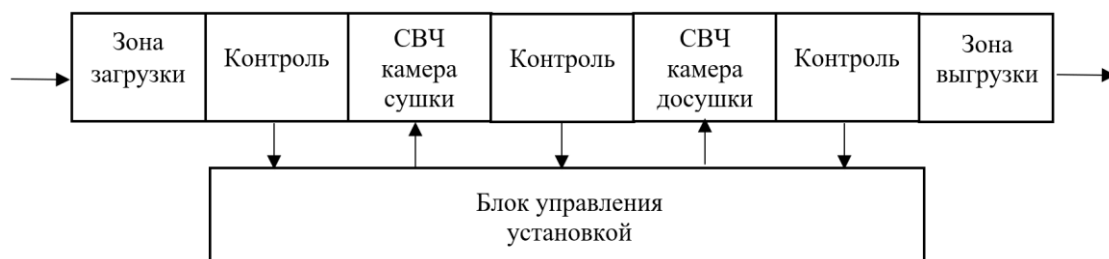


Рис. 1 – Структурная схема конвейерной установки по переработке помета с адаптивной системой контроля и управления процессом

Для решения задачи равномерности нагрева разработана шестирупорная излучающая система, рассчитанная на частоту 2,45 ГГц (Рис.2,а). Волноводы настроены и согласованы положением короткозамкнутой стенки и расположением точек возбуждения рупоров [6]. Шесть рупоров возбуждаются тремя волноводами, каждый из которых подключается к отдельному СВЧ генератору. На рис. 2,б показано распределение плотности мощности потерь в объекте нагрева, расположенного в СВЧ камере обработки. В качестве объекта нагрева моделировался материал с электромагнитными параметрами, характерными для куриного помета с влажностью 70%. Результаты моделирования коэффициента отражения от возбуждающих волноводов и коэффициента развязки между излучателями представлены на рис. 3. На частоте 2,45 ГГц коэффициент отражения не больше -10 дБ (рис. 3,а) и коэффициент развязки между излучателями не больше -30 дБ (рис. 3,б), что приемлемо для работы магнетронов промышленного применения.

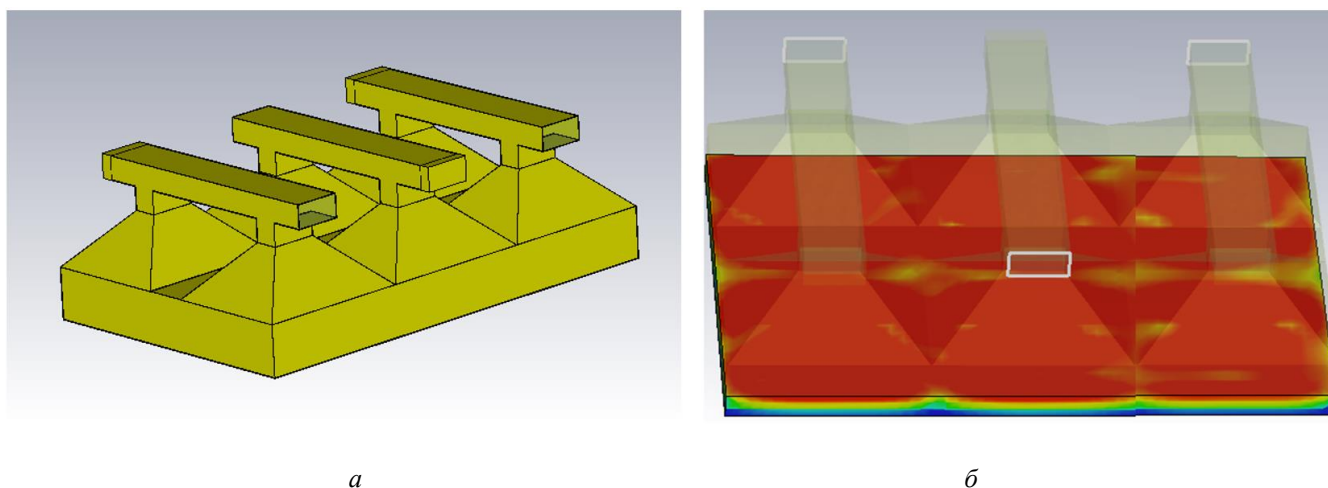


Рис. 2 – Внешний вид СВЧ камеры (а) и распределение плотности мощности потерь в объекте нагрева (б)

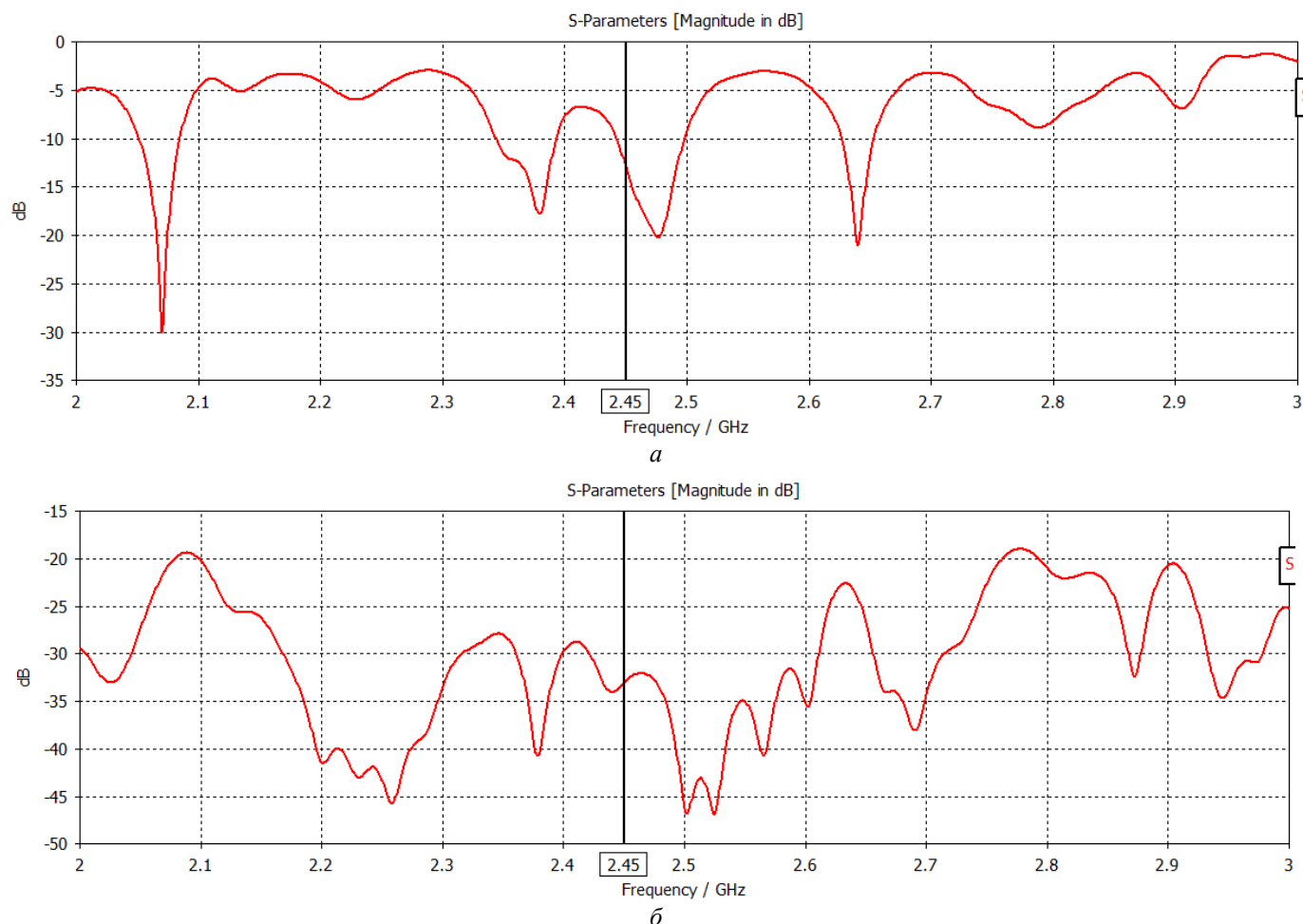


Рис. 3 – Коэффициент отражения излучателей (а) и коэффициент развязки между излучателями (б) на частоте 2,45 ГГц

Из результатов моделирования можно наблюдать неравномерность нагрева по толщине слоя, что говорит о необходимости контроля диэлектрических свойств объекта нагрева в процессе обработки.

Измерение диэлектрических параметров объекта обработки

Разработка датчика для оперативного контроля изменения диэлектрических параметров перерабатываемых отходов предполагает знание характера зависимости комплексной диэлектрической проницаемости от значений влажности. С этой целью было проведено измерение комплексной диэлектрической проницаемости куриного помета на частоте 2,45 ГГц при различной влажности исследуемого материала. В качестве метода измерения был выбран метод коаксиального пробника. Куриный помет сушили в СВЧ камере и с периодичностью в 2 минуты проводили измерение вещественной части комплексной диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь с помощью анализатора цепей Agilent E5071C [7]. Результаты измерения диэлектрических параметров куриного помета показаны в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты измерения диэлектрических свойств куриного помета на частоте 2,45 ГГц

Время обработки, мин	Диэлектрическая проницаемость, ϵ	Тангенс угла диэлектрических потерь, $\tan \delta$	Масса, гр	Расчетная влажность, %	Температура, °C
Исходный материал	43,25	0,5581	184,6	71	18
2	39,78	0,44602	163,9	67	93
4	34,76	0,3591	139,8	61	100
6	31,87	0,29163	109,3	51	100
8	12,25	0,2523	80	32	100
10	2,81	0,2135	60	10	100
10,30	1,3	0,1	53,9	0	100

Разработка датчиков контроля влажности

В качестве типа преобразовательного элемента датчика было предложено использовать ближнеполевые резонансные структуры в полосковом исполнении. Резонансная структура представляет собой кольцевой резонатор на основе несимметричной полосковой линии [8]. В верхнем экране несимметричной полосковой линии введена кольцевая

щель (Рис. 4 а). Между верхним и нижним экраном симметричной полосковой линии расположен полосковый кольцевой резонатор с внешним диаметром 14 мм и шириной 1,62 мм. На расстоянии 0,4 мм от полоскового кольцевого резонатора в одной горизонтальной плоскости расположен полосок шириной 1,62 мм, возбуждающий резонатор (Рис. 4 б). Верхняя кольцевая щель расположена на одной оси с нижним полосковым кольцевым резонатором и имеет идентичные с ним размеры. Волновое сопротивление возбуждающей резонатор линии составляло 50 Ом. В качестве верхнего и нижнего диэлектриков симметричной полосковой линии выступали листы фторопласта толщиной 1 мм.

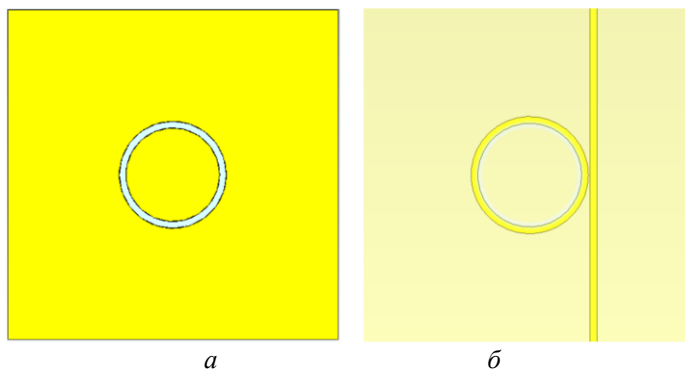


Рис. 4 – Несимметричная полосковая линия: а) верхний экран, б) полосок и контур между экранами в диэлектрике

Исследование резонансных характеристик датчика было проведено с помощью компьютерного электромагнитного моделирования. Моделируемый датчик калибровался по ранее измеренным значениям комплексной диэлектрической проницаемости куриного помета для различной влажности. Исследуемый материал в компьютерной модели задавался как слой диэлектрика с соответствующими диэлектрическими параметрами, соприкасающийся с верхним экраном несимметричной полосковой линии.

Результаты моделирования коэффициентов передачи при моделировании процесса измерения диэлектрической проницаемости куриного помета с влажностью 10% и 71% изображены на рис. 5.

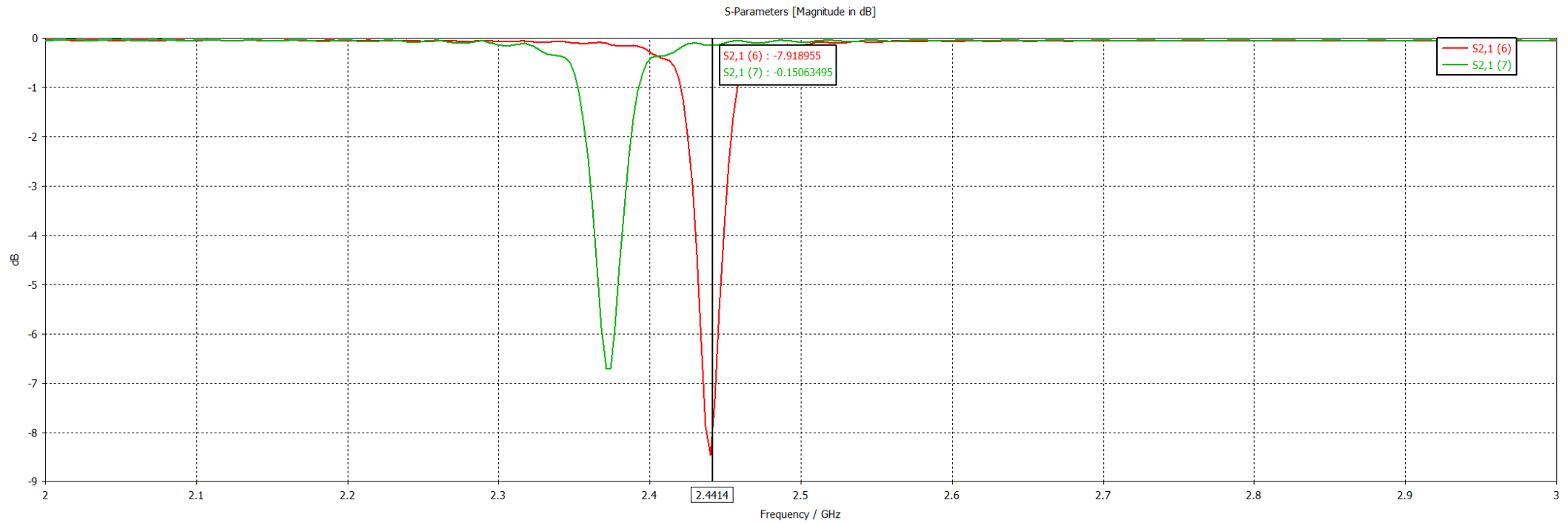


Рис.5 – Моделирование коэффициентов передачи при моделировании процесса измерения диэлектрической проницаемости куриного помета с влажностью 10% и 71%

Как можно наблюдать на графике, сдвиг резонансной частоты составляет 70 МГц, что показывает возможность дальнейшего применения датчика в системе контроля и адаптивных контурах управления процессом конвейерной СВЧ переработки навоза и помета.

Решением проблемы неравномерности нагрева по толщине слоя, выявленной при моделировании (рис.2 б), может являться установка двух датчиков в одном месте, сверху и снизу перерабатываемого материала, что позволит получать более корректные данные о состоянии влажности объекта и, следовательно, управляя скоростью транспортной ленты и временем работы излучающих систем, качественный изготавливаемый продукт с заданной влажностью.

Заключение

В результате экспериментального исследования показана связь диэлектрической проницаемости и влажности материала.

Моделирование процесса СВЧ воздействия на материал с диэлектрическими свойствами куриного помета показало возможность создания установки для переработки отходов птицеводства в брикетированное топливо. Также во время моделирования выявлены недостатки в виде неравномерности нагрева по толщине слоя всего материала. Для решения данной проблемы создана модель датчика контроля на основе несимметричной полосковой линии, и произведено компьютерное моделирование процесса измерения коэффициентов передачи, результаты которого показали возможность дальнейшего применения датчика в системе контроля и адаптивных контурах управления процессом конвейерной СВЧ переработки помета в твердотельное брикетированное топливо.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Насыбуллин А.Р. Электромагнитные поля в технологии интенсификации процессов переработки полимерных отходов / А.Р. Насыбуллин, О.Г. Морозов, Г.А. Морозов // Научный журнал «Экология и промышленность России». – 2018. – Т. 22. – № 11. – С. 19-23.
2. Хамоков М.М. Оптимизация режимов работы установки для переработки птичьего помета / М.М. Хамоков, Ю.А. Шекихачев, В.З. Алоев и др. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – № 75. – С. 275-284.
3. Букета В.Я. Изготовление топливных брикетов на основе безотходных технологий / В.Я. Букета, В.Ю. Русаков // Материалы XI международной конференции «Инновационные тенденции развития российской науки». – Красноярск. – 2018. – 109 с.
4. Смирнов С.В. Исследование СВЧ технологических комплексов переработки твердых и жидких сред / С.В. Смирнов, Г.А. Морозов, О.Г. Морозов и др. // Научный журнал «Инженерный вестник Дона». – 2018. – № 4. – [Электронный ресурс] : URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5311> (дата обращения: 10.10.2020)
5. Смирнов С.В. Микроволновые технологии переработки отходов коневодческих предприятий / С.В. Смирнов, А.Р. Насыбуллин, Р.В. Фархутдинов // Материалы конференции «Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы». – 2019. – С. 211-214.
6. Смирнов С.В. Исследование воздействия ЭМП СВЧ на конский навоз разработка модели рабочей камеры СВЧ переработки / С.В. Смирнов // Материалы международной молодежной научной конференции «XXIV Туполевские чтения». – 2019. – С. 529-533.
7. Морозов Г.А. Функционально адаптивные СВЧ-технологии в задачах переработки термопластичных полимерных материалов / Г.А. Морозов, О.Г. Морозов, Р.Р. Самигуллин и др. // Вестник Марийского государственного технического университета. – 2011. – № 3(13). – С. 13-24.
8. Совлуков А.С. Резонаторный метод измерения физических свойств жидкостей с применением полосковых линий / А.С. Совлуков, А.А. Маслов, В.В. Яценко и др. // Вестник Мурманского государственного технического университета. – 2009. – Т. 12. – № 2. – С. 271-275.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Nasybullin A.R. Jelektromagnitnye polja v tehnologii intensifikacii processov pererabotki polimernyh othodov [The electromagnetic field in the technology of an intensification of processes of processing of polymeric waste] / A.R. Nasybullin, O.G. Morozov, G.A. Morozov // Nauchnyj zhurnal «Jekologija i promyshlennost' Rossii». [Scientific journal «Ecology and industry of Russia»]. – 2018. – V. 22. – № 11. – P. 19-23. [in Russian]
2. Hamokov M.M. Optimizacija rezhimov raboty ustanovki dlja pererabotki ptich'ego pometa [Optimization of the operation modes of the plant for processing bird droppings] / M.M. Hamokov, Ju.A. Shekihachev, V.Z. Aloev et al // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. [Polythematic network electronic scientific journal of Kuban state agrarian University]. – 2012. – № 75. P. 275-284. [in Russian]
3. Buketa V.Ja. Izgotovlenie toplivnyh briketov na osnove bezotходnyh tehnologij [Production of fuel briquettes based on waste-free technologies] / V.Ja. Buketa, V.Ju. Rusakov // Materialy XI mezhdunarodnoj konferencii «Innovacionnye tendencii razvitiya rossijskoj nauki». – Krasnojarsk. [Materials of the XI international conference "Innovative trends in the development of Russian science". – Krasnojarsk]. – 2018. – 109 p. [in Russian]
4. Smirnov S.V. Issledovanie SVCh tehnologicheskikh kompleksov pererabotki tverdyh i zhidkih sred [Research of microwave technological complexes for processing solid and liquid media] [Electronic resource] / S.V. Smirnov, G.A. Morozov, O.G. Morozov and others // Inzhenernyj vestnik Dona [Engineering Bulletin of the don]. – 2018. – №4. – [Electronic resource] URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5311> (accessed: 10.10.2020) [in Russian]

5. Smirnov S.V. Mikrovolnovye tehnologii pererabotki othodov konevodcheskih predpriyatij [Microwave technologies for processing horse-breeding enterprises waste] / S.V. Smirnov, A.R. Nasybullin, R.V. Farhutdinov // Materialy konferencii «Prikladnaja jelektrodinamika, fotonika i zhivye sistemy-2019». [Proceedings of the conference "Applied electrodynamics, Photonics and living systems – 2019»]. – 2019. – P. 211-214. [in Russian]
6. Smirnov S.V. Issledovanie vozdejstviya JeMP SVCh na konskij navoz razrabotka modeli rabochej kamery SVCh pererabotki [Study of the effect of EMF microwave on horse manure development of a model of the working chamber of microwave processing] / S.V. Smirnov // Materialy mezhdunarodnoj molodjozhnoj nauchnoj konferencii «XXIV Tupolevskie chtenija» [Materials of the international youth scientific conference «XXIV Tupolev Readings»]. – 2019. – P. 529-533. [in Russian]
7. Morozov G.A. Funkcional'no adaptivnye SVCh-tehnologii v zadachah pererabotki termoplastichnyh polimernyh materialov [Functionally adaptive microwave technologies for processing thermoplastic polymer materials] / G.A. Morozov, O.G. Morozov, R.R. Samigullin and others // Vestnik Marijskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta [Bulletin of the Mari state technical University.]. – 2011. – № 3(13). – P. 13-24. [in Russian]
8. Sovlukov A.S. Rezonatornyj metod izmerenija fizicheskikh svojstv zhidkostej s primeneniem poloskovykh linij [Resonator method for measuring the physical properties of liquids using strip lines] / A.S. Sovlukov, A.A. Maslov, V.V. Jacenko and others // Vestnik Murmanskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta [Bulletin of the Murmansk state technical University]. – 2009. – V. 12. – № 2. – P. 271-275. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.101.11.011>

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРИГОТОВЛЕНИЯ ДЕСЕРТА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ ИЗ КУРАГИ И ВЫЖИМОК МОРКОВИ

Научная статья

Чуб О.П.*

ORCID: 0000-0002-0988-360X,

Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия

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

Аннотация

В статье обоснована актуальность исследований, связанных с проектированием десертных блюд функционального назначения с использованием натурального вторичного растительного сырья, что соответствует концепции бережливого производства. Наиболее распространенным и ценным по составу вторичным сырьем для десертных блюд являются яблочные и морковные выжимки, свекловичный жом, которые остаются после получения соков прямого отжима [1], [2]. Цель исследований – использование морковных выжимок в качестве функциональной добавки для десертной группы блюд. Результаты исследований: разработан технологический процесс приготовления десерта из кураги и выжимок моркови, подобрана рецептура, предложен и опробован способ предварительной обработки выжимок моркови для дальнейшего использования. При использовании предлагаемого подхода обеспечивается обогащение конечного продукта пищевыми волокнами, витаминами, микроэлементами, антиоксидантами при высоких органолептических показателях. Содержание пищевых волокон в инновационном продукте составило 64% дневной потребности взрослого человека.

Ключевые слова: функциональные продукты, пищевые волокна, бета-каротин, десертные блюда, вторичное растительное сырье, морковные выжимки, бережливое производство.

DEVELOPMENT OF A PROCESS TECHNOLOGY FOR PREPARING A FUNCTIONAL DESSERT WITH DRIED APRICOTS AND CARROT POMACE

Research article

Chub O.P.*

ORCID: 0000-0002-0988-360X,

Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

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

Abstract

The article justifies the relevance of research related to the design of functional dessert dishes using natural secondary vegetable raw materials, which corresponds with the concept of lean manufacturing. The most common and valuable secondary raw materials for dessert dishes are beet pulp, and apple and carrot pomace, which remain after the juice extraction [1], [2]. The purpose of the research is to use carrot pomace as a functional additive for the dessert group of dishes. Research results: the technological process of making a dessert from dried apricots and carrot pomace was developed, the recipe was selected, and a method of pre-processing carrot pomace for further use was proposed and tested. When using the proposed approach, the final product is enriched with dietary fibers, vitamins, mineral nutrients, and antioxidants at high organoleptic parameters. The content of dietary fiber in the product is 64% of the daily needs of an adult.

Keywords: functional food, dietary fiber, beta-carotene, dessert dishes, secondary vegetable raw materials, carrot pomace, lean manufacturing.

Введение

Десертная группа блюд пользуется особой популярностью среди гостей предприятий общественного питания как для завершения трапезы, так и для отдельного приема пищи.

От вида и количества потребляемых десертов зависит, получит ли организм человека больше пользы или вреда. Часто традиционные рецептуры указанных блюд характеризуются высокой калорийностью и значительным содержанием сахаров, поэтому при низкой физической активности их употребление нарушает энергетическую сбалансированность рациона питания в целом. В результате растет риск появления заболеваний, связанных с нарушением обмена веществ, например, таких как сахарный диабет, ожирение, ишемическая болезнь сердца. Если же рассматривать группу потребителей, с высокой физической активностью, испытывающих длительные кардио- и силовые нагрузки (тяжелый физический труд, спортсмены), то употребление сладких блюд, даже высококалорийных, будет противодействовать истощению сил, нежелательному снижению массы тела.

Для всех групп населения особое значение имеет соблюдение режима питания, принципа соответствия энергетическим затратам, сбалансированности рациона. РАН доказано, что недостаток важных ингредиентов, таких как витамины и пищевые волокна, может быть причиной развития ряда эндокринных и сердечно-сосудистых заболеваний. Поэтому разработка продуктов и блюд функционального назначения с повышенным содержанием соответствующих добавок будет способствовать улучшению состояния здоровья населения.

Покупные функциональные или биологически-активные добавки в виде аптечных таблеток, так же как и функциональные сухие смеси (или отдельные компоненты) для производства пищевой продукции, являются дорогостоящими [1], [2]. Использование готовых подобных составов не соответствует концепции бережливого производства (Lean-концепции), значительно повышает себестоимость готовой продукции, а следовательно, и уменьшает ее доступность для широкого круга потребителей [1], [3], [4].

Наиболее распространенным, недорогим и ценным вторичным сырьем для десертных блюд являются яблочные и морковные выжимки, свекловичный жом, которые остаются после получения соков прямого отжима. Сдерживающим фактором для их использования на предприятиях общественного питания является отсутствие рекомендаций и готовых технологических процессов по переработке [1], [2].

Основные результаты

В ходе исследований разрабатывалась рецептура и технологический процесс десерта на основе кураги и выжимок моркови после получения сока прямого отжима. В процессе переработки 1 кг моркови получают около 55-65% сока и 35-45% выжимок, которые имеют калорийность приблизительно 20 ккал на 100 гр. Содержание пищевых волокон (ПВ) в 100 г жмыха было определено следующим образом. Согласно [5] в свежей моркови содержится 4-5% ПВ, в соке 0,5-1%. Тогда жмых содержит 9% и более ПВ.

Это высокий показатель, если учесть, что физиологическая потребность в пищевых волокнах для взрослого человека составляет 20 г/сут, для детей старше 3 лет - 10-20 г/сут [6].

Кроме ПВ морковные выжимки богаты витаминами группы В, С, D, РР, кальцием, магнием, фосфором, альфа- и бета-каротинами, лютеином. По данным [7] массовая доля каротиноидов в свежей моркови составляет от 8,4 до 19,8 мг в 100 г.

Использование указанного вторичного растительного сырья не только обогащает конечный продукт пищевыми волокнами и витаминами, но и соответствует концепции бережливого производства, согласно которой стремятся максимально уменьшить количество или исключить отходы, а также организовать вторичную переработку сырья [3], [4].

Научное направление, связанное с переработкой вторичного растительного сырья в промышленных объемах для пищевых целей, успешно ведет Мичуринский аграрный университет [8], [9]. Но практически отсутствуют в настоящее время работы по использованию вторичных растительных ресурсов как ценного сырья в условиях предприятий общественного питания [1], [3], [4].

На первом этапе переработки морковного сырья использовался процесс сахарокислотного желирования: в выжимки добавляли воду, сахар и лимонную кислоту (было подобрано их оптимальное соотношение) и прогревали в микроволновой печи до наступления желеобразования (смесь густеет, становится полупрозрачной). Сахар выполняет роль пластификатора пектинового студня, количеством сахара можно регулировать его реологические свойства (пластичность, вязкость, консистенцию). В [9] показано, что СВЧ обработка является наиболее щадящим способом по отношению к биологически ценным нутриентам сырья по сравнению с конвективным нагревом, сокращает время обработки.

На следующем этапе обработанные в СВЧ-печи выжимки охлаждали и смешивали с измельченной курагой (можно замочить в подогретом апельсиновом соке или добавить его после измельчения), в смесь добавляли цедру цитрусовых (лимона или апельсина). Из полученного «фарша» формировали шарики 2 – 3 см в диаметре. Для обеспечения высокой степени микробиологической стабильности и подсушивания полуфабриката осуществляли его прогрев в печи при 150 °С и 30 мин, охлаждали. Затем использовали глазурь из белого расплавленного шоколада и кокосовую стружку.

Использование глазури из шоколада, кроме улучшения вкусовых характеристик, повышает срок годности продукта, так как изолирует термически обработанный полуфабрикат от внешней среды. Причина – в замедлении окислительных процессов, сохранении оптимального процента влажности внутри объема продукта, что положительно влияет на реологическое состояние и снижает вероятность развития нежелательной бактериальной флоры. Если стоит задача минимизации калорийности рациона и планируется употребление блюда непосредственно после приготовления, то глазирование полуфабриката и использование кокосовой стружки может не проводиться.

При проектировании технологического процесса использовали 6 вариантов рецептур с различным соотношением используемых ингредиентов, таблица 1.

Таблица 1 – Варианты рецептур десертного блюда

Наименование сырья	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4	Вариант 5	Вариант 6
Курага	100	100	100	100	100	100
Сахар	40	30	30	25	30	35
Морковные выжимки	50	40	30	40	40	40
Вода	30	24	18	24	24	24
Лимонная кислота	0,15	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Апельсиновый сок	20	25	30	25	25	25
Органолептическая оценка вариантов по пятибалльной шкале						
Кислотность достаточная	5	4,5	4,5	5	4,5	4
Запах	5	5	5	5	5	5
Внешний вид	4	5	4	5	5	5
Текстура	4	5	4	4,5	4,5	4,5
Баланс кислого/ сладкого	4	5	5	5	5	4,5

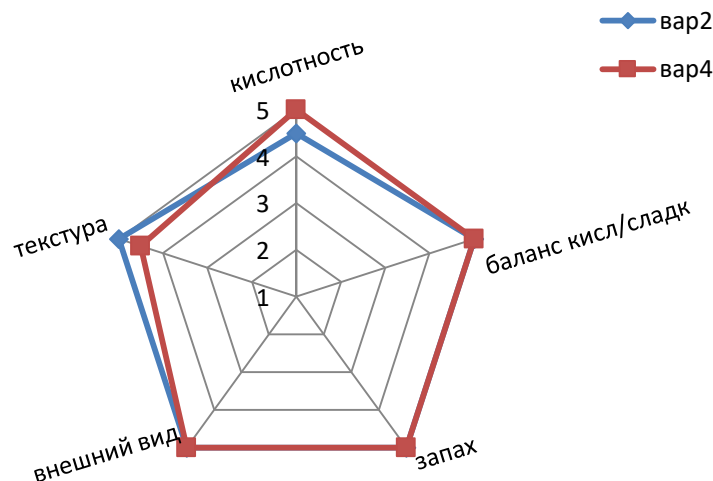


Рис. 1 – Многоугольник качества при сравнении вариантов 2 и 4

Таблица 2 – Калорийность и содержание ПВ в 100 г полуфабриката с учетом потери массы в ходе технологического процесса

Наименование показателя	Вариант 2	Вариант 6
Калорийность, ккал	181	186
Содержание ПВ, г	12,7	12,5

Варианты рецептов 2 и 4 получили наилучшую оценку органолептических показателей, для них был построен многоугольник качества (рисунок 1). Калорийность полуфабрикатов и содержание ПВ, согласно рецептурам 2 и 4 на 100 г полуфабриката с учетом потери массы в ходе технологического процесса, представлены в таблице 2, шоколадная глазурь и кокосовая стружка в расчетах не учитывались.

В качестве окончательного варианта рецептуры был принят вариант 2, так как его калорийность при обеспечении высоких органолептических характеристик меньше на 3,5%, чем у варианта 6, а содержание ПВ, оказывающих лечебно-профилактическое действие [10], [11], [13] – больше.

Заключение

Таким образом, разработан технологический процесс приготовления десерта функционального назначения из кураги и выжимок моркови, подобрана рецептура, предложен и опробован способ предварительной обработки выжимок моркови для дальнейшего использования, что соответствует концепции бережливого производства. При использовании предлагаемого подхода обеспечивается улучшение функциональных свойств конечного продукта за счет обогащения пищевыми волокнами (64% нормы потребления взрослого человека), витаминами и минеральными веществами при обеспечении высоких органолептических показателей.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Чуб О.П. Разработка технологии функциональных десертных блюд на основе пектиновых полисахаридов из вторичного растительного сырья и цетрарии исландской / О.П. Чуб // Евразийское Научное Объединение. 2019. №1-2(47). С. 104-107. doi:10.5281/zenodo.2560112
2. Донченко Л. В. Пектин: основные свойства, производство и применение / Л. В. Донченко, Г.Г. Фирсов.. М.: ДеЛи принт, 2007. 276 с.
3. Чуб О.П. Технологическое проектирование функциональных десертных блюд пониженной калорийности с использованием вторичного растительного сырья и цетрарии исландской в рамках концепции бережливого производства / О.П. Чуб, Д.О. Еременко, А.Ю. Стариков // Евразийское Научное Объединение. 2019. №10-2(56). С. 169-172. doi:10.5281/zenodo.3533682
4. Чуб О.П. Использование пектиновых полисахаридов вторичного растительного сырья для разработки десертных блюд лечебно-профилактического питания в рамках концепции бережливого производства / О.П. Чуб, Д.О. Еременко // The Scientific Heritage. 2019. №40-1(40). С. 61-65.
5. Цигир М.В. Изменение количества пектиновых веществ в процессе переработки моркови на соковую продукцию / М.В. Цигир, З.Е. Егорова // IV Международный балтийский морской форум. Материалы Международного морского форума. 2016. С. 1516-1522.
6. МР 2.3.1.2432-08 Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации
7. Михайлов, В.М. Энциклопедия питания. Том 5. Биологически активные добавки : справочник / В.М. Михайлов, А.И. Черевко Москва : КноРус, 2019. 380 с.

8. Винницкая В.Ф. Разработка и создание функциональных продуктов из растительного сырья в Мичуринском государственном аграрном университете / В.Ф. Винницкая, Д.В. Акишин, О.В. Перфилова, Е.И. Попова, С.С. Комаров, А.А. Евдокимов // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2013. № 6. С. 83-86.
9. Перфилова О.В. Применение СВЧ-, ИК-нагрева в технологии получения морковного порошка из выжимок / О.В. Перфилова // Вестник ВГУИТ. 2019. Т. 81. № 1. С. 144–148. doi:10.20914/2310-1202-2019-1-144-148
10. Adushkin V.V. Seismicity in the oil field / V.V. Adushkin, V.N. Rodionov, S. Turuntaev, A.E. Yudin // Oilfield Rev., vol. 12(2), PP. 2–17, 2000.
11. Haslberger G. A. Mechanisms of selected functional foods against viral infections with a view on COVID-19: Mini review/ G. A. Haslberger, U. Jacob, B. Hippe, H. Karlic H // Functional Foods in Health and Disease. Mini review. – 2020. – Vol. 5(10). – P. 195–209. doi: 10.31989/ffhd.v10i5.707
12. Soliman Ghada A. Dietary Fiber, Atherosclerosis, and Cardiovascular Disease/ Ghada A. Soliman // Nutrients – 2019. – Vol. 11(5). – P. 1155 - 1166. doi: 10.3390/nu11051155
13. Anderson J.W. Health benefits of dietary fiber/ J.W Anderson, P. Baird, R.H.Jr. Davis., S Ferreri, M. Knudtson, A. Koraym, V. Waters, C.L. Williams // Nutrients. – 2009. – Vol. 67(4). – P. 188–205. doi: 10.1111/j.1753-4887.2009.00189.x.
14. Auclair S. Apple polyphenols and fibers attenuate atherosclerosis in apolipoprotein E-deficient mice/ S. Auclair, M. Silberberg, E. Gueux, C. Morand, A. Mazur, D. Milenkovic, A. Scalbert // J. Agric Food Chem. – 2008. – Vol. 56(14). – P. 5558–5563. doi: 10.1021/jf800419s

Список литературы на английском языке / References in English

1. Chub O. P. Razrabotka tekhnologii funktsional'nykh desertnykh blud na osnove pektinovykh polisakharidov iz vtorichnogo rastitel'nogo syr'ia i tsetrarii islandskoi [Development of Technology for Functional Dessert Dishes Based on Pectin Polysaccharides From Secondary Plant Raw Materials and Iceland Cetraria] / O. P. Chub // Evraziiskoe Nauchnoe Ob"edinenie. [Eurasian Scientific Association]. doi: 10.5281/zenodo. 2560112, 2019. №1-2(47), pp. 104-107. [in Russian]
2. Donchenko L. V. Pektin: osnovnye svoystva, proizvodstvo i primeneniye. [Pectin: Basic Properties, Production and Application] / L. V. Donchenko, G. G. Firsov. M.: Delhi print, 2007. 276 p. [in Russian]
3. Chub O. P. Tekhnologicheskoe proektirovaniye funktsional'nykh desertnykh blud ponizhennoi kaloriinosti s ispol'zovaniem vtorichnogo rastitel'nogo syr'ia i tsetrarii islandskoi v ramkakh kontseptsii berezhlivogo proizvodstva [Technological Design of Functional Dessert Dishes With Reduced Caloric Content Using Secondary Vegetable Raw Materials and Icelandic Cetraria in The Framework of the Lean Production Concept] / O. P. Chub, D. O. Eremenko, A. Yu. Starikov // Evraziiskoe Nauchnoe Ob"edinenie [Eurasian Scientific Association]. doi: 10.5281 / zenodo. 3533682, 2019. №10-2(56), pp. 169-172 [in Russian]
4. Chub O. P. Ispol'zovaniye pektinovykh polisakharidov vtorichnogo rastitel'nogo syr'ia dlia razrabotki desertnykh blud lechebno-profilakticheskogo pitaniia v ramkakh kontseptsii berezhlivogo proizvodstva [The Use of Pectin Polysaccharides of Secondary Plant Raw Materials for the Development of Dessert Dishes of Therapeutic and Preventive Nutrition Within the Concept of Lean Production] / O. P. Chub, D. O. Eremenko // The Scientific Heritage. 2019. №40-1(40), pp. 61-65 [in Russian]
5. Tsigir M. V. Izmeneniye kolichestva pektinovykh veshchestv v protsesse pererabotki morkovi na sokovuiu produktsiiu [Change in the Amount of Pectin Substances in the Process of Processing Carrots for Juice Products] / M. V. Tsigir, Z. E. Egorova // Mezhdunarodnyi baltiiskii morskoi forum. Materialy Mezhdunarodnogo morskogo foruma [IV International Baltic Sea Forum. Proceedings of the International Maritime forum]. 2016, pp. 1516-1522 [in Russian]
6. MR 2.3.1.2432-08 Normy fiziologicheskikh potrebnostei v energii i pishchevykh veshchestvakh dlia razlichnykh grupp naseleniia Rossiiskoi Federatsii [Methodological recommendations 2.3.1.2432-08 Norms of Physiological Needs in Energy and Food Substances for Various Groups of the Population of the Russian Federation] [in Russian]
7. Mikhailov, V. M. Entsiklopediia pitaniia. Biologicheski aktivnye dobavki : spravochnik [Encyclopedia of Nutrition. Biologically Active Additives: a Handbook] / Mikhailov V. M., Cherevko A. I. Moscow: KnoRus, 2019, Vol. 5. 380 p. [in Russian]
8. Vinnitskaya B. F. Razrabotka i sozdaniye funktsional'nykh produktov iz rastitel'nogo syr'ia v Michurinskom gosudarstvennom agrarnom universitete [Development and Creation of Functional Products From Plant Raw Materials at Michurinsk State Agrarian University] / B. F. Vinnitskaya, D. V. Akishin, O. V. Perfiolova, E. I. Popova et al. // Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of Michurinsk State Agrarian University]. 2013. № 6, pp. 83-86 [in Russian]
9. Perfiolova O. V. Primeneniye SVCh-, IK-nagrev v tekhnologii polucheniia morkovnogo poroshka iz vyzhimok // Vestnik VGUIT [Application of Microwave and IR Heating in the Technology of Obtaining Carrot Powder From Pomace] / O. V. Perfiolova // Vestnik VGUIT [Voronezh State University of Engineering Technologies Bulletin]. 2019. Vol. 81. №1, doi: 10.20914/2310-1202-2019-1-144-148, pp. 144-148. [in Russian]
10. Adushkin V.V. Seismicity in the oil field / V.V. Adushkin, V.N. Rodionov, S. Turuntaev, A.E. Yudin // Oilfield Rev., vol. 12(2), PP. 2–17, 2000.
11. Haslberger G. A. Mechanisms of selected functional foods against viral infections with a view on COVID-19: Mini review/ G. A. Haslberger, U. Jacob, B. Hippe, H. Karlic H // Functional Foods in Health and Disease. Mini review. – 2020. – Vol. 5(10). – P. 195–209. doi: 10.31989/ffhd.v10i5.707
12. Soliman Ghada A. Dietary Fiber, Atherosclerosis, and Cardiovascular Disease/ Ghada A. Soliman // Nutrients – 2019. – Vol. 11(5). – P. 1155 - 1166. doi: 10.3390/nu11051155
13. Anderson J.W. Health benefits of dietary fiber/ J.W Anderson, P. Baird, R.H.Jr. Davis., S Ferreri, M. Knudtson, A. Koraym, V. Waters, C.L. Williams // Nutrients. – 2009. – Vol. 67(4). – P. 188–205. doi: 10.1111/j.1753-4887.2009.00189.x.
14. Auclair S. Apple polyphenols and fibers attenuate atherosclerosis in apolipoprotein E-deficient mice/ S. Auclair, M. Silberberg, E. Gueux, C. Morand, A. Mazur, D. Milenkovic, A. Scalbert // J. Agric Food Chem. – 2008. – Vol. 56(14). – P. 5558–5563. doi: 10.1021/jf800419s.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.101.11.012>

ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ТЕХНОСФЕРЕ

Научная статья

Яковлев В.А.*

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия

* Корреспондирующий автор (febra.t[at]yandex.ru)

Аннотация

Пожары – это огромное бедствие для людей и безвозвратная потеря материальных ценностей. В данной статье рассматриваются причины возникновения пожаров, их предотвращение и профилактика, виды первичных средств пожаротушения, применяемые на производстве, и алгоритм действий персонала и населения при пожаре в соответствии с инструкцией по пожарной безопасности. Хотя всем известны правила противопожарной безопасности, условия пожарной пирамиды (источник огня, температура, горючее вещество и доступ кислорода) количество техногенных пожаров в России не снижается. Поэтому здесь рассматриваются произошедшие пожары с людскими потерями и материальным ущербом. Дана попытка анализа произошедших случаев, для выработки и модернизации правил поведения для недопущения возгораний и алгоритма действий в экстремальных случаях и прогноза возможных пожаров. Приведены статистические данные по пожарам в Российской Федерации. Предлагаются меры по расчету риска с учетом планировки и конструкции зданий, предупреждения возгораний и определение опасных факторов пожаров, в результате анализа ситуаций рекомендуются профилактика и пропаганда пожарной безопасности, периодические тренировки и обучение персонала, работников и спасателей для снижения количества пожаров и, соответственно, предотвращения материального ущерба и людских потерь.

Ключевые слова: пожарная безопасность, профилактика, техногенный пожар, возгорание, пожаротушение, огнетушитель, пожарный щит, риск.

MAIN ASPECTS OF FIRE SAFETY IN THE WORKPLACE

Research article

Yakovlev V.A.*

M. K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

* Corresponding author (febra.t[at]yandex.ru)

Abstract

Fires are a severe disaster that results in an irretrievable loss of material values. This article discusses the causes of fires, prevention measures, types of primary fire extinguishing agents used in the workplace, and the emergency procedures in accordance with the fire safety instructions. Although most people are aware of the rules of fire safety and the fire triangle (heat, temperature, fuel and oxygen access), the number of man-made fires in Russia is not being reduced. Therefore, this article examines the fires with human losses and material damage. The paper attempts to analyze these cases in order to develop and modernize the rules of behavior to prevent fires, the emergency procedures in extreme cases as well as to forecast possible fires. The article provides statistical data on fires in the Russian Federation and proposes measures for calculating the risk, taking into account the layout and construction of buildings, fire prevention and identification of fire hazards. As a result of the analysis of various situations, it is recommended to promote and maintain fire safety measures, periodic training and education of personnel to reduce the number of fires, and to prevent material damage and human losses.

Keywords: fire safety, prevention, man-made fire, firefighting, fire extinguisher, fire shield, risk.

Введение

Пожары – это огромное бедствие для людей. Согласно статистике, на территории Российской Федерации за 2012 год было свыше 160 тысяч пожаров, при которых пострадало более 23 тысяч человек, в том числе, более 11 тысяч из них погибло. Всего за 2012 год материальный ущерб от техногенных пожаров составил около 14 миллиардов рублей, и это не учитывая лесные пожары [1]. В статистике МЧС России — пожары в городских и сельских поселениях занимают первое место по ущербу, по пострадавшим и погибшим. Поэтому проблема борьбы с пожарами чрезвычайно важна и актуальна, в связи с этим целью данной статьи является анализ возможных причин и разработка рекомендаций по профилактике и предотвращению пожаров в техносфере.

Основные причины возгораний

Несмотря на принятие ряда законодательных и нормативных актов, техногенные пожары происходят в РФ с регулярной периодичностью (рис.1).



Рис. 1 – Пожар жилого здания

Возгорание вызвано несоблюдением правил технического и технологического использования электрических систем, таких как перегрузка кабелей и проводов электрических сетей и появление короткого замыкания, высокое электрическое сопротивление на местах монтажа, подключение проводящих контактов, появление дуги, работа электроприборов, не отвечающих требованиям регламента о противопожарной защите. Наиболее распространенными причинами пожаров являются неисправности оборудования, нарушения технологических процессов, а именно раннее выявление неисправностей и последующий ремонт оборудования, нарушения правильных технологических инструкций, введение материалов в технологию производства без учета их пожароопасности и образования значительных электростатических зарядов, которые остаются без присмотра, а также неосторожное обращение с огнем, в частности сжигание вблизи горючих материалов и зданий, нагрев замороженных трубопроводов открытым пламенем (горелки, воздуходувки и т.д.) Как правило, технологические процессы наиболее подвержены огню при работе с открытым пламенем и высокими температурами (сварка и резка металла, пайка). Источниками воспламенения могут быть также пятна нитролаков и нитроэмалей, краски, средства для промывки и обезжиривания, легковоспламеняющиеся жидкости.

Например, пожар в клубе «Хромая лошадь», который произошел 5 декабря 2009 г. в г. Перми, когда погибло 156 человек, а также трагедия в ТЦ «Зимняя вишня» в г. Кемерово, где в воскресный день 25 марта 2018 г. погибло 64 человека, в том числе 41 ребенок, а 79 пострадало (рис.2). В процессе горения на девятой минуте после возгорания формируется предельная концентрация опасных факторов пожара. На высоте 1,7 м (уровень головы среднего человека) температура горящего помещения составляет +343 С. Образуется токсичный смог, так что человек после двух-трех вдохов падает. Вместо кислорода человек вдыхает оксид углерода и цианиды. После того, как человек потерял сознание, его организм может жить еще минут десять. Потом углекислый газ полностью замещает кислород. У спасенных из пожара из-за тяжелого токсического поражения головного мозга сознание становится младенческим, и на сегодня, от этого эффективного лечения в России нет.

Чтобы не допускать материальных и человеческих жертв, необходимо информировать население и проводить профилактические мероприятия, которые возможны при научном анализе причин, условий и механизмов возникновения и распространения техногенных пожаров для разработки действенных методик недопущения возгораний и других механизмов, снижающих имущественные и людские потери, что обуславливает важность и актуальность данной темы.



Рис. 2 – Пожар в торговом центре «Зимняя вишня»

Пожарная безопасность — это состояние объектов, характеризующееся всеми факторами, необходимыми для предотвращения возникновения и развития пожаров, в том числе воздействием опасных последствий пожара на людей и их имущество. Он располагает всеми необходимыми методами противопожарной борьбы и создания видов противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мерами. Для защиты объектов и людей на этих объектах при проектировании зданий необходимо соблюдать требования пожарной безопасности с учетом огнестойкости материалов и обеспечения безопасных условий для распределенной эвакуации людей в случае пожара [3].

Профилактика пожаров

Наиболее эффективной мерой борьбы с пожарами является профилактика. Противопожарная защита в настоящее время включает в себя следующие мероприятия:

- Экспертиза и согласование строительных проектов;
- Контроль за соблюдением правил и норм пожарной безопасности;
- Борьба с поджогами;
- Сбор информации и данных;
- Подготовка, обучение личного состава, населения и общественности мерам противопожарной защиты и пропаганда противопожарной защиты.

Противопожарная защита имеет три основные задачи, которые тесно связаны с осуществлением ряда мероприятий:

- Обучение и распространение знаний по огнезащитному поведению;
- Контроль за разработкой и соблюдением государственных стандартов строительной и пожарной безопасности;
- Поставка специального оборудования и техническое развитие.

Для полноценного осуществления противопожарной защиты на данной территории организациями и предприятиями должны применяться и соблюдаться профилактические мероприятия, направленные на предупреждение лесных пожаров: качество электропроводки, соответствующая теплоизоляция, изоляция электрических розеток, выключателей и влагозащитных коробок, установка автоматических выключателей, электро-, термоизоляция электроплит и других обогревателей деревянной мебели и многие другие. Согласно СП 1.13130.2009 "системы противопожарной защиты", (т. 2 п. 17) здания, производственные и складские помещения, относящиеся к категории А, оборудованы системами раннего оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре (СОУЭ), которые должны быть заблокированы технологическими автоматами или огнем. Согласно СП 1.13130.2009 "системы противопожарной защиты", (т. А4 п.1) для помещений с применением ЛВЖ и ГЖ монтируют автоматическое пожаротушение АУПТ с расходом воды 30 л/с и длительностью подачи воды 60 мин. На основе РД 009.01-96. "Типовой регламент технического обслуживания систем пожарной сигнализации" периодичность проведения эксплуатационных испытаний всех элементов системы: извещателей, систем сигнализации, основных контроллеров, соединительных кабелей устройств составляет один месяц, который проходит через уполномоченную сервисную организацию, заключившую соответствующий договор [4]. Контроль за выполнением этих требований осуществляют представители Государственного пожарного надзора, имеющие право объявить предупреждение о недопустимости нарушения обязательных требований [5]. В соответствии с требованиями профессионального стандарта [6], [7], специалистами пожарной охраны и надзора должны работать только выпускники высшего учебного заведения по профилю "Пожарная охрана", а также лица, прошедшие переподготовку по соответствующему направлению.

Важнейшие требования к пожарной безопасности в России закреплены в законе № 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" [2]. Требования к пространственному планированию и проектным решениям указаны в СП 4.13130.2013 [8]. Установки для опасной добычи нефти и газа, нефтехимии, нефтепереработки, трубопроводного транспорта, технологические системы, работающие с горючими продуктами (газообразными, жидкими, твердыми), способными образовывать взрывоопасные смеси с воздухом, должны быть герметизированы и предотвращать образование опасных концентраций этих веществ в окружающей среде. Окружающая среда, во всех режимах. Противопожарные мероприятия регламентируются ГОСТ [9].

Согласно системе пожарной безопасности, необходимо получить разрешение на проведение краткосрочных противопожарных работ от лица, отвечающего за противопожарную безопасность данного объекта [10]. Главный инженер предприятия имеет право выдавать разрешение на проведение противопожарных операций в пылающих помещениях. Если на территории предприятия имеются взрывоопасные и опасные для огня помещения, необходимо организовать пункт пожарной безопасности, с которым согласованы условия проведения опасных противопожарных работ. Для сварки и других пожарных работ допускается квалифицированный персонал, сдавший экзамен на знание правил режима противопожарной безопасности, которому выдается специальный паспорт на прохождение противопожарной безопасности, приложенный к квалификационному свидетельству. Зоны возгорания и места установки сварочных аппаратов и газовых баллонов должны быть свободны от горючих материалов и оснащены первичными огнетушителями. Следует соблюдать осторожность, чтобы искры не распространялись и не падали на сгоревшие конструкции, нижние производственные мощности и полы. Работы, связанные с использованием открытого пламени (сварка и т. д.), можно запускать не менее 15 м от открытых отверстий цветных ячеек (краев сетки с нижним всасыванием) и выходов локальных вентиляционных и насосных систем, а не менее 5 м при установке передних решеток негорючих соединений, изоляции искр и теплового излучения в этих решетках (решетках), а также отключать выхлопную систему. Чтобы избежать пожара, избегайте контакта источника огня с горючими материалами. Однако в некоторых местах оборудование установлено таким образом, что расположены оба источника. Поэтому такое помещение нужно максимально защитить, установив различные системы пожарной сигнализации и автоматически отключив приборы. Курение разрешено только в некоторых районах с соответствующими мусорными баками, резервуарами для воды и другими устройствами пожаротушения. В этих местах всегда должны быть размещены знаки безопасности.

В случае пожара и при тушении пожаров немедленная эвакуация людей должна быть обязательной. В случае пожара или эвакуации пользоваться лифтом запрещено. Рабочее и аварийное освещение на путях эвакуации должно быть в хорошем состоянии. Выходные панели также должны быть размещены в видном месте. По пути к эвакуационным выходам двери помещений должны быть открыты, чтобы они не мешали движению. Категорически запрещается блокировать аварийные выходы, устанавливать различные пороги, закрывать двери и т. д. Пути эвакуации также должны быть постоянно освещены. Эвакуационный выход должен вместить до 50 человек в здании [11]. По-прежнему необходимо обеспечить свободное использование и доступ к основным противопожарным устройствам в зданиях и сооружениях на территории организации. Для защиты ценностей и документов рекомендуется использовать неогороженные сейфы, так как их нельзя собирать в случае пожара.

Лица, ответственные за эти объекты, несут ответственность за своевременное и надлежащее оснащение организаций и предприятий первичными устройствами пожаротушения, правильное их обслуживание и обучение рабочих правилам использования этих средств [12]. Лица, ответственные за наличие и доступность огнетушителей, должны проверять основные огнетушители не реже одного раза в шесть месяцев, а результаты проверки должны регистрироваться в журнале состояния этих устройств. Используемые и неисправные огнетушители (неисправное уплотнение, недостаточное или полное отсутствие огнетушителей, недостаточное или отсутствующее количество рабочего газа в пусковом цилиндре, поврежденный предохранительный клапан и т. д.) должны быть немедленно выведены из эксплуатации и заменены исправными огнетушителями. Снятие с эксплуатации огнетушителей, пожарных шлангов и других огнетушителей, вышедших из строя в ходе испытания и выведенных из эксплуатации, осуществляется комиссией, назначенной руководителем предприятия или организации, на территории которой осуществляется эта деятельность.

Основные средства тушения пожаров должны находиться в легкодоступных местах и не должны препятствовать эвакуации людей из помещений. Доступ к средствам пожаротушения всегда должен быть свободным. Использование огнетушителей и других огнетушителей для бытовых, производственных и иных целей, кроме подготовки добровольной пожарной дружины, тушения пожаров и ликвидации последствий стихийных бедствий, категорически запрещается.

Меры, которые персонал должен принять в случае возникновения пожара-немедленно сообщить о пожаре в пожарную часть и руководству предприятия [10]. Затем самостоятельно или с помощью обслуживающего персонала проверяется автоматическое устройство пожаротушения (при его наличии) и выполняются все операции на технологическом оборудовании (перебои в подаче электроэнергии и др.). В случае возникновения угрозы жизни людей немедленно организуйте спасательные работы (эвакуацию). Назовите человека, который знает расположение подъездных путей и водных путей для встречи с пожарной станцией. Обеспечить безопасную среду для персонала и пожарных при тушении пожаров. Приступайте к тушению пожара силами и средствами производственного предприятия.

Основными последствиями пожаров являются материальный ущерб, вызванный разрушением имущества, зданий и сооружений вследствие воздействия высоких температур и гибелью людей вследствие отравления угарным газом других токсичных газов, выделяющихся при сжигании современных пластмасс, красок, резины и других материалов.

Результаты и обсуждение

По итогам 2018 года в Российской Федерации произошло более 130 тысяч пожаров (рис.3.) [13].

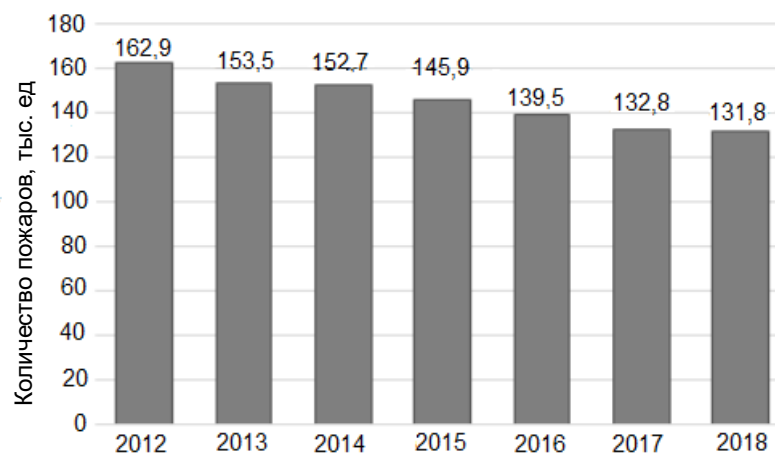


Рис. 3 – Количество зарегистрированных пожаров в Российской Федерации

В них погибло 7909 человек, а травмировано 9642 человека (рис.4.) [13]. В целом, за последние годы наблюдается общая тенденция к снижению возгораний, обусловленная профилактическими мероприятиями противопожарных служб и надзора. Кроме экономического ущерба пожары вызывают экологические катастрофы, загрязняя окружающую среду [14].

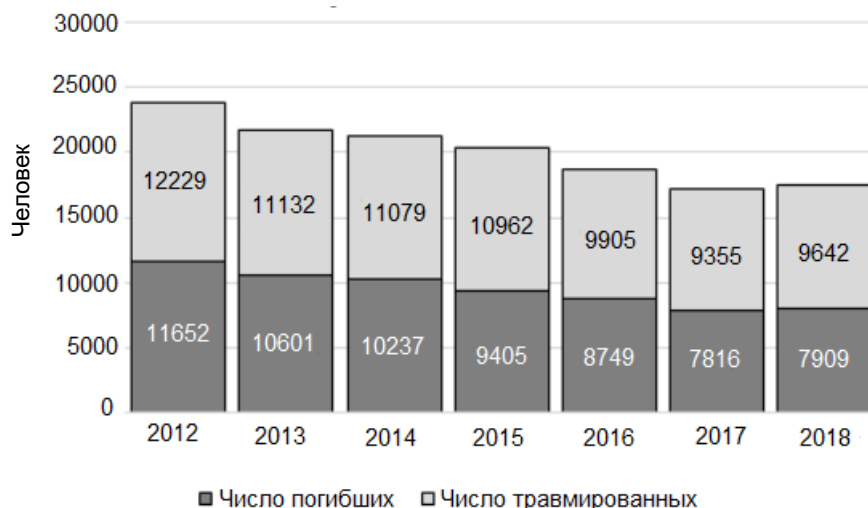


Рис.4 – Число погибших и травмированных людей при пожарах

Впоследствии необходимы денежные средства на восстановительные работы, выплаты компенсаций работникам или членам их семей. Поэтому профилактика пожаров важнее и экономически выгоднее тушения возгораний. Для предотвращения чрезвычайных ситуаций необходим научный подход с оценкой и управлением риском [15]. Управление риском включает ряд мероприятий: зонирование территории по степени опасности; регулярный мониторинг за опасными территориями; сооружение защитных средств; устройство индикаторов и автоматических средств пожаротушения; адекватное образование, обучение, пропаганда, инструктажи и информация персонала и населения. Плановые решения объекта капитального строительства анализируются для предварительного расчета риска [16]. После этого можно начать учиться противопожарной защите. Затем нужно определить частоту возникновения пожарных ситуаций. Следующий шаг — анализ путей эвакуации и аварийных выходов, после чего необходимо уточнить время эвакуации и рассчитать технологические решения. Только тогда можно начать оценивать пожарные риски. Последними этапами расчета являются подготовка рекомендаций и формирование выводов. Для расчета общего риска следует учитывать опасные факторы пожара (ОФП). ОФП включает в себя все элементы, которые могут нанести вред человеку или его имуществу. Иными словами, ОФП — это пламя, дым, высокая температура (в зависимости от пожара может варьироваться от 800 до 1300 градусов), токсичные продукты горения и химического разложения, низкое содержание кислорода.

Следует отметить, что идет вторая волна повреждений. Она представлена радиоактивными веществами, электрошоком, различными токсинами, падающими частями оборудования, зданиями, которые могут нанести вред здоровью или имуществу при падении, а пожар может вызвать взрыв. Таким образом, при расчете рисков следует учитывать максимальное давление, температуру, взрывчатые свойства, быстрое повышение давления и фронт взрыва. Основными поражающими факторами взрыва являются:

1. воздушная ударная волна, основным параметром которой является избыточное давление на ее фронте;
2. создают осколочные поля летающими фрагментами взрывающихся объектов, действие которых определяется количеством летающих фрагментов, их кинетической энергией и радиусом расширения.

Заключение

Таким образом, огонь представляет собой опасный процесс горения различных материалов с выделением ядовитых газов. Обеспечение пожарной безопасности — одна из главных задач для менеджера объекта и каждого человека. Лучше предотвратить чрезвычайную ситуацию, чем устранить ее последствия. Это универсальное правило, которое уже проверено во всех странах и во все времена на практике. Необходимо не только сохранить материальные и технические ценности, но и обеспечить безопасность людей, которые работают или живут в определенном месте. Иными словами, противопожарная безопасность — одна из приоритетных задач, которые государство должно контролировать, занимаясь разработкой конкретной правовой базы. Эта должность включает в себя широкий спектр мероприятий, таких как регулярные инспекции регулирующими органами, организация обучения персонала нормам и правилам пожарной безопасности, разработка и модернизация технических проверок и т. д. Все эти меры обеспечивают оптимальное и эффективное развитие экономической сферы страны.

В то же время каждый должен знать основные причины пожаров и принимать меры предосторожности как внутри, так и снаружи. Только совместными усилиями мы сможем справиться с огненной стихией, которая ежегодно убивает тысячи людей и наносит миллиардный ущерб нашей экономике. Часто многие люди проявляют небрежное отношение к правилам безопасности. Не следует забывать, что нарушение правил пожарной безопасности увеличивает вероятность смертельных последствий.

В случае возникновения пожара значительная часть спасательных операций по ликвидации этих пожаров должна проводиться в условиях загрязнения районов и атмосферы радиоактивными, химическими и биологически опасными веществами. Поиск людей в районе чрезвычайной ситуации, характеризующейся опасностью пожара, часто приводит к их смерти. В этих условиях задача снижения риска для жизни спасателей и повышения эффективности аварийно-спасательных, противопожарных, аварийно-спасательных и других специальных работ за счет разработки и применения более современных роботизированных устройств пожаротушения становится все более актуальной. Широкое развитие отрасли требует разработки интеллектуальных решений в области роботов-генераторов огня различных конструкций, автономных или управляемых, с инфракрасными датчиками обнаружения, с эффективными средствами

пожаротушения, подвесными, рельсовыми, отслеживаемыми, стационарными с тележными бочками и т. д., работающими при высокой температуре, давлении, газе и радиоактивности, и других экологических опасностях.

Регулярное обучение, переподготовка, профилактика, обучение, продвижение и обучение персонала и общественности с соответствующими современными и инновационными устройствами пожаротушения зданий и сооружений службами безопасности и пожарной безопасности имеют решающее значение для предотвращения пожаров и, следовательно, предотвращения значительных человеческих и материальных потерь.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Самые крупные пожары в России. Хроника крупнейших пожаров на территории России [Электронный ресурс] – URL: <http://fb.ru/article/159170/samyie-krupnyie-pozharyi-v-rossii-hronika-krupneyshih-pozharov-na-territorii-rossii> (дата обращения: 20.09.2020)
2. Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»
3. Абрамов Е.А. Основы пожарной профилактики в технологических процессах производств / Е.А. Абрамов, С.А. Смышляев. Учебное пособие. Пермь, 2002.- 26 с.
4. Установки пожарной автоматики. Правила технического содержания. РД 009.01-96. (утв. МА "Системсервис", введен Приказом МА "Системсервис" от 25.09.1996 N 25)
5. Федеральный закон от 26 декабря 2008 г. N 294-ФЗ «О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля» (с изменениями и дополнениями).
6. Приказ Министерство труда и социальной защиты Российской Федерации от 28 октября 2014 г. N 814н «Об утверждении профессионального стандарта «Специалист по противопожарной профилактике».
7. Чемезов Е.Н. Подготовка кадров по техносферной безопасности / Е.Н. Чемезов, А.П. Пестерев // Сб. мат. Межд. науч.-практ. конф. «Модернизация инженерного образования». - Якутск, 2017. - С. 134-137.
8. Свод Правил 4.13130.2013 «Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям».
9. ГОСТ Р 12.3.047-2012 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля
10. Постановление Правительства РФ от 25.04.2012 N 390 (ред. от 30.12.2017) «О противопожарном режиме» (вместе с «Правилами противопожарного режима в Российской Федерации»)
11. Свод Правил 1.13130.2009 «Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы» (в редакции от 09.12.2010).
12. Федеральный закон «О пожарной безопасности» от 21.12.1994 N 69-ФЗ.
13. Пожары и пожарная безопасность в 2018 году: Статистический сборник. Под общей редакцией Д.М. Гордиенко. – М.: ВНИИПО, 2019, – 125 с.: ил. 42.
14. Пестерев А.П. Экологические проблемы нарушенных земель Восточной Сибири / А.П. Пестерев // Сб. трудов Всероссийской науч.-практ. конф. с межд. участием «Совершенствование технологии горных работ и подготовка кадров для обеспечения техносферной безопасности в условиях Северо-Востока России». - Якутск: Издательский дом СВФУ, 2018. - с.154-163.
15. Музалевский А.А. Риск: анализ, оценка, управление / А.А. Музалевский, Е.А. Яйли. - СПб.: РГТМУ, 2008. - 234 с.
16. Кирилов А.Э. Математическая модель оценки пожарной безопасности компрессорного цеха газотранспортного предприятия / А.Э. Кирилов, В.А. Трефилов // Безопасность труда в промышленности. - 2016. - №9. - С.3

Список литературы на английском языке / References in English

1. Samye krupnye pozhary v Rossii. Hronika krupneyshih pozharov na territorii Rossii [The Largest Fires in Russia. A Chronicle of The Largest Fires on the Territory of the Russian Federation] [Electronic resource] — URL: <http://fb.ru/article/159170/samyie-krupnyie-pozharyi-v-rossii-hronika-krupneyshih-pozharov-na-territorii-rossii> (accessed: 20.09.2020) [in Russian]
2. Federal'nyj zakon ot 22 ijulja 2008 g. № 123-FZ «Tehnicheskij reglament o trebovaniyah pozharnoj bezopasnosti» [Federal Law No. 123-FZ of July 22, 2008 "Technical Regulations on Fire Safety Requirements"] [in Russian]
3. Abramov E. A., Smyshlyayev S. A. Osnovy pozharnoj profilaktiki v tehnologicheskikh processah proizvodstv [Basics of Fire Prevention in the Technological Processes of Production, a Textbook] / E. A. Abramov, S. A. Smyshlyayev. Perm, 2002.- 26 p. [in Russian]
4. Ustanovki pozharnoj avtomatiki. Pravila tehničeskogo soderzhaniya. RD 009.01-96. (utv. MA "Sistemservis", vveden Prikazom MA "Sistemservis" ot 25.09.1996 N 25) [Automatic Fire-Fighting Systems. Rules of Technical Maintenance. Guideline Document 009.01-96 (approved International Association "Sistemservis", put into effect by the Order of International Association "Sistemservis" from 25.09.1996 N 25) [in Russian]
5. Federal'nyj zakon ot 26 dekabrja 2008 g. N 294-FZ «O zashhite prav juridicheskikh lic i individual'nyh predprinimatelej pri osushhestvlenii gosudarstvennogo kontrolja (nadzora) i municipal'nogo kontrolja» (s izmenenijami i dopolnenijami) [Federal Law of December 26, 2008. N 294-FZ "On Protection of the Rights of Legal Entities and Individual Entrepreneurs in the Exercise of State Control (Supervision) and Municipal Control" (with Amendments and Additions)] [in Russian]
6. Prikaz Ministerstvo truda i social'noj zashhity Rossijskoj Federacii ot 28 oktjabrja 2014 g. [Order of the Ministry of Labor and Social Protection of the Russian Federation of October 28, 2014, N 814n "On Approval of the Professional Standard "Specialist in Fire Prevention"] [in Russian]

7. Chemezov E. N. Podgotovka kadrov po tehnosfernoj bezopasnosti [Training of Personnel on Technosphere Safety]/ E. N. Chemezov, A. P. Pesterev // SB. Mat. Mezhd. nauch.-prakt.konf.«Modernizacija inzhenerenogo obrazovanija». [Collected Materials of the International Scierific and Technical Conference "Modernization of Engineering Education"]. Yakutsk, 2017, pp. 134-137 [in Russian]
8. Svod Pravil4.13130.2013 «Sistemy protivopozharnoj zashhity. Ogranichenie rasprostraneniya pozhara na objektah zashhity. Trebovaniya k objemno-planirovochnym i konstruktivnym reshenijam [Code of Practice 4.13130.2013 "Fire Protection Systems. Limiting the Spread of Fire on Hazard Locations. Requirements for Space-Planning and Design Solutions"] [in Russian]
9. GOST R 12.3.047-2012 Sistema standartov bezopasnosti truda (SSBT). Pozharnaja bezopasnost' tehnologicheskikh processov. Obshie trebovaniya. [GOST R 12.3.047-2012 System of Labor Safety Standards (SLSS). Fire Safety of Technological Processes. General Requirements] [in Russian]
10. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 25.04.2012 N 390 (red. ot 30.12.2017) «O protivopozharnom rezhime» (vmeste s «Pravilami protivopozharnogo rezhima v Rossijskoj Federacii») [Decree of the Government of the Russian Federation of 25.04.2012 N 390 (ed. of 30.12.2017) "On Fire Prevention Rules " (with " Rules of Fire Prevention Rules in the Russian Federation»)] [in Russian]
11. Svod Pravil 1.13130.2009 «Sistemy protivopozharnoj zashhity.Jevakuacionnye puti i vyhody» (v redakcii ot 09.12.2010). [Code of Practice 1.13130.2009 "Fire Safety Systems. Evacuation Routes and Exits" (as amended on 09.12.2010)] [in Russian]
12. Federal'nyj zakon «O pozharnoj bezopasnosti» [Federal law "On fire safety"] 21.12.1994 N 69-FZ.
13. Pozhary i pozharnaja bezopasnost' v 2018 godu: Statisticheskij sbornik. [Federal Law "On Fire Safety" of 21.12.1994 N 69-FZ. Fires and Fire Safety in 2018: Statistical Compendium. Edited by D. M. Gordienko. - M.: VNIPO, 2019, - 125 p., pic. 42. [in Russian]
14. Pesterev A. P. Jekologicheskie problemy narushennyh zemel' Vostochnoj Sibiri [Ecological problems of disturbed lands of Eastern Siberia]/ A. P. Pesterev // Sb. trudov Vserossijskoj nauch.-prakt.konf.s mezhd. uchastiem «Sovershenstvovanie tehnologii gornyh rabot i podgotovka kadrov dlja obespechenija tehnosfernoj bezopasnosti v uslovijah Severo-Vostoka Rossii» [Materials of the All-Russian Scientific and Technical Conference with International Participants "Improvement of Mining Technology and Training for Technosphere Safety in the North-East of Russia"] Yakutsk: North Eastern Federal University Publishing House, 2018, pp. 154-163. [in Russian]
15. Muzalevsky A. A. Risk: analiz, ocenka, upravlenie [Risk: Analysis, Assessment, Management] / A. A. Muzalevsky, E. A. Yayli - SPb.: RGGMU, 2008. - 234 p. [in Russian]
16. Kirilov A. E. Matematicheskaja model' ocenki pozharnoj bezopasnosti kompressornogo ceha gazotransportnogo predprijatija [Mathematical Model for Assessing Fire Safety of the Compressor Shop of a Gas Transport Enterprise] / A. E. Kirilov, V. A. Trefilov // Bezopasnost' truda v promyshlennosti [Labor Safety in the Production Sector] - 2016. - No. 9. - P. 3 [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.101.11.013>**ИЗУЧЕНИЕ ПРИЧИН РАЗРУШЕНИЯ ТРУБОК ПАРОГЕНЕРАТОРОВ,
ВЫПОЛНЕННЫХ ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ**

Обзорная статья

Гаджиев К.Г.¹, Верховский А.Е.², Уртенев Д.С.³, Гаджиев Д.К.⁴*^{1, 2, 4} Московский энергетический институт, Москва, Россия;^{2, 3} НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия

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

Аннотация

Современное развитие атомной энергетики ставит задачи проектирования и создания атомных электрических станций малой мощности (АЭС ММ). Для проектируемых АЭС ММ планируется применение интегральной установки РИТМ-200 в наземном варианте, РИТМ-200Н. Данные установки хорошо себя зарекомендовали на судах атомного флота и на плавучей атомной тепловой электрической станции «Академик Ломоносов» для обеспечения электроэнергией и теплом в труднодоступных регионах России различных потребителей.

В данной работе был сделан обзор статистических данных по коррозионным разрушениям парогенераторов установки, выполненных из титановых сплавов со стороны второго контура. Приведены данные по влиянию на протекание коррозионных процессов различных физико-химических и теплотехнических факторов. Сделан анализ металлографических исследований по причинам, приводящим к разрушению трубок парогенераторов установок, изготовленных из титановых сплавов со стороны второго контура.

Ключевые слова: пар, коррозия, АЭС.**STUDY OF THE CAUSES OF DESTRUCTION OF TITANIUM ALLOY STEAM GENERATOR TUBES**

Review article

Gadzhiev K.G.¹, Verkhovsky A.E.², Urtenov D.S.³, Gadzhiev D.K.⁴*^{1, 2, 4} National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Moscow, Russia;^{2, 3} National Research Center "Kurchatov Institute", Moscow, Russia

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

Abstract

The modern development of nuclear power sets the task of designing and creating low-capacity nuclear power plants (LCNPs). For the LCNPs that are currently being designed, it is planned to use the ground version of the integrated RITM-200 installation — RITM-200N. These installations have proven themselves well on the ships of FSUE Atomflot and on the floating nuclear thermal power station "Akademik Lomonosov", providing electricity and heat to various consumers in remote regions of Russia.

In this paper, the authors review statistical data on the corrosion damage of steam generators made of titanium alloys in the secondary systems of a nuclear power plant. The study presents data on the influence of various physical, chemical and thermal factors on the course of corrosion processes. The article analyzes the metallographic studies on the causes of the destruction of steam generator tubes of units made of titanium alloys in the secondary systems of nuclear power plants.

Keywords: steam, corrosion, nuclear power plant.**Введение**

Компоновка АЭС ММ представляет собой двух контурную ядерную установку, по многим техническим решениям схожей с АЭС с ВВЭР. Однако есть и ряд существенных различий, которые касаются как первого, так и второго контура. В частности, по многим конструкционным решениям организация работы первого и второго контура повторяет конструкцию транспортных энергетических установок, применяемых в атомном ледокольном флоте.

Для любых АЭС оценка текущей коррозионной обстановки в первом и втором контуре и ее прогноз на будущее является исключительно важной задачей. Особенно – для транспортных реакторов, поскольку их первый контур является герметизированным на протяжении весьма длительного времени и недоступным для визуального или инструментального осмотра. Поэтому представляет интерес рассмотреть возможность прогнозирования протекания коррозионных процессов в парогенераторах. Использование информации о химическом составе теплоносителя, его теплотехнических показателях в качестве индикатора технического состояния конструктивных элементов позволяет оценить надежность их работы и прогнозировать скорость протекания коррозионных процессов, состав и количество отложений, образующихся на поверхностях теплообмена, в частности, в парогенераторах со стороны второго контура.

Методы и принципы

С начала эксплуатации атомного флота вопросы надёжности парогенераторов (ПГ) стоят очень остро, так как имеют определяющее влияние на работоспособность ядерных энергетических установок (ЯЭУ).

В результате комплекса работ, проведенных ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей», было предложено изготавливать трубчатку ПГ из титанового сплава ПТ-7М, что позволило отказаться как от аустенитной стали 08Х18Н10Т, так и от углеродистых сталей. Это позволило также многократно увеличить гарантированный ресурс ПГ, существенно упростить поддержание водно-химического режима (ВХР) второго контура и фактически определить будущее транспортных ЯЭУ. Трубные системы всех судовых ПГ, эксплуатирующихся в настоящее время, изготовлены из титанового сплава ПТ-7М, и они показали высокую надёжность при эксплуатации в условиях соответствия ВХР второго контура действующим нормам.

Тем не менее отмечено, что при эксплуатации ПГ с трубными системами из сплава ПТ-7М в условиях нарушения ВХР второго контура, в частности, при засолении теплоносителя (повышенное солесодержание питательной воды), приводило к увеличению скорости коррозии данных сплавов и разгерметизации трубных систем. В табл. 1 представлена статистика отказов секций ПГ на атомных судах.

Таблица 1 – Статистика отказов секций парогенераторов на атомных судах

Судно	Дата начала эксплуатации, год	Наработка ПГ, тыс. часов	Индекс ПГ	Количество отказов секций ПГ, шт		Начало отказов секций ПГ, тыс. часов	
				АППУ-1	АППУ-2	АППУ-1	АППУ-2
«Арктика»	1974	143	18Т	4	1	68	107
«Сибирь»	1977	95	18Т	8*	**	67	**
«Россия»	1985	82	18Т	12	4	55	48
«Советский союз»	1989	64	28	7	5	55	46
«Ямал»	1992	50	28	-	3	-	35
«Севмор путь»	1988	68	28	2	***	67	-
«Таймыр»	1989	82	28	4	***	61	-
«Вайгач»	1990	74	28	7	***	67	-

Примечание:

* - приведены отказы износного характера;

** - в первом контуре использовался нештатный водно-химический режим;

*** - однореакторная установка

Ремонт ПГ путём глушения текущих секций, потерявших герметичность после засоления второго контура, неэффективен, так как через относительно короткое время, как правило, теряют герметичность другие секции, работавшие в тех же условиях. Радикально обеспечить дальнейшую надёжную работу ЯЭУ_с можно только заменой всех трубных систем.

Систематических исследований по влиянию засоления второго контура на работоспособность трубных систем ПГ из титанового сплава ПТ-7М не проводилось. Исследования неплотной трубной системы парогенератора из титанового сплава ПТ-7М, потерявшей герметичность после засоления второго контура, проводились в 1988 г. во ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей» и на данный момент являются единственными.

В результате исследований было выявлено, что причиной потери герметичности трубной системы ПГ явилось сквозное локальное коррозионное поражение трубной системы. Со стороны второго контура, также были обнаружены многочисленные несквозные локальные коррозионные поражения. Фотографии фрагментов теплообменных труб с локальными поражениями приведены на рис. 1, 2, 3.



Рис. 1 – Общий вид трубы ПГ, потерявшей герметичность после засоления второго контура



Рис. 2 – Локальные коррозионные поражения трубы ПГ в области испарительного участка



Рис. 3–Локальные коррозионные поражения трубы ПГ в области испарительного участка

Как показал опыт эксплуатации транспортных ЯЭУ, причиной подавляющего большинства случаев засоления является попадание во второй контур рассола водоопреснительной установки или морской воды. При этом, продолжительность работы ЯЭУ во время засоления второго контура может достигать 15 суток.

Рассматривая механизм возникновения коррозионно-агрессивной среды, необходимо отметить, что на испарительном участке происходит кипение питательной воды (температура $\sim 240^{\circ}\text{C}$) и формируются пористые отложения. Процесс образования отложений происходит как при повышенном содержании примесей в питательной воде (повышенном солесодержании), а это в основном соли жёсткости, так и в случае соответствия питательной воды требованиям ОСТ В 5.429688. В последнем случае отложения незначительные, их толщину можно оценить как находящуюся в интервале от 20 мкм до 50 мкм, при этом указанные отложения формируются, в основном, за счёт продуктов коррозии материалов контура, выносимых с поверхностей. Основу отложений на внутренних поверхностях трубных систем составляют нерастворимые в воде соли жесткости, пронизанные порами и паровыми каналами. Необходимо отметить, что в состав отложений также входят нефтепродукты.

При засолении второго контура рассолом водоопреснительных установок или заборной водой, то есть при поступлении в питательную воду карбонатов, сульфатов кальция и магния, формирование отложений происходит за счёт торможения и прилипания в испарительном участке частиц нерастворимых сульфатов и карбонатов кальция, магния. Среда в теплообменных трубах движется со значительными скоростями, при этом большая часть выпадающих из питательной воды в зоне испарения частиц солей жёсткости (карбонатов, сульфатов кальция и магния) выносятся из ПГ с потоком пара. Из оставшейся части отложений формируются эксплуатационные отложения на испарительном участке, толщины которых с течением времени возрастают.

Хлориды и бромиды, содержащиеся в питательной воде, будут частично выноситься из ПГ с паром, однако некоторая часть будет концентрироваться в порах уже имеющихся отложений. Механизм концентрирования коррозионно-активных анионов в порах отложений проиллюстрирован на рис. 4.

Необходимо отметить, что скорость концентрирования растворимых солей в порах отложений возрастает при увеличении их солесодержания в питательной воде. В соответствии с ОСТ В 5.4296-88 содержание хлоридов в питательной воде регламентируется величиной менее 0,05 мг/л, а при засолении второго контура их содержание может увеличиваться на несколько порядков (на 5-6 порядков по сравнению с водой, соответствующей ОСТ В 5.4296-88).

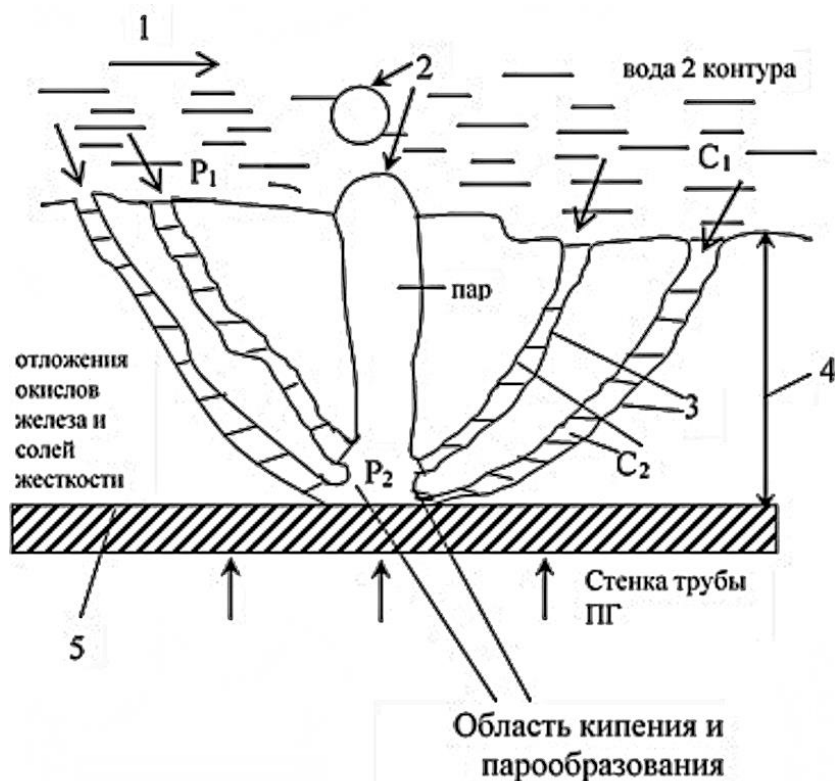


Рис.4 – Модель концентрации активирующих анионов в отложениях на поверхности трубных систем ПГ со стороны второго контура

Таким образом, в процессе эксплуатации на испарительном участке в районе пониженной влажности пароводяной смеси образуется слой отложений, толщина и положение которого будет определяться расходом питательной воды, то есть уровнем мощности, на котором работает установка. При большом расходе, то есть при повышенных мощностях работы ЯЭУ, участок испарения смещается в сторону пароперегрева. При снижении мощности ЯЭУ, отложения, образовавшиеся в конце испарительного участка, попадают в зону перегретого пара. В этом случае из пор отложений будет испаряться вода, в результате чего концентрация солей в растворе будет стремительно увеличиваться. Таким образом, создаются условия, при которых возможно образования концентрированных растворов коррозионно-активных примесей вплоть до состояния насыщения. С ростом температуры по мере испарения воды концентрация насыщенного раствора этих солей будет увеличиваться, и из насыщенного раствора будут выпадать (образовываться) кристаллы солей. В конечном итоге после её полного испарения в порах и на поверхности металла трубных систем ПГ в перегретом паре формируются кристаллы растворимых солей. Такая же ситуация также реализуется в случае отключения ПГ по питательной воде при работе ЯЭУ.

При выводе в ремонт или на время простоя трубные системы ПГ ЯЭУ, в соответствии с эксплуатационной документацией, промываются влажным паром. Промывка паром завершается при достижении солесодержания пара на выходе из ПГ величины ≤ 1 мг/л (в пересчёте на NaCl). Далее трубные системы ПГ заполняются водой, и в этом состоянии осуществляется их хранение (“мокрое” хранение) до следующего ввода ЯЭУ. При промывке трубных систем влажным паром и “мокрым” хранении растворимые соединения частично удаляются из пор эксплуатационных отложений. В процессе эксплуатации установок КЛТ – 40 отмечалось неоднократное увеличение солесодержания (в отдельных случаях — содержание хлоридов) в воде, заполняющей трубные системы ПГ при их «мокрым» хранении.

Вынос растворимых ионов из отложений лимитируется процессами диффузии в порах с малым диаметром канала ~ 1 мкм при относительной протяжённости путей диффузии от 50 до 200 мкм. Данное обстоятельство приводит к тому, что промывка водой или влажным паром становится малоэффективной.

Таким образом, в процессе эксплуатации ПГ ЯЭУ с установкой КЛТ – 40, при повышенном солесодержании воды второго контура в отложениях на поверхности испарительного участка могут формироваться различные по составу растворы солей от малых концентраций до насыщенных растворов вплоть до образования твердых отложений в зоне перегретого пара.

В работе [8] описаны результаты коррозионных испытаний парогенерирующих элементов, имитирующих эксплуатацию трубных систем ПГ при различных режимах работы атомной паропроизводящей установки (АППУ) во время засоления второго контура рассолом опреснительной установки (морской водой). При этом был охвачен весь спектр сред и условий, реализующихся на поверхности теплообменных труб на испарительном участке. Выявлено, что сплав ПТ-7М подвержен питтинговой коррозии с концентрацией хлорид-ионов 120 г/л, бромид-ионов 0,4 г/л в водном растворе при температуре 240 °С. При этом время инкубации составило около 500 ч; питтинги были обнаружены после 740 ч испытаний. В аналогичных условиях, но при меньших концентрациях хлоридов за 2500 ч испытаний питтинговой коррозии не наблюдалось. Фотография образца с питтингами приведена на рис. 5. Содержание водорода в районе питтинга составило 0,012% масс., что значительно превышает нормированное содержание водорода в трубах из ПТ-7М в состоянии поставки 0,007% масс.



Рис. 5 – Питтинги на образце после испытаний

Стойкость парогенерирующих элементов к горячесолевой коррозии определяли в смеси кристаллического хлорида натрия и бромида калия (в соотношении 300:1 масс.) при различном давлении паров воды и температурах. Горячесолевая коррозия протекает интенсивно, практически без инкубационного периода. При этом происходит взаимодействие металла с кристаллическими солями, образование хлоридов и бромидов титана, титанатов натрия и калия. Наиболее интенсивно она протекала при температуре поверхностей трубных систем ПГ, контактирующих с солями, от 290 до 300 °С. На отдельных образцах сквозные поражения стенки образца толщиной 1,5 мм проходили за 120 ч. Наводороживание металла в области поражений достигала 0,04% масс. На рис. 6, 7, 8 приведён образец до и после испытаний в среде горячих солей (образец был помещен в испытательную среду наполовину).



Рис. 6 – Образец до проведения коррозионных испытаний



Рис. 7—Образец после 500 ч испытаний при температуре 200°C
(часть, находившаяся в среде кристаллических солей, покрыта слоем отложений продуктов коррозии)



Рис. 8—Образец после 500 ч испытаний при температуре 400°C
(слой продуктов коррозии удалён травлением смесью азотной и плавиковой кислот)

Коррозионного растрескивания при проведении испытаний образцов в указанных выше растворах солей не наблюдалось.

Вывод

Таким образом, исходя из их результатов испытаний выявлено, что возможна реализация двух механизмов коррозионного разрушения титановых трубных систем ПГ при их эксплуатации в составе ЯРУ:

1. питтинговая (язвенная) коррозия;
2. горячесолевая коррозия (коррозия сплава ПТ-7М при контакте с кристаллическими хлоридами, бромидами).

Коррозионное разрушение по первому или второму механизму будет развиваться в зависимости от условий на поверхности трубных систем, температуры (толщины нерастворимых отложений, режимов работы ЯРУ и др.).

Это позволяет предложить следующую последовательность событий, предшествующих потере герметичности трубных систем ПГ после засоления второго контура:

- формирование на испарительном участке слоя пористых, относительно прочных эксплуатационных отложений, толщина которого зависит от состава питательной воды и продолжительности нарушения ВХР второго контура;
- накопление в порах отложений хлоридов, бромидов щелочных металлов (формирование коррозионно-агрессивной среды).

Далее развитие коррозионных процессов возможно по двум механизмам:

- по механизму язвенной коррозии с продолжительным инкубационным периодом;
- горячесолевой механизм разрушения, который реализуется интенсивно.

В обоих случаях коррозионные процессы сопровождаются наводороживанием металла трубных систем. Охлаждение трубных систем до температур ниже 160 °С, сопровождающееся выпадением гидридов титана, приводит к потере механических свойств (охрупчиванию) наводороженного сплава ПТ-7М. При этом возможно хрупкое разрушение под действием механических нагрузок (при вводе ЯЭУ, гидравлических испытаниях и т.д.).

Удалить коррозионно-агрессивную среду с поверхности трубных систем ПГ можно путем растворения в водных растворах химических реагентов нерастворимых в воде отложений.

Практика профилактических химических отмывок трубных систем ПГ широко распространена на АЭС. Необходимо отметить, что материал трубных систем ПГ АЭС – сталь 08Х18Н10Т значительно уступает сплаву ПТ-7М в коррозионной стойкости. Несмотря на высокое качество питательной воды АЭС, хлоридов, концентрирующихся в эксплуатационных отложениях, достаточно для протекания питтинговой коррозии и коррозионного растрескивания стали 08Х18Н10Т. Внедрение химических отмывок в совокупности с вихреотокным контролем фактического состояния трубных систем ПГ АЭС позволило значительно увеличить их ресурс и обеспечить безотказную работу ПГ. Химическую отмывку трубных систем ПГ АЭС проводят периодически, время между промывками определено расчётным путём и подтверждено опытом эксплуатации.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Бахметьев А.М. Анализ возможных причин и механизмов отказов трубных систем парогенераторов атомных судов / А.М. Бахметьев, Н.Г. Сандлер, И.А. Былов, А.В. Бакланов, М.М. Кашка, С.В. Филимошкин // Арктика: экология и экономика. – 2013. - № 3 (11).
2. Бухримов В.В. Тепломассообмен: учебное пособие / В.В. Бухримов. – Иваново: ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2014. – 360 с.
3. Верховский А.Е. Расчет водно-химических режимов ТЭС: учебное пособие / А.Е. Верховский – М.: Издательский дом МЭИ, 2011. – 48 с.
4. Воронов В.Н. Водно-химические режимы ТЭС и АЭС: учебное пособие / В.Н. Воронов, Т.И. Петрова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 240 с.
5. Галин Н.М. Тепломассообмен (в ядерной энергетике) / Н.М. Галин, Л.П. Кириллов. М.: Энергоатомиздат, 1987. 376 с.
6. Голубцов В.А. Обработка воды на ТЭС / В.А. Голубцов. - Л.: Энергия, 1974. - 360 с.
7. Ефимов А.А. Коррозионный мониторинг контуров ЯЭУ транспортного назначения / А.А. Ефимов, О.Ю. Пыхтеев, Б.А. Гусев, Л.Н. Москвин, И.С. Орленков // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок – 2015. - №2 (2). С. 29-38.
8. Ефимов А.А. Коррозионный мониторинг на объектах ядерной энергетики / А.А. Ефимов // Проблемы и перспективы развития химического и радиохимического контроля в атомной энергетике: научно-техническое совещание, Сосновый Бор, 16-18 сентября 2001 г.: тезисы докладов. Сосновый Бор: ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2001. С. 32.
9. Ефимов А.А. Системный подход к организации коррозионно-эрозийного мониторинга и контроля водно-химических режимов АЭС / А.А. Ефимов, Н.Я. Вилков, О.Ю. Пыхтеев // Теплоэнергетика, 1998. № 12. С. 11-14.
10. Полунатурные ресурсные испытания фрагментов трубной системы парогенератора ПГ-28 а/л «Вайгач» / отчет ФГУП «Прометей», 2004.

Список литературы на английском языке/ References in English

1. Bakhmetyev A.M. Analiz vozmozhnyh prichin i mekhanizmov otkazov trubnyh sistem parogeneratorov atomnyh sudov [Analysis of Possible Causes and Mechanisms of Failures of Pipe Systems of Steam Generators of Nuclear Vessels] / Bakhmetyev, N.G. Sandler, I.A. Bylov, A.V. Baklanov, M.M. Kashka, S.V. Filimoshkin // Arktika: jekologija i jekonomika [Arctic: ecology and economics]. - 2013. - No. 3 (11).
2. Bukhrimov V.V. Teplomassoobmen [Heat and mass transfer: a tutorial] / V.V. Bukhrimov. - Ivanovo: Ivanovo State Power Engineering University named after V.I. Lenin ", 2014. P – 360.
3. Verkhovskiy A.E. Raschet vodno-himicheskikh rezhimov TJeS [Calculation of water-chemical regimes of thermal power plants: a tutorial] / A.E. Verkhovskiy - Moscow: MPEI Publishing House, 2011. P–48.
4. Voronov V.N. Vodno-himicheskie rezhimy TJeS i AJeS [Water-chemical regimes of TPP and NPP]: textbook / V.N. Voronov, T.I. Petrova. - M.: Publishing house MEI, 2009. P–240.
5. Galin N.M. Teplomassoobmen (v jadernoj jenergetike) [Heat and mass transfer (in nuclear power)] / N.M. Galin, L.P. Kirillov. - M.: Energoatomizdat, 1987. P– 376.
6. Golubtsov V.A. Obrabotka vody na TJeS [Water Treatment at TPPs] / V.A. Golubtsov. - L.: Energy, 1974. P–360.
7. Efimov A.A. Korrozionnyj monitoring konturov JaJeU transportnogo naznachenija [Corrosion monitoring of the contours of nuclear power plants for transport purposes] / Efimov, O. Yu. Pykhiteev, B.A. Gusev, L.N. Moskvina, I.S. Orlenkov // Tehnologii obespechenija zhiznennogo cikla jadernyh jenergeticheskikh ustanovok [Technologies for ensuring the life cycle of nuclear power plants] - 2015. - №2 (2). P–29.
8. Efimov A.A. Korrozionnyj monitoring na obektah jadernoj jenergetiki [Corrosion monitoring at nuclear power facilities] / A.A. Efimov // Problemy i perspektivy razvitiya himicheskogo i radiohimicheskogo kontrolja v atomnoj jenergetike: nauchno-tehnicheskoe soveshhanie [Problems and prospects for the development of chemical and radiochemical control in nuclear power: scientific and technical meeting], Sosnovy Bor, September 16-18, 2001: abstracts. Sosnovy Bor: FSUE "NITI im. A.P. Aleksandrova ", 2001. P–32.
9. Efimov A.A. Sistemnyj podhod k organizacii korrozionno-jerozionnogo monitoringa i kontrolja vodno-himicheskikh rezhimov AJeS [A systematic approach to the organization of corrosion-erosion monitoring and control of water-chemical regimes of NPPs] / Efimov, N. Ya. Vilkov, O. Yu. Pykhiteev // Teplojenergetika [Heat Power Engineering], 1998. No. 12. P. 11.
10. Polunaturnye resursnye ispytaniya fragmentov trubnoj sistemy parogeneratora PG-28 а/л «Vajgach» [Semi-natural life tests of fragments of the pipe system of the steam generator PG-28 of а/l "Vaigach"] / report of FSUE "Prometey".

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.101.11.014>АЛЬТЕРНАТИВА ТОПОЛЮ БАЛЬЗАМИЧЕСКОМУ (*POPULUS BALSAMIFERA* L.)
В ОЗЕЛЕНЕНИИ Г. ЕКАТЕРИНБУРГА

Научная статья

Воробьева М.В.¹, Залесов С.В.^{2,*}, Крекова Я.А.³, Михайлов Ю.Е.⁴, Соловьева М.В.⁵¹ ORCID: 0000-0003-1059-9670;² ORCID: 0000-0003-3779-410X;³ ORCID: 0000-0002-9074-848X;⁴ ORCID: 0000-0003-3467-0654;⁵ ORCID: 0000-0001-6967-6330;^{1, 2, 4, 5} Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия;³ Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации,

Щучинск, Республика Казахстан

* Корреспондирующий автор (Zalesovsv[at]m.usfeu.ru)

Аннотация

Проанализированы достоинства и недостатки использования в озеленении г. Екатеринбурга тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.). Установлено, что тополь бальзамический имеет ряд таких достоинств, как быстрый рост, устойчивость к воздействию промышленных поллютантов, значительная фитомасса ассимиляционного аппарата. Последняя, в свою очередь, обеспечивает эффективную очистку воздуха от пыли и гасит не желаемый шум. В то же время, тополь бальзамический за счет значительной массы мелких опушенных семян вызывает аллергические реакции у части населения. Он подвержен бурелому, создавая опасность для граждан, автотранспорта и строений. Кроме того, тополь бальзамический поражается тополевой нижнесторонней молью - пестрянкой (*Phyllonorycter populifoliella* Treitschke, 1833), что приводит к опадению листьев уже в конце июля и резкому ухудшению эстетической привлекательности.

Обрезка крон деревьев приводит к заражению их грибными болезнями, а нередко и к гибели. В качестве альтернативы тополю бальзамическому предлагается тополь серебристый пирамидальный селекции Н.А. Коновалова, который, являясь мужским гибридом, не имеет семян и не поражается тополевой нижнесторонней молью-пестрянкой.

Ключевые слова: озеленение, тополь бальзамический (*Populus balsamifera* L.), тополевая нижнесторонняя моль - пестрянка (*Phyllonorycter populifoliella* Treitschke, 1833), тополь серебристый пирамидальный.

AN ALTERNATIVE TO BALSAM POPLAR (*POPULUS BALSAMIFERA* L.)
IN YEKATERINBURG LANDSCAPING

Research article

Vorobyova M.V.¹, Zalesov S.V.^{2,*}, Krekova Ya.A.³, Mikhailov Yu.E.⁴, Solovyova M.V.⁵¹ ORCID: 0000-0003-1059-9670;² ORCID: 0000-0003-3779-410X;³ ORCID: 0000-0002-9074-848X;⁴ ORCID: 0000-0003-3467-0654;⁵ ORCID: 0000-0001-6967-6330;^{1, 2, 4, 5} Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia;³ Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, Shchuchinsk, Republic of Kazakhstan

* Corresponding author (Zalesovsv[at]m.usfeu.ru)

Abstract

The article analyzes the advantages and disadvantages of using balsam poplar (*Populus balsamifera* L.) in the landscaping of Yekaterinburg. The research establishes that balsam poplar has a number of advantages such as rapid growth, resistance to industrial pollutants, and a significant phytomass of the assimilation apparatus. The latter, in turn, provides effective air purification from dust and eliminates unwanted noise. At the same time, balsam poplar causes allergic reactions in a certain percentage of the population due to a significant mass of small furry seeds. It is susceptible to windfall, creating a danger to citizens, vehicles, and buildings. In addition, the balsam poplar is affected by the poplar moth *Phyllonorycter populifoliella* (Treitschke, 1833), which leads to leaf fall at the end of July and a sharp deterioration in aesthetic appeal.

The heading-off leads to fungal infection diseases, and often to the death of the trees.

As an alternative to balsam poplar, the silver pyramidal poplar of N. A. Konovalov's selection is offered, which, being a male hybrid, has no seeds and is not affected by *Phyllonorycter populifoliella*.

Keywords: landscaping, balsam poplar (*Populus balsamifera* L.), moth (*Phyllonorycter populifoliella*, Treitschke, 1833), silver pyramidal poplar.

Озеленение городов и населенных пунктов неразрывно связано с использованием широкого ассортимента как аборигенных, так и интродуцированных видов деревьев и кустарников [1], [3], [4]. Неслучайно многие годы наблюдается поиск новых форм, сортов и гибридов древесных растений и изучение их перспективности в конкретных лесорастительных условиях [11], [13], [14].

При планировании и создании объектов озеленения важно иметь объективные данные о современном состоянии зеленых насаждений в озеленяемом объекте. Выполненный анализ видового состава древесных растений, используемых в озеленении, показал, что особое место принадлежит тополям. Причин этому несколько.

Прежде всего, следует отметить, что тополя характеризуются значительным видовым и формовым разнообразием. Последнее позволяет использовать их в целях озеленения как на юге, так и далеко на севере.

Большинство видов тополей неприхотливо к условиям произрастания. Они произрастают в условиях интенсивных выбросов промышленных поллютантов, что создает условия для их использования при озеленении промышленных предприятий, а также лесоразведении на нарушенных землях.

Особого внимания заслуживает быстрый рост ряда тополей. Не случайно в ряде регионов нашей страны и за ее пределами тополя широко используются при планировании лесовыращивания и лесоразведения.

Мягкая древесина тополей, лишенная смолистых веществ, позволяет широко использовать ее для получения бумаги, фанеры, тарной дощечки, изготовлении мебели и т.п.

Создавая огромную массу ассимиляционного аппарата, тополя обеспечивают эффективную очистку воздуха от пыли и аэропромвыбросов, позволяют снизить воздействие шума от автомобильных и железных дорог [15], [16].

Цель, объекты и методика исследований

Целью исследований являлась оценка состояния деревьев тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) и разработка на этой основе предложений по сокращению его доли в озеленении г. Екатеринбурга.

В процессе исследований проведена визуальная оценка деревьев тополя бальзамического в рядовых посадках г. Екатеринбурга. Особое внимание в процессе исследований уделялось последствиям обрезки крон деревьев, анализу поражения ассимиляционного аппарата и заражения деревьев стволовыми гнилями. При проведении исследований установлены основные вредители и грибные заболевания, поражающие деревья тополя бальзамического. В процессе выполнения работ сравнивались показатели тополя бальзамического с другими видами тополей, в частности с тополем серебристым пирамидальным селекции Н.А. Коновалова.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ литературных материалов и данные натурных исследований показали высокую эффективность использования видов рода *Populus* для получения древесины, создания защитных насаждений и других целей.

В то же время использование тополей в озеленении требует тщательного правильного выбора. Достигая высоты 30 м, деревья наиболее распространенного тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) представляют при огромной массе кроны существенную потенциальную опасность для граждан, автотранспорта и строений.

Кроме того, семена тополей с пухом проникают в здания и сооружения, вызывая аллергию у граждан, что во многом способствует формированию мнения о недопустимости использования тополей при озеленении.

Одним из способов минимизации пыления тополей является обрезка крон деревьев. Однако данное мероприятие проводится чаще всего не профессионально, что вызывает отмирание части деревьев (рис. 1), обламывание формирующихся ветвей, а также приводит к заражению деревьев грибными болезнями (рис. 2).



Рис. 1 – Дерево тополя, погибшее после обрезки кроны



Рис. 2 – Плодовые тела грибов на стволе тополя бальзамического

Чаще всего причиной гнили являются грибы. К сожалению, тополь бальзамический, как и другие виды рода *Populus*, через раны, сломы сучьев, обдиры коры заражается спорами грибов, вызывающих стволовую гниль. Среди указанных грибов – возбудителей стволовой гнили ложный трутовик (*Phellinus igniarius* (L.: Fr.) Quel.) семейства Hymenochaetaceae, настоящий трутовик (*Fomes fomentaris* (L.: Fr.) семейство Polyporaceae, плоский трутовик (*Ganoderma applanatum* (Pers) Pat) семейства Ganodermataceae, траметес душистый (*Trametes suaveolens* (Fr.) Fr.), вешенка устичная (*Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm. семейство Pleurotaceae

Нередко на одном дереве имеют место грибы двух и даже трех видов (рис. 3).



Рис. 3 – Дереворазрушающие грибы на стволе тополя

Особо следует отметить, что в условиях г. Екатеринбурга деревья тополя бальзамического страдают от тополевой нижнесторонней моли-пестрянки (*Phyllonorycter populifoliella* Treitschke, 1833).

Поражение листьев деревьев, особенно при благоприятных для нижнесторонней моли-пестрянки условиях, приводит к раннему листопаду, прекращению вегетации и ухудшению эстетической привлекательности деревьев тополя бальзамического (рис. 4).



Рис. 4 – Внешний вид тополя бальзамического в начале осени

Нижнесторонняя моль-пестрянка особенно активно поражает листья тополей бальзамического и душистого (*Populus suaveolens* Fisch.), менее часто другие виды тополей. Однако тополь белый (*Populus alba* L.), его гибриды и тополь дрожащий (*Populus tremula* L.) тополевой нижнесторонней молью-пестрянкой не поражаются, что следует учитывать при проектировании использования тополей для создания объектов озеленения.

Произрастая в условиях интенсивного воздействия промышленных поллютантов, тополь бальзамический накапливает в листьях токсичные соединения, что приводит к заболеваниям – хлорозам и некрозам. При интенсивном загрязнении степень поражения листьев достигает 10-30%.

Сотрудниками Уральского лесотехнического института (ныне Уральский государственный лесотехнический университет) под руководством проф. Н.А. Коновалова выведен гибрид тополя белого пирамидального - тополь свердловский пирамидальный, или тополь серебристый пирамидальный селекции Н.А. Коновалова [17].

Образцом формирования линейных посадок указанного тополя является аллея, созданная на улице Восточной в г. Екатеринбурге (рис. 5).



Рис. 5 – Аллея из деревьев тополя

Тополь серебристый пирамидальный селекции Н.А. Коновалова имеет компактную пирамидальную крону, что позволяет высаживать его в аллеиных посадках и при формировании биогрупп деревьев. Гибрид устойчив к механическим повреждениям, не дает семян, а следовательно, не «пылит», поскольку имеет только мужские особи. Другими словами, тополь серебристый пирамидальный селекции Н.А. Коновалова не создает аллергическую среду. Кроме того, данный гибрид в меньшей, чем тополь бальзамический, степени страдает от грибных болезней и не поражается нижнесторонней молью пестрянкой.

Последнее способствует сохранению эстетической привлекательности деревьев тополя серебристого пирамидального селекции Н.А. Коновалова до поздней осени.

Выполненные исследования наглядно показали перспективность постепенной замены тополя бальзамического на гибрид тополя пирамидального селекции Н.А. Коновалова. Указанный гибрид устойчив к промышленным загрязнителям, о чем свидетельствует его прекрасное состояние в посадках вдоль улицы Восточной. Кроме того, он обладает значительной массой листьев, которые сохраняются на деревьях с мая по ноябрь, а следовательно, указанный гибрид не менее, чем тополь бальзамический, гасит шум и осаждает пыль.

Учитывая значительное количество посадок тополя бальзамического в г. Екатеринбурге, его замену на тополь пирамидальный серебристый селекции Н.А. Коновалова следует проводить постепенно. При этом необходимо спланировать выращивание крупномерного посадочного материала в лесных питомниках для озеленения города. Особенно перспективна замена тополя бальзамического вдоль автодорог, поскольку это будет способствовать сокращению выбросов автотранспорта к жилым зданиям, а также минимизирует шум от его движения.

Тополь серебристый пирамидальный селекции Н.А. Коновалова может также широко быть использован в лесопарках города при формировании эстетически привлекательных ландшафтов [18], [19]. Он прекрасно смотрится как в биогруппах, так и в качестве единичных деревьев, чему во многом способствует пирамидальная форма кроны.

Выводы

1. Тополя занимают и будут занимать значительное место в городских посадках.
2. Наиболее широко распространенным в озеленении г. Екатеринбурга является тополь бальзамический, который характеризуется быстрым ростом, устойчивостью к промышленным загрязнителям, способностью очищать воздух от пыли и гасить шум.
3. К недостаткам тополя бальзамического можно отнести поражение его древесины гнилями, а листьев - тополевой нижнесторонней молью - пестрянкой; пыление, вызывающее аллергические реакции у граждан, и опасность поражения людей и автотранспорта падающими при ветре сучьями и деревьями.
4. Учитывая высокую долю старых деревьев тополя бальзамического, следует продумать его замену на другие виды древесных растений.
5. В практике зеленого строительства необходимо шире использовать тополь серебристый пирамидальный селекции Н.А. Коновалова.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / Reference

1. Крекова Я.А. Использование хвойных интродуцентов при озеленении и лесоразведении в Северном Казахстане / Я.А. Крекова, С.В. Залесов // Агроэкология, мелиорация и защитное лесоразведение. - Волгоград: ФНЦ агроэкология РАН, 2018. С. 270-273.
2. Соловьева М.В. Перспективные хвойные интродуценты для озеленения и расширения биологического разнообразия на Среднем Урале / М.В. Соловьева, С.В. Залесов, Е.С. Залесова, Н.П. Бунькова, Я.А. Крекова // Актуальные проблемы лесного комплекса: Сб. науч. тр. Вып. 54. Брянск: БГИТУ, 2019. С. 157-159.
3. Кожевников А.П. Опыт создания коллекций плодовых и декоративных культур / А.П. Кожевников, С.В. Залесов. - Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2018. 206 с.
4. Крекова Я.А. История интродукции древесных растений на территории Западной Сибири и Северного Казахстана / Я.А. Крекова, С.В. Залесов // Леса России и хозяйство в них, 2019. № 2. С. 5-14.
5. Крекова Я.А. Оценка декоративных признаков у видов рода *Picea Dietr* в Северном Казахстане / Я.А. Крекова, С.В. Залесов, А.Г. Магасумова // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1; [Электронный ресурс] – URL: <http://www.science-education.ru/121-17204>. (дата обращения: 12.10.2020)
6. Оплетев А.С. Новая декоративная форма ели сибирской (*Picea obovata* Ladeb.) / А.С. Оплетев, С.В. Залесов, А.П. Кожевников // Аграрный вестник Урала, 2016. № 6 (148). С. 40-44.
7. Крекова Я.А. Особенности развития крон е видов рода *Picea Dietr* в условиях Северного Казахстана (на базе арборетума ТОО «КазНИИЛХА» / Я.А. Крекова, С.В. Залесов // Аграрный вестник Урала, 2015. № 10 (140). С. 52-56.
8. Крекова Я.А. Рост интродуцированных видов лиственниц (*Larix Mill*) в Северном Казахстане / Я.А. Крекова, С.В. Залесов // Международный научно-исследовательский журнал, 2018. № 9 (75). Ч. 2. С. 21-25.
9. Крекова Я.А. Результаты интродукции сосен (*Pinus L.*) при испытании в коллекционных насаждениях арборетума и дендропарка КазНИИЛХА / Я.А. Крекова, С.В. Залесов, Н.К. Чеботько // Вестник государственного университета им. Шакарима. - Семей. 2018. № 3 (83). С. 275-279.
10. Крекова Я.А. Изменчивость основных таксационных и морфологических показателей ели (*Picea Dietr*) интродуцированных в Северный Казахстан / Я.А. Крекова, С.В. Залесов, Н.К. Чеботько // Вестник науки Казахского аграрного университета им. С. Сейфуллина, 2019. № 1 (100). С. 67-76.
11. Суюндинов Ж.О. Арборетум лесного питомника «Ак кайын» РГП «Жасыл Аймак» / Ж.О. Суюндинов, А.В. Данчева, С.В. Залесов, М.Р. Ражанов, А.Н. Рахимжанов. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2017. 92 с. [Электронный ресурс] – URL: <http://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/6618/Arboretum> (дата обращения: 12.10.2020)
12. Соловьева М.В. Перспективность сортов ели колючей (*Picea pungens* Engelm.) для озеленения северных городов / М.В. Соловьев, С.В. Залесов, Е.С. Залесова, Я.А. Крекова, А.С. Оплетев // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова, 2019. № 2 (55). С. 121-129.
13. Соловьева М.В. Оценка перспективности сортов березы повислой (*Betula pendula* Roth.) для озеленения городов на примере г. Екатеринбурга / М.В. Соловьева, Я.А. Крекова, С.В. Залесов // Лесной вестник / Forestry bulletin. Научно-информационный журнал, 2019. № 5. Том 23. С. 8-21.
14. Бунькова Н.П. Перспективность использования можжевельника скального в озеленении города Екатеринбурга / Н.П. Бунькова, С.В. Залесов, Е.П. Платонов, М.В. Соловьева // Успехи современного естествознания, 2020. № 7. С. 7-12.
15. Хайретдинов А.Ф. Введение в лесоводство / А.Ф. Хайретдинов, С.В. Залесов. - Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2011. 202 с.
16. Залесов С.В. Состояние и перспективы ландшафтных рубок в рекреационных лесах / С.В. Залесов, Р.А. Газизов, А.Ф. Хайретдинов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета, 2016. № 2 (58). С. 45-47.
17. Аткина Л.И. Тополь серебристый пирамидальный селекции Н.А. Коновалова / Л.И. Аткина, Т.В. Корлыханова, М.С. Корлыханов. - Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2009. 100 с.
18. Залесов С.В. ландшафтные рубки в лесопарках / С.В. Залесов, А.Ф. Хайретдинов. - Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2011. 176 с.
19. Качество жизни: вчера, сегодня, завтра. Актуальные проблемы вступления России в ВТО / Г.В. Астратова, А.В. Мехренцев, Л.И. Пономарева и др. Под общей научной редакцией Г.В. Астратовой. Екатеринбург: 2012.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Krekova Ya.A. Ispol'zovanie hvoynnykh introducentov pri ozelenenii i lesorazvedenii v Severnom Kazahstane [The use of introduced coniferous species in landscaping and afforestation in Northern Kazakhstan] / Ya.A. Krekova, S.V. Zalesov // Agrojekologija, melioracija i zashhitnoe lesorazvedenie [Agroecology, melioration and protective afforestation]. - Volgograd: FSC Agroecology RAS, 2018. P. 270-273. [in Russian]
2. Solovieva M.V. Perspektivnye hvoynnye introducenty dlja ozelenenija i rasshirenija biologicheskogo raznoobrazija na Srednem Urale [Promising coniferous introduced species for landscaping and expanding biological diversity in the Middle Urals] / M.V. Solovyova, S.V. Zalesov, E.S. Zalesova, N.P. Bunkova, Ya.A. Krekova // Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa: Sb. nauch. tr. [Actual problems of the forestry complex: Sat. scientific. tr.] Issue 54. Bryansk: BGITU, 2019. P. 157-159. [in Russian]
3. Kozhevnikov A.P. Opyt sozdaniya kolekcij plodovykh i dekorativnykh kul'tur [Experience in creating collections of fruit and ornamental crops] / A.P. Kozhevnikov, S.V. Zalesov. - Yekaterinburg: Ural. state le-sotekhn. un-t, 2018. 206 p. [in Russian]
4. Krekova Ya.A. Istoriya introdukcipevesnykh rastenij na territorii Zapadnoj Sibiri i Severnogo Kazahstana [The history of the introduction of woody plants on the territory of Western Siberia and Northern Kazakhstan] / Ya.A. Krekova, S.V. Zalesov // Lesa Rossii i hozjajstvo v nih [Forests of Russia and the economy in them], 2019. No. 2. P. 5-14. [in Russian]

5. Krekova Ya.A. Ocenka dekorativnykh priznakov u vidov roda *Picea* Dietr v Severnom Kazahstane [Assessment of decorative traits in the species of the genus *Picea* Dietr in Northern Kazakhstan] / Ya.A. Krekova, S.V. Zalesov, A.G. Magasumova // *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education]. 2015. No. 1; [Electronic resource] URL: <http://www.science-education.ru/121-17204>. (accessed: 12.10.2020) [in Russian]
6. Opletaev A.S. Novaja dekorativnaja forma eli sibirskoj (*Picea obovata* Ladeb.) [New decorative form of Siberian spruce (*Picea obovata* Ladeb.)] / A.S. Opletaev, S.V. Zalesov, A.P. Kozhevnikov // *Agrarnyj vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], 2016. No. 6 (148). P. 40-44. [in Russian]
7. Krekova Ya.A. Osobennosti razvitiya kron e vidov roda *Picea* Dietr v uslovijah Severnogo Kazahstana (na baze arboretuma TOO «KazNIILHA») [Features of the development of crowns of e species of the genus *Picea* Dietr in the conditions of Northern Kazakhstan (based on the arboretum of KazNIILKHA LLP)] / Ya.A. Krekova, S.V. Zalesov // *Agrarnyj vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], 2015. No. 10 (140). P. 52- 56. [in Russian]
8. Krekova Ya.A. Rost introducirovannykh vidov listvennic (*Larix* Mill) v Severnom Kazahstane [Growth of introduced species of larch (*Larix* Mill) in Northern Kazakhstan] / Ya.A. Krekova, S.V. Zalesov // *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal* [International Research Journal], 2018. № 9 (75). Part 2.P. 21-25. [in Russian]
9. Krekova Ya.A. Rezul'taty introdukcii sosen (*Pinus* L.) pri ispytanii v kollekcionnykh nasazhdenijah arboretuma i dendroparka KazNIILHA [The results of the introduction of pines (*Pinus* L.) when tested in the collection plantations of the arboretum and the arboretum of KazNIILKHA] / Ya.A. Krekova, S.V. Zalesov, N.K. Chebotko // *Vestnik gosudarstvennogo universiteta im. Shakarima*. [Bulletin of the State University. Shakarim]. - Families. 2018. No. 3 (83). P. 275-279. [in Russian]
10. Krekova Ya.A. Izmenchivost' osnovnykh taksacionnykh i morfologicheskikh pokazatelej eli (*Picea* Dietr) introducirovannykh v Severnyj Kazahstan [Variability of the main taxation and morphological parameters of spruce (*Picea* Dietr) introduced to Northern Kazakhstan] / Ya.A. Krekova, S.V. Zalesov, N.K. Chebotko // *Vestnik nauki Kazahskogo agrarnogo universiteta im. S. Seifullina* [Bulletin of Science of the Kazakh Agrarian University. S. Seifullina], 2019. No. 1 (100). P. 67-76. [in Russian]
11. Suyundikov Zh.O. Arboretum of the forest nursery "Ak kayin" RSE "Zhasyl Aimak" / Zh.O. Suyundikov, A.V. Dancheva, S.V. Zalesov, M.R. Razha-nov, A.N. Rakhimzhanov. Yekaterinburg: Ural. state forestry engineering. un-t, 2017.92p. [Electronic resource] URL: <http://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/6618/Arboretum> (accessed: 12.10.2020) [in Russian]
12. Solovieva M.V. Perspektivnost' sortov eli koljuchej (*Picea pungens* Engelm.) dlja ozelenenija severnykh gorodov [The prospect of varieties of prickly spruce (*Picea pungens* Engelm.) For landscaping northern cities] / M.V. Soloviev, S.V. Zalesov, E.S. Zalesova, Ya.A. Krekova, A.S. Opletaev // *Vestnik Burjatskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii im. V.R. Filippova* [Bulletin of the Buryat State Agricultural Academy. V.R. Filippova], 2019. No. 2 (55). P. 121-129. [in Russian]
13. Solovieva M.V. Ocenka perspektivnosti sortov berezy povisloj (*Betula pendula* Roth.) dlja ozelenenija gorodov na primere g. Ekaterinburga [Evaluation of the prospects of silver birch varieties (*Betula pendula* Roth.) For urban greening on the example of Yekaterinburg] / M.V. Solovyova, Ya.A. Krekova, S.V. Zalesov // *Forestry bulletin. Nauchno-informacionnyj zhurnal* [Forestry Bulletin. Scientific and information journal], 2019. No. 5. Volume 23. P. 8-21. [in Russian]
14. Bunkova N.P. Perspektivnost' ispol'zovanija mozhzhevel'nika skal'nogo v ozelenenii goroda Ekaterinburga [Prospects for the use of rocky juniper in landscaping the city of Yekaterinburg] / N.P. Bunkova, S.V. Zalesov, E.P. Platonov, M.V. Solovyov // *Uspehi sovremennogo estestvoznaniya* [Successes of modern natural science], 2020. No. 7. P. 7-12. [in Russian]
15. Khairtdinov A.F. Vvedenie v lesovodstvo [Introduction to forestry] / A.F. Khairtdinov, S.V. Zalesov. - Yekaterinburg: Ural. state forestry engineering. un-t, 2011.202 p. [in Russian]
16. Zalesov S.V. Sostojanie i perspektivy landshaftnykh rubok v rekreacionnykh lesah [State and prospects of landscape felling in re-creation forests] / S.V. Zalesov, R.A. Gazizov, A.F. Khairtdinov // *Izvestija Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [News of the Orenburg State Agrarian University], 2016. No. 2 (58). P. 45-47. [in Russian]
17. Atkina L.I. Topol' serebristyj piramidal'nyj selekcii N.A. Konovalova [Poplar silver pyramidal selection by N.A. Konovalova] / L.I. Atkina, T.V. Korlykhanov, M.S. Korlykhanov. - Yekaterinburg: Ural. state forestry engineering. un-t, 2009.100 p. [in Russian]
18. Zalesov S.V. Landshaftnye rubki v lesoparkah. [Landscape felling in forest parks] / S.V. Zalesov, A.F. Khairtdinov. - Yekaterinburg: Ural. state forestry engineering. un-t, 2011.176 p. [in Russian]
19. Kachestvo zhizni: vchera, segodnja, zavtra. Aktual'nye problemy vstuplenija Rossii v VTO [Quality of life: yesterday, today, tomorrow. Actual problems of Russia's accession to the WTO] / G.V. Astratova, A.V. Mekhrentsev, L.I. Ponomarev and others. Under the general scientific editorship of G.V. Astratova. Yekaterinburg: 2012. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.101.11.015>ДОЛЯ ХВОЙНОГО ПОДРОСТА НА ВЫРУБКАХ
ПРИ ОСТАВЛЕНИИ ПЕРЕСТОЙНЫХ ДЕРЕВЬЕВ ОСИНЫ

Научная статья

Мельникова К.В.¹, Магасумова А.Г.², Попов А.С.³, Башегуров К.А.⁴² ORCID: 0000-0002-1727-2008;³ ORCID: 0000-0002-3060-9461;⁴ ORCID: 0000-0002-9050-8902;^{1, 2, 3, 4} Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

* Корреспондирующий автор (Zalesovsv[at]m.usfeu.ru)

Аннотация

На основе материалов пробных площадей проанализированы количественные показатели хвойного и мягколиственного подроста на вырубках разной давности. Установлена зависимость состава и густоты подроста от давности рубки и относительной полноты, оставляемых на вырубке низкотоварных перестойных деревьев осины.

Отмечается, что при наличии на вырубке после завершения лесосечных работ, близкого количества сохраненного подроста предварительной генерации наблюдается уже в первые годы накопление как мягколиственного, так и хвойного подроста последующей генерации. При этом количество жизнеспособного подроста ели и пихты вначале сокращается, а затем начинает постепенно увеличиваться. При этом лучшими показателями характеризуется подрост на участках, где полнота оставленной на вырубке части древостоя составляет 0,4-0,5. Оставление единичных деревьев осины (относительная полнота 0-0,1) приводит к накоплению вегетативного возобновления осины. При относительной полноте оставленных на вырубке деревьев осины 0,2-0,3 накапливается подрост ели и пихты, однако для доминирования их в составе формирующихся молодняков требуется проведение рубок ухода.

Таким образом, в ходе исследований экспериментально доказано, что в условиях Пермского края для защиты подроста хвойных пород предварительной генерации и минимизации количества корневых отпрысков целесообразно оставление перестойных низкотоварных деревьев осины.

Ключевые слова: Пермский край, сплошнолесосечные рубки, осина (*Populus tremula* L.), корневые отпрыски, подрост предварительной генерации, ельники.

PERCENTAGE OF CONIFEROUS UNDERGROWTH ON FELLING SITES
WITH INTACT OVERMATURE ASPEN TREES

Research article

Melnikova K.V.¹, Magasumova A.G.², Popov A.S.³, Bashegurov K.A.⁴² ORCID: 0000-0002-1727-2008;³ ORCID: 0000-0002-3060-9461;⁴ ORCID: 0000-0002-9050-8902;^{1, 2, 3, 4} Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

* Corresponding author (Zalesovsv[at]m.usfeu.ru)

Abstract

The article analyzes quantitative indicators of coniferous and soft-leaved undergrowth on felling sites of different ages on the basis of materials from the sampling areas. The research establishes the dependence of the composition and density of undergrowth on the age of felling and the relative completeness of low-quality overmature aspen trees left on felling sites.

It is noted that if there is a close amount of preserved pre-generation undergrowth in the felling area after the completion of logging operations, the accumulation of both soft-leaved and coniferous undergrowth of subsequent generation is observed in the first years. At the same time, the number of viable spruce and fir undergrowth initially decreases, and then begins to gradually increase. At the same time, the best indicators are characterized by undergrowth in areas where the completeness of the part of the stand left on felling sites is 0.4-0.5. The abandonment of individual aspen trees (relative density 0-0,1) leads to the accumulation of vegetative renewal of aspen. When the relative density of aspen trees left in the felling area is 0.2-0.3, the undergrowth of spruce and fir accumulates, but for their dominance in the composition of the emerging young growth, improvement cutting is required.

In the course of the research, it was experimentally proved that in Perm Krai, to protect the undergrowth of coniferous species of pre-generation and minimize the number of root offspring, it is advisable to leave overmature low-quality aspen trees.

Keywords: Perm Krai, clear cutting, aspen (*Populus tremula* L.), root offspring, pre-generation undergrowth, spruce forests.

Повышение продуктивности лесов возможно, прежде всего, за счет совершенствования рубок спелых и перестойных насаждений [1], [2]. Именно благодаря правильно выбранному виду рубок можно обеспечить замену спелых и перестойных древостоев на высокопроизводительные хозяйственно-ценные молодняки. Известно [3], [4], [5], что указанную задачу проще всего решить проведением выборочных рубок спелых и перестойных насаждений или рубок обновления и переформирования [6], [7]. Однако переход на выборочные рубки в эксплуатационных лесах в настоящее время проблематичен в связи с устоявшимися тенденциями. Известно, что в Российской Федерации в последние десятилетия в порядке сплошнолесосечных рубок заготавливается до 95% древесины. Отказ от сплошнолесосечных рубок и переход на выборочные потребует переподготовки рабочих, занятых на заготовке древесины, и изменения технологии проведения лесосечных работ. Последнее обуславливает необходимость усовершенствования сплошных рубок спелых и перестойных насаждений с целью недопущения на вырубках нежелательной смены пород [8], [9].

Совершенствование сплошнолесосечных рубок заключается, прежде всего, в уменьшении ширины лесосек и сохранении объектов биологического разнообразия [10], [11]. Уменьшение ширины лесосеки обеспечивает налет семян хвойных пород на вырубку от стен леса, а сохранение объектов биологического разнообразия создает условия для сохранения подроста хвойных пород предварительной генерации.

Выполненные ранее исследования [12], [13] показали, что в таежной зоне большинство спелых и перестойных насаждений обеспечено хвойным подростом предварительной генерации. Однако накоплению хвойного подроста на вырубках препятствует вегетативное возобновление мягколиственных пород, особенно корнеотпрысковой осины. В целях минимизации количества корневых отпрысков предложено оставление на лесосеках сплошной рубки перестойных низкотоварных деревьев осины [14]. Указанное мероприятие не только обеспечивает сокращение количества корневых отпрысков, но и защиту хвойного подроста предварительной генерации от негативных экологических факторов, формирующихся на вырубке после удаления материнского древостоя.

Цель, методика и объекты исследования

Целью наших исследований являлось установление влияния относительной полноты, оставляемых на вырубке деревьев осины, на количественные показатели хвойного и мягколиственного подроста в первые 5 лет после рубки.

Исследования проводились на вырубках различной давности. Вырубки сформировались после сплошнолесосечных рубок в условиях ельника папоротникового. Спелые и перестойные насаждения указанного типа леса произрастали в Западно-Уральском таежном лесном районе Пермского края.

В основу исследований положен метод пробных площадей (ПП), на каждый из которых закладывалось по 25 учетных площадок размером 2×2 м [15], [16]. В соответствии с действующим нормативным документом [17] весь подрост на учетных площадках распределялся на крупный - выше 1,5 м., средний - 0,5 -1,5 м. и мелкий до 0,5 м, а в пределах каждой из групп на жизнеспособный, нежизнеспособный и сомнительный подрост по каждой группе делился пополам. Половина относилась к жизнеспособному, вторая - к нежизнеспособному подросту. Затем устанавливалось количество подроста в пересчете на крупный с использованием коэффициентов 0,5 - для мелкого, 0,8 - для среднего и 1,0 - для крупного жизнеспособного подроста.

Итоговые данные устанавливались отдельно для жизнеспособного хвойного и мягколиственного подроста.

При подборе рубок, прежде всего, учитывался тип леса и относительная полнота, оставляемой после рубки части древостоя. Последняя была представлена низкотоварными перестойными деревьями осины и варьировалась от 0 до 0,5.

Результаты исследований и их обсуждение

Материалы исследований показали, что насаждения ельника папоротникового входят в группу типов леса ельники травяно-папоротниковые. В спелом возрасте они представлены, как правило, еловыми древостоями с незначительной примесью перестойной низкотоварной осины.

Сохранение подроста предварительной генерации в процессе проведения лесосечных работ обеспечивает наличие на вырубке сразу после рубки 1,4-1,8 тыс. шт/га жизнеспособного хвойного подроста в пересчете на крупный и 0,6-0,8 тыс. шт/га подроста мягколиственных пород в пересчете на крупный. Указанного количества жизнеспособного хвойного подроста после сплошнолесосечной рубки достаточно для планирования естественного способа лесовосстановления путем ухода за подростом [17].

Количество жизнеспособного подроста сразу после проведения сплошнолесосечной рубки практически не зависит от относительной полноты оставленных на вырубке деревьев осины. Последнее легко объяснимо тем, что в процессе заготовки древесины применялись технологии лесосечных работ, направленные на максимальное сохранение подроста.

С увеличением давности рубки количество хвойного и лиственного подроста, а также их соотношение меняются. Материалы таблицы наглядно свидетельствуют, что при относительной полноте, оставленных на вырубке деревьев осины, 0-0,1 количество подроста хвойных пород снижается все 5 лет после рубки, а для количества мягколиственного подроста характерна обратная закономерность.

Таблица 1 – Количество хвойного и мягколиственного подроста в пересчете на крупный при различной относительной полноте, оставляемых на вырубке деревьев осины, шт/га

Давность рубки, лет	Густота подроста в пересчете на крупный при относительной полноте, оставленных на вырубке деревьев		
	0 - 0,1	0,2 - 0,3	0,4 - 0,5
0	1750	1700	1350
	550	750	625
1	1550	1725	1550
	1750	1050	650
2	1125	1850	1850
	1950	1450	550
3	975	2075	2050
	2550	1750	575
4	850	1925	2075
	3150	1750	575
5	775	1875	2150
	3350	1925	600

При оставлении на вырубке перестойных деревьев осины с относительной полнотой 0,2-0,3 количество хвойного подроста в пересчете на крупный за первые 5 лет практически не меняется. При этом густота мягколиственного подроста увеличивается в 2,6 раза. Другими словами, для предотвращения нежелательной смены коренных еловых насаждений на производные мягколиственные при относительной полноте оставленных на вырубке деревьев осины 0,2-0,3 необходимо проведение рубок ухода в молодняках. При относительной полноте оставляемых деревьев до 0,1 рубками ухода невозможно сформировать еловые насаждения. При проведении рубок ухода в молодняках можно обеспечить формирование смешанных хвойно-лиственных насаждений, а при отсутствии уходов на вырубке формируются мягколиственные молодняки с незначительной долей хвойных пород. Другими словами, происходит смена коренных ельников на производные осинники.

Совершенно другая картина наблюдается при оставлении на вырубке деревьев осины с относительной полнотой 0,4-0,6. Здесь прослеживается четкое увеличение количества хвойного подроста при стабильности густоты мягколиственного подроста. Данные о количестве подроста спустя 5 лет после рубки наглядно свидетельствуют о формировании ельников даже при отсутствии рубок ухода.

Более наглядно представление об изменении густоты хвойного подроста позволяют получить графики, приведенные на рисунке.

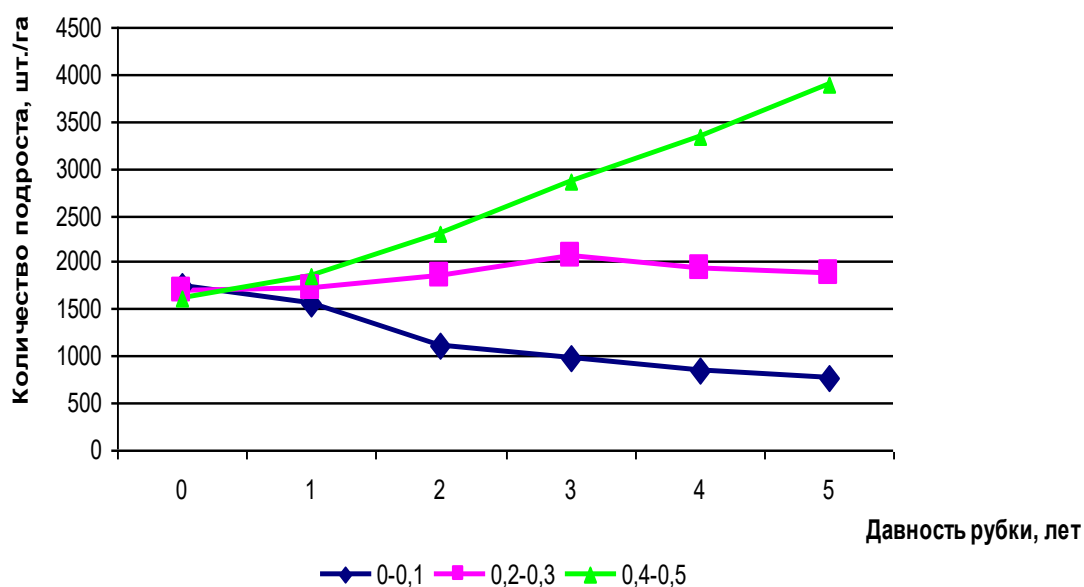


Рис. 1 – Динамика изменения густоты жизнеспособного хвойного подроста на вырубках ельника папоротникового при различной относительной полноте, оставленных низкотоварных перестойных деревьев осины

Материалы рисунка свидетельствуют, что количество жизнеспособного хвойного подроста в пересчете на крупный в первые 5 лет после проведения сплошнолесосечной рубки сокращается согласно следующему уравнению:

$$N = 32,589t^2 - 431,7t + 2187,5 \text{ шт./га} (R^2 = 0,98)$$

где N - густота подроста хвойных пород в пересчете на крупный, шт./га;

t - давность рубки, лет.

Изменение густоты жизнеспособного хвойного подроста в пересчете на крупный при относительной полноте оставленных на вырубке деревьев осины 0,2-0,3 описывается уравнением:

$$N = -26,339t^2 + 232,95t + 1442,5 \text{ шт./га} (R^2 = 0,71)$$

При оставлении на вырубке деревьев осины и березы с относительной полнотой 0,4-0,5 густота жизнеспособного хвойного подроста в пересчете на крупный изменяется в первые 5 лет после рубки в соответствии со следующим уравнением:

$$N = 33,036t^2 + 235,89t + 1315 \text{ шт./га} (R^2 = 0,99)$$

В целом можно отметить, что достоверная отрицательная корреляция зафиксирована между густотой жизнеспособного хвойного подроста в пересчете на крупный и давностью рубки на участках, где материнский древостой и сопутствующие лиственные породы вырублены практически полностью ($R_{sp} = -0,80$; $p < 0,05$). Между аналогичными рядами, построенными для участков рубок с относительной полнотой, оставленных деревьев 0,4-0,5, была установлена прямая достоверная зависимость ($R_{sp} = 0,88$; $p < 0,05$). В то же время аналогичные исследования, выполненные на вырубках с полнотой оставленной части древостоя 0,2-0,3, не позволили установить четкой зависимости между густотой подроста и давностью рубки ($R_{sp} = 0,29$; $p > 0,1$).

Положительно оценивая влияние на густоту хвойного подроста, оставления на вырубке части мягколиственного древостоя с относительной полнотой 0,4-0,5 можно отметить, что данный вариант рубок может быть оправдан лишь при условии последующего проведения второго приема рубки. Другими словами, здесь речь идет не о сплошной, а о двухприемной равномерно-постепенной рубке. После того как подрост ели и пихты предварительной генерации адаптируется к изменению экологической обстановки после первого приема рубки и поменяет теневую хвою на световую, следует провести удаление деревьев мягколиственных пород. Накопленный крупный подрост ели и пихты после завершающего приема рубки будет сдерживать рост вегетативного возобновления и предотвратит тем самым смену пород.

Выводы

1. В условиях ельника папоротникового Западно-Уральского таежного лесного района Пермского края при проведении сплошнолесосечной рубки можно предотвратить смену коренных еловых насаждений на производные мягколиственные.

2. При заготовке древесины сплошнолесосечными рубками необходимо оставлять на вырубке перестойные низкотоварные деревья мягколиственных пород.

3. При относительной полноте, оставляемой на вырубке части древостоя, 0,2-0,3 доминирование ели и пихты в формирующихся молодняках можно обеспечить рубками ухода за составом.

4. При относительной полноте, оставляемой на вырубке части мягколиственного древостоя, 0,4-0,5 рубку следует рассматривать как двухприемную равномерно-постепенную, проводя второй прием после адаптации хвойного подроста предварительной генерации к изменившимся после первого приема рубки экологическим условиям.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы/ References

1. Залесов С.В. Повышение продуктивности сосновых лесов Урала / С.В. Залесов, Н.А. Луганский. - Екатеринбург: Урал.гос. лесотехн. ун-т, 2002. 331 с.
2. Азаренок В.А. Экологизированные рубки леса / В.А. Азаренок, С.В. Залесов. - Екатеринбург: Урал.гос. лесотехн. ун-т, 2015. 97 с.
3. Залесов С.В. Лесоводство / С.В. Залесов. - Екатеринбург: Урал.гос. лесотехн. ун-т, 2020. 295 с.
4. Казанцев С.Г. Оптимизация лесопользования в производных березняках Среднего Урала / С.Г. Казанцев, С.В. Залесов, А.С. Залесов. - Екатеринбург: Урал.гос. лесотехн. ун-т, 2006. 156 с.
5. Герц Э.Ф. Повышение лесоводственной эффективности несплошных рубок путем оптимизации валки назначенных в рубку деревьев / Э.Ф. Герц, С.В. Залесов // Лесное хозяйство, 2003. № 5. С. 18-20.
6. Залесов С.В. Состояние лесных насаждений, подверженных влиянию промышленных поллютантов ЗАО «Карабашмедь» и реакция их компонентов на проведение рубок обновления / С.В. Залесов, А.В. Бачурина, С.В. Бачурина. - Екатеринбург: Урал.гос. лесотехн. ун-т, 2017.
7. Опыт реформирования производных мягколиственных насаждений в коренные кедровники / Л.А. Белов, Е.С. Залесова, С.В. Залесов, Т.Ю. Карташова, Ф.Т. Тимербулатов // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова, 2019. № 3 (56). С. 87-91.
8. Залесов С.В. Парадоксы нормативных документов по вопросам ведения лесного хозяйства и лесопользования / С.В. Залесов // Актуальные проблемы лесного комплекса. Сб. науч. трудов. Вып. 53. - Брянск: БГИТУ, 2018. С. 18-21.
9. Азаренок В.А. Сортиментная заготовка древесины / В.А. Азаренок, Э.Ф. Герц, С.В. Залесов, А.В. Мехренцев. - Екатеринбург: Урал.гос. лесотехн. ун-т, 2015. 140 с.
10. Проблема сохранения биологического разнообразия и ее решение при заготовке древесины / Е.С. Залесова, С.В. Залесов, В.Н. Залесов, А.С. Оплетаев, Д.А. Шубин // Успехи современного естествознания, 2017. № 6. С. 56-60.
11. Задачи сохранения биоразнообразия при заготовке древесины и пути их решения / С.В. Залесов, Е.А. Ведерников, В.Н. Залесов, О.Н. Сандаков, А.В. Пономарева, Д.Э. Эфа // Аграрный вестник Урала, 2016. № 2 (144). С. 37-40.
12. Обеспеченность подростом спелых и перестойных темнохвойных насаждений Пермского края / Е.А. Ведерников, С.В. Залесов, Е.С. Залесова, А.Г. Магасумова, О.В. Толкач // Лесн. журн. 2019. № 3. С. 32-42 (Изв. выс. учеб. заведений) DOI: 10.17238/issn 0536-1036.2019.3.32.
13. Влияние типа леса и полноты древостоев на обеспеченность подростом спелых и перестойных сосняков подзоны северной тайги / Е.С. Залесова, Л.А. Белов, С.В. Залесов, Ф.Т. Тимербулатов, А.И. Черных // Международный научно-исследовательский журнал, 2019. № 11 (89). Ч. 2. С. 37-41.
14. Способ выборочных рубок в спелых и перестойных еловых насаждениях / С.В. Залесов, Е.С. Залесова, В.Н. Залесов. Патент на изобретение № 2631395. Зарегистрирован в Гос. реестре изобретений РФ 21.09.2017 г.
15. Данчева А.В. Экологический мониторинг лесных насаждений рекреационного назначения / А.В. Данчева, С.В. Залесов. - Екатеринбург: Урал.гос. лесотехн. ун-т, 2015. 152 с.
16. Основы фитомониторинга / Н.П. Бунькова, С.В. Залесов, Е.С. Залесова, А.Г. Магасумова, Р.А. Осипенко. - Екатеринбург: Урал.гос. лесотехн. ун-т, 2020. 90 с.
17. Правила лесовосстановления: Утв. Приказом Минприроды России от 25.03.2019 г. № 188.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Zalesov S.V. Povyshenie produktivnosti osnovnykh lesov Urala [Increasing the productivity of the pine forests of the Urals] / S.V. Zalesov, N.A. Lugansky. - Yekaterinburg: Ural state. forestry engineering. un-t, 2002. 331 p. [in Russian]
2. Azarenok V.A. Jekologizirovannyye rubki lesa [Ecologized forest felling] / V.A. Azarenok, S.V. forests. - Yekaterinburg: Ural state. forestry engineering. un-t, 2015. 97 p. [in Russian]
3. Zalesov S.V. Lesovodstvo [Forestry] / S.V. Zalesov. - Yekaterinburg: Ural.Gos. forestry engineering. un-t, 2020. 295 p.
4. Kazantsev S.G. Optimizatsiya lesopol'zovaniya v proizvodnykh bereznjakah Srednego Urala [Optimization of forest management in derivative birch forests of the Middle Urals] / S.G. Kazantsev, S.V. Zalesov, A.S. Zalesov. - Yekaterinburg: Ural state. forestry engineering. un-t, 2006. 156 p. [in Russian]
5. Hertz E.F. Povyshenie lesovodstvennoy jeffektivnosti nesploshnykh rubok putem optimizatsii valki naznachennykh v rubku derev'ev [Improving the silvicultural efficiency of non-clear felling by optimizing felling trees assigned to felling] / E.F. Hertz, S.V. Zalesov // Lesnoe hozjajstvo [Forestry], 2003. No. 5. P. 18-20. [in Russian]
6. Zalesov S.V. Sostojanie lesnykh nasazhdenij, podverzhennykh vlijaniju promyshlennykh polljutantov ZAO «Karabashmed» i reakcija ih komponentov na provedenie rubok obnovlenija [The state of forest plantations affected by industrial pollutants of CJSC "Karabashmed" and the response of their components to renewal felling] / S.V. Zalesov, A.V. Bachurin, S.V. Bachurin. - Yekaterinburg: Ural.Gos. forestry engineering. un-t, 2017. [in Russian]
7. Opyt pereformirovaniya proizvodnykh mjagkolistvennykh nasazhdenij v korennyye kedrovniki [Experience of reforming derivative soft-leaved plantations into indigenous cedar forests] / L.A. Belov, E.S. Zalesova, S.V. Zalesov, T.Yu. Kartashova, F.T. Timerbulatov // Vestnik Burjatskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii im. V.R. Filippova [Bulletin of the Buryat State Agricultural Academy. V.R. Filippova], 2019. No. 3 (56). P. 87-91. [in Russian]
8. Zalesov S.V. Paradoksy normativnykh dokumentov po voprosam vedenija lesnogo hozjajstva i lesopol'zovaniya [Paradoxes of regulatory documents on forest management and forest use] / S.V. Zalesov // Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa. Sb. nauch. trudov [Actual problems of the forestry complex. Sat. scientific. Works]. Issue 53. -- Bryansk: BGITU, 2018. P. 18-21. [in Russian]
9. Azarenok V.A. Sortimentnaja zagotovka drevesiny [Assortment wood harvesting] / V.A. Azarenok, E.F. Hertz, S.V. Zalesov, A.V. Mehrentsev. - Yekaterinburg: Ural.Gos. forestry engineering. un-t, 2015. 140 p. [in Russian]
10. Problema sohraneniya biologicheskogo raznoobrazija i ee reshenie pri zagotovke drevesiny [The problem of preserving biological diversity and its solution in timber harvesting] / Zalesova, S.V. Zalesov, V.N. Zalesov, A.S. Opletaev, D.A. Shubin // Uspehi sovremennogo estestvoznaniya [Advances in modern natural science], 2017. No. 6. P. 56-60. [in Russian]
11. Zadachi sohraneniya bioraznoobrazija pri zagotovke drevesiny i puti ih reshenija [Tasks of biodiversity conservation during wood harvesting and ways of their solution] / S.V. Zalesov, E.A. Vedernikov, V.N. Zalesov, O. N. Sandakov, A.V. Ponomareva, D.E. Efa // Agrarnyj vestnik Urala [Agrarian Bulletin of the Urals], 2016. No. 2 (144). P. 37-40. [in Russian]
12. Obespechennost' podrostom spelyh i perestojnykh temnohojnykh nasazhdenij Permskogo kraja [Provision of undergrowth of ripe and overmature dark coniferous plantations of the Perm Territory] / E.A. Vedernikov, S.V. Zalesov, E.S. Zalesova, A.G. Magasumova, O. V. Pusher // Lesn. zhurn [Forest. Journal]. 2019. No. 3. P. 32-42 (Proceedings of higher educational institutions) DOI: 10.17238 / issn 0536-1036.2019.3.32. [in Russian]
13. Vlijanie tipa lesa i polnoty drevostoev na obespechennost' podrostom spelyh i perestojnykh sosnjakov podzony severnoj tajgi [Influence of forest type and forest stand completeness on the supply of undergrowth of ripe and overmature pine forests in the northern taiga subzone] / Zalesova, L.A. Belov, S.V. Zalesov, F.T. Timerbulatov, A.I. Chermnykh // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International research journal], 2019. No. 11 (89). Part 2. P. 37-41. [in Russian]
14. Sposob vyborochnykh rubok v spelyh i perestojnykh elovykh nasazhdenijah [Method of selective felling in ripe and overmature spruce plantations] / S.V. Zalesov, E.S. Zalesova, V.N. Zalesov. Patent for invention No. 2631395. Registered in the State. the register of inventions of the Russian Federation 09.21.2017 [in Russian]
15. Dancheva A.V. Jekologicheskij monitoring lesnykh nasazhdenij rekreacionnogo naznachenija [Ecological monitoring of recreational forest plantations] / A.V. Dancheva, S.V. Zalesov. - Yekaterinburg: Ural.Gos. forestry engineering. un-t, 2015 152 p. [in Russian]
16. Osnovy fitomonitoringa [Fundamentals of phytomonitoring] / N.P. Bunkova, S.V. Zalesov, E.S. Zalesova, A.G. Magasumova, R.A. Osipenko. - Yekaterinburg: Ural.Gos. forestry engineering. un-t, 2020. 90 p. [in Russian]
17. Pravila lesovosstanovlenija: Utv. Prikazom Minprirody Rossii [Rules for reforestation: Approved. By order of the Ministry of Natural Resources of Russia] dated March 25, 2019 No. 188. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.101.11.016>

ХАРАКТЕРИСТИКА АГРОЭКОСИСТЕМ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРИАЗОВСКОЙ ЗОНЫ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Научная статья

Косенко Т.Г.*

ORCID: 0000-0003-3978-3025,

Донской государственный аграрный университет, Персиановский, Россия

* Корреспондирующий автор (markos59[at]yandex.ru)

Аннотация

В статье определена необходимость изучения природосберегающих свойств основных агроэкосистем с целью устойчивого получения продукции, уточнения количественных характеристик оценки экологического состояния.

Рассмотрены особенности использования агроэкосистем сельскохозяйственных предприятий Октябрьского района Ростовской области. Обстановка в агроландшафте соответствует удовлетворительной экологической ситуации.

Уровень естественности агроэкосистем ООО «Донская Нива», ООО «Заря Дона», СПК имени Кирова равен 9,31-18,76%, что свидетельствует о кризисной экологической ситуации.

Определение доли травянистой растительности выявило оптимальное соотношение для степной зоны. В ООО «Донская Нива» оно соответствует 14,19%, в ООО «Заря Дона» - 12,49%, СПК имени Кирова - 18,54%.

Определена устойчивость агроэкосистем. Антропогенная нагрузка ООО «Донская Нива», ООО «Заря Дона», СПК имени Кирова составляет 4 балла, что обозначает значительную степень нагрузки.

Наибольшее внимание уделено почвам, находящимся в длительном агропопечном использовании. Объяснена актуальная необходимость изучения свойств и процессов в агроэкосистемах, анализа современного экологического состояния и прогноза их изменений с учётом особенностей климатических условий.

Ключевые слова: сельскохозяйственное производство, продуктивность, агроэкосистема, землепользование, факторы, эффективность.

CHARACTERISTICS OF THE AGROECOSYSTEMS OF THE PRIAZOV ZONE ENTERPRISES IN ROSTOV OBLAST

Research article

Kosenko T.G.*

ORCID: 0000-0003-3978-3025,

Don State Agrarian University, Persianovsky, Russia

* Corresponding author (markos59[at]yandex.ru)

Abstract

The article defines the necessity of studying the eco-efficient properties of the major agroecosystems in order to sustainably obtain the produce and to clarify the quantitative characteristics of the ecological assessment of the agrophytocenosis, agroecosystem and cultivated land.

The article examines the usage characteristics of agroecosystems of agricultural enterprises of the Oktyabrsky District in Rostov Oblast.

The paper defines the stability of agroecosystems, assesses the ecological situation, and evaluates the cultivated land according to the degree of anthropogenic load.

The major point of interest is the soils in long-term agricultural use. The article explains the immediate necessity of studying the properties and processes within agroecosystems, analyzing the current ecological state, and predicting their changes, taking into account the specifics of climatic conditions.

Keywords: agricultural production, productivity, agroecosystem, land management, factors, efficiency.

Введение

Сельскохозяйственное производство основано на использовании природных условий и природных ресурсов. Они являются главными объектами природопользования. Изменение технологий может вызывать современные экологические проблемы.

Сельскохозяйственные угодья под воздействием антропогенного и техногенного факторов приобретают отрицательные и негативные свойства. Земельные и почвенные ресурсы определяют размещение сельскохозяйственного производства.

Восстановление гумусового состояния почв необходимо признать первостепенной задачей земледелия, так как оно является основой расширенного воспроизводства почвенного плодородия. Необходима полная утилизация и включение в биологический круговорот всех растительных остатков.

Состояние природных ресурсов определяется антропогенным фактором [1]. При рациональном природопользовании воздействие производственной деятельностью людей, регулируется доведением его до уровня, безопасного для окружающей среды [2]. Главной целью экологизации производства является сохранение и рациональное использование природных ресурсов [3].

Для аграрного производства, в большой мере зависящего от колеблющихся естественных и антропогенных условий, актуальна задача обеспечения его стабильности [4]. В процессе использования природных ресурсов постоянно наблюдается угроза их деградации, разбалансированности агросистем [5]. При интенсивном использовании земельных и других ресурсов важны не только стабильность, но и создание условий для расширенного воспроизводства природного потенциала ресурсов [6]. При формировании рационализации производства важна оценка его устойчивости

[7]. Под устойчивостью природопользования понимается способность сохранять в условиях антропогенных воздействий структуру и свойства природных ресурсов [8]. Устойчивость производства обеспечиваются ростом продуктивности и сохранностью естественного плодородия почв при активном ведении земледелия и поддерживается способность экосистемы противостоять факторам среды.

Объекты и методы исследований

Рассмотрены особенности использования агроэкосистем товаропроизводителей Октябрьского района на примере ООО «Заря Дона», ООО «Донская Нива», СПК имени Кирова.

Разработка системы диагностики в среде антропогенного воздействия основана на использовании коэффициентов уровня естественности агроэкосистем и элементов агроландшафта [9].

Агроэкологическая и почвенно-экологическая оценка природопользования позволяет обосновать предложения производству. Обследование территории сельскохозяйственных предприятий обеспечивало проведение объемного изучения естественной, культурной растительности и почв.

Результаты исследования

Октябрьский район относится к Приазовской зоне и по почвенно-климатическим условиям обеспечивает удовлетворительные условия для ведения растениеводства.

Агроэкосистемы являются природными комплексами, преобразованными человеком для выращивания культурных растений [10].

ООО «Заря Дона», ООО «Донская Нива», СПК имени Кирова имеют производственное направление зерновое. Предприятия также занимаются производством кормов, переработкой продукции растениеводства.

Экспликация земель предприятий представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Структура земель ООО «Донская Нива», ООО «Заря Дона», СПК имени Кирова Октябрьского района

Виды земель	ООО «Донская Нива»		ООО «Заря Дона»		СПК имени Кирова	
	площадь, га	структура, %	площадь, га	структура, %	площадь, га	структура, %
Общая площадь	3750	100	6473	100	25325	100
Сельхозугодия	3599	95,97	5996	92,63	23521	92,87
Пашня	3200	85,33	5187	80,13	19159	75,65
Пастбища	100	2,66	809	12,49	3952	15,60
Сенокосы	49	1,30	-	-	410	1,61
Многолетние насаждения	50	1,33	-	-	-	-
Лесные полосы	200	5,33	300	4,63	389	1,53
Прочие земли	91	2,24	140	2,16	1146	4,25

В структуре землепользования предприятий доля сельскохозяйственных угодий 92,63-95,97%. Наименьший удельный вес занимают лесные плантации, что соответствует проблемам облесенности угодий. Данные об изменении площадей с учетом уровня естественности территорий представлены в таблице 2 и 3.

Таблица 2 – Расчёт коэффициента уровня естественности ландшафта

Элемент	Коэффициент уровня естественности	Площадь, га			Площадь с учётом коэффициента, га		
		ООО «Донская Нива»	ООО «Заря Дона»	СПК им. Кирова	ООО «Донская Нива»	ООО «Заря Дона»	СПК им. Кирова
Под водой	0,8	10	38	18	8,0	11,5	14,4
Сенокосы	0,75	49	-	410	36,7	-	307,5
Пастбища	0,55	100	809	3952	55	444,9	2173,6
Лесные полосы	0,9	200	300	389	180	270	350,0
Многолетние насаждения	0,6	50	-	-	30	-	-
Пашня	0,25	3200	5187	19159	800	1296,7	4789,7
Σ		3750	6473	25325	1109,7	2012,4	7635,2

Анализируя проведенное сравнение экосистем, следует отметить, что природные экосистемы создают условия поддержания структурных отношений компонентов системы, обеспечивают оптимальный водный режим, богатый растительный покров, хорошую аэрацию почвы, равномерность жизнедеятельности организмов. Это разнообразит состав популяции и биологическую активность организмов во времени.

Таблица 3 – Расчёт коэффициента уровня естественности пашни

Виды сельскохозяйственных культур	% от пашни			Коэффициент отдельных культур	По предприятиям		
	ООО «Донская Нива»	ООО «Заря Дона»	СПК им. Кирова		ООО «Донская Нива»	ООО «Заря Дона»	СПК им. Кирова
Озимая пшеница	40	33	26	0,4	16	13,25	10,4
Ячмень яровой	10	10	10	0,25	2,5	2,5	2,5
Кукуруза на зерно	10	9	15	0,35	3,5	3,15	5,25
Подсолнечник	10	16	14	0,35	1,4	5,6	4,9
Зернобобовые	10	20	18	0,3	3	6	5,4
Многолетние травы	5	5	12	0,6	3	3	7,2

В процессе создания агроэкосистем человек берёт на себя часть экологических функций [11]. Использование экологических коэффициентов позволяет определить структуру агроландшафта.

Управление процессами землепользования невозможно без оценки его устойчивости. Необходима Характеристика направленности процессов, проявляющихся в условиях сельскохозяйственного производства, позволяет определить меры его экологической стабилизации.

Заключение

Природосберегающие функции агроэкосистем определяются, прежде всего, внутренним состоянием их структуры и свойств и данными о почвенно-климатических условиях, рельефе, антропогенном воздействии.

Производство продукции растениеводства предприятиями Октябрьского района Ростовской области ведется преимущественно на пашне с долей 75,65-85,33%.

Расчётный критерий оценки экологической ситуации по распаханности в ООО «Донская Нива», ООО «Заря Дона», СПК имени Кирова соответствует 75,65-85,33%, что свидетельствует о катастрофической обстановке в агроландшафте.

Экологическая ситуация предприятий определялась по уровню естественности агроэкосистем. Она соответствует 9,31-18,76%, что свидетельствует о кризисной экологической ситуации.

Оценка доли травянистой растительности в ООО «Донская Нива», ООО «Заря Дона», СПК имени Кирова выявила оптимальное соотношение для степной зоны от 12,29 % до 18,54%.

Только незначительная и низшая степень антропогенной нагрузки считаются экологически безопасными. Средняя антропогенная нагрузка вызывает изменения агроландшафте, которые компенсируются и не приводят к необратимым последствиям.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Экологическое земледелие с основами почвоведения и агрохимии : учебник / Н. С. Матюк [и др.]. - 2-е изд., испр. – Санкт-Петербург : Лань , 2014. - 224 с.
2. Сурикова Т.Б. Экологический мониторинг : учебник / Т.Б. Сурикова. - 2-е изд., перераб. и доп. - Старый Оскол : ТНТ, 2014. - 344 с.
3. Экологический вестник Дона «О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области в 2018 году» // под ред. М.В. Фишкина – Министерство природных ресурсов и экологии Ростовской области, 2019. -378с.
4. Горелов С.В. Основы научных исследований : учебное пособие / С.В. Горелов, В.П. Горелов, Е.А. Григорьев ; под ред. В.П. Горелова. – 2-е изд., стер. – Москва ; Берлин : ДиректМедиа, 2016. – 534 с.
5. Иванов А.В. Потенциал и перспективы производства экологически чистой продукции сельского хозяйства в трансграничных регионах Алтая и Монголии / А.В. Иванов, В.А. Кундиус // Вестник Алтайского ГАУ. – 2014. - №11.- С.152-154.
6. Новиков В.К. Методология и методы научного исследования : курс лекций / В. К. Новиков. - М. : Алтайр МГАВТ, 2015. - 211 с.
7. Организация научно-исследовательской работы магистрантов: практикум / авт.-сост. О.В. Соловьева, Н.М. Борозинцев ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Северо-Кавказский федеральный университет». - Ставрополь : СКФУ, 2016. - 144 с.
8. Комлацкий В.И. Планирование и организация научных исследований : учебное пособие / В.И. Комлацкий, С.В. Логинов, Г.В. Комлацкий. - Ростов-на-Дону : Издательство «Феникс», 2014. - 208 с.
9. Тихонова Е.Н. Экология почв : учебное пособие / Е. Н. Тихонова. - Воронеж : Воронежский Лесотехнический университет, 2015. - 90 с.
10. Гривко Е. Экология: актуальные направления : учебное пособие / Е. Гривко, М. Глуховская. - Оренбург : ОГУ , 2014. - 394 с.
11. Косенко Т.Г. Элементы экологически безопасного производства сельскохозяйственной продукции / Т.Г. Косенко // В сборнике: Инновационные технологии в АПК: теория и практика Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции. 2018. с. 97-100.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Jekologicheskoe zemledelie s osnovami pochvovedenija i agrohimii [Ecological agriculture with the basics of soil science and Agrochemistry] : textbook / N. S. Matyuk [et al.]. - 2nd ed., ISPR – Saint Petersburg: LAN, 2014. - 224 p. [in Russian]
2. Surikova T. B. Jekologicheskij monitoring [Environmental monitoring] : textbook / T. B. Surikova. - 2nd ed., reprint. and add. - Stary Oskol: TNT, 2014. - 344 p. [in Russian]
3. Jekologicheskij vestnik Dona «O sostojanii okruzhajushhej sredy i prirodnyh resursov Rostovskoj oblasti v 2018 godu» [Ecological Bulletin of the don "On the state of the environment and natural resources of the Rostov region in 2018"] / edited By M. V. Fishkin-Ministry of natural resources and ecology of the Rostov region, 2019.-378 p. [in Russian]
4. Gorelov S. V. Osnovy nauchnyh issledovanij [Fundamentals of scientific research] : textbook / S. V. Gorelov, V. P. Gorelov, E. A. Grigoriev; edited By V. P. Gorelov. - 2nd ed., ster. - Moscow; Berlin: DirectMedia, 2016. - 534 p. [in Russian]
5. Ivanov A.V. Potencial i perspektivy proizvodstva jekologicheski chistoj produkcii sel'skogo hozjajstva v transgranichnyh regionah Altaja i Mongolii [Potential and prospects for the production of environmentally friendly agricultural products in the TRANS-border regions of Altai and Mongolia] / A.V. Ivanov, V.A. Kundius // Vestnik Altajskogo GAU [Vestnik Altaiskogo GAU]. - 2014. - №11. - P. 152-154. [in Russian]
6. Novikov V. K. Metodologija i metody nauchnogo issledovanija [Methodology and methods of scientific research] : course of lectures / V. K. Novikov. - Moscow: Altair MGAVT, 2015. - 211 p. [in Russian]
7. Organizacija nauchno-issledovatel'skoj raboty magistrantov: praktikum [Organization of research work of undergraduates: workshop] / author-comp. O. V. Solovyova, N. M. Borozinets; Ministry of education and science of the Russian Federation, Federal state Autonomous educational institution of higher professional education "North Caucasus Federal University". - Stavropol : North Caucasus Federal University, 2016. - 144 p. [in Russian]
8. Komlatsky V. I. Planirovanie i organizacija nauchnyh issledovanij [Planning and organization of scientific research] : textbook / V. I. Komlatsky, S. V. Loginov, G. V. Komlatsky. - Rostov-on-don: Phoenix publishing House, 2014. - 208 p.
9. Tikhonova E. N. Jekologija pochv [Soil Ecology] : textbook / E. N. Tikhonova. - Voronezh: Voronezh state University of Forestry technology, 2015. - 90 p. [in Russian]
10. Grivko E. Jekologija: aktual'nye napravlenija [Ecology: current directions]: textbook / E. Grivko, M. Glukhovskaya. - Orenburg: OSU, 2014. - 394 p. [in Russian]
11. Kosenko T. G. Jelementy jekologicheski bezopasnogo proizvodstva sel'skohozjajstvennoj produkcii [Elements of environmentally safe agricultural production] / T. G. Kosenko // V sbornike: Innovacionnye tehnologii v APK: teorija i praktika Materialy VI Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii [In the collection: Innovative technologies in agriculture: theory and practice Materials of the VI all-Russian scientific and practical conference]. 2018. P. 97-100. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.101.11.017>

АНАЛИЗ ПРОДУКТИВНОСТИ АВТОХТОННЫХ СОРТОВ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ВИНОГРАДНИКАХ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Научная статья

Майбородин С.В.*

ORCID: 0000-0003-3654-0132,

Донской государственный аграрный университет, п. Персиановский, Россия

* Корреспондирующий автор (maiborodin87[at]mail.ru)

Аннотация

Продуктивность виноградных насаждений является главным фактором получения прибыли в процессе возделывания различных сортов винограда. Одной из причин снижения продуктивности автохтонных сортов винограда на укрывных виноградниках Ростовской области, является гибель привойной части растений, а также повреждения органов надземной части кустов при укрытии и открытии виноградников. Научными исследованиями и практической составляющей доказано, что необходимо проведение исследований и анализ полученных результатов по снижению продуктивности виноградных насаждений. В статье приводится информация о первостепенных факторах, влияющих на закладку и формирование генеративных органов, а также на рост и развитие виноградных кустов.

Ключевые слова: виноград, привой, куст, автохтонный сорт, продуктивность.

ANALYSIS OF THE PRODUCTIVITY OF AUTOCHTHONOUS GRAPE VARIETIES IN COMMERCIAL VINEYARDS IN ROSTOV OBLAST

Research article

Mayborodin S.V.*

ORCID: 0000-0003-3654-0132,

Don State Agrarian University, p. Persianovsky, Russia

* Corresponding author (maiborodin87[at]mail.ru)

Abstract

The productivity of grapevine plantations is the main factor in making a profit in the process of cultivation of grape varieties. One of the reasons for the decrease in productivity of autochthonous grape varieties in the winter-protected vineyards of Rostov Oblast is the death of the scion part of plants as well as the damage to the aboveground part of grapevines when covering and unearthing the vineyards. The research proves that it is necessary to study and analyze the obtained results on the reducing productivity of grape plantations. The article provides information about the primary factors that affect the formation of reproductive organs as well as the growth and development of grapevines.

Keywords: grape, scion, grapevine, autochthonous variety, productivity.

Введение

В Ростовской области выращивается огромное множество различных сортов винограда, среди которых ценные столовые, винные и универсальные сорта. Климат позволяет возделывать различные сорта винограда, получая при этом высокие урожаи хорошего качества. При этом значительное внимание среди виноградарей и хозяйств отводится автохтонным сортам.

Автохтонный сорт — это региональный или местный сорт винограда, то есть он появился в строго определенной географической зоне и выращивают его только там. Автохтонные сорта еще называют аборигенными. Считается, что именно такие сорта лучше всего передают вину терруар - совокупность особенностей местности, почвы и климата, где виноград вырос.

Среди сортов, возделываемых в настоящее время на промышленных виноградниках Ростовской области, особое место занимают автохтонные сорта, снискавшие мировую славу в результате производства из их ягод высококачественных красных и белых вин [1].

Но, как свидетельствуют статистические данные, площади, занятые этими ценными сортами на донских виноградниках, в последние годы значительно сократились [2].

Гордостью донских виноградарей издавна считаются красные и игристые вина, главным материалом для производства которых являются сорта винограда Цимлянский черный в сочетании с Плечистиком. Одной из основных причин такого положения, по мнению ученых виноградарей, является невысокая урожайность промышленных насаждений автохтонных сортов винограда, приводящая к снижению эффективности их возделывания [3].

В связи с этим целью наших исследований являлось установление факторов, которые прямым образом влияют как на закладку, так и на формирование генеративных органов кустов, а также способствующих росту и развитию виноградных кустов. Новизна работы заключается в применении полученных знаний при разработке новых, более эффективных приемов и методов возделывания автохтонных сортов винограда.

Методика исследований

Исследования проводились на протяжении трех лет (в период с 2018-2020 гг.) на промышленных виноградниках Нижнего Придонья на винограде донского сорта Цимлянский чёрный методом экспедиционных обследований. При этом нами было проведено определение изреженности существующих виноградников, степень роста и развития виноградных кустов, плодоношение и продуктивность растений. Агробиологические учеты и наблюдения по общепринятой методике агротехнических исследований (Новочеркасск, 1978) [4].

Основные результаты

Выращивание сорта винограда Цимлянский черный имеет давнюю историю. Принято считать, что появился он в России благодаря казакам, которые завезли его саженцы из Франции. Спустя некоторое время он распространился на заливных лугах реки Цимлы, благодаря чему и получил свое современное название.

Обладает способностью к хорошему росту на плодородных рыхлых землях, идеальным для его возделывания является суглинистый и супесчаный грунт. Нуждается в хорошем освещении, при этом он весьма чувствителен к холодным сквознякам.

В конкретных экологических условиях возделывания винограда продуктивность насаждений находится в тесной взаимосвязи с параметрами кустов, биологическими особенностями культивируемых сортов, а также с применяемой агротехникой.

Как показали наблюдения, проведенные на виноградниках, одной из причин низкой урожайности автохтонных сортов является потеря привоя плодоносящими кустами после зимнего периода, а также значительные повреждения надземной части растений. Ввиду того, что все аборигенные сорта винограда являются неморозоустойчивыми, для их защиты от воздействия отрицательной температуры в зимний период кусты осенью укрывают почвой.

У сорта Цимлянский черный устойчивость к морозам средняя, он страдает от бесснежных зим с резкими похолоданиями, сбрасывая при этом большое количество почек. Не редко отмечается сильное подмерзание корней, в связи с чем он требует укрытия земель в зимний период.

В процессе укрытия на привитые растения оказывается значительное физическое воздействие при пригибании привойной части куста к земле и укрытии ее валом почвы [2], [5]. Вследствие чего как у молодых кустов винограда, так и у плодоносящих, часто отмечаются поломки рукавов в зоне прививки, если срастание привоя с подвоем было неполным (рис. 1).

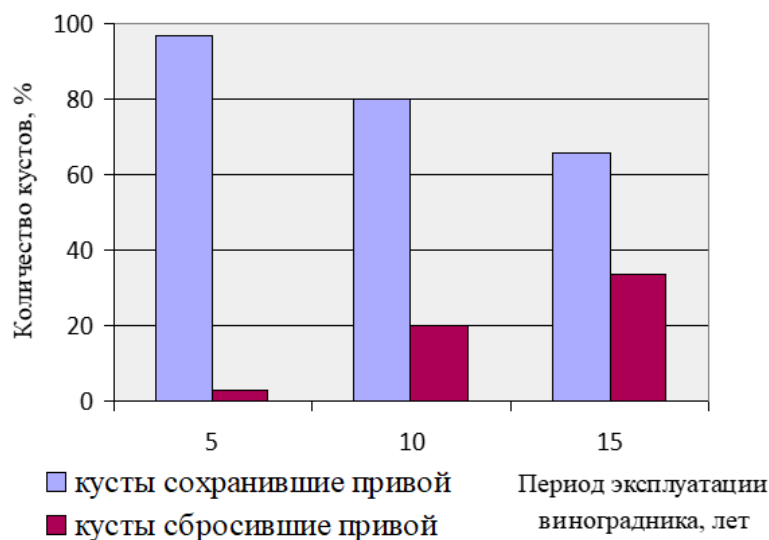


Рис. 1 - Соотношение между кустами винограда, сохранившими и потерявшими привой

Следовательно, оставшаяся подвойная часть виноградных кустов не участвует в формировании урожая. Для восстановления кустов, сбросивших привой, следует провести прививку живых подвоев вызревшими или зелеными черенками привоя. Однако, такие кусты винограда в течение нескольких лет не дают урожая, так как их приходится формировать, что негативно отражается на общих показателях продуктивности в этот период. Исследованиями установлено, что с увеличением возраста виноградников увеличивается количество кустов, потерявших привой [6], [7].

Кроме того, часто из-за некачественного выполнения работ по уходу за виноградниками отмечаются механические повреждения многолетних стеблей и однолетних лоз при укрытии и открытии виноградных кустов, что также приводит к снижению урожайности насаждений [8].

Повреждения многолетних стеблей приводит к отмиранию живых тканей флоэмы и некрозу сосудов ксилемы. В результате нарушается нормальный ток воды с растворенными в ней минеральными веществами от корней к листьям и затрудняется поступление ассимилянтов от листьев к корням. Меньшее поступление питательных веществ и воды к точкам роста, расположенным на однолетней лозе, приводит к ослаблению роста побегов и неудовлетворительному их вызреванию [9], [10].

С увеличением степени повреждения надземной части виноградных кустов на растениях активно растут и развиваются порослевые побеги из спящих почек, расположенных на многолетних частях куста. При этом питательные вещества в большем количестве направляются на их рост. Однако порослевые побеги обычно бесплодны, поскольку не несут соцветий и, следовательно, не могут в полной мере участвовать в формировании урожая текущего года, что негативно отражается на показателях плодоносности и продуктивности всего куста в целом. Об этом свидетельствуют экспериментальные данные, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Влияние степени повреждения виноградных кустов сорта Цимлянский черный на рост и урожай (2018-2020 гг.)

Состояние надземной части виноградных кустов	Развилось побегов, шт		Количество побегов на кусте, шт	Плодоносные побеги, %	Урожай с 1 куста, кг
	из глазков	из спящих почек			
Без повреждений	29	3	32	74	4,8
Повреждено от 10 до 20 % органов	25	9	34	61	4,0
Повреждено от 20 до 30 % органов	20	11	31	53	3,7
Повреждено от 30 до 40 % органов	16	17	33	44	2,6
Повреждено от 40 до 50 % органов	11	20	31	35	1,8

Анализ данных, приведенных в таблице, показывает, что виноградные кусты сорта Цимлянский черный при повреждении в зимний период от 40 до 50 % надземных органов резко сокращали урожай по сравнению с кустами, которые не имели повреждений.

Заключение

Таким образом, для повышения урожая автохтонных сортов винограда возделываемых в условиях Ростовской области необходимо использовать новые механизированные способы обработки виноградных кустов. Применять способы создания виноградных насаждений, обеспечивающие сохранение привоя, а также использовать новые, перспективные типы формировок виноградных кустов, которые менее трудоемки и при этом способствуют снижению степени повреждения надземной части виноградных растений.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

- Алиев А. М. Происхождение донских сортов винограда / А. М. Алиев, Л. В. Кравченко, Л. Г. Наумова // Виноделие и виноградарство. - 2005. - № 3. - с. 36-37.
- Алиев А. М. Донские аборигенные сорта винограда / А. М. Алиев, Л. В. Кравченко, Л. Г. Наумова, В. А. Ганич. – Новочеркасск: ВНИИВиВ, 2013. - 132 с.
- Чулков В. В. Продуктивность сорта Цимлянский черный в различных агроэкологических условиях / В. В. Чулков, Е. А. Савченко // Виноделие и виноградарство. - 2010. - № 4. - с. 36-37.
- Агротехнические исследования по созданию интенсивных виноградных насаждений на промышленной основе. – Новочеркасск. - 1978.- 174 с.
- Рекомендации по возделыванию автохтонных сортов винограда на Дону. – Новочеркасск, 2020. – 28 с.
- Устойчивое производство винограда. Состояние и перспективы развития / Е. А. Егоров, К. А. Серпуховитина, Э. Н. Худавердов. – Краснодар, 2002. – 122 с.
- Гусейнов Ш. Н. Взаимосвязь агробиологических признаков и их влияние на продуктивность виноградников / Ш. Н. Гусейнов // Русский виноград. - 2016. - Т. 4. - С. 163-173.
- Гусейнов Ш. Н. Влияние нормы нагрузки кустов побегами на продуктивность виноградника / Ш. Н. Гусейнов, С. В. Майбородин, А. Г. Манацков // Русский виноград. - 2019. - Т. 10. - С. 89-94.
- Виноградарство России: Настоящее и будущее / Е. А. Егоров, А. Е. Аджиев и др. – Махачкала, 2004. - 439 с.
- Виноградарство с основами виноделия. - Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ. - 2003. – 472 с.

Список литературы на английском языке / References in English

- Aliev A. M. Proishozhdenie donskih sortov vinograda [Origin of the don grape varieties] / A.M. Aliev, L.V. Kravchenko, L.G. Naumova // Vinodelie i vinogradarstvo. – 2005. - № 3. – P. 36-37. [in Russian]
- Aliev A. M. Donskie aborigennye sorta vinograda [The don of native grape varieties] / A.M. Aliev, L. V. Kravchenko, L. G. Naumova, V. A. Ganich. – Novocherkassk: VNIIViV, 2013. – 132 p. [in Russian]
- Chulkov V. V. Produktivnost' sorta Cimljanskij chjornyj v razlichnyh agroekologicheskikh usloviyah [The productivity of the varieties of Tsimlyanskiy black in different agro-ecological conditions] / V. V. Chulkov, E. A. Savchenko // Vinodelie i vinogradarstvo. – 2010. - № 4. – P. 36-37. [in Russian]
- Agrotehnicheskie issledovaniya po sozdaniyu intensivnyh vinogradnyh nasazhdenij na promyshlennoj osnove [Agrotechnical research on the creation of intensive grape plantations on an industrial basis] - Novocherkassk, 1978. – 174 p. [in Russian]
- Rekomendacii po vzdelyvaniyu avtohtonnyh sortov vinograda na Donu [Recommendations for the cultivation of autochthonous grape varieties on the don] - Novocherkassk, 2020. – 28 p. [in Russian]
- Ustojchivoe proizvodstvo vinograda. Sostoyanie i perspektivy razvitiya [Sustainable grape production. State and prospects of development] / E. A. Egorov, K. A. Serpuhovitina, E. N. Hudaverdov. - Krasnodar, 2002. - 122 p. [in Russian]
- Gusejnov Sh. N. Vzaimosvjaz' agrobiologicheskikh priznakov i ih vlijanie na produktivnost' vinogradnikov [Interrelation of agrobiological features and their impact on the productivity of vineyards] / Sh. N. Gusejnov // Russkij vinograd. – 2016. - Vol. 4. – P. 163-173. [in Russian]
- Gusejnov Sh. N. Vlijanie normy nagruzki kustov pobegami na produktivnost' vinogradnika [The influence of the norm of the load of bushes with shoots on the productivity of the vineyard] / Sh. N. Gusejnov, S. V. Majborodin, A. G. Manackov // Russkij vinograd. – 2019. - Vol. 10. – P. 89-94. [in Russian]
- Vinogradarstvo Rossii: Nastoyashhee i budushhee [Viticulture Of Russia: The present and the future] / E. A. Egorov, A. E. Adzhiev, Sh. N. Gusejnov and others. - Mahachkala, 2004. - 439 p. [in Russian]
- Vinogradarstvo s osnovami vinodeliya [Viticulture with the basics of winemaking] - Rostov-na-Donu: Publ. house SKNC VSH, 2003. - 472 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.101.11.018>**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ПРОДУКТЫ ДЕТСКОГО ПИТАНИЯ**

Научная статья

Мануйлов Б.М.^{1,*}, Симоненко С.В.²¹ ORCID: 0000-0001-6167-1017;² ORCID: 0000-0002-6999-5048;^{1,2} Научно-исследовательский институт Детского питания – филиал Федерального исследовательского центра питания и биотехнологии», Истра, Россия

* Корреспондирующий автор (info[at]niidp.ru)

Аннотация

В статье рассмотрены некоторые аспекты разработки и создания научно обоснованных специализированных продуктов детского питания на основе природных компонентов со сбалансированными рецептурами. К физиологическим специализированным пищевым компонентам относятся биологические вещества, для которых выявлены и обоснованы свойства, нормы ежедневного потребления, полезные для сохранения и улучшения здоровья. Их воздействие на организм должно быть обосновано физиологическим воздействием на биологические процессы организма. Наиболее эффективными и полезными являются компоненты природного происхождения. К ним относятся сухие водорастворимые экстракты плодов и растений, а также овощные порошки. Проведены исследования по разработке рецептурного состава кисломолочных специализированных продуктов для детского питания. Применение растительного сырья помогает получать композиции с улучшенным витаминным, минеральным, углеводным и аминокислотным составом. Специализированные продукты детского питания с комбинированным составом на основе животного и растительного сырья наиболее сбалансированы по макро- и микронутриентному составу. Результаты исследований позволяют разработать оптимальные технологии выпуска специализированных продуктов детского питания в различных формах. Представлены некоторые обоснования использования перспективных компонентов специализированных продуктов детского питания на основе природных веществ и создание форм продуктов.

Ключевые слова: специализированные продукты, микробиом, детское питание, экстракты растений, закваски.**ADVANCED SPECIALIZED BABY FOOD PRODUCTS**

Research article

Manuylov B.M.^{1,*}, Simonenko S.V.²¹ ORCID: 0000-0001-6167-1017;² ORCID: 0000-0002-6999-5048;^{1,2} Scientific Research Institute of Nutrition, the Branch of the Federal Research Center of Nutrition and Biotechnology, Istra, Russia

* Corresponding author (info[at]niidp.ru)

Abstract

The article discusses some aspects of the development and creation of science-based specialized baby food products based on natural ingredients with balanced recipes. Specialized physiological food components include biological substances for which the properties and norms of daily consumption that are useful for preserving and improving health have been identified and justified. Their effect on the body should be justified by the physiological effect on the biological processes of the body. The most effective and useful components are those of natural origin. These include dry water-soluble extracts of fruits and plants as well as vegetable powders. The article contains a research on the development of the formula composition of fermented milk specialized products for baby food. The use of vegetable raw materials enables the obtainment of compositions with improved vitamin, mineral, carbohydrate and amino acid composition. Specialized baby food products with a combined composition based on animal and vegetable raw materials are most balanced in terms of macro- and micronutrient composition. The results of the research provide opportunities to develop optimal technologies for the production of specialized baby food products in various forms. The paper contains some justifications for the use of advanced components of specialized baby food products based on natural substances and the creation of product forms.

Keywords: specialized products, microbiome, baby food, plant extracts, starter cultures.**Введение. Потребность специализированных продуктов детского питания**

Полноценное развитие и здоровое состояние ребенка во все периоды его развития требует формирования определённого сбалансированного количества необходимых биологических веществ в продуктах питания. Установлено несколько десятков фундаментально необходимых биологических нутриентов (лат. Nutrio -питание).

Многие из них не вырабатываются организмом и должны поступать извне с продуктами питания.

Перечень незаменимых нутриентов входит в стандарты питания и являются необходимыми при составлении рационов и диет. Их потребляемое количество регламентируется рекомендованными нормами потребления.

Привычный рацион детского питания не всегда позволяет обеспечивать потребности организма ребенка необходимыми нутриентами в достаточном и сбалансированном количестве. Эта потребность особенно возрастает в условиях экологического, микробиологического и социального отрицательного воздействия. Вместе с этим для сохранения здоровья и гармоничного развития ребенка в современных условиях требуется определенный набор специализированных компонентов питания.

Недостаток и несбалансированное поступление необходимых нутриентов приводит к различным нарушениям в развитии организма ребенка и болезненным состояниям.

В настоящее время к наиболее распространенным нарушениям в организме ребенка следует отнести следующие состояния:

- снижение иммунитета и резистентности организма,
- нарушение функции желудочно-кишечного тракта,
- интоксикация организма,
- психоэмоциональные нарушения.

Значение микробиома в полноценном развитии ребенка:

Полноценное развитие организма ребенка напрямую зависит от функционального состояния микробиома и, в первую очередь, микробиома кишечника и ротоглотки. Микробиом представляет собой биосистему, состоящую из многообразия микроорганизмов (микробиоценоз), которые динамически меняются и находятся в тесной симбиотической взаимосвязи с органами и тканями макроорганизма. Микробиоценоз представляет совокупность всех видов живых микроорганизмов, имеющие органную или тканевую принадлежность (кишечник, ротовая полость и т.д.).

Микробиом выполняет различные жизненно важные функции — поддержание гомеостаза, участие в иммунных реакциях, водно-солевом обмене, синтез витаминов, детоксикация ксенобиотиков, формирование колонизационной резистентности, кибернетические процессы на клеточном уровне и т. д. Тесная взаимосвязь между микробиоценозом и макроорганизмом, изменения количественного и качественного состава микробиома оказывают большое влияние на состояние, как отдельных органов и систем, так и в целом на здоровье человека.

Недостаточное и несбалансированное поступление в организм ребенка необходимых нутриентов приводит к нарушению состояния микробиома и, как следствие, происходят различные функциональные нарушения с хроническим затяжными заболеваниями.

Обоснование разработки и создания перспективных специализированных продуктов детского питания на основе природных компонентов

Специализированные продукты детского питания должны способствовать сохранению и укреплению здоровья, нормальному функциональному развитию ребенка, оказывать целенаправленное физиологическое корректирующее воздействие, способствовать нормализации микробиома организма. Они должны содержать сбалансированное количество необходимых макро-и микронутриентов, обладать отсутствием отрицательных побочных действий.

Традиционно для профилактики и коррекции функциональных нарушений в качестве нутриентов применяются витаминно-минеральные комплексы.

Однако такой подход не всегда приводит к желаемым положительным результатам и исправлению нарушений.

Одним из факторов является употребление в форме добавок одновременно большого количества витаминов (нередко синтетического происхождения) и минеральных веществ. При нормальном функционировании организма поступление витаминов и минеральных веществ обусловлено рядом важных физиологических факторов, которые определяют сбалансированное поступление необходимых нутриентов и рациональное их включение в многочисленные биологические процессы. В противном случае употребляемые полезные нутриенты в биологических процессах способны образовывать промежуточные вещества, которые могут быть малополезными или являться вредными.

К физиологическим специализированным пищевым компонентам должны относиться биологические вещества, для которых выявлены и обоснованы свойства, нормы ежедневного потребления, полезные для сохранения и улучшения здоровья. Их проявления должны быть обоснованы физиологическим воздействием на биологические процессы организма.

Наиболее эффективными и полезными являются компоненты природного происхождения.

Формы специализированных продуктов питания

1. Сухие водорастворимые порошки

Сухие водорастворимые формы продуктов специализированного питания имеют ряд положительных качеств. Такие формы позволяют употреблять специализированные продукты в наиболее физиологическом состоянии — жидком. Хорошо известно, что жидкая форма любого средства является максимально биодоступной по сравнению со всеми другими формами употребления.

Весьма важным при этом является отсутствие антимикробных компонентов стабилизации, которые отрицательно влияют на состояние организма ребенка, особенно на его микробиом кишечника и ротоглотки.

При создании сухих водорастворимых форм специализированных продуктов детского питания применяют формирующие компоненты- фруктоза, лактоза, изомальт, а также натуральные корректоры вкуса и запаха.

Одним из перспективных компонентов является изомальт. Это натуральная пищевая добавка под европейским индексом E953 применяется в качестве наполнителя, обладающего хорошей сыпучестью. Изомальт присутствует в составе некоторых сахаросодержащих растений: тростник, свекла, пчелиный мед.

Изомальт безвреден, химически стабилен, не имеет животного происхождения, является природным заменителем сахара и используется для создания диетических продуктов.

Он обладает свойствами легкого консерванта, регулирует кислотность, противостоит комкованию и слеживанию, благодаря высокой температуре плавления, продукты с этой добавкой не липнут к рукам, не растекаются и держат форму, не крошатся от перепадов температуры. При этом продукты, подслащенные изомальтом, не обладают приторностью, поскольку это вещество не столь сладкое, как сахароза или фруктоза. Используют ее в основном в продуктах питания для диабетиков и диетических низкокалорийных товарах (для похудения, спортивного питания).

Низкий гликемический индекс изомальта не вызывает резких колебаний сахара в крови, обеспечивает прилив сил, так как энергия выделяется постепенно и длительное время. Он улучшает перистальтику кишечника и микрофлору желудка, способствует нормализации микробиома кишечника.

Этот сахарозаменитель подавляет аппетит, продлевая чувство сытости, поскольку организм человека воспринимает его как волокно, в отличие от обычного сахара, который распознается нашим организмом как углевод. Благодаря этому вещество выступает в роли диетической клетчатки, которая разбухает и наполняет желудок, от чего и исчезает чувство голода. В ротовой полости изомальт снижает содержание кислоты, за счет чего повышается количество кальция, укрепляет зубную эмаль. К тому же, в отличие от сахара и многих его заменителей, изомальт не может быть источником питания для бактерий.

2. Кисломолочные продукты

Кисломолочные продукты специализированного детского питания имеют свои достоинства. Одним из них является физиологическая форма продукта. Молочные продукты в процессе филогенеза играют важнейшую роль в процессе биодоступности необходимых компонентов нутриентов. Пищеварительная система ребенка, с его многогранной ферментной системой, позволяет не только быстро и качественно усваивать кисломолочные продукты питания, но и формировать новые индивидуальные соединения, необходимые организму ребенка.

Результаты исследований

В НИИ детского питания проведены исследования по созданию специализированных продуктов для детского питания комбинированного состава.

Обоснование выбора молочной основы.

Для проведения исследований были изучено молочное сырье различных видов сельскохозяйственных животных: коровье, козье, кобылье и буйволиное.

Проведена оценка их аминокислотного состава, результаты представлены на диаграмме (рис.1).

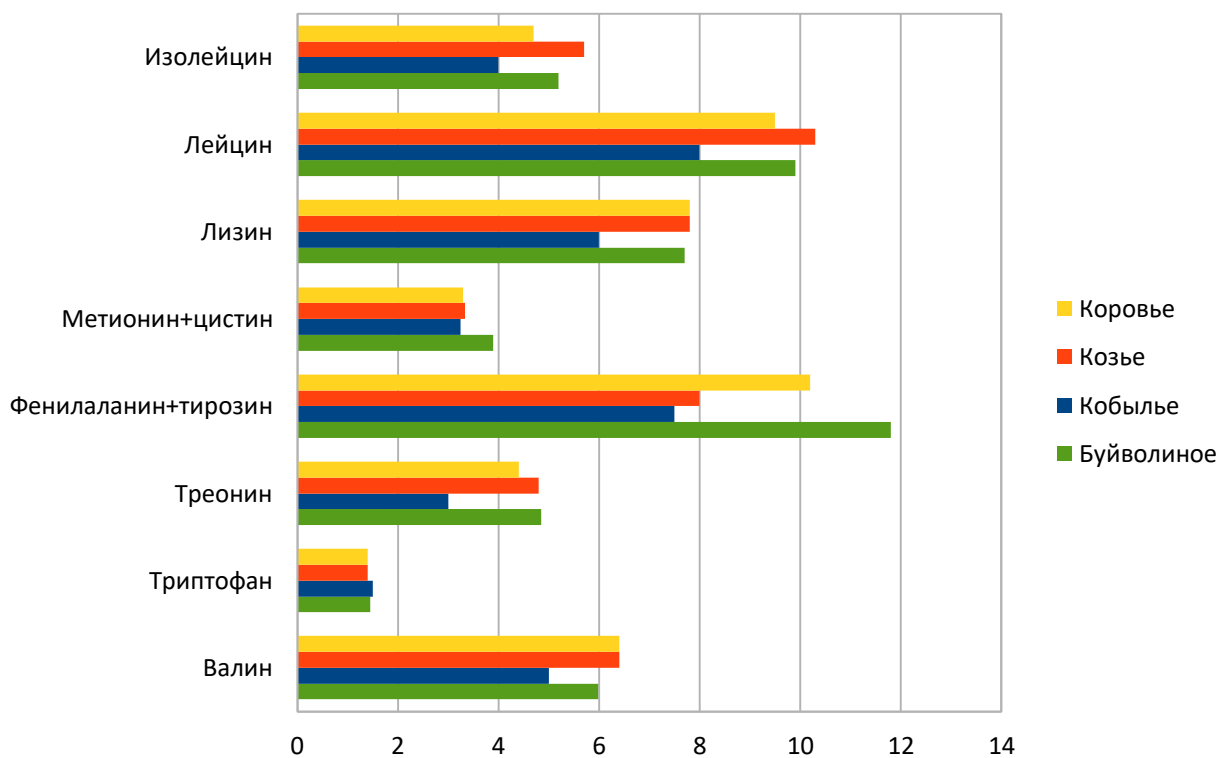


Рис. 1 – Аминокислотный состав коровьего, козьего, кобыльего и буйволиного молока

Из данной диаграммы видны различия в аминокислотном составе коровьего, кобыльего, козьего и буйволиного молока, что подтверждает целесообразность комбинирования молока этих животных для создания полноценных и сбалансированных продуктов детского питания.

В НИИ Детского питания - филиале ФГБУН "ФИЦ питания и биотехнологии" были проведены исследования по созданию различных комбинаций трёх видов молока. Композиции, состоящие из коровьего, козьего, кобыльего и буйволиного молока были подобраны в определённых соотношениях с целью приближения их по аминокислотному составу к эталону для питания детей 1,5 летнего возраста. Для исследования были выбраны три композиции смесей, состоящие из комбинаций молока в определённых соотношениях:

- 1- коровье, козье, кобылье молоко, соотношение 4:1:1,5;
- 2- коровье, козье, кобылье молоко, соотношение 5,5:1:1;
- 3- козье, кобылье, буйволиное молоко, соотношение 2,5:1:1,5.

Сравнительная оценка различных композиций с эталоном белка для детей 1,5 лет по аминокислотному составу представлена на диаграмме (рис.2).

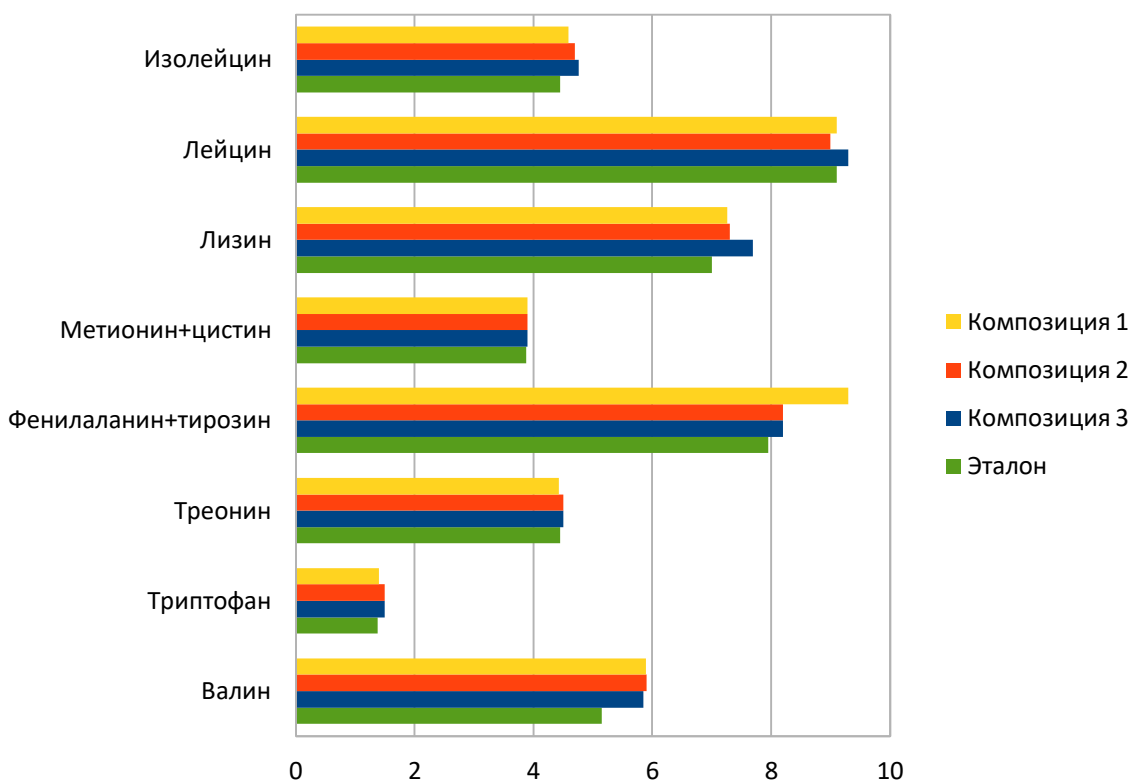


Рис. 2 – Аминокислотный состав композиций молока и эталона белка для детей 1,5 лет

Как видно на диаграмме, аминокислотный состав композиций близок к эталонным значениям.

Показатели аминокислотной сбалансированности композиций, а именно: показатели утилитарности U и рациональности R_p аминокислотного состава, которые численно характеризуют сбалансированность незаменимых аминокислот по отношению к физиологически необходимой норме (эталону); коэффициент «сопоставимой избыточности» содержания незаменимых аминокислот- C_{min} , который характеризует суммарную массу незаменимых аминокислот, не используемых на анаболические нужды в таком количестве оцениваемого белка продукта, которое эквивалентно по их потенциально утилизируемому содержанию 100г белка эталона; C_{min} - минимальный скор незаменимых аминокислот оцениваемого белка по отношению к физиологической норме (эталону) [3].

Сравнительная оценка аминокислотной сбалансированности трёх композиций молока с эталоном представлены на диаграмме (рис.3).

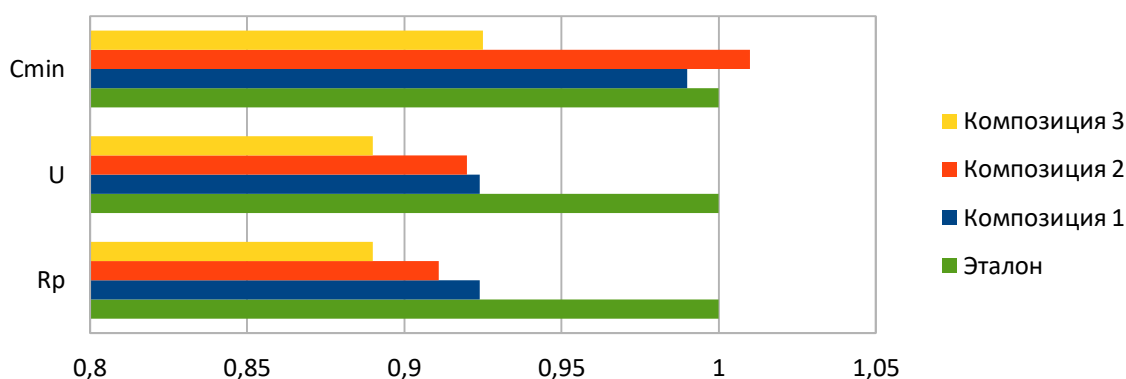


Рис. 3 – Аминокислотная сбалансированность композиций молока и эталона белка для детей 1,5 лет.

На диаграмме видно, что наиболее высокие показатели аминокислотной сбалансированности имеют композиции 1 и 2, в которых аминокислотный скор составляет 0,99-1,01% ед.

Опираясь на полученные данные, в качестве продукта на основе трёх видов молока, максимально сбалансированного по аминокислотному составу, была выбрана композиция 1, состоящая из коровьего, козьего и кобыльего молока. Данная комбинация будет служить основой для создания новых продуктов детского питания с высокой биологической ценностью.

Обоснование разработки рецептурного состава кисломолочного специализированного продукта

Исследования по разработке рецептурного состава специализированного кисломолочного продукта в форме йогурта велась по трём направлениям:

- подбор оптимального соотношения комбинаций молока;
- подбор и определение дозировки овощных порошков;
- подбор заквасочных культур с оптимальными параметрами.

Для отработки рецептурного состава йогурта было использовано 3 вида комбинаций молока, 3 вида овощных порошков и 4 вида заквасок для каждой комбинации. Разработано 36 промежуточных рецептов, по которым были получены образцы продукта. Во время сквашивания продукта фиксировались основные параметры, влияющие в дальнейшем на выбор оптимальной закваски: температура сквашивания, время сквашивания, изменение кислотности продукта с течением времени. Органолептическая оценка образцов проводилась по 10-бальной шкале дегустационной комиссией в составе 10 человек. Оценка проводилась по следующим параметрам: запах, цвет, консистенция, вкус. Результаты дегустационной оценки образцов представлены на рисунке 4.

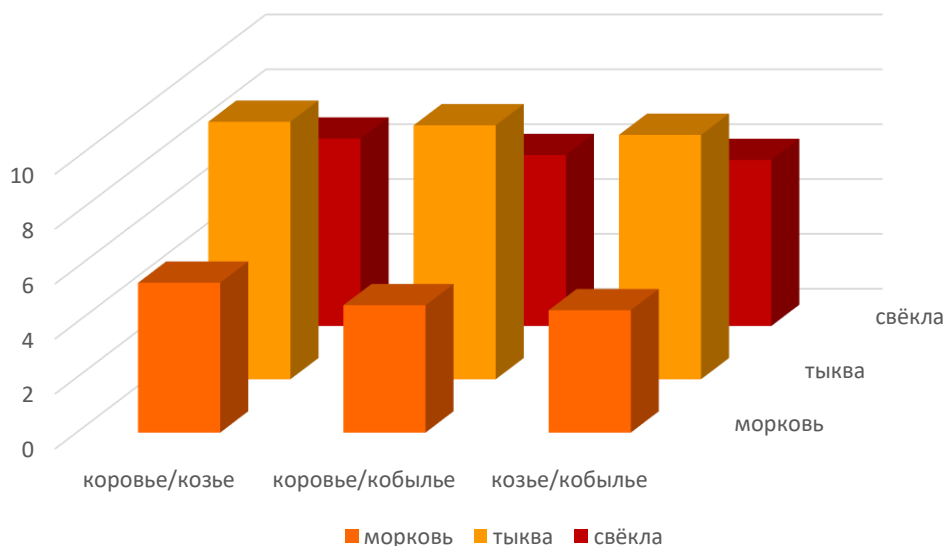


Рис. 4 – Дегустационная оценка образцов йогурта

Данные диаграммы показывают, что самые высокие оценки имеют образцы с порошком тыквы. Причём у йогурта на основе комбинации молока коров и коз оценки несколько выше, чем у образцов на основе смеси коровьего и кобыльего молока, а также козьего и кобыльего. Это связано со специфичностью вкуса молока коз и кобыл. Наименьшие оценки получили образцы с порошком моркови, так как продукты обладали специфическим неприятным послевкусием и ароматом. Йогурт имел серый оттенок и мелкие включения порошка в структуре. Образцы с порошком свёклы имеют показатели, немного уступающие образцам с тыквой, но в целом имеют хорошую оценку, это связано с высокой интенсивностью свекольного аромата и вкуса. Впоследствии рецептуры йогурта с порошком свёклы были скорректированы (снижено содержание овощного порошка), изготовлены образцы и проведена дегустационная оценка, в результате продукт получил высокую оценку и был одобрен для дальнейших исследований.

На основе параметров, фиксированных в процессе сквашивания продукта, а также последующей органолептической оценки были выбраны оптимальные заквасочные культуры для каждой из рецептур.

Для корректировки вкуса продукта в рецептуру введён сахар в количестве: 2% для рецептур с тыквенным порошком и 3% со свекольным. В качестве дополнительного источника углеводов и структурообразователя в рецептуры входит мальтодекстрин в количестве 2%. В таблице 1 представлены рабочие рецептуры йогуртов с овощными порошками.

Таблица 1 – Рецептурный состав йогуртов

Ингредиенты, кг	коровье+козье		коровье+кобылье		козье+кобылье	
	тыква	свёкла	тыква	свёкла	тыква	свёкла
Коровье молоко	650	650	650	650	-	-
Козье молоко	280	280	-	-	650	650
Кобылье молоко	-	-	280	280	280	280
Мальтодекстрин	20	20	20	20	20	20
Сахар	20	30	20	30	20	30
Порошок тыквы	30	-	30	-	30	-
Порошок свёклы	-	20	-	20	-	20

Образцы йогурта 6-и рецептур направлены на дополнительные исследования на предмет содержания бета-каротина, пищевых волокон, а также на исследование аминокислотного состава.

Проведены предварительные аналитические исследования продукта, данные приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Химический состав йогуртов (аналитические данные)

Показатели, г/100г	коровье+козье		коровье+кобылье		козье+кобылье	
	тыква	свёкла	тыква	свёкла	тыква	свёкла
Белок	3,07	2,99	2,82	2,74	2,82	2,74
Жир	3,06	3,05	2,50	2,49	2,63	2,62
Углеводы	9,30	10,49	9,58	10,77	9,58	10,77
β-каротин, мг	11,81	0,66	11,74	0,59	11,88	0,73
Пищ.волокна	0,48	0,25	0,48	0,25	0,48	0,25
Калорийность, Ккал	77,00	81,32	72,07	76,39	73,24	77,56

Заключение

Специализированные продукты детского питания с комбинированным составом на основе животного и растительного сырья наиболее сбалансированы по макро- и микронутриентному составу. При разработке рецептурного состава кисломолочных специализированных продуктов для детского питания следует учесть, что применение растительного сырья помогает получать композиции с улучшенным витаминным, минеральным, углеводным и аминокислотным составом. Сырьё растительного происхождения является натуральным источником бета- каротина и пищевых волокон. Комбинирование молока разных видов сельскохозяйственных животных, имеющих различный нутриентный состав, позволяет получать продукты, сбалансированные по химическому и аминокислотному составу.

В рамках проведения исследований:

- выбраны и обоснованы рецептурные компоненты кисломолочного продукта (йогурта): в качестве сырьевой основы выступают композиции молока различных сельскохозяйственных животных – коров, коз и кобыл; в качестве источника бета- каротина и пищевых волокон используются овощные порошки, полученные термолабильным способом сушки; в качестве дополнительного источника углеводов, а также структурообразующего агента используется мальтодекстрин; подобраны оптимальные виды заквасочных культур для каждой рецептурной композиции;

разработано 6 рецептур йогурта комбинированного состава;

- образцы продукта отправлены на дополнительные исследования аминокислотного состава, содержания бета-каротина и пищевых волокон.

Разработаны рекомендованные специализированные продукты детского питания на основе экстрактов растений.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Кузнецов В.В. Отдельные аспекты создания сбалансированных продуктов детского питания / В.В. Кузнецов, Г.М. Лесь, И.М. Хованова, Т.А. Антипова, С.В. Фелик // Вопросы питания, т.85.-2016.- С. 164-165.
2. Золотин А.Ю. Аспекты разработки функциональных продуктов /А.Ю. Золотин, С.Е. Димитриева // Переработка молока.-2016.-№3. С.48-51.
3. Мануйлов Б.М. Использование биологически активных веществ растительного происхождения в продуктах детского питания / Б.М. Мануйлов, А.Ю. Золотин, С.В. Симоненко, Т.А. Антипова, С.В. Фелик // Пищевая промышленность. - 2017. - № 9. - С. 11-13.
4. Симоненко С.В. Антиоксидантные свойства продуктов из комбинированного молочного сырья для детей дошкольного и школьного возраста / С.В. Симоненко, Б.М. Мануйлов, Т.А. Антипова, С.В. Фелик, Т.В. Коробейникова, Е.С. Симоненко // Молочная промышленность. - 2017. - № 11. - С. 59-61.
5. Фелик С.В. Разработка специализированного питания на основе козьего молока / С.В. Фелик, Т.А. Антипова, Г.М. Лесь // Переработка молока. –2012.–№10.–С.60-61.
6. Плаксин Ю. М. Производство и применение добавок из нетрадиционного растительного сырья / Ю. М. Плаксин, М. Г. Куликова. Учебное пособие. Изд. Комплекс МГУПП, 2006 г, 120 стр.
7. Квасенков О.И. Технология и оборудование для получения пищевых порошков Текст. / О.И. Квасенков Е.Д. Гавриляка // Пищевая промышленность. - 1997. - №4. - 14-15.
8. Семенов Г.В. Современное оборудование для производства сублимированных продуктов / Г.В. Семенов, Е.В. Буданцев, М.С. Булкин //Пищевая промышленность, 11, 2008, с. 34-37.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kuznetsov V. V. Otdel'nye aspekty sozdaniya sbalansirovannykh produktov detskogo pitaniya [Some Aspects of Creating Balanced Baby Food Products] / V. V. Kuznetsov, G. M. Les, I. M. Khovanova et al. Voprosy Pitaniya [Nutrition Issues], vol. 85. - 2016. - pp. 164-165 [in Russian]
2. Zolotin A. Yu. Aspekty razrabotki funktsional'nykh produktov [Aspects of Functional Product Development] /A. Yu. Zolotin, S.E. Dmitrieva // [Milk Processing] - 2016. - No. 3. pp. 48-51 [in Russian]
3. Manuylov B. M. Ispol'zovanie biologicheskii aktivnykh veshchestv rastitel'nogo proishozhdeniya v produktakh detskogo pitaniya [Use of biologically active substances of plant origin in baby food products]/ B. M. Manuylov, A. Yu. Zolotin, S. V. Simonenko et al. // Food industry. - 2017. - No. 9. - pp. 11-13 [in Russian]

4. Simonenko S. V. Antioksidantnye svoystva produktov iz kombinirovannogo molochnogo syr'ja dlja detej doshkol'nogo i shkol'nogo vozrasta [Antioxidant Properties of Products from Combined Dairy Raw Materials for Preschool and School Children] / S. V. Simonenko, B. M. Manuylov, T. A. Antipova et al. // *Molochnaya Promyshlennost'* [Dairy Industry] - 2017. - No. 11. - pp. 59-61.
5. Felik S. V. Razrabotka specializirovannogo pitaniya na osnove koz'ego moloka [Development of Specialized Nutrition Based on Goat's milk] / S. V. Felik, T. A. Antipova, G. M. Les // *Pererabotka moloka* [Milk Processing] -2012. - №10. - P. 60-61 [in Russian]
6. Plaksin Yu. M. Proizvodstvo i primeneniye dobavok iz netraditsionnogo rastitel'nogo syr'ja [Production and Use of Additives from Non-Traditional Plant Raw Materials. A Textbook] / Yu. M. Plaksin, M. G. Kulikova. Publ. house. Kompleks MGUPP, 2006, 120 p. [in Russian]
7. Kvasenkov O. I. Tehnologiya i oborudovanie dlja poluchenija pishhevyyh poroshkov [Technology and Equipment for Production of Food Powders]. / O. I. Kvasenkov, E. D. Gavriyaka // *Food industry*. - 1997. - №4. - pp. 14-15 [in Russian]
8. Semenov G. V. Sovremennoe oborudovanie dlja proizvodstva sublimirovannyh produktov [Modern equipment for the production of freeze-dried products] / G. V. Semenov, E. V. Budantsev, M. S. Bulkin // *Pishevaya promishlennost'* [Food industry], 11, 2008, pp. 34-37. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.101.11.019>**ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЭМБРИОНАЛЬНОГО ПЕРИОДА ТЕЛОЧЕК
И ИХ ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ**

Научная статья

Болотова Л.Ю.*

ORCID: 0000-0001-5376-327X,

Кемеровский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал СФНЦА РАН, Кемерово, Россия

* Корреспондирующий автор (lyda.bolotova[at]mail.ru)

Аннотация

Исследования по изучению продолжительности эмбрионального периода телочек и их дальнейшего развития до периода их плодотворного осеменения проведены на базе племзавода СПК «Береговой» на голштинизированном ремонтном молодняке. Объектом исследований служили телочки рожденные в 2017 – 2018 гг. Установлено, что у коров III и старше отелов продолжительность стельности на 0,7 и 3,1 дня длиннее относительно коров I и II отела соответственно ($P>0,95$). Отмечено, что наибольший процент выбывших телочек в 2017 – 2019 гг. происходил по причине легочных заболеваний, в частности бронхопневмония (22,8%) в возрасте от 121 до 180 дней. Наиболее высокая живая масса при рождении отмечена у приплода от полновозрастных коров (II лактация и старше) разной продолжительности стельности, живая масса их на 2,2; 1,4 и 2,1 кг выше относительно телочек, рожденных от первотелок ($P<0,95$). Анализ динамики развития показал, что телята с живой массой при рождении 41 и более кг достоверно превосходят сверстниц по массе во все периоды выращивания. Исследуя развитие телочек в зависимости от живой массы при рождении, установили, что все телочки к 15 месяцам достигают оптимальной для осеменения массы, наибольшую имели крупноплодные телята, на 28,1 ($P>0,99$) и 19,0 ($P>0,95$) кг больше относительно мелкоплодных и средних телят.

Ключевые слова: телка, эмбриональный период, выбытие, живая масса, среднесуточный прирост.

DURATION OF THE EMBRYONIC PERIOD OF HEIFERS AND THEIR FURTHER DEVELOPMENT

Research article

Bolotova L.Yu.*

ORCID: 0000-0001-5376-327X,

Kemerovo Research Agricultural Institute, the branch of the Siberian Federal Research Center of Agricultural Biotechnology of the RAS, Kemerovo, Russia

* Corresponding author (lyda.bolotova[at]mail.ru)

Abstract

The article centers on studying the duration of the embryonic period of heifers and their further development up to the period of their insemination. The study is carried out on the basis of the stud farm agricultural (production) co-operative "Beregovoy" on holsteinized rearing stocks. The subject of research were the heifers born in 2017-2018. The study finds that the duration of pregnancy in cows of third and older stages of calving is 0.7 and 3.1 days longer relative to those of the first and second stage of calving respectively ($P>0.95$). It was noted that the largest percentage of retired heifers in 2017-2019 was due to lung diseases, in particular bronchopneumonia (22.8%) at the age of 121 to 180 days. The highest live weight at birth was observed in offspring from full-aged cows (II lactation and older) of different duration of pregnancy, their live weight is 2.2, 1.4 and 2.1 kg higher relative to heifers born from first-born heifers ($P<0.95$). Analysis of the dynamics of development showed that calves with a live birth weight of 41 kg or more significantly exceed their peers in weight during all periods of growing. As a result of studying the development of heifers depending on the live weight at birth, it was found that all heifers reach the optimal weight for insemination by 15 months, the largest were the large calves, 28.1 ($P>0.99$) and 19.0 ($P>0.95$) kg more than relatively small-sized and medium-sized calves.

Keywords: heifer, embryonic period, retirement, live weight, average daily growth.

Введение

У сельскохозяйственных животных наиболее четко различают две стадии роста и развития: внутриутробную (пренатальную) и послеутробную (постнатальную) [1]. У крупного рогатого скота средняя продолжительность внутриутробного развития 285 дней с колебаниями от 240 до 320 дней. Она обусловлена зрелостью рождения детенышей и характером связи зародыша с организмом матери, то есть строением плаценты [2], [3].

Однако адаптационная способность новорожденного и молодого организма при переходе от внутриутробной к самостоятельной жизни испытывает более высокую нагрузку, чем в любой другой момент жизни, к тому же многие органы и связанные с ними системы регуляции еще не достигли функциональной зрелости, характерной для взрослого животного. У телят в большинстве случаев наблюдаются слабый иммунный статус и чаще всего, высокая предрасположенность к различного рода заболеваниям [4].

С.Ф. Антоненко и др. [5] установили прямую зависимость эмбрионального периода с живой массой новорожденных телят. Авторы отмечают, что чем продолжительнее стельность, тем больше живая масса при рождении.

Исследования показали, что молодняк в первый год жизни значительно различается по динамике роста и развития организма. Голштинская порода считается самой крупной и одной из скороспелых пород в мире. Несмотря на это, максимальные приросты живой массы у телок проявляются только к концу молочного периода, т.е. на третьем месяце жизни, независимо от сезона рождения [6].

В системах выращивания тёлочек во многих странах мира, включая Россию, 24-месячный возраст при первом отёле стал целью при планировании роста и развития животных. У этих первотелок реже отмечаются неблагополучные отёлы, и рождается более жизнеспособное потомство [7].

По мнению М.Р. Кудрина и К.П. Назаровой [8] при выращивании телок следует быть адекватным стандартам породы и иметь приросты в возрасте: до 3-х месяцев – 600 г, от 3 до 6 – 900 г, от 6 до 12 – 840 г, от 12 до 24 месяцев – 650 г.

И.А. Рубцов [9] отметил тенденцию более интенсивного роста телок до двенадцатимесячного возраста, которые составляли по группам свыше 750 г, также в эти возрастные периоды существует некоторое влияние линейного происхождения на показатели приростов.

D. Drew [10] утверждает, что прирост живой массы телок свыше 800 г в сутки оказывает отрицательное влияние на их резистентность и продолжительность хозяйственного использования коров.

Возраст первого осеменения в первую очередь зависит от приростов живой массы. Каждый месяц задержки в осеменении увеличивает себестоимость нетели на 5-7%, что может серьёзно повлиять на эффективность ведения отрасли молочного скотоводства. Поэтому в последние годы передовые хозяйства стремятся осеменить животных как можно раньше и получить дополнительную прибыль, которая составляет от 15 до 25 % [11].

Для эффективного ведения селекционной работы большое значение имеет выявление причин выбытия животных. Основными причинами выбытия коров являются болезни конечностей (14,1%), прочие незаразные болезни (12,1%), болезни обмена веществ (9,9%), заболевания вымени (6,9%), яловость (6,6%), низкая молочная продуктивность (6,5%), трудные роды и осложнения (6,3%) [12].

Цель исследований – изучить продолжительность эмбрионального периода телочек и их дальнейшее развитие до периода их плодотворного осеменения.

Методы и принципы исследования

Исследования по изучению влияния продолжительности эмбрионального периода на развитие телочек породы Сибирячка проведены на базе племязавода СПК «Береговой» на голштинизированном ремонтном молодняке. Объектом исследований служили тёлочки рожденные в 2017 – 2018 гг.

В работе использованы данные первичного зоотехнического и племенного учета, базы данных программы «Селэкс». Влияние продолжительности эмбрионального периода на жизнеспособность приплода (телят) определено по данным зоотехнического и ветеринарного учета. Продолжительность эмбрионального развития приплода рассчитана путем определения разницы между датой плодотворного осеменения и отелом. Анализ данных по живой массе телят от рождения до 15-месячного возраста проведен по ведомостям ежемесячного взвешивания и зоотехнического учета.

Цифровой материал полученных данных обработан методом вариационной статистики по Е.К. Меркурьевой [13] на персональном компьютере с использованием программы «Microsoft Excel» и Snedecor. В качестве условных обозначений приняты: * $P > 0,95$; ** $P > 0,99$; *** $P > 0,999$.

Результаты и обсуждения

Индивидуальное развитие сельскохозяйственных животных в эмбриональный период начинается с момента оплодотворения яйцеклетки, которая дает начало развитию нового организма в теле матери. Грубые нарушения при эксплуатации стельных коров в этот период (срывы в кормлении, плохие зоогигиенические условия, отсутствие моциона и т.д.) могут оказать негативное влияние на продолжительность стельности коров.

По результатам исследований установлено, что у 53,2% коров продолжительность стельности в возрасте I, II, III и старше отелов составила 271-280 дней (таблица 1).

Таблица 1 – Продолжительность стельности коров с учетом возраста

Продолжительность стельности, дней	Всего		Возраст в отелах		
	голов	%	I	II	III и старше
270 и ниже	17	8,4	268,0±1,63	266,0±3,06	267,4±1,40
271-280	108	53,2	276,2±0,40	277,5±0,57	277,0±0,34
свыше 280	78	38,4	284,2±0,72	284,8±0,69	284,5±0,62
В среднем	203	100	278,9±0,70	276,5±1,16	279,6±0,56*

В среднем по группам у коров III и старше отелов продолжительность стельности на 0,7 и 3,1 дня длиннее относительно коров I и II отела соответственно ($P > 0,95$). 279,6-278,9=0,7

Расчёт коэффициента вариации показал, что изменчивость продолжительности стельности слабая ($C_v < 10\%$), следовательно, группы однородны по признаку.

Жизнеспособность телят зависит от условий, в которых проходит беременность матери. У матерей, перенесших во время беременности различные болезни, временное или длительное ухудшение условий содержания и кормления, телята рождаются хотя и доношенные, но слабые и восприимчивые к различным заболеваниям (таблица 2).

Таблица 2 – Основные причины выбытия телят за период исследований (2017-2019 гг.)

Причина выбытия	Выбыло		Возраст выбытия, дней
	голов	%	
Отсутствие сосательного рефлекса	1	2,1	2,0
Анафилактический шок	1	2,1	5,0
Недоношенность плода	2	4,2	8,5
Тимпания	1	2,1	11,0
Гастроэнтерит	3	6,3	74,7
Заболевания конечностей	4	8,3	139,3
Диарея	4	8,3	163,3
Бронхопневмония	11	22,8	182,5
Асфиксия легких	3	6,3	208,3
Актиномикоз	1	2,1	215,0
Сальмонеллез	5	10,4	215,8
Инфантилизм матки	6	12,5	379,8
Менингит	1	2,1	413,0
Инородное тело	1	2,1	152,0
Причина не установлена	4	8,3	134,5
ВСЕГО	48	100	182,9

Причины, по которым выбыли телочки от рождения до 5 дней – недоношенность (4,2%) и отсутствие сосательного рефлекса (2,1%), в возрасте 11 дней – тимпания (2,1%), от 30 до 120 дней – заболевания желудочно-кишечного тракта (гастроэнтерит – 6,3%), в возрасте от 121 до 180 дней: легочные (бронхопневмония – 22,8%), заболевания конечностей (8,3%), диарея (8,3%); от 181 до 241 дня: актиномикоз (2,1%), асфиксия легких (6,3%), сальмонеллез (10,4%), а от 241 до 420 дней животные выбывают из-за недоразвития матки (инфантилизм – 12,5%), менингит (2,1%) и другие неустановленные причины.

Один из признаков хорошего утробного развития телят – это их живая масса при рождении. Телята рождались с массой в пределах физиологической нормы. Однако телята с продолжительностью внутриутробного развития 270 и менее дней имели меньшую живую массу, рожденные как у первотелок, так и у полновозрастных коров. Разница по живой массе при рождении у приплода от первотелок составила 2,3 и 3,8 кг в пользу коров с продолжительностью стельности 271-280 ($P>0,95$) и свыше 280 дней ($P>0,999$). Аналогичная тенденция наблюдалась у животных II, III и старше отелов (таблица 3).

Таблица 3 – Продолжительность стельности коров с учетом живой массы приплода при рождении

Группа коров по продолжительности стельности, дн.	Возраст в отелах					
	I		II		III и старше	
	п	живая масса, кг	п	живая масса, кг	п	живая масса, кг
270 и ниже	9	33,8±0,86	3	30,0±2,52	5	36,0±1,10*
271-280	43	36,1±0,34*	17	37,8±0,63	48	37,5±0,59*
Свыше 280	26	37,6±0,45***	13	39,0±1,13	39	39,7±0,85*
В среднем	78	36,3±0,29	33	37,6±0,72	92	38,4±0,49***

Наиболее высокая живая масса при рождении отмечена у приплода от полновозрастных коров разной продолжительности стельности, живая масса их на 2,2; 1,4 и 2,1 кг выше относительно телочек, рожденных от первотелок ($P<0,95$).

В среднем по группам у приплода, рожденного от коров III и старше отелов, живая масса при рождении была на 2,1 и 0,8 кг выше относительно телочек, рожденных от матерей I и II отелов ($P>0,999$).

Установлено, что живая масса новорожденных телят связана с продолжительностью плодоношения ($r=0,334$) и, следовательно, с количеством питательных веществ, полученных от матери в эмбриональный период, то есть чем больше пищи получал теленок в эмбриональный период и чем продолжительнее стельность матери, тем выше живая масса приплода.

Важным показателем, по величине которого можно судить об условиях внешней среды, является интенсивность роста животного и прирост живой массы во все периоды выращивания.

Анализ динамики развития показал, что телята с живой массой при рождении 41 и более кг достоверно превосходят сверстниц по массе во все периоды выращивания. Разница по живой массе при рождении составила 11,4 и 6,9 кг, в 1 месяц 10,8 и 6,5 кг, в 3 – 14,2 и 8,4 кг; в 6 – 17,7 и 13,7 кг; в 10 – 27,8 и 22,9 кг ($P>0,999$), в 12 месяцев 27,6 и 22,7 кг ($P>0,99$) (таблица 4).

Таблица 4 – Динамика живой массы телочек по периодам выращивания, М±m

Возраст, мес.	Живая масса при рождении, кг		
	35 и менее (n=59)	36-40 (n=119)	41 и более (n=25)
При рождении	33,4±0,27	37,9±0,12	44,8±0,87***
1	58,6±0,34	62,6±0,30	69,4±0,96***
3	102,6±1,21	108,4±0,85	116,8±1,84***
6	160,1±2,82	164,1±2,11	177,8±4,23***
10	274,4±4,08	279,3±2,89	302,2±5,90***
12	332,8±4,76	337,7±3,29	360,4±7,42***
Среднесуточный прирост, г			
от 0 до 3 мес.	769,1±13,4	783,7±9,26	800,0±21,0
от 3 до 6 мес.	638,2±26,6	618,0±22,9	678,2±50,1
от 6 до 12 мес.	962,4±15,2	971,2±10,9	1027,0±26,3*
от 0 до 12 мес.	820,5±12,7	821,3±9,00	863,9±20,5

Следует отметить, что наиболее интенсивно развивались крупноплодные телята в период от 6 до 12-месячного возраста (период развития половой системы и молочной железы), среднесуточный привес их составил 1027 г, что на 64,6 и 55,8 г больше относительно мелкоплодных и средних телят ($P>0,95$).

В период от 3 до 6-месячного возраста среднесуточный прирост во всех группах снизился на 130,9; 165,7 и 121,8 г, относительно периода от 0 до 3 месяцев. Это объясняется тем, что телят в 3-месячном возрасте переводят с индивидуальных клеток в общие и переходом от молочного типа кормления к кормам растительного происхождения.

Установлено, что живая масса при рождении оказывает значительное влияние на развитие телят по периодам выращивания только до месячного возраста ($r=0,803$), в последующие периоды ее влияние снижается, что является подтверждением воздействия среды на развитие телят (таблица 5).

Таблица 5 – Коэффициенты корреляции живой массы телят при рождении с живой массой по периодам роста

Признаки	Коэффициент корреляции (n=203)
Живая масса при рождении+живая масса в 1 мес.	0,803±0,042
Живая масса при рождении+живая масса в 3 мес.	0,432±0,063
Живая масса при рождении+живая масса в 6 мес.	0,248±0,068
Живая масса при рождении+живая масса в 10 мес.	0,254±0,069
Живая масса при рождении+живая масса в 12 мес.	0,252±0,071

По данным зоотехнического учета тёлки плодотворно осеменяются в среднем в возрасте 15 месяцев, этот возраст является оптимальным, так как он соответствует биологической и хозяйственной зрелости животных. В связи с этим мы рассчитали развитие телок в 15 мес. в зависимости от живой массы при рождении (таблица 6).

Таблица 6 – Живая масса телочек в период осеменения

Группы по живой массе при рождении, кг	n	Живая масса в возрасте 15 мес.		
		М±m	Сv, %	σ
35 и менее	33	409,0±6,80	9,55	39,08
36-40	96	418,1±3,72*	8,71	36,40
41 и более	20	437,1±7,85**	8,03	35,08
В среднем	149	418,6±3,07	8,96	37,49

Анализ развития тёлочек в зависимости от живой массы при рождении показал, что все телочки к 15 месяцам достигают оптимальной для осеменения массы. Однако наибольшую живую массу имели крупноплодные телята, на 28,1 ($P>0,99$) и 19,0 кг ($P>0,95$) больше относительно мелкоплодных и средних телят.

Выводы

1. Установлено, что у коров III и старше отелов продолжительность стельности на 0,7 и 3,1 дня длиннее относительно коров I и II отела соответственно ($P>0,95$).
2. Наибольший процент выбывших телочек в 2017 – 2019 гг. происходил по причине легочных заболеваний, в частности бронхопневмония (22,8%) в возрасте от 121 до 180 дней.
3. Наиболее высокая живая масса при рождении отмечена у приплода от полновозрастных коров (II лактация и старше) разной продолжительности стельности, живая масса их на 2,2; 1,4 и 2,1 кг выше относительно телочек, рожденных от первотелок ($P<0,95$).
4. Анализ динамики развития показал, что телята с живой массой при рождении 41 и более кг достоверно превосходят сверстниц по массе во все периоды выращивания.
5. Анализ развития тёлочек в зависимости от живой массы при рождении показал, что все телочки к 15 месяцам достигают оптимальной для осеменения массы, наибольшую имели крупноплодные телята, на 28,1 ($P>0,99$) и 19,0 кг ($P>0,95$) больше относительно мелкоплодных и средних телят.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Шляхтунов В.И. Основы зоотехнии: Учебное пособие для высших учебных заведений / В.И. Шляхтунов, В.И. Смунов, В.П. Ятусевич, Л.М. Линник, Н.А. Сtribuk. – ВИТЕБСК. – 2004. – С.13-14.
2. Александровская О.В. Цитология, гистология и эмбриология / О.В. Александровская, Т.Н. Радостина, Н.А. Козлов. – М.: Агропромиздат. – 1987. – С.95-96.
3. Лискун Е.Ф. Крупный рогатый скот / Е.Ф. Лискун. – М.: Государственное из-во с.-х. литературы. – 1951. – С.398.
4. Таирова А.Р. Оценка пластических ресурсов организма телочек раннего постнатального периода развития / А.Р. Таирова, В.Р. Шарифьянова, Г. В. Мещерякова [и др.] // Аграрный вестник Урала. – 2017. – № 08 (162). – С. 46-50.
5. Антоненко С.Ф. Взаимосвязь показателей эмбрионального развития с молочной продуктивностью первотелок / С.Ф. Антоненко, Л.В. Гончаренко, А.М. Маменко // Зоотехния. – 2006. – № 3. – С. 21-23.
6. Бакаева Л.Н. Рост и развитие ремонтных телок голштинской и айрширской пород при выращивании в индивидуальных домиках / Л.Н. Бакаева, С.В. Карамеев, А.С. Карамеева // Известия Самарской Государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 1. – С. 74-77.
7. Селезнева Н.В. Влияние престартерных и стартерных комбикормов в молочный период на рост и развитие телок холмогорской породы / Н.В. Селезнева, М.Р. Кудрин // Вестник Ижевской ГСХА. – 2016. – № 1(46). – С. 56-65.
8. Кудрин М.Р. Интенсивные технологии выращивания ремонтных телок, способствующие раннему их осеменению / М.Р. Кудрин, К.П. Назарова // Сборник научных трудов Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства. – 2016. – № 9. – Т.1. – С. 538-541.
9. Рубцов И.А. Особенности роста и развития телок украинской чёрно-пёстрой молочной породы разных линий в условиях ПАСП «Хлебобор» Ичнянского района Черниговской области / И.А. Рубцов // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. – 2019. – № 22-1 – Т.1. – С. 54-59.
10. Drew D. Growth targets for bulling heifers / D. Drew // Livestock Farmg. – 1983. – № 21 (11). – P. 38-39.
11. Вильвер Д.С. Влияние возраста первого осеменения телок на молочную продуктивность коров чёрно-пёстрой породы разного возраста / Д.С. Вильвер // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2015. – № 6 (56). – С. 140–142.
12. Методы повышения продуктивного долголетия коров (рекомендации для специалистов агропромышленного комплекса, научных сотрудников и студентов высших учебных заведений) / авт.-сост. О. С. Чеченихина, Е. С. Казанцева, Ю. А. Степанова. – Екатеринбург: Уральский ГАУ. – 2017. – 36 с.
13. Меркурьева Е.К. Биометрия в селекции и генетике сельскохозяйственных животных / Е.К. Меркурьева. – М.: Колос. – 1970. – 423 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Shljahntunov V.I. Osnovy zootehnii: Uchebnoe posobie dlja vysshih uchebnyh zavedenij [Fundamentals of animal science: a textbook for higher education institutions] / V.I. Shljahntunov, V.I. Smunov, V.P. Jatusevich, L.M. Linnik, N.A. Stribuk. – VITEBSK. – 2004. – P. 13-14. [in Russian]
2. Aleksandrovskaja O.V. Citologija, gistologija i jembriologija [Cytology, histology and embryology] / O.V. Aleksandrovskaja, T.N. Radostina, N.A. Kozlov. – M.: Agropromizdat. – 1987. – P. 95-96.
3. Liskun E.F. Krupnyj rogatyj skot [Cattle] / E.F. Liskun. – M.: Gosudarstvennoe iz-vo s.-h. literatury. – 1951. – P. 398. [in Russian]
4. Tairova A.R. Ocenka plasticheskikh resursov organizma telochek rannego postnatal'nogo perioda razvitiya [Assessment of plastic resources of the body of heifers in the early postnatal period of development] / A.R. Tairova, V.R. Sharif'janova, G. V. Meshherjakova et al // Agrarnyj vestnik Urala [Agrarian Bulletin of the Urals]. – 2017. – № 08 (162). – P. 46-50. [in Russian]
5. Antonenko S.F. Vzaimosvjaz' pokazatelej jembrional'nogo razvitiya s molochnoj produktivnost'ju pervotelok [Relationship of indicators of embryonic development with milk productivity of first-born heifers] / S.F. Antonenko, L.V. Goncharenko, A.M. Mamenko // Zootehnija [Zootechny]. – 2006. – № 3. – P. 21-23. [in Russian]
6. Bakaeva L.N. Rost i razvitie remontnyh tjolok golshtinskoj i ajr-shirskoj porod pri vyrashhivanii v individual'nyh domikah [Growth and development of repair heifers of Holstein and Ayrshire breeds when growing in individual houses] / L.N. Bakaeva, S.V. Karamaev, A.S. Karamaeva // Izvestija Samarskoj Gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii [Proceedings of the Samara State agricultural Academy]. – 2015. – № 1. – P. 74-77. [in Russian]
7. Selezneva N.V. Vlijanie prestarternyh i starternyh kombikormov v molochnyj period na rost i razvitie tjolok holmogorskoj породы [Influence of prestarter and starter feed in the dairy period on the growth and development of heifers of the Kholmogorsky breed] / N.V. Selezneva, M.R. Kudrin // Vestnik Izhevskoj GSHA [Bulletin of the Izhevsk state agricultural Academy]. – 2016. – № 1(46). – P. 56-65. [in Russian]
8. Kudrin M.R. Intensivnye tehnologii vyrashhivaniya remontnyh tjolok, sposobstvujushhie rannemu ih osemeneniju [Intensive technologies for rearing repair heifers that promote their early insemination] / M.R. Kudrin, K.P. Nazarova // 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]. – 2016. – № 9. – V.1. – P. 538-541. [in Russian]
9. Rubcov I.A. Osobennosti rosta i razvitiya tjolok ukrainskoj chjorno-pjostroj molochnoj породы raznyh linij v uslovijah PASP «Hleborob» Ichnjanskogo rajona Chernigovskoj oblasti [Features of growth and development of heifers of Ukrainian black-and-white dairy breed of different lines in the conditions of the village "Khleborob" of the ichnyansky district of the Chernihiv region] / I.A. Rubcov // Aktual'nye problemy intensivnogo razvitiya zhivotnovodstva [Current problems of intensive development of animal husbandry]. – 2019. – № 22-1 – V.1. – P. 54-59. [in Russian]
10. Drew D. Growth targets for bulling heifers / D. Drew // Livestock Farmg. – 1983. – № 21 (11). – P. 38-39.
11. Vil'ver D.S. Vlijanie vozrasta pervogo osemenenija tjolok na mo-lochnuju produktivnost' korov chjorno-pjostroj породы raznogo vozrasta [Influence of the age of the first insemination of heifers on the milk productivity of black-and-white cows of different ages] / D.S. Vil'ver // Izvestija Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Proceedings of the Orenburg state agrarian University]. – 2015. – № 6 (56). – P. 140–142. [in Russian]
12. Metody povysheniya produktivnogo dolgoletija korov (rekondacii dlja specialistov agropromyshlennogo kompleksa, nauchnyh sotrudnikov i studentov vysshih uchebnyh zavedenij) [Methods for increasing the productive longevity of cows (recommendations for specialists of the agro-industrial complex, researchers and students of higher educational institutions)] / avt.-sost. O. S. Chechenihina, E. S. Kazanceva, Ju. A. Stepanova. – Ekaterinburg: Ural'skij GAU. – 2017. – 36 p. [in Russian]
13. Merkur'eva E.K. Biometrija v selekcii i genetike sel'skohozjajstvennyh zhivotnyh [Biometrics in breeding and genetics of farm animals] / E.K. Merkur'eva. – M.: Kolos. – 1970. – 423 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.101.11.020>

ВЛИЯНИЕ СЕЗОНА ГОДА НА ЕСТЕСТВЕННУЮ РЕЗИСТЕНТНОСТЬ МОЛОЧНЫХ КОРОВ РАЗНЫХ ГЕНОТИПОВ

Научная статья

Раджабов Р.Г.^{1,*}, Иванова Н.В.²

^{1,2} Донской государственный аграрный университет, Персиановский, Россия

* Корреспондирующий автор (Rasim.rg[at]yandex.ru)

Аннотация

В статье рассмотрены закономерности адаптационной способности коров разных генотипов на основе показателей естественной резистентности и биохимических исследований сыворотки крови. Установлено, что изменение гуморальных факторов естественной резистентности у коров происходит в основном под воздействием сезонных факторов и условий кормления и содержания, а клеточные факторы естественной резистентности коров имеют сравнительно постоянные значения и менее чувствительны к воздействию сезонных факторов. Содержание общего белка и его фракций изменяются незначительно. Превосходство помесных коров над чистопородными по показателям естественной резистентности можно объяснить проявлением эффекта гетерозиса.

Ключевые слова: генотип, селекция, сезон, естественная резистентность, адаптация.

SEASONAL INFLUENCE ON THE NATURAL RESISTANCE OF DAIRY COWS OF DIFFERENT GENOTYPES

Research article

Radzhabov R.G.^{1,*}, Ivanova N.V.²

^{1,2} Don State University of Agriculture, Persianovsky, Russia

* Corresponding author (Rasim.rg[at]yandex.ru)

Abstract

The article examines the regularities of the adaptive ability of cows of different genotypes based on the natural resistance indicators and biochemical studies of blood serum. The study concludes that the change in humoral factors of natural resistance in cows occurs mainly under the influence of seasonal factors and feeding conditions and handling. The cellular factors of natural resistance in cows have relatively constant values and are less sensitive to the effects of seasonal factors. The total protein content and its fractions vary moderately. The superiority of crossbred cows over purebred ones in terms of natural resistance can be explained by the manifestation of heterosis.

Keywords: genotype, selection, season, natural resistance, adaptation.

Введение

Молочный подкомплекс АПК является одним из основных жизнеобеспечивающих секторов аграрной экономики, оказывающий решающее влияние на уровень продовольственного обеспечения страны и определяющий здоровье нации.

Молочное скотоводство является наиболее важной отраслью по производству животного белка. Сегодня самым дешевым пищевым белком животного происхождения продолжает оставаться молочный белок. Поэтому именно молочный подкомплекс АПК оказывает решающее влияние на уровень продовольственного обеспечения страны.

Россия достигла продуктовой обеспеченности по всем критериям, за исключением молока и молочных продуктов. Обеспеченность населения молочной продукцией в 2018 году составляла 75 % (пороговый уровень 90 %).

В настоящее время потребность населения в молоке и молочной продукции в стране не удовлетворяется за счет собственного производства. Россия является крупнейшим мировым импортером [3], [8], [9].

Важная роль в решении «молочной» проблемы принадлежит селекционно-племенной работе, направленной на совершенствование пород скота. На современном этапе селекционно-племенной работы особенно важное значение приобретают объективные иммуногенетические и биохимические тесты, позволяющие всесторонне определять и прогнозировать племенную ценность животных [1], [2].

Изучение результатов исследований, опубликованных в доступной печати, позволяет сделать заключение, что показатели естественной резистентности крупного рогатого скота различных пород в условиях разных природно-экологических зон и технологий использования изучены недостаточно.

В свою очередь, современные технологии производства молока предъявляют жесткие требования к животным на промышленных высокотехнологизированных комплексах, требуя, чтобы высокая молочная продуктивность положительно сочеталась с крепкой конституцией, высокой жизнеспособностью животных и длительным сроком их продуктивного использования [10].

Поэтому изучение показателей естественной резистентности организма животных и её связей с продуктивными качествами в условиях конкретных природно-климатических условий представляет большой научный и практический интерес.

Исследования проводились в условиях СПК «50 лет Октября» Неклиновского района Ростовской области.

Объектом исследований явился скот красной степной и голштинской пород и их помеси первого поколения. С этой целью сформировали три группы коров: I – красные степные чистопородные; II – голштинские чистопородные; III – помеси ½ кровности. Подопытные группы животных формировались по принципу аналогов по 20 голов в каждой группе. Кормление животных осуществляли сбалансированными рационами в соответствии с детализированными нормами ВИЖ.

Содержание гемоглобина, количество эритроцитов и лейкоцитов определяли на гематологическом анализаторе Medonic CA 530. Общий белок в сыворотке крови, белковые фракции определяли на автоматическом биохимическом анализаторе Stat Faks 1904.

Естественную резистентность и иммунный статус организма животных оценивали по бактерицидной активности сыворотки крови (метод Смирновой О.В. и Кузьминой Т.А., в модификации Бухарина О.В., Созыкина А.В. (1979), лизоцимной активности крови (по Грант), фагоцитарной активности и фагоцитарному индексу (по Кост и Стенко).

Полученный цифровой материал подвергли статистической обработке с использованием пакета анализа данных программы Microsoft Excel.

На естественную резистентность оказывает влияние генотип животных, индикатором которого можно считать интерьерные показатели. Характеристика гематологических показателей позволяет судить о резистентности организма животных при адаптации к новым природно-климатическим условиям [4], [5], [7]. На основании проведенных исследований было установлено, что морфологические показатели крови животных всех сравниваемых групп находились в пределах физиологической нормы.

Таблица 1 – Динамика защитных факторов у коров

Сезон года	Группа	Активность сыворотки крови, %		
		бактерицидная	комплементарная	лизоцимная
Зима	I	75,2 ± 1,7*	12,2 ± 0,5	23,1 ± 0,6
	II	73,2 ± 2,0	11,9 ± 0,4	23,1 ± 0,9
	III	80,4 ± 2,4	14,2 ± 0,3***	25,4 ± 0,9
Лето	I	77,4 ± 2,2	12,9 ± 0,3	24,4 ± 0,8
	II	74,5 ± 1,9*	12,3 ± 0,3	23,8 ± 0,8
	III	82,5 ± 2,0	13,8 ± 0,3*	26,1 ± 0,8*
Осень	I	77,3 ± 1,7	13,1 ± 0,3	25,5 ± 0,9
	II	75,7 ± 1,6*	11,9 ± 0,3*	24,3 ± 0,8
	III	83,1 ± 1,6**	13,8 ± 0,3***	28,1 ± 0,6***

Примечание: * - $P > 0,95$; ** - $P > 0,99$; *** - $P > 0,999$

Изменение бактерицидной активности по сезонам года обусловлено воздействием факторов внешней среды (табл.1).

Исследования показывают, что минимальное значение бактерицидной активности сыворотки крови приходилось на стойловый период, максимальное – на пастбищный период. Коровы-помеси достоверно превосходили чистопородных коров ($P > 0,95$).

Комплементарная активность сыворотки крови у коров, по сравнению с бактерицидной, менее изменчива. В зависимости от сезона года она варьировала незначительно, но к осени наблюдалось ее увеличение. В сравнительном аспекте можно отметить помесей, которые достоверно превосходили чистопородных коров ($P > 0,999$).

Лизоцимная активность сыворотки крови более подвержена сезонным изменениям. Так, в стойловый период отмечены ее минимальные значения, в пастбищный – максимальные. Разница достоверна. Активность лизоцима у коров разных групп в зимний период отличалась незначительно, но летом и осенью помеси достоверно превосходили чистопородных ($P > 0,999$).

Таким образом, изменение гуморальных факторов естественной резистентности у коров происходит в основном под воздействием сезонных факторов и условий кормления и содержания.

В отличие от гуморальных, клеточные факторы естественной резистентности коров менее чувствительны к воздействию сезонных факторов.

Таблица 2 – Фагоцитарная активность лейкоцитов крови коров

Сезон года	Группа					
	I		II		III	
	Лейкоциты, $10^9/\text{л}$	ФА, %	Лейкоциты, $10^9/\text{л}$	ФА, %	Лейкоциты, $10^9/\text{л}$	ФА, %
Зима	6,6 ± 0,2	43,9 ± 1,2*	6,0 ± 0,1	41,9 ± 1,1	5,9 ± 0,1	46,1 ± 1,6
Лето	6,7 ± 0,2	43,2 ± 1,4	6,6 ± 0,2**	42,0 ± 1,2**	6,5 ± 0,2*	47,9 ± 1,1**
Осень	6,3 ± 0,2**	44,1 ± 0,9	6,3 ± 0,2	42,0 ± 1,2	7,0 ± 0,2	47,6 ± 1,2***
ФИ	6,6		6,6		7,3	

Примечание: * - $P > 0,95$; ** - $P > 0,99$; *** - $P > 0,999$. ФИ – фагоцитарный индекс

Фагоцитарная активность лейкоцитов по сезонам года изменялась незначительно (табл. 2). Несмотря на сравнительно равное количество лейкоцитов в крови, активность фагоцитоза значительно выше у помесных животных, чем у чистопородных, фагоцитарный индекс у чистопородных коров равен 6,6, а у помесных – 7,3.

Таким образом, клеточные факторы естественной резистентности имеют сравнительно постоянные значения, сезонные факторы оказывают на них незначительное влияние.

Результаты биохимических исследований сыворотки крови исследуемых животных позволяют судить об уровне обменных процессов в их организме. Установлено, что уровень эритроцитов и гемоглобина за исследуемый период изменялся незначительно. Количество эритроцитов в крови подопытных коров находилось в пределах физиологической нормы. Содержание гемоглобина с выходом коров на пастбище увеличивалось на 6-8%.

При анализе показателей белкового обмена в сыворотке крови было установлено, что содержание общего белка, являющегося консервативным показателем, у исследуемых животных находится в пределах физиологической нормы (табл. 3).

Таблица 3 – Содержание белка и его фракций в сыворотке крови подопытных животных

Сезон года	Группа	Общий белок, г/л	Альбумины, %	Глобулины, %		
				α	β	γ
Зима	I	73,5±1,7	40,0±0,8**	15,0±0,2	14,3±0,2	30,7±0,6
	II	73,2±1,7	40,0±0,7*	15,1±0,2**	14,5±0,2	30,4±0,7
	III	79,9±1,2	39,7±0,9	15,3±0,2	13,8±0,2*	31,2±0,7*
Лето	I	74,9±1,8	38,2±0,5*	15,4±0,1	14,6±0,1	31,8±0,4
	II	73,2±1,8	39,6±0,4**	15,2±0,1**	14,4±0,1**	30,8±0,3*
	III	82,3±1,7	35,7±0,6	15,5±0,2	13,8±0,4	33,2±0,2***
Осень	I	75,8±1,8	38,9±0,3	15,3±0,1	14,5±0,2*	31,3±0,3
	II	72,4±1,6	40,3±0,4**	15,1±0,2*	14,5±0,1**	30,1±0,3*
	III	81,9±1,0	38,6±0,3	14,9±0,2	13,8±0,2	32,7±0,2***

Примечание: * - $P > 0,95$; ** - $P > 0,99$. *** - $P > 0,999$

В ходе исследований установлено, что в стойловый период содержание общего белка ниже, чем в пастбищный. За период исследований достоверной разницы в зависимости от сезона года не обнаружено. Соотношение альбумино-глобулиновых фракций за время опыта не изменялось. Помесные коровы достоверно превосходили чистопородных сверстниц по содержанию общего белка и гамма-глобулинов ($P > 0,999$).

Заключение

Таким образом, гуморальные факторы естественной защиты организма коров изменяются в основном под воздействием сезона года. Гематологические показатели изменяются с выходом животных на пастбище. Содержание общего белка и его фракций изменяются незначительно. Превосходство помесных коров над чистопородными по показателям естественной резистентности можно объяснить проявлением эффекта гетерозиса.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Барашкин М.И. Влияние различных факторов на иммунную систему крупного рогатого скота при промышленных технологиях содержания / М.И. Барашкин // Аграрный вестник Урала. - 2015. - № 2. - С. 16-19. - [Электронный ресурс]. - URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/293051> (дата обращения: 04.10.2020).
2. Борисова, В.В. Молочная продуктивность коров разных генотипов в Оренбургской области / В.В. Борисова, А.М. Белоусов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. - 2016. - № 6. - С. 158-160. - [Электронный ресурс]. - URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/299573> (дата обращения: 04.10.2020).
3. Горлов И.Ф. Оценка современного состояния молочного производства в России / И.Ф. Горлов, Г.В. Федотова, Н.И. Мосолова и др. // Известия НВ АУК. 2019. №2 (54). [Электронный ресурс] – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-sovremennogo-sostoyaniya-molochnogo-proizvodstva-v-rossii> (дата обращения: 04.10.2020).
4. Колосов Ю.А. Проблемы интенсивного развития молочного животноводства на региональном уровне / Ю.А. Колосов, Н.Г. Чамурлиев, Н.Ф. Илларионова // Известия НВ АУК. 2019. №1 (53). [Электронный ресурс] – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-intensivnogo-razvitiya-molochnogo-zhivotnovodstva-na-regionalnom-urovne> (дата обращения: 04.10.2020).
5. Коровин А.В. Влияние сезона года на естественную резистентность коров молочных пород / А.В. Коровин, А.С. Карамеева, А.М. Белоусов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. - 2013. - №1. - С. 99-102. - [Электронный ресурс] – URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/288931> (дата обращения: 04.10.2020).
6. Мохов, А.С. Молочная продуктивность коров голштинской породы разных эколого-генетических типов / А.С. Мохов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского ГАУ – Краснодар: КубГАУ. – 2016 – № 122 (08). [Электронный ресурс] – URL: <http://ej.kubagro.ru/2016/08/pdf/54.pdf>. (дата обращения: 04.10.2020).
7. Наумов М. К. Стрессоустойчивость и резистентность красных степных и помесных первотёлок / М.К. Наумов // Животноводство и кормопроизводство. 2015. №2 (90). [Электронный ресурс] – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/stressoustoychivost-i-rezistentnost-krasnyh-stepnyh-i-pomesnyh-pervotyolok> (дата обращения: 04.10.2020).
8. Раджабов Р.Г. Перспективы развития молочного скотоводства в Ростовской области / Р.Г. Раджабов, Ю.В. Сазонова, Т.Н. Дудка и др. // Проблемы и тенденции инновационного развития агропромышленного комплекса и аграрного образования России : материалы Международной научно-практической конференции. Донской ГАУ, пос. Персиановский, 2012. С. 100-103.
9. Раджабов Р.Г. Состояние и перспективы развития молочного скотоводства Ростовской области / Р.Г. Раджабов, Н.В. Иванова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2015. – №03(107). – URL: <http://ej.kubagro.ru/2015/03/pdf/82.pdf>. (дата обращения: 04.10.2020).
10. Самусенко Л. Генотип коров - основа качества молока /Л. Самусенко, С. Химичева // Молоко и молочные продукты. Производство и реализация. - 2012. - № 2. - С. 17-19.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Barashkin M.I. Vliyanie razlichny`x faktorov na immunnuyu sistemu krupnogo rogatogo skota pri promyshlenny`x texnologiyax soderzhaniya [Influence of various factors on the immune system of cattle in industrial technologies of keeping] / M.I. Barashkin // Agrarny`j vestnik Urala [Agrarian Bulletin of the Urals]. - 2015. - № 2. - P. 16-19. - [Electronic resource] - URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/293051> (accessed: 04.10.2020). [in Russian]
2. Borisova, V.V. Molochnaya produktivnost` korov razny`x genotipov v Orenburgskoj oblasti [Milk productivity of cows of different genotypes in the Orenburg region] / V.V. Borisova, A.M. Belousov // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Proceedings of the Orenburg state agrarian University]. - 2016. - № 6. - P. 158-160. - [Electronic resource] - URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/299573> (accessed: 04.10.2020). [in Russian]
3. Gorlov I.F. Ocenka sovremennogo sostoyaniya molochnogo proizvodstva v Rossii [Assessment of the current state of dairy production in Russia] / I.F. Gorlov, G.V. Fedotova, N.I. Mosolova and others // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa [Proceedings of the Nizhnevolzhsk agro-University complex]. 2019. №2 (54). [Electronic resource] - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-sovremennogo-sostoyaniya-molochnogo-proizvodstva-v-rossii> (accessed: 04.10.2020). [in Russian]
4. Kolosov Yu.A. Problemy` intensivnogo razvitiya molochnogo zhivotnovodstva na regional`nom urovne [Problems of intensive development of dairy farming at the regional level] / Yu.A. Kolosov, N.G. Chamurliov, N.F. Illarionova // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa [Proceedings of the Nizhnevolzhsk agro-University complex]. 2019. №1 (53). [Electronic resource] - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-intensivnogo-razvitiya-molochnogo-zhivotnovodstva-na-regionalnom-urovne> (accessed: 04.10.2020). [in Russian]
5. Korovin A.V. Vliyanie sezona goda na estestvennuyu rezistentnost` korov molochny`x porod [Influence of the season on the natural resistance of dairy cows] / A.V. Korovin, A.S. Karamaeva, A.M. Belousov // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Proceedings of the Orenburg state agrarian University]. - 2013. - № 1. - P. 99-102. - [Electronic resource]. - URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/288931> (accessed: 04.10.2020). [in Russian]
6. Moxov, A.S. Molochnaya produktivnost` korov golstinskoj porody` razny`x e`kologo-geneticheskix tipov [Milk productivity of Holstein cows of different ecological and genetic types] / A.S. Moxov // Politematicheskij setevoy e`lektronny`j nauchny`j zhurnal Kubanskogo GAU [Polythematic network electronic scientific journal of Kuban state agrarian university (Scientific journal of KubSAU)] [Electronic resource]. - Krasnodar: KubGAU. - 2016 - № 122 (08). - URL: <http://ej.kubagro.ru/2016/08/pdf/54.pdf>. (accessed: 04.10.2020). [in Russian]
7. Naumov M. K. Stressoustojchivost` i rezistentnost` krasny`x stepny`x i pomesny`x pervotyolok [Stress resistance and resistance of red steppe and crossbred heifers] / M.K. Naumov // Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo [Animal husbandry and feed production]. 2015. №2 (90). [Electronic resource] - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/stressoustoychivost-i-rezistentnost-krasnyh-stepnyh-i-pomesnyh-pervotyolok> (accessed: 04.10.2020). [in Russian]
8. Radzhabov R.G. Perspektivy` razvitiya molochnogo skotovodstva v Ros-tovskoj oblasti [Prospects for the development of dairy cattle breeding in the Rostov region] / R.G. Radzhabov, Yu.V. Sazonova, T.N. Dudka et al. // Problemy` i tendencii innovacionnogo razvitiya agropromyshlennogo kompleksa i agrarnogo obrazovaniya Rossii : materialy` Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii [Problems and trends of innovative development of the agro-industrial complex and agricultural education in Russia : materials of the International scientific and practical conference]. Donskoj GAU, pos. Persianovskij, 2012. P. 100-103. [in Russian]
9. Radzhabov R.G. Sostoyanie i perspektivy` razvitiya molochnogo skoto-vodstva Rostovskoj oblasti [State and prospects of development of dairy cattle breeding in the Rostov region] / R.G. Radzhabov, N.V. Ivanova // Politematicheskij setevoy e`lektronny`j nauchny`j zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchny`j zhurnal KubGAU) [Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban state agrarian university (Scientific journal of KubSAU)] [Electronic resource] - Krasnodar: KubGAU, 2015. - №03(107). - URL: <http://ej.kubagro.ru/2015/03/pdf/82.pdf>. (accessed: 04.10.2020). [in Russian]
10. Samusenko L. Genotip korov - osnova kachestva moloka [Genotype of cows - the basis of milk quality] / L. Samusenko, S. Ximicheva // Moloko i molochny`e produkty`. Proizvodstvo i realizaciya [Milk and dairy products. Production and sales]. - 2012. - № 2. - P. 17-19. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.101.11.021>

МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕТИКИ СУШКИ С АНАЛИЗОМ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА

Научная статья

Зыков А.В.¹, Юнин В.А.^{2,*}, Захаров А.М.³, Перекопский А.Н.⁴¹ ORCID: 0000-0002-3435-7468;² ORCID: 0000-0002-8111-1727;³ ORCID: 0000-0003-3501-0543;⁴ ORCID: 0000-0003-0998-2306;^{1, 2, 3, 4} Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства - филиал ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Россия

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

Аннотация

Для определения наилучшего метода сушки была изучена кинетика сушки растительного стебельчатого сырья. Были рассмотрены два метода сушки: сушка горячим воздухом и с применением инфракрасного излучения. Для процесса сушки горячим воздухом были выбраны два управляемых фактора: температура в пределах от 30 до 50°C и скорость воздуха от 0,5 до 1,5 м/с. При сушке инфракрасным источником тепла изменяли три фактора: интенсивность инфракрасного излучения в пределах от 1500 до 4500 Вт/м², расстояние между излучателем и растительной массой от 10 до 20 см и скорость воздуха от 0,5 до 1,5 м/с. Самый низкий эффективный коэффициент диффузии влаги ($1,096 \cdot 10^{11}$ м²/с) достигается при сушке горячим воздухом при температуре 30°C и скорости воздуха 0,5 м/с, тогда как максимальное значение ($5,928 \cdot 10^{11}$ м²/с) относится к инфракрасной сушке с интенсивностью инфракрасного излучения 4500 Вт/м², скоростью воздушного потока 0,5 м/с и расстоянием между стебельчатой массой и лампой 15 см.

Ключевые слова: кинетика сушки, коэффициент диффузии, влажность, температура, интенсивность ИК-излучения.

MODELING OF DRYING KINETICS WITH THE ANALYSIS OF PROCESS CHARACTERISTICS

Research article

Zykov A.V.¹, Yunin V.A.^{2,*}, Zakharov A.M.³, Perekopskiy A.N.⁴¹ ORCID: 0000-0002-3435-7468;² ORCID: 0000-0002-8111-1727;³ ORCID: 0000-0003-3501-0543;⁴ ORCID: 0000-0003-0998-2306;^{1, 2, 3, 4} Institute of Agricultural Engineering and Environmental Problems of Agricultural Production, the branch of the All-Union Research Institute of Agricultural Mechanization, Saint Petersburg, Russia

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

Abstract

To determine the best drying method, the kinetics of drying pediculated plan raw materials was studied. The study considered two methods of drying: drying with hot air and with the use of infrared radiation. Two controlled factors were selected for the hot air-drying process: a temperature between 30 and 50 ° C and an air velocity between 0.5 and 1.5 m/s. When drying with an infrared heat source, three factors were changed: the intensity of infrared radiation in the range from 1500 to 4500 W / m², the distance between the emitter and the plant mass from 10 to 20 cm, and the air velocity from 0.5 to 1.5 m/s. The lowest effective moisture diffusion coefficient ($1.096 \cdot 10^{11}$ m²/s) is achieved when drying with hot air at a temperature of 30 ° C and an air velocity of 0.5 m / s, while the maximum value ($5.928 \cdot 10^{11}$ m²/s) refers to infrared drying with an IR intensity of 4500 W / m², an air flow rate of 0.5 m / s and a distance between the stalk mass and the lamp of 15 cm.

Keywords: drying kinetics, diffusion coefficient, humidity, temperature, intensity of the infrared radiation.

Введение

Процесс сушки растительного сырья в сельском хозяйстве помогает достичь двух целей: во-первых, он подавляет рост микроорганизмов, а во-вторых, улучшает хранение и транспортировку сельскохозяйственных продуктов. На процесс сушки приходится самое высокое потребление энергии в кормоприготовлении. Это происходит из-за больших потерь теплоты, необходимой для испарения воды, а также из-за теплофизических свойств сушительных материалов. Следовательно, разработка эффективных методов сушки имеет важное значение для использования и сохранения энергии. Стебли и листья растения можно обезвоживать различными способами. Технология сушки горячим воздухом широко применяется благодаря простоте реализации, невысоким инвестиционным и эксплуатационным затратам. Однако этот метод требует высоких затрат тепловой энергии и длительного времени сушки, что может привести к нежелательным изменениям готового продукта.

Технология сушки с применением инфракрасного источника излучения является практически альтернативным методом. В основном он принят из-за его адаптируемости, простоты оборудования, быстрого нагрева и высыхания, недорогой несложной установки и использования. Сушка с инфракрасным источником тепла широко применяется в качестве альтернативного метода сушки свежих сельскохозяйственных продуктов. При инфракрасной сушке электромагнитная энергия сталкивается с объектом сушки и проникает в него, где превращается в тепло. Чтобы интегрировать экспериментальные данные из исследований по сушке растений в промышленное применение, кинетику сушки следует моделировать математически. Математическая модель также может быть использована для оптимизации управления параметрами на практике и для прогнозирования производительности системы сушки.

Сушка включает в себя сложные термические процессы, в которых масса и тепло передаются одновременно, взаимосвязано и нестабильно как внутри, так и на поверхности образца. Соответственно, необходимо иметь полное представление о параметрах управления в этом процессе. В литературе процесс сушки описывается с помощью трех математических моделей: теоретической, полутеоретической и эмпирической [1], [2]. Понимание основных явлений и механизмов процесса сушки помогает разрабатывать различные теоретические модели. Как теоретические модели, так и компьютерное моделирование применяется в качестве средства для прогнозирования кривых сушки различных продуктов.

Теоретические расчеты и моделирование процесса способны объяснить явления, происходящие в процессе сушки. Эмпирические модели могут быть построены на основе прямой корреляции влажности со временем высыхания без учета принципов этого процесса. Соответственно, эмпирически разработанные модели могут предсказывать кривые сушки для реальных условий. Однако их параметры не имеют физического значения и не в состоянии точно объяснить важные явления процесса. В качестве компромисса между теорией и удобным приложением полутеоретические модели извлекаются из упрощенного второго закона диффузии Фика или получаются путем модификации любой упрощенной широко используемой модели [3].

Анализ литературы [4], [5] показал небольшое количество исследований по кинетике сушки и математическому моделированию измельченного растительного сырья.

Целью данной работы было изучить процесс сушки измельченного растительного сырья с помощью методов сушки горячим воздухом и инфракрасным излучением и найти лучшую модель сушки, объясняющую сушку измельченного растительного сырья горячим воздухом и инфракрасным излучением.

Материалы и методы

Свежее измельченное растительное сырье собирали и измельчали перед каждой серией экспериментов. Растительное сырье было отобрано на основании визуальной оценки их однородного состава, цвета и размера. Растительное сырье всегда собирали утром, после высыхания утренней росы. Перед доставкой в лабораторию растительное сырье хранили в пакетах. Исходная влажность образцов определялась сушкой трех 30-граммовых образцов свежих листьев в электроконвекционной печи при 105°C в течение 24 часов.

Исходная влажность составила $82,2 \pm 0,2\%$. Перед каждым экспериментом большие, не измельченные растения удалялись из массы.

Для проведения исследований была разработана лабораторная установка, состоящая из сушильной камеры, блока управления воздушным потоком, температурой и источником излучения (инфракрасная лампа и электрический нагреватель). Сушильная камера была изготовлена из листового металла, внешняя поверхность которой была полностью изолирована для предотвращения потерь тепла окружающей среды дополнительным кожухом. Для регулировки температуры воздуха использовался блок управления мощностью нагревателя. Температура внутри сушильной камеры постоянно контролировалась термопарой, которая была встроена в элемент управления. Цифровой анемометр использовался для измерения скорости воздуха. На верхней стороне сушильной камеры устанавливалась инфракрасная лампа мощностью 250 Вт. Высота светильника регулировалась штативом. Интенсивность инфракрасного излучения регулировалась автотрансформатором.

Для экспериментов по сушке горячим воздухом были выбраны разные скорости воздушного потока на трех уровнях 0,5, 1 и 1,5 м/с и температуры на трех уровнях 30, 45 и 60°C. Кроме того, для инфракрасной сушки использовались различные уровни интенсивности излучения (1500, 3000 и 4500 Вт/м²), расстояние «лампа-образец» (10, 30 и 50 см) и скорость воздушного потока (0,5, 1,0 и 1,5 м/с). Значения температуры и скорости воздушного потока были выбраны на основе анализа литературы по промышленным применениям сушки воздуха, в частности, по сушке лекарственных растений в тонких слоях. Как показывает практика, для сушки растений следует использовать низкие температуры (т.е. 30–50°C), чтобы получить продукт оптимального качества, без потери белка и протеина. Перед каждым экспериментом сушилку оставляли бездействующей в течение примерно 30 минут для обеспечения устойчивого состояния на основе заранее определенных экспериментальных условий сушки. Для каждой обработки 200 ± 1 г растительного сырья равномерно распределяли тонким слоем на алюминиевой бюксе.

Сушку прекращали, как только образец по влажности достигал целевых 10-13%. Все процедуры сушки проводили в трех повторностях. Затем строили кривые сушки с использованием средних соотношений влажности в каждый момент времени.

Массовую долю влаги в процентах в испытуемой пробе вычислили по формуле:

$$X = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \cdot 100, \quad (1)$$

где X- массовая доля влаги, %;

m_1 - масса бюксы без испытуемой пробы, г;

m_2 - масса бюксы с испытуемой пробой до сушки, г;

m_3 - масса бюксы с испытуемой пробой после сушки, г.

Затраченная энергия на испарение влаги была рассчитана

Энергия, затраченная на испарение, была рассчитана с помощью уравнения Аррениуса [6], [7]:

$$D_{\text{ипс}} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (2)$$

где D_0 -предэкспоненциальный коэффициент уравнения Аррениуса, E_a -энергия испарения (кДж/моль),
 R -идеальная газовая постоянная (8,314 Дж/кмоль),
 T - температура сушки.

Результаты и обсуждение

Время, необходимое для сушки измельченного растительного сырья подробно изложено в наших предыдущих работах [8,] [9]. Графики экспериментальных данных по сушке горячим воздухом измельченного растительного сырья при различных температурах (30, 40 и 50°C) и скоростях воздушного потока (0,5, 1,0 и 1,5 м/с) были проанализированы с точки зрения уменьшения коэффициента влажности в зависимости от времени сушки. Это связано с тем, что кривые влажности лучше объясняют поведение продуктов при сушке, чем кривые конечной влажности, поскольку исходная влажность для всех экспериментов была сравнена к 82,2%. Форма кривых сушки горячим воздухом для растений аналогична, как и для других пищевых материалов.

Результаты исследования показали, что температура оказывает наиболее значительное влияние на кинетику сушки образцов. Скорость воздушного потока оказала второе по значимости влияние. Как показано на рисунке 1, кривые сушки становились круче с увеличением скорости потока воздуха. Более высокие скорости воздуха привели к более быстрой сушке за счет улучшения конвективных коэффициентов теплопереноса между образцом и окружающим воздухом.

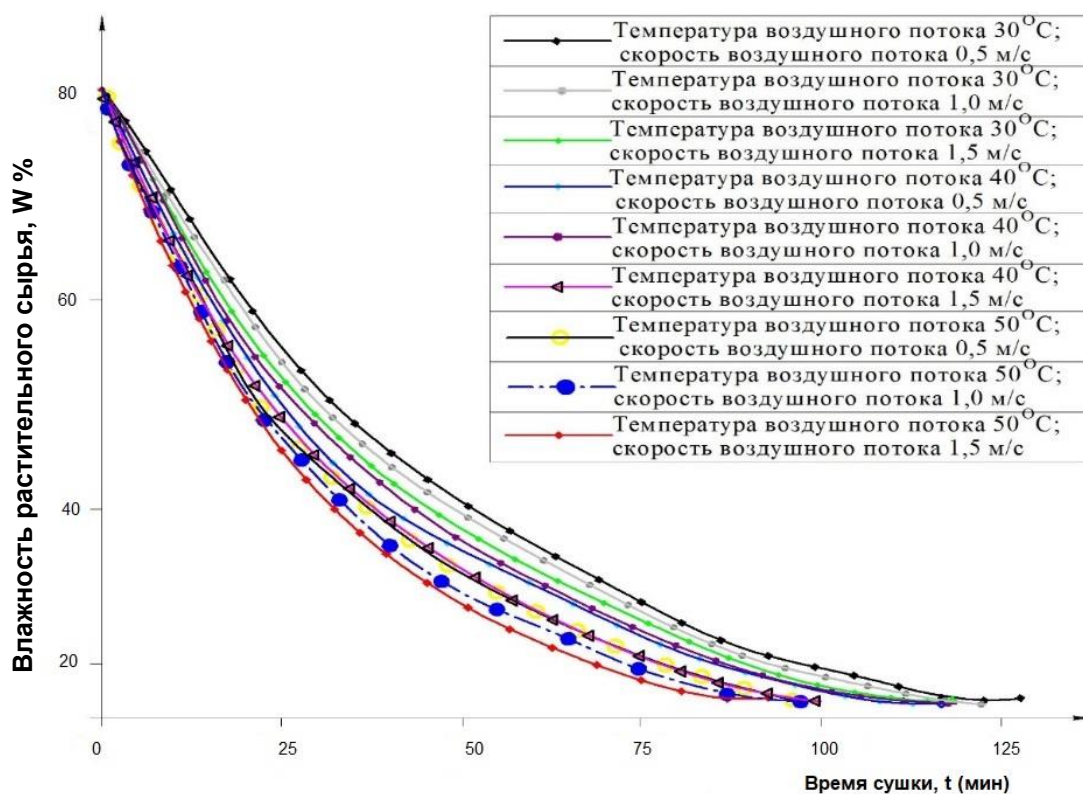


Рис. 1 – Изменение соотношения влажности в зависимости от времени для сушки горячим воздухом измельченного растительного сырья

Кривые инфракрасной сушки измельченной растительной массы, высушенных при различных настройках, представлены на рисунке 2. Во время сушки скорость удаления влаги снижается и запускается период падения скорости. Период с постоянной скоростью удаления влаги во всех условиях эксперимента отсутствовал. Снижение влажности следовало экспоненциальной тенденции во время сушки для всех опытов.

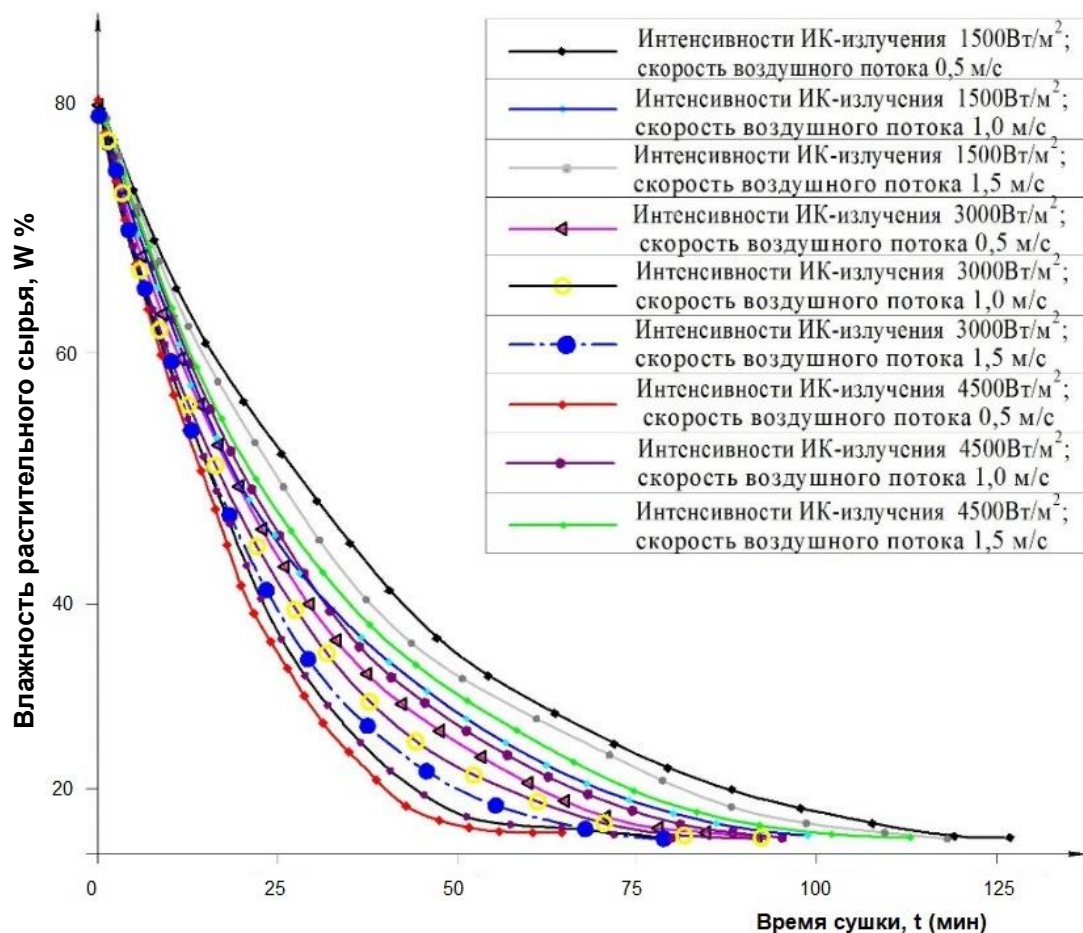


Рис. 2 – Зависимость влажности от времени во время сушки инфракрасным излучением при различной интенсивности ИК-излучения, скоростях воздуха и расстоянии «излучатель-образец» 15 см

Влияние уровня инфракрасного излучения на влажность образцов было значительным, как и предполагалось (рисунок 2). Как при постоянной скорости воздушного потока, так и при изменении расстояния между излучателем и образцом влажность уменьшается быстрее при повышении уровня инфракрасного излучения. Этот результат согласуется с данными, опубликованными ранее [9]. Результаты инфракрасной сушки показали, что, в отличие от сушки горячим воздухом, влажность снижается быстрее с уменьшением скорости воздушного потока при одинаковой интенсивности инфракрасного излучения и расстоянии между излучателем и образцом. Увеличение скорости воздушного потока усилило охлаждающий эффект, который снизил температуру продукта.

При одинаковой интенсивности инфракрасного излучения и скорости воздушного потока уменьшение влагоотдачи ускоряется, когда инфракрасный излучатель помещается ближе к образцу. При увеличении расстояния между образцом и излучателем тепловое излучение попадает на поверхность образца, но не проникает эффективно внутрь. Поэтому поглощенная энергия влаги внутри листьев образца резко уменьшается. Соответственно, степень удаления влаги уменьшалась за счет увеличения расстояния между инфракрасным излучателем и образцом. Т.е. расстояние оказало существенное влияние на испарение влаги из образцов.

На рисунке 3 представлены значения диффузии влаги при разных температурах и скоростях воздушного потока. Ожидается, что значения диффузии влаги увеличиваются при повышении температуры сушки. Это было связано с увеличением давления паров образцов, что ускоряло влагообмен при более высоких температурах. При сушке растений при более высокой температуре энергия нагрева увеличивается, что приводит к увеличению активности молекул воды. В результате могут быть получены более высокие значения диффузии влаги.

Использование более высоких скоростей воздушного потока при всех температурах сушки приводит к более высоким значениям диффузии влаги. Это может быть связано с более низким давлением пара в результате более высокой скорости воздушного потока, что, в свою очередь, снижает сопротивление испарению.

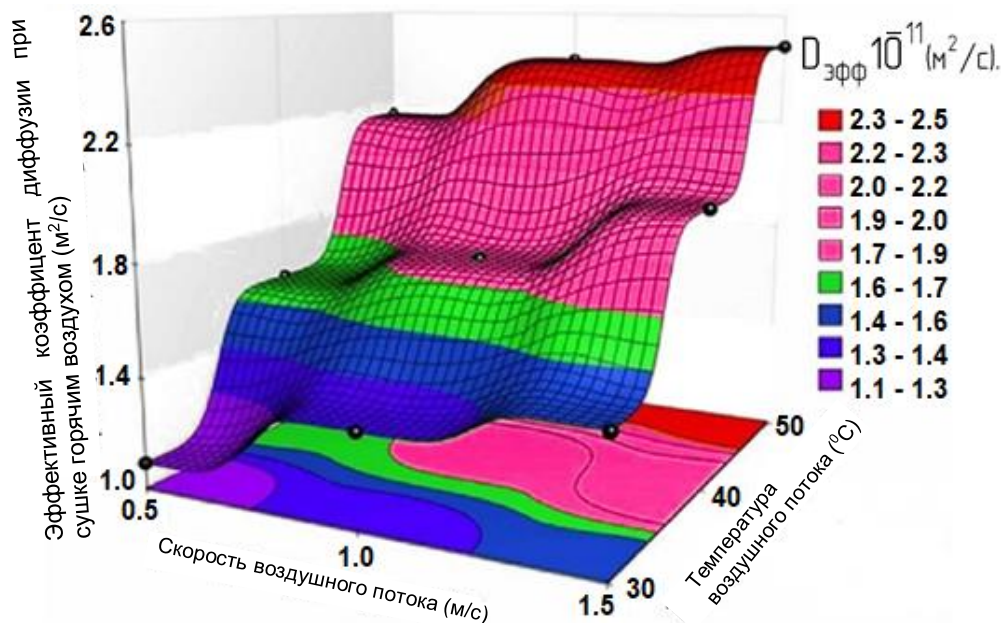


Рис. 3 – Взаимодействие между скоростью воздуха и температурой на эффективный коэффициент диффузии при сушке горячим воздухом измельченного растительного сырья

Наименьшее значение диффузии влаги наблюдалось при скорости воздушного потока 0,5 м/с при 30°C, в то время как его наибольшее значение было зарегистрировано при использовании осушающего воздуха 50°C со скоростью 1,5 м/с. Эти результаты показали, что более высокая температура и скорость воздуха предпочтительны для сушки измельченного растительного сырья при использовании сушки горячим воздухом в заданных экспериментальных условиях. Влияние температуры воздуха на диффузию влаги измельченного растительного сырья было больше, чем скорость воздушного потока.

$$D_{\text{ипс}} = 10^{-12} \cdot (0.11T + 5.9V + 0.01T^2 - 1.39V^2 + 0.59), \quad R^2 = 0.98, \quad (3)$$

Расчетные значения испарения влаги для измельченного растительного сырья при инфракрасной сушке показаны на рисунке 4. Из рисунка видно, что диффузия влаги увеличивается, когда интенсивность инфракрасного излучения увеличивается при постоянной скорости воздушного потока и постоянном расстоянии между излучателем и образцом. Это может быть вызвано повышенными уровнями интенсивности инфракрасного излучения, которые быстро повышают температуру образца. В результате давление пара также увеличилось, что привело к более быстрой сушке.

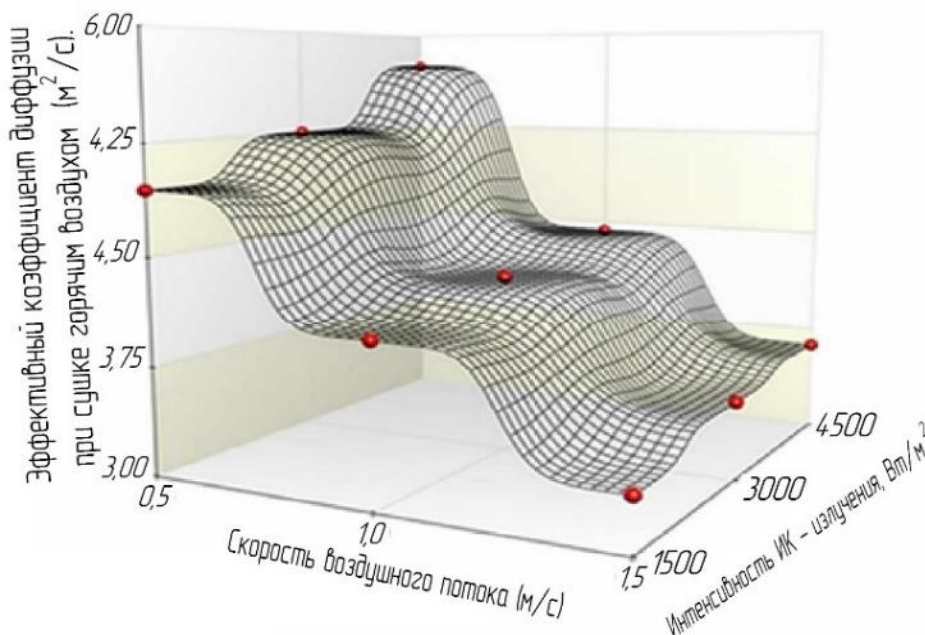


Рис. 4 – Вариации эффективного коэффициента диффузии в зависимости от интенсивности инфракрасного излучения, скорости воздуха и расстояния образец - лампа 15 см

Исследования на измельченной капусте также показали аналогичные эффекты инфракрасного излучения на диффузии влаги. Увеличение скорости воздушного потока при постоянной интенсивности инфракрасного излучения и расстоянии между излучателем и образцом уменьшает диффузию влаги. Это связано с тем, что более быстрый

воздушный поток охлаждает поверхность образца, в то время как внутренняя температура образца остается относительно выше, чем температура поверхности и окружающего воздуха. Это приводит к отрицательному температурному градиенту. Для сушки с ИК-источником тепла наименьшее значение диффузии влаги было при скорости потока воздуха 1,5 м/с, интенсивности излучения 1500 Вт/м² и расстоянии между излучателем и образцом 20 см, тогда как наибольшее значение диффузии влаги было зарегистрировано при скорости воздуха 0,5 м/с.

Значения диффузии влаги из этого исследования находились в пределах от 10,1 до 10,8 м²/с для сушки растительных материалов. Соответственно, наибольшие значения диффузии влаги принадлежали экспериментам с инфракрасной сушкой. В основном это связано с тем, что сушка в инфракрасной сушилке выполняется за гораздо более короткое время, чем в системе сушки горячим воздухом. Таким образом, метод сушки с помощью инфракрасного излучения оказался более эффективным при сушке измельченного растительного сырья, чем сушка горячим воздухом.

Выводы

Кинетика сушки измельченного растительного сырья при двух методах сушки: горячим воздухом и инфракрасным излучением была проанализирована и смоделирована. В обоих методах сушки удаление влаги наблюдалось в период уменьшения скорости, а не во время периода постоянной скорости. Эффективность инфракрасной сушки была выше, чем у сушки горячим воздухом, благодаря более высокой скорости сушки. Чтобы получить более глубокое представление о механизме массопереноса измельченного растительного сырья во время процесса сушки, также была определена эффективная диффузия влаги. Было обнаружено, что значения диффузии влаги варьировались от $1,096 \cdot 10^{-11}$ до $2,486 \cdot 10^{-11}$ м²/с и от $3,312 \cdot 10^{-11}$ до $5,928 \cdot 10^{-11}$ м²/с для сушки горячим воздухом и инфракрасной сушкой соответственно. При сушке горячим воздухом значение диффузии влаги было больше при более высоких температурах и более высоких скоростях воздушного потока. Однако при инфракрасной сушке увеличение интенсивности инфракрасного излучения и уменьшение скорости воздушного потока и расстояния «образец-лампа» приводили к более высоким значениям.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Сухопаров А.И. Модели процесса изменения влажности в проявляемой траве в зависимости от периодичности ворошения. // Сухопаров А. И., Ерёмин М. А., Ерохин И. В./Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2015. № 86. С. 89-95.
2. Попов В.Д. Информационная и структурная модели управления технологиями в растениеводстве / В.Д. Попов, А.И. Сухопаров // Вестник РАСХН, 2010, № 3. -С. 7-8.
3. Fan K Characterization of thin layer hot air drying of sweet potatoes (*Ipomoea batatas* L.) slices / Fan K, Chen L, He J, Yan F. // J Food Process Preserv 2015;39(6):1361–71
4. Попов В.Д. Основы управления технологиями низкотемпературной сушки растительной стебельчатой массы: монография / В.Д. Попов, М.Ш. Ахмедов, А.И. Сухопаров, Н.Н. Кузнецов, А.В. Зыков. -Санкт-Петербург: ИАЭП, 2017. -142 с.
5. Кузнецов Н.Н. Повышение эффективности заготовки прессованного в рулоны сена путем оптимизации параметров процесса сушки и режимов работы оборудования / Н.Н. Кузнецов: автореф. дис. канд. техн. наук. СПб., 2007. 18 с.
6. Akpinar E.K. Single layer drying behaviour of potato slices in a convective cyclone dryer and mathematical modeling / Akpinar EK, Midilli A, Bicer Y. // Energy Convers Manage 2003;44:1689–705.
7. Lopez A. Thin-layer drying behaviour of vegetable waste from wholesale market / Lopez A, Iguaz A, Esnoz A, Virseda P. // Dry Technol 2000;18:995–1006
8. Кузнецов Н.Н. Исследование процесса удаления влаги при приготовлении кормов из трав / Н.Н. Кузнецов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 3 (55). С. 380-388
9. Юнин В.А. Процесс сушки измельченного растительного материала в барабанной сушилке / В.А. Юнин., А.М. Захаров., Н.Н. Кузнецов., А.В. Зыков // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 1 (57). С. 335-349.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Suxoparov A.I Modeli processa izmeneniya vlazhnosti v provyalivaemoj trave v zavisimosti ot periodichnosti vorosheniya. [Models of the process of changing the humidity in the dried grass depending on the frequency of tilling] //Suxoparov A. I., Eryomin M. A., Eroxin I. V./Tekhnologii i texnicheskie sredstva mexanizirovannogo proizvodstva produkci rastenievodstva i zhivotnovodstva. 2015. № 86. P. 89-95. [in Russian]
2. Popov V.D. Informacionnaya i strukturnaya modeli upravleniya texnologiyami v rastenievodstve [Information and structural models of technology management in crop production] / V.D. Popov, A.I. Suxoparov //Vestnik RASXN, 2010, № 3. P. 7-8. [in Russian]
3. Fan K Characterization of thin layer hot air drying of sweet potatoes (*Ipomoea batatas* L.) slices / Fan K, Chen L, He J, Yan F. // J Food Process Preserv 2015;39(6):1361–71
4. Popov V.D. Osnovy` upravleniya texnologiyami nizkotemperaturnoj sushki rastitel`noj stebel`chatoj massy [Fundamentals of technology management for low-temperature drying of plant stalks: monograph] / V.D. Popov, M.Sh. Axmedov, A.I. Suxoparov, N.N. Kuzneczov, A.V. Zy`kov. -Sankt-Peterburg: IAE`P, 2017. -142 p. [in Russian]

5. Kuznecov N.N. Povyshenie effektivnosti zagotovki pressovannogo v rulony sena putem optimizacii parametrov processa sushki i rezhimov raboty oborudovaniya [Improving the efficiency of harvesting hay pressed into rolls by optimizing the parameters of the drying process and operating modes of equipment] / N.N. Kuznecov. SPb., 2007. 18 p. [in Russian]
6. Akpinar E.K. Single layer drying behaviour of potato slices in a convective cyclone dryer and mathematical modeling / Akpinar EK, Midilli A, Bicer Y. // Energy Convers Manage 2003;44:1689–705.
7. Lopez A. Thin-layer drying behaviour of vegetable waste from wholesale market / Lopez A, Iguaz A, Esnoz A, Virseda P. // Dry Technol 2000;18:995–1006
8. Kuznecov N.N. Issledovanie processa udaleniya vlagi pri prigotovlenii kormov iz trav [Investigation of the process of removing moisture in the preparation of feed from herbs] / N.N. Kuznecov // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2019. № 3 (55). P. 380-388 [in Russian]
9. Yunin V.A Process sushki izmel'chennogo rastitel'nogo materiala v barabannoj sushilke [Process of drying crushed plant material in a drum dryer] / V.A. Yunin., A.M. Zaxarov., N.N. Kuznecov., A.V. Zy'kov // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2020. № 1 (57). P. 335-349. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.101.11.022>

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Научная статья

Зыков А.В.¹, Юнин В.А.^{2,*}, Захаров А.М.³, Перекопский А.Н.⁴¹ ORCID: 0000-0002-3435-7468;² ORCID: 0000-0002-8111-1727;³ ORCID: 0000-0003-3501-0543;⁴ ORCID: 0000-0003-0998-2306;^{1, 2, 3, 4} Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства - филиал ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Россия

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

Аннотация

В статье приведено обоснование возможности и целесообразности применения сушилки с инфракрасным источником тепла для сушки трав. В качестве объекта исследования применялись травы луговые (травосмеси) в крупно- и мелкоизмельченном состоянии, клевер луговой, смесь клевера 2-го года с тимфеевкой. Для проведения исследований применялась экспериментальная сушилка конвективного типа с инфракрасным источником тепла, позволяющая изменять в достаточно широких пределах режимные и загрузочные показатели (температура теплоносителя не более $t_1 = 60^\circ\text{C}$, скорость его движения до $\omega_2 = 2,0 \text{ м/сек}$ и плотность загрузки высушиваемого материала до $P_c = 6,0 \text{ кг/м}^2$). Параметрами, обеспечивающими максимальную интенсивность процесса сушки травы при сохранении ее питательных и витаминных свойств, являются: температура теплоносителя в сушилке $t_1 < 60^\circ\text{C}$, также возможно применение ступенчатого температурного режима сушки, при котором в начальный период устанавливается температура теплоносителя $t_1 = 90^\circ\text{C}$, до снижения влажности материала до $W = 60\%$, и при окончании процесса сушки – температура $t_1 = 50^\circ\text{C}$, и скорость движения воздуха, обеспечивающая максимальную производительность при минимальных потерях, $\omega = 0,8-1,0 \text{ м/сек}$.

Ключевые слова: растительный материал, конвективная сушилка, сушка растительного сырья, режимные параметры.

RESEARCH OF THE DRYING PROCESS OF VEGETABLE RAW MATERIALS

Research article

Zykov A.V.¹, Yunin V.A.^{2,*}, Zakharov A.M.³, Perekopskiy A.N.⁴¹ ORCID: 0000-0002-3435-7468;² ORCID: 0000-0002-8111-1727;³ ORCID: 0000-0003-3501-0543;⁴ ORCID: 0000-0003-0998-2306;^{1, 2, 3, 4} Institute of Agricultural Engineering and Environmental Problems of Agricultural Production, the branch of the All-Union Research Institute of Agricultural Mechanization, Saint Petersburg, Russia

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

Abstract

The article provides a rationale for the possibility and feasibility of using a dryer with an infrared heat source for drying herbs. As a subject of research, meadow grass (grass mixtures) in a coarse and finely ground state, hop clover and a mixture of 2-year-old clover with Timothy were used. To conduct the study, an experimental convective dryer with an infrared heat source was used, which allowed for changing the operating and loading parameters within a fairly wide range (the temperature of the coolant is no more than $t_1 = 60^\circ\text{C}$, the speed of its movement is up to $\omega_2 = 2,0 \text{ м/сек}$ and the loading density of the dried material is up to $P_c = 6,0 \text{ кг/м}^2$). The parameters that maximize the intensity of the drying process of herbs while preserving its nutritional and vitamin properties include: the temperature of the coolant in the dryer $t_1 < 60^\circ\text{C}$; the speed of air movement for maximum performance with minimal loss that amounts to $\omega = 0,8-1,0 \text{ м/сек}$; it is also possible to enable the stage temperature drying mode, wherein in the initial period, when the coolant temperature is set to $t_1 = 90^\circ\text{C}$, before the reduction in the moisture of the contents, when it is set to $W = 60\%$, and at the end of the drying process, when the temperature is set to $t_1 = 50^\circ\text{C}$.

Keywords: plant material, convective dryer, drying of plant raw materials, operating parameters.

Введение

В целях реализации программы «Развитие производства кормов и кормовых добавок для животных», разработанной Министерством сельского хозяйства РФ совместно с Министерством науки и высшего образования РФ и Российской академией наук, на 2017 — 2025 годы намечено увеличение производства зерна и кормовых культур, всемерное повышение продуктивности естественных кормовых угодий, увеличение производства полноценных комбикормов и белково-витаминных добавок и производства травяной резки и муки [1].

Термин «Сенная мука» принят ввиду того, что в промежуточной стадии обработки в процессе сушки трава превращается в сено и лишь в последующем через определенное время сушки она превращается путем разлома в мелкораздробленную травяную резку, а после измолота в муку.

В условиях Северо-Западного региона РФ, характеризующегося большим количеством осадков, высокой относительной влажностью воздуха и сравнительно низкой его температурой, исключается возможность применения других способов сушки трав на витаминную составляющую, кроме как искусственная сушка [2].

До настоящего времени не производились исследования по изучению влияния ИК-излучения на продолжительность искусственной сушки трав в подвижном слое, отдельных режимных и загрузочных показателей. Не изучен вопрос определения оптимальных значений этих величин для установления наибольшей производительности и максимально возможного сохранения ценных питательных и витаминных свойств высушиваемого растительного материала, без увеличения затрат на производство единицы продукции.

Материалы и методы

На основе научной теории процессов сушки, разработанной Лыковым А.В. в XIX веке, (теории тепло и массообмена в процессах сушки, о формах связи влаги с материалом и структуре и химическом составе растительных материалов), процесс сушки трав рассматривается капиллярно-пористых материалов, в соответствии с делением твердых влажных тел по коллоидно-физическим свойствам [3]. В качестве определяющих показателей в представленной работе приняты независимые переменные, определяющие режим сушки: температура ($t, ^\circ\text{C}$), скорость движение воздуха ($\omega_2 = 2,0 \text{ м/сек}$), и относительная влажность ($\phi_1, \%$) теплоносителя в сушилке. В качестве удельно-весового загрузочного показателя, характеризующего одновременно высоту слоя загрузки материала $h, \text{см}$ сушилки принята величина объема загрузки высушиваемого растительного материала по абсолютно сухому веществу ($P_c, \text{кг/м}^2$). Все остальные режимные показатели ($t_2, ^\circ\text{C}$, $\phi_2, \%$, W_c , Z , p , и т.д.) зависят от вышеперечисленных и устанавливаются либо дополнительными измерениями, либо расчетным путём. В качестве исходной теоретической предпосылки принят закон перемещения влаги в материале, из общего уравнения тепло- и массообмена:

$$i = i_u + i_t = -k \cdot \gamma_0 \cdot (1 - \delta \cdot \frac{dt}{du}) \Delta U, \text{ кг/м}^2 \text{ час} \quad (1)$$

Где: i_u - плотность загрузки Δt ($\text{кг/м}^2 \text{ час}$);

i_t - плотность потока влаги под действием температурного градиента, Δt ($\text{кг/м}^2 \text{ час}$);

k - коэффициент влагопроводности, ($\text{м}^2/\text{час}$);

γ_0 - вес абсолютно сухого вещества в единице объема влажного тела, (кг/м^3);

δ - коэффициент термовлагопроводности, ($1/\text{град}$);

$\frac{dt}{du}$ - частная производная температуры материала по влажности в данной точке.

Для проведения исследования применялась экспериментальная сушилка конвективного типа с инфракрасным источником тепла, позволяющая изменять в достаточно широких пределах режимные и загрузочные показатели (температура теплоносителя не более $t_1 = 60 ^\circ\text{C}$, скорость его движения до $\omega_2 = 2,0 \text{ м/сек}$ и плотность загрузки высушиваемого материала до $P_c = 6,0 \text{ кг/м}^2$. Часть опытов ставилась с искусственным увлажнением теплоносителя введением водяного пара от испарителя с увеличением относительной влажности до $\phi_1 \% = 67,6$.

Влажность травы в начале и в конце процесса сушки (в 2 проворностях) определялась абсолютным методом – сушкой при температуре $105 \pm 1 ^\circ\text{C}$ в электрошкафу с выдержкой 5-6 часов, с последующим взвешиванием с точностью $\pm 0,5 \text{ гр}$.

В качестве объекта экспериментальных исследований применялись травы луговые (травосмеси) в крупно- и мелкоизмельченном состоянии, клевер луговой, смесь клевера 2-го года с тимфеевкой в измельченном и измельчено-плющеном виде.

Определение продолжительности искусственной сушки трав

Согласно представленному выше уравнению (1) тепло- массообмена, вводя значение массообменного критерия Био [4], [6]:

$$B_{i_m} = \frac{\beta}{a_m} \cdot R, \quad (2)$$

Устанавливающая связь коэффициента влагообмена β (м/час) с определяющим геометрическим размером высушиваемого объекта R (в данном случае это $\frac{1}{2}$ толщины материала), a_m - коэффициент влагообмена при сушке влажного материала, отнесенный к разности парциальных давлений ($p_m - p_n$) пара у поверхности материала и в окружающей среде ($\text{кг/м}^2 \text{ час мм.рт.ст.}$) производится определение скорости сушки следующим выражением:

$$-\frac{dW}{dZ} = \frac{a_m}{R^2} \cdot \frac{1}{\frac{4}{\pi^2} + \frac{1}{B_{i_m}}} \cdot (W_c - W_p), \quad (3)$$

Так как понятие «влагоудержание» - U (кг/кг сух.) равноценно по своему физическому смыслу понятию «абсолютная влажность» - W_c (%), или иначе уравнение можно представить так:

$$-\frac{dW}{dZ} = K(W_c - W_p), \quad (4)$$

где K – коэффициент сушки (1/мин; 1/час) (-в процессе обработки K – тангенс угла наклона касательной к оси абсцисс в данной точке кривой скорости сушки $-\frac{dW}{dZ} = f(W_c)$; численно $K = \frac{1}{R} \cdot \frac{1}{\frac{1}{\beta} + \frac{4}{\pi^2} + \frac{R}{a_m}}$.

При интегрировании выражения (4) в пределах от начальной W_c' до конечной влажности W_c'' получаем уравнение:

$$K \cdot Z = \ln \left(\frac{W_c' - W_p}{W_c'' - W_p} \right),$$

$$Z = \frac{2,3}{K} \cdot \lg \left(\frac{W_c' - W_p}{W_c'' - W_p} \right)$$

На основе построения графиков, по методике математической обработки результатов экспериментальных зависимостей, [5], [7] находим:

$$Z_0' = F(t_1; \omega_2; P_c; \varphi_1), \quad (5)$$

Затем устанавливается связь продолжительности сушки (Z_0 мин.) с ее приведенной величиной (Z_0') мин:

$$Z_0 = Z_0' \cdot \frac{\lg(W_c' - W_p) - \lg(W_c'' - W_p)}{\lg(375 - W_p) - \lg(10 - W_p)}, \quad (6)$$

С учетом того, что применение для сушки трав температуры теплоносителя ниже 60°C нецелесообразно [6] (как показали экспериментальные исследования) и, следовательно, и в остальных случаях равновесная влажность $W_p = 0\%$; зависимость (6) примет более удобный для использования в процессе расчета вид:

$$Z_0 = 0,635 \cdot Z_0' \cdot \lg \frac{W_c'}{W_c''}, \text{ мин} \quad (7)$$

Поправочный коэффициент на экспериментальные условия $\xi = Z_{\text{действ}}/Z_0$ в результате проверок составляет $\xi = 1,2-1,3$ и зависит от степени совершенствования конструкции сушильной установки и условий ее работы.

Результаты и обсуждения

Исследования, проведенные на измельченных травах (до размера частиц $l_p = 50 \pm 20$ мм), показали, что измельчение приводит к уменьшению продолжительности сушки примерно в 1,5 раза, рисунок 1. Например, приведенная продолжительность сушки клевера, измельченного при $t_1 = 60^\circ\text{C}$, $P_c = 3,5$ кг/м² и $\omega_2 = 0,9$ м/сек, составила $z_0 = 18,5$ минут, а неизмельченного $z_0 = 27,8$ минут.

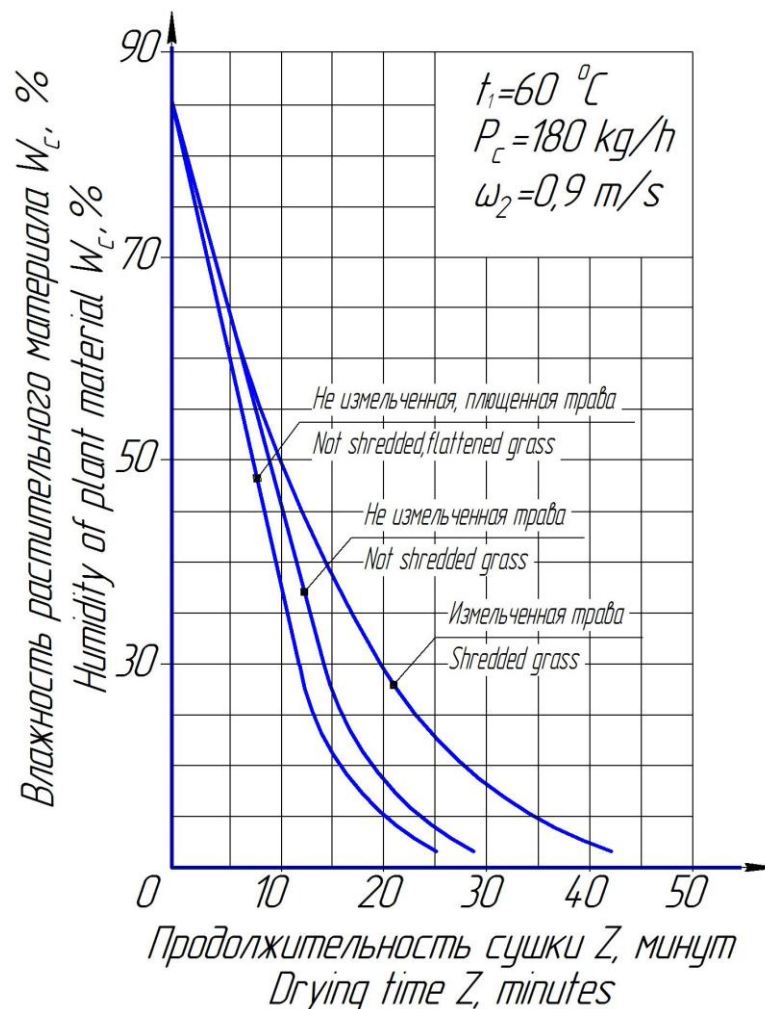


Рис. 1 – Влияние предварительной подготовки трав на процесс сушки трав

Измельчение увеличивает удельную поверхность испарения, вследствие чего необходимым условием для проведения интенсивного процесса сушки является не только достаточно высокая температура, но и высокая скорость воздуха, но, вместе с этим, увеличение скорости воздуха при сушке измельченных трав приводит к уносу наиболее легких и ценных частиц материала.

Предварительное плющение, непосредственно перед процессом сушки трав (при рабочем давлении плющильных вальцов $6 \pm 2 \text{ кг/см}$), как показали опыты, малоэффективно (максимальное сокращение приведенной продолжительности сушки – 1-2 минуты), а при повышении величины загрузки $P_c, \text{ кг/м}^3$, даже замедляет процесс сушки.

Как показали проведенные исследования, с увеличением температуры теплоносителя до 85°C резко возрастает интенсивность испарения влаги из материала, рисунок 2. Однако необходимо помнить, что при чрезмерном повышении температуры теплоносителя происходит резкое уменьшение содержания провитамина А в готовом продукте.

По анализам проб, сданных в агрохимлабораторию, при $t_1 = 60^\circ \text{C}$ содержание каротина составило 262 мг/кг СВ (сух. вещества) (95,2% исходного количества), при $t_1 = 85^\circ \text{C}$ – 232 мг/кг СВ ., а при $t_1 = 110^\circ \text{C}$ – 180 мг/кг СВ . Содержание переваримого протеина в процентах к СВ изменялось от 21,5 при $t_1 = 60^\circ \text{C}$ до 20,9 при $t_1 = 110^\circ \text{C}$ (82,3% содержания его в исходном материале – свежескошенной траве). Оптимальное значение температуры воздуха в сушилке составляет $t_1 \leq 60^\circ \text{C}$.

Увеличение скорости движения воздуха при сушке трав до $\omega_2 = 1,0-1,5 \text{ м/сек}$ приводит к значительному росту интенсивности испарения влаги.

Например, при $t_1 = 65^\circ \text{C}$, $P_c = 3,5 \text{ кг/м}^2$ интенсивность испарения влаги увеличилась от $\omega_{0,6} = 19,8 \text{ кг/м}^2 \text{ час}$ до $\omega_{1,5} = 38 \text{ кг/м}^2 \text{ час}$, т.е. возросла в 2 раза.

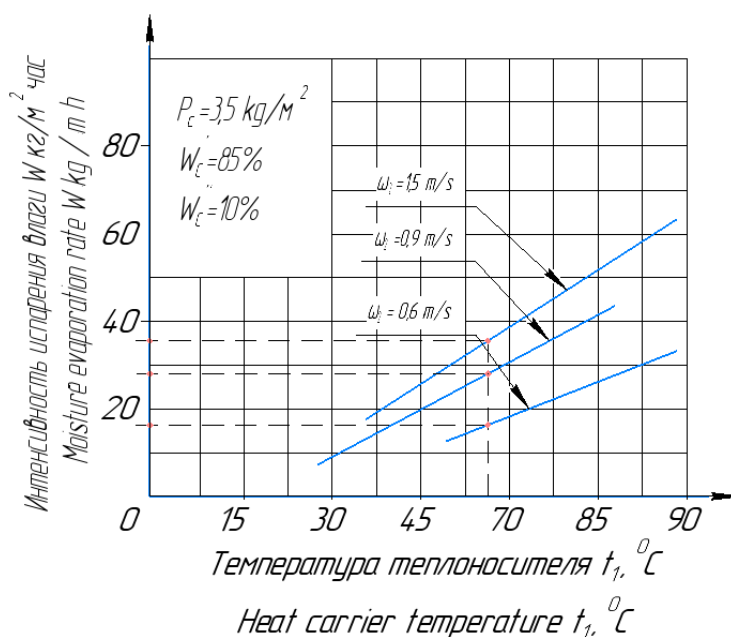


Рис. 2 – Зависимость интенсивности испарения влаги из травы луговой измельченной от различной скорости воздуха

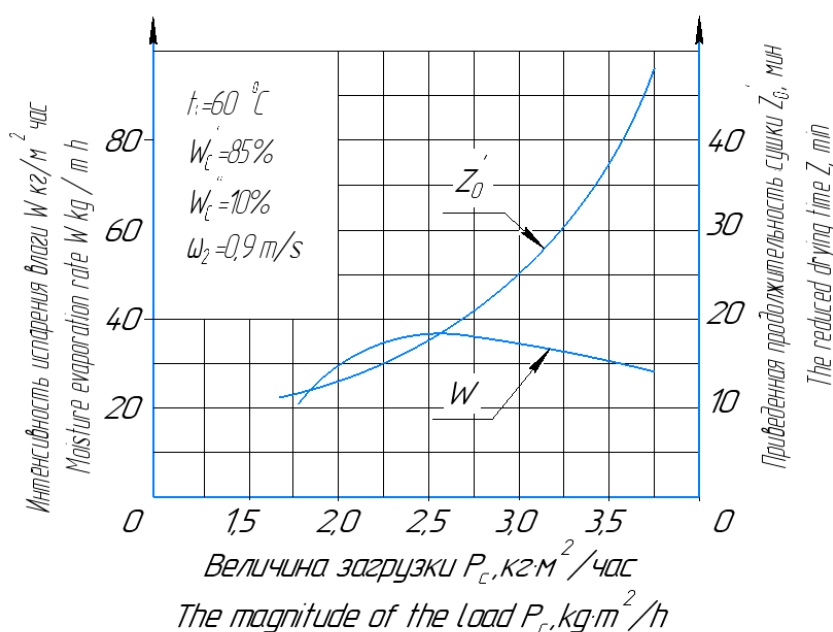


Рис. 3 – Влияние загрузки на процесс сушки трав

Верхний предел скорости воздуха в сушилке ограничен увеличением потерь высушиваемого материала (скорость витания листьев растений ($V_6 = 1.2-2.1 \text{ м/сек.}$) и незначительным повышением эффективности при дальнейшем увеличении; в приведённом примере $\omega_{1.5} = 48 \text{ кг}/\text{м}^2 \text{ час}$, т.е. возросла всего в 1,2 раза по сравнению с $\omega_{0.6}$. Существенное значение имеет правильный выбор величины плотности загрузки высушиваемого материала рисунок 3. Так, например, при $t_1 = 60^\circ\text{C}$, $\omega_2 = 0.6 \text{ м/сек.}$ интенсивность испарения влаги изменяется с увеличением загрузки следующим образом: $\omega_{1.7 \text{ кг}/\text{м}^2} = 23.7 \text{ кг}/\text{м}^2 \text{ час}$, $\omega_{3.0 \text{ кг}/\text{м}^2} = 36.5 \text{ кг}/\text{м}^2$ (т. е. возросла в 1,5 раза); $\omega_{6.0 \text{ кг}/\text{м}^2} = 30.0 \text{ кг}/\text{м}^2$ (снижение в 1,2 раза).

Обсуждение и заключения

Сравнение, по данным исследований, процесса сушки неизмельченные травы в слое при: I – оптимальном режиме, (например, $t_1 = 60^\circ\text{C}$, $\phi_1 = 6.2\%$, $\omega_2 = 0.9 \text{ м/сек}$ и $P_c = 3.2 \text{ кг}/\text{м}^2$) и II – применяемом (температурно-скоростным показателям – при $P_c \sim \text{оптим.}$) $t_1 = 100^\circ\text{C}$, $\phi_1 = 4.9\%$, $\omega_2 = 0.6 \text{ м/сек}$ и $P_c = 2.9 \text{ кг}/\text{м}^2$ показывает, что происходит 3-кратное увеличение скорости сушки

В конечном итоге расход энергии на один кг испарения влаги составил: $q_1 = 4.44 \cdot 10^6 \text{ Дж}/\text{кг исп.вл.}$ Сравнение экономических показателей сушилок (по данным себестоимости 1 тонны травяной резки) с возможными (по расчёту) при переводе её на оптимальный режим сушки ($t_1 = 60^\circ\text{C}$, $\omega_2 = 0.9 \text{ м/сек}$ и $P_c = 3.5 \text{ кг}/\text{м}^2$) непрерывный принцип работы показал, что в этом случае производительность этой сушильной установки возрастает в 2,6 раза, при снижении себестоимости обработки 1 т растительной массы.

Выводы

Режимные параметры, обеспечивающие максимальную интенсивность процесса искусственной сушки травы при сохранении ее питательных и витаминных свойств, могут приниматься в следующих пределах: температура теплоносителя в сушилке $t_1 < 60^\circ\text{C}$. Возможно применение ступенчатого температурного режима сушки, при котором в начальный период устанавливается температура теплоносителя $t_1 = 90^\circ\text{C}$, до снижения влажности материала до $W = 60\%$, и при окончании процесса сушки – температура $t_1 = 50^\circ\text{C}$, скорость движения воздуха, обеспечивающая максимальную производительность при минимальных потерях, $\omega = 0,8-1,0$ м/сек. Также процесс сушки измельченной растительной массы в сушилке целесообразно проводить при уменьшенной (до $\omega = 0,7-0,8$ м/сек) скорости движения воздуха в сушилке, а плющение трав при предварительной подготовке их непосредственно перед искусственной сушкой не может быть рекомендовано ввиду незначительной эффективности этого приема.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Совещание Минобрнауки России, посвященное комплексному плану научных исследований по направлению «Развитие производства кормов и кормовых добавок» на 2017-2025 годы. Комплексный план научных исследований по направлению «Развитие производства кормов и кормовых добавок». [Электронный ресурс] – URL: <http://www.sib-science.info/ru/fano/minobrnauki-18022019> (дата обращения: 01.10.2020)
2. Юнин В.А. Процесс сушки измельченного растительного материала в барабанной сушилке / В.А. Юнин., А.М. Захаров., Н.Н. Кузнецов., А.В. Зыков // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 1 (57). С. 335-349.
3. Попов В.Д. Основы управления технологиями низкотемпературной сушки растительной стебельчатой массы: монография / В.Д. Попов, М.Ш. Ахмедов, А.И. Сухопаров, Н.Н. Кузнецов, А.В. Зыков. -Санкт-Петербург: ИАЭП, 2017. -142 с.
4. Valge, A.M. Evaluation of the efficiency of technological processes of forage preparation from grasses / A.M. Valge, A.I. Sukhoparov // Technologies and technical means of mechanized crop and livestock production. No. 3 (96). pp. 129-138. 2018. doi.org/10.24411/0131-5226-2018-10066
5. Валге А.М. Методика моделирования технологического процесса заготовки кормов из трав / А.М. Валге., М.А. Еремин., А.И. Сухопаров // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2018. № 4(97). С. 115-126
6. Кузнецов Н.Н. Исследование процесса удаления влаги при приготовлении кормов из трав / Н.Н. Кузнецов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 3 (55). С. 380-388.
7. Зыков А.В. Теоретические предпосылки к разработке и изготовлению высокотемпературной сушилки с инфракрасным излучением / А.В. Зыков // Journal of Advanced Research in Technical Science. 2019. № 15. С. 126-129. DOI: 10.26160/2474-5901-2019-15-126-129
8. Rudobashta S. Mass Conductivity of Capillary-Porous Colloidal Materials Subjected to Convective Drying / S. Rudobashta, G. Zueva, E. Muravleva, V. Dmitriev // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2018.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Soveshhanie Minobrnauki Rossii, posvyashhennoe kompleksnomu planu nauchny'x issledovaniy po napravleniyu «Razvitie proizvodstva kormov i kormovy'x dobavok» na 2017-2025 g. [Meeting of the Ministry of education and science of the Russian Federation on the comprehensive research plan for the development of feed and feed additives production for 2017-2025.] [Electronic resource] – URL: <http://www.sib-science.info/ru/fano/minobrnauki-18022019> (accessed:01.10.2020) [in Russian]
2. Yunin V.A. Process sushki izmel'chennogo rastitel'nogo materiala v barabannoj sushilke [Process of drying crushed plant material in a drum dryer] / V.A. Yunin., A.M. Zaxarov., N.N. Kuznecov., A.V. Zy'kov // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vy'ssheel'noe obrazovanie [Proceedings of the nizhnevolzhsky agro-University complex: Science and higher professional education]. 2020. № 1 (57). P. 335-349. [in Russian]
3. Popov V.D. Osnovy` upravleniya texnologiyami nizkotemperaturnoj sushki rastitel'noj stebel'chatoj massy [Fundamentals of technology management for low-temperature drying of plant stalks: monograph]: monografiya / V.D. Popov, M.Sh. Axmedov, A.I. Suxoparov, N.N. Kuznecov, A.V. Zy'kov. -Sankt-Peterburg: IAE`P, 2017. -142 p. [in Russian]
4. Valge, A.M. Evaluation of the efficiency of technological processes of forage preparation from grasses / A.M. Valge, A.I. Sukhoparov // Technologies and technical means of mechanized crop and livestock production. No. 3 (96). pp. 129-138. 2018. doi.org/10.24411/0131-5226-2018-10066
5. Valge A.M. Metodika modelirovaniya texnologicheskogo processa zagotovki kormov iz trav [Method of modeling the technological process of harvesting feed from herbs] / A.M. Valge., M.A. Eremin., A.I. Suxoparov // Texnologii i texnicheskie sredstva mexanizirovannogo proizvodstva produkci i zhivotnovodstva [Technologies and technical means of mechanized production of crop and livestock products]. 2018. № 4(97). P. 115-126. [in Russian]
6. Kuznecov N.N. Issledovanie processa udaleniya vlagi pri prigotovlenii kormov iz trav [Investigation of the process of removing moisture in the preparation of feed from herbs] / N.N. Kuznecov // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vy'ssheel'noe obrazovanie. 2019. № 3 (55). P. 380-388. [in Russian]
7. Zy'kov A.V. Teoreticheskie predposyl'ki k razrabotke i izgotovleniyu vy'sokotemperaturnoj sushilki s infrakrasny'm izlucheniem [Theoretical prerequisites for the development and manufacture of high-temperature dryers with infrared radiation] // Journal of Advanced Research in Technical Science. 2019. № 15. P. 126-129. DOI: 10.26160/2474-5901-2019-15-126-129 [in Russian]
8. Rudobashta S. Mass Conductivity of Capillary-Porous Colloidal Materials Subjected to Convective Drying / S. Rudobashta, G. Zueva, E. Muravleva, V. Dmitriev // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2018.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.101.11.023>

ИЗУЧЕНИЕ КИСЛОТOSВЯЗЫВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОТДЕЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ КОРМОВ

Научная статья

Петенко А.И.¹, Петенко Н.И.², Анискина М.В.³, Юрина Н.А.^{4,*}, Юрин Д.А.⁵, Хорин Б.В.⁶¹ ORCID: 0000-0001-6005-6215;² ORCID: 0000-0001-8242-2431;³ ORCID: 0000-0003-3458-5740;⁴ ORCID: 0000-0003-2684-5020;⁵ ORCID: 0000-0003-1517-4858;⁶ ORCID: 0000-0002-3759-6499;^{1, 3} Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, Краснодар, Россия;^{2, 4, 5, 6} Краснодарский научный центр по зоотехнии и ветеринарии, Краснодар, Россия

* Корреспондирующий автор (naden8277[at]mail.ru)

Аннотация

Современный комбикорм для сельскохозяйственной птицы – это сложная многокомпонентная смесь ингредиентов растительного, животного, минерального и синтетического происхождения. Для достижения высоких показателей продуктивности сельскохозяйственных животных и птиц, необходимо расширять перечень качественных показателей, по которым необходимо контролировать сырье и компоненты, из которых производится комбикорм. К числу этих показателей относится кислотсвязывающая способность корма (КСС). Изучение использования органических кислот в кормлении животных показало, что эффективность их действия зависит от свойств кислот и исходной КСС корма. Анализ приведенных данных свидетельствует о том, что кислотсвязывающую способность корма можно понизить двумя способами: подбором компонентов или включением в его состав подкислителей.

Ключевые слова: комбикорм, ингредиенты, анализ, кислотсвязывающая способность корма, подкислители.

STUDY OF THE ACID-BINDING CAPACITY OF INDIVIDUAL FEED COMPONENTS

Research article

Petenko A.I.¹, Petenko N.I.², Aniskina M.V.³, Yurina N.A.^{4,*}, Yurin D.A.⁵, Khorin B.V.⁶¹ ORCID: 0000-0001-6005-6215;² ORCID: 0000-0001-8242-2431;³ ORCID: 0000-0003-3458-5740;⁴ ORCID: 0000-0003-2684-5020;⁵ ORCID: 0000-0003-1517-4858;⁶ ORCID: 0000-0002-3759-6499;^{1, 3} I. T. Trubilin Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia;^{2, 4, 5, 6} Krasnodar Scientific Center for Animal Science and Veterinary Medicine, Krasnodar, Russia

* Corresponding author (naden8277[at]mail.ru)

Abstract

The modern compound feed for poultry is a complex multi-component mixture of ingredients of vegetable, animal, mineral and synthetic origin. In order to achieve high productivity of farm animals and birds, it is necessary to expand the list of quality indicators, according to which the control over the raw materials and components of the produced compound feed is handled. These indicators include the acid-binding capacity (ABC) of the feed. The study of the use of organic acids in animal feeding has shown that their effectiveness depends on the properties of acids and the initial ABC of the feed. The analysis of the data shows that the acid-binding capacity of the feed can be reduced in two ways: by selecting components or by including acidifiers in its composition.

Keywords: compound feed, ingredients, analysis, acid-binding capacity of feed, acidifiers.

Введение

С целью сохранения качества и безопасности кормов в сельском хозяйстве в течение уже нескольких десятков лет успешно применяются продукты на основе органических кислот. После запрета использования кормовых антибиотиков в странах ЕС в 2006 году, короткоцепочные жирные кислоты стали использоваться в качестве перспективной альтернативы. Кроме того, подкислители значительно эффективнее антибиотиков, которые на многие виды бактерий со временем перестают оказывать требуемое влияние [1], [3], [5].

Также отмечается тот факт, что высокопротеиновые корма увеличивают кислотсвязывающую способность комбикормов, что снижает способность к полному перевариванию и усвоению питательных веществ. Особенно это важно для молодняка птиц. Также увеличение кислотсвязывающей способности корма увеличивает и риск развития патогенной микрофлоры в корме, поскольку оптимумом для их быстрого роста является pH в пределах 6,0–8,0 [6], [8].

Органические кислоты являются универсальным средством для уменьшения количества патогенной микрофлоры в кормах, что в свою очередь снижает нагрузку на иммунную систему организма и стабилизирует пищеварение. Кроме того, органические кислоты, при внесении в корма, предотвращают развитие плесени, накопление микотоксинов, что повышает продуктивность птицы и сохранность поголовья. Также это способствует получению более качественной продукции птицеводства.

Установлено, что рационы без внесения вышеуказанных добавок, отрицательно влияют на продуктивность, наблюдается ухудшение роста и развития поголовья, снижается иммунитет. Кроме того, отмечается увеличение конверсии корма [9], [10].

Действие добавок-подкислителей основан на наличие в их составе различных кислот, которые способны при диссоциации выделять свободные ионы водорода. Для снижения pH содержимого пищеварительного тракта птиц наиболее часто используются фосфорная, пропионовая, бензойная, фумаровая, муравьиная, сорбиновая кислоты.

Определение кислотосвязывающей способности основано на определении связывании кислот в желудочно-кишечном тракте. Подкисление корма – это химический процесс, который связан только с одной стороной действия кислот [2], [4], [8].

Подкислители применяются для снижения кислотосвязывающей способности используемых в рационе комбикормов, подавления развития патогенов в питьевой воде и комбикорме, для очистки оборудования в присутствии животных. Все эти цели взаимосвязаны и, в конечном итоге, направлены на стимуляцию роста и нормализацию обменных процессов в организме животных.

Целью исследований являлось: проведение оценки некоторых наиболее часто используемых в кормлении компоненты в виде зерна злаковых и бобовых культур, белковых ингредиентов, некоторых побочных продуктов переработки и другие компоненты, которые имеют перспективу использования для производства биопродуктов с подкисляющим кислотосвязывающим действием.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

1. Проведена оценка кислотности некоторых компонентов рационов;
2. Дана оценка кислотосвязывающей способности комбикормов в связке с различными дозами разработанного биопродукта-подкислителя.

Методы и принципы исследования

Данное исследование выполнено при поддержке РФФИ и Администрации Краснодарского края в рамках научного проекта №19-416-233015\19.

Биопродукт ПС разработан сотрудниками кафедры биотехнологии, биофизики и биохимии ФГБОУ ВО «Кубанский госагроуниверситет», состоит из пасты пророщенных семян пшеницы в минеральной воде с консорциумом микроорганизмов в высушенной технологической форме.

- 1-я контрольная группа – задавали стандартный комбикорм;
- 2-я опытная группа – с кормом давали кормовой биопродукт в дозе 1 % на массу корма;
- 3-я опытная группа – с кормом давали кормовой биопродукт в дозе 2 % на массу корма;
- 4-я опытная группа – с кормом задавали кормовой биопродукт в дозе 3 % на массу корма.

Основные результаты

Результаты оценки кислотности некоторых компонентов рационов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты оценки кислотности некоторых компонентов рационов

Наименование продуктов оценки	Показатели кислотности		
	pH	KCC	TK
Зерно (злаковые)			
Пшеница	7,1	6,0	-
Кукуруза	6,3	4,5	0,1
Ячмень	6,0	10,0	1,5
Микробные продукты			
Закваска	3,7	5,0	10,0
Дрожжи	4,6	3,0	2,0
Побочные продукты			
Яблочные выжимки	3,8	10,0	7,0
Измельченная виноградная косточка	5,6	4	15
Сок люцерны	4,0	39,0	14,5
Жмых подсолнечника	6,1	106,0	3,0
Биопродукты			
Кукуруза + пшеница (70% + 30%)	6,2	10,0	1,0
Кукуруза + пшеница (70% + 30%) + 1% заквашенной сыворотки	6,0	6,0	1,5
Кукуруза + пшеница (70% + 30%) + 3% заквашенной сыворотки	6,0	6,0	1,5
Белковые продукты			
Соя	7,0	3,5	-
Горох	6,1	6,0	0,5
Соя (варенная)	6,1	22,5	1,0
Соя (жаренная)	5,9	23,5	1,0
Соя (изм. варенная)	6,9	65,0	0,5
Соя (изм. жаренная)	6,6	57,0	0,5
Соя (экструд.)	7,4	46,0	-
Соя (жаренная)	6,6	57,0	0,5
ЭКО соя (экструдат)	6,9	36	-

Самую высокую КСС, по наши данным, имеют соевые корма, жмых подсолнечный и сок люцерновый.

Результаты оценки кислотосвязывающей способности комбикормов в связке с различными дозами разработанного биопродукта-подкислителя представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты оценки кислотосвязывающей способности комбикормов в связке с различными дозами биопродуктов-подкислителей

Период	Комбикорм		Комбикорм +1 % Биопродукта-ПС		Комбикорм +2 % Биопродукта-ПС		Комбикорм +3 % Биопродукта-ПС	
	КСС	pH	КСС	pH	КСС	pH	КСС	pH
3-сутки	10,2	6,9	9,8	6,0	10,1	5,5	10,4	5,2
7 дней	10,2	6,9	9,9	5,8	10,0	5,5	10,1	5,2
14 дней	10,1	6,8	9,8	5,7	9,8	5,2	10,0	5,2
21 дней	10,5	6,8	9,4	5,7	10,0	5,1	10,0	4,8
28 дней	10,7	6,8	10,0	5,5	9,7	4,7	9,6	4,7
35 дней	10,7	6,8	9,7	5,3	9,7	4,5	9,5	4,3
42 дня	11,0	6,7	9,7	5,3	9,8	4,5	9,5	4,0
49 дней	11,3	6,7	9,4	5,3	9,5	4,2	9,3	3,8
56 дней	11,5	6,9	9,5	5,0	9,0	4,0	8,8	3,8
Помет	32,8	7,3	33,1	7,5	34,2	7,2	33,6	7,5

Полученные данные свидетельствуют о том, что разработанный биопродукт оказывает подкисляющее действие на комбикорм. Так, на 56-е сутки pH корма достигал значения 5,7 при использовании комбикорма без введения биопродукта, КСС при этом была на уровне 11,5. При введении в рацион биопродукта в количестве 1 % pH корма снизилось до 5, что на 12,2 % меньше контроля, а КСС снизилась до 9,5, что на 17,4 % меньше контроля. При использовании рациона с нормой введение биопродукта в количестве 2 % также наблюдалась положительная динамика, pH корма снизилась до 4, что на 29,8 % меньше контроля, КСС снизилась до 9, что на 21,7 % меньше контроля. При введении биопродукта в количестве 3 % pH находилось на уровне 3,8 %, что 33,3 % меньше контроля, а КСС – 8,8, что на 23,5 % меньше контроля.

Заключение

Анализ приведенных данных свидетельствует о том, что кислотосвязывающую способность корма можно понизить двумя способами: подбором компонентов или включением в его состав подкислителей [1], [4], [6].

Теоретически pH корма также можно понизить добавлением к нему любой из кислот и достичь заданной КСС. Подкисление корма — это химический процесс, который связан только с одной стороной действия кислот. Кислоты, поступая в желудочнокишечный тракт, подвергаются диссоциации, с которой связывают их биологическую активность. Бактерицидное действие подкислителей связывают с недиссоциированными кислотами, которые в 10–100 раз активнее угнетают рост бактерий по сравнению с диссоциированными, то есть для повышения антибактериального действия кислот необходимо понизить их диссоциацию — это, в свою очередь, достигается снижением pH среды [1], [3], [8].

Приведенные материалы можно считать достаточно интересными, биохимически доказанными, достоверно изученными, в том числе испытанными на животных и птицах.

Финансирование

Данное исследование выполнено при поддержке РФФИ и Администрации Краснодарского края в рамках научного проекта №19-416-233015\19.

Funding

This study was supported by the RFBR and the administration of the Krasnodar territory in the framework of research project No. 19-416-233015\19.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Анискина М. В. Влияние физико-химических факторов на рост колоний молочнокислых микроорганизмов на подсолнечном жмыхе / М. В. Анискина, Е. С. Волобуева, А. Н. Гнеуш // Современные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции. – 2016. – С. 194–199.
2. Гнеуш А. Н. Исследование влияния изменения pH на рост пропионовокислых микроорганизмов в подсолнечном жмыхе / А. Н. Гнеуш, М. В. Анискина, Е. С. Волобуева // Научное обеспечение агропромышленного комплекса. – 2016. – С. 144–145.
3. Мигина Е.И. Изучение токсикологического и раздражающего действия пробиотической кормовой добавки Трилактосорб для использования в перепеловодстве / Е.И. Мигина, Ю.А. Лысенко, А.Г. Коцаев // Ветеринария Кубани. – 2014. – № 4. – С. 13–16.
4. Крюков В. С. Что надо знать о кислотосвязывающей способности кормов / В. С. Крюков // РацВетИнформ. – 2012. – № 1. – С. 32.
5. Кузибасва Ф. К. Определение кислотосвязывающей способности ингредиентов комбикормов / Ф.К.Кузибасва, М.В.Анискина // В сборнике: Современному АПК - эффективные технологии материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию доктора сельскохозяйственных наук, профессора, заслуженного деятеля науки Российской Федерации, почетного работника высшего профессионального образования Российской Федерации Валентины Михайловны Макаровой – 2019. – С. 155–157.

6. Мягчило А. Р. Влияние органических кислот на продуктивные качества цыплят-бройлеров / А. Р. Мягчило, Е. А. Вододохова. – 2019.
7. Околелова Т. М. Эффективность кормового антибиотика и органических кислот при выращивании бройлеров / Т. М. Околелова, Ю. А. Кочнев // Птицеводство. – 2011. – №. 11. – С. 37-38.
8. Лысенко Ю.А. Подбор оптимальной питательной среды для культивирования, концентрирования и высушивания клеток *Lactobacillus acidophilus* / Ю.А. Лысенко, А.В. Лунева, С.А. Волкова, С.Н. Николаенко, В.В. Петрова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – № 102. – С. 689–699.
9. Чебаков В.Н. Исследование функциональных свойств молочнокислой кормовой добавки / В.Н. Чебаков, А.Н. Швыдков, Л.А. Кобцева [и др.] // Междунар. науч.-практ. конф. «Пища. Экология. Качество» (Екатеринбург, 14-16 мая 2014 г.) – Екатеринбург, 2014. – С. 221-224.
10. Faber K. Biotransformation in organic chemistry / K. Faber. – Berlin : Springer, 1997. – 402 p.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Aniskina M. V. Vliyanie fiziko-himicheskikh faktorov na rost kolonij molochnokislykh mikroorganizmov na podsolnechnom zhmyhe [Influence of physico-chemical factors on the growth of colonies of microorganisms of lactic acid in sunflower cake] / M.V. Aniskina, Volobuyeva E. S., A. N. Gnews // Sovremennye aspekty proizvodstva i pererabotki sel'skhozajstvennoj produkcii [Modern aspects of production and processing of agricultural products]. – 2016. – P. 194-199. [in Russian]
2. Gneush A. N. Issledovanie vlijanija izmenenija RN na rost propionovokislykh mikroorganizmov v podsolnechnom zhmyhe [Investigation of the effect of PH Changes on the growth of propionic acid microorganisms in sunflower schroth] / M.V. Aniskina, Volobuyeva E. S., A. N. Gnews // Nauchnoe obespechenie agropromyshlennogo kompleksa [Scientific support of the agro – industrial complex]. - 2016. – P. 144-145. [in Russian]
3. Migina E. I. Izuchenie toksikologicheskogo i razdrazhajushhego dejstvija probioticheskoj kormovoj dobavki Trilaktosorb dlja ispol'zovanija v perepelovodstve [Study of the Toxicological and irritating effects of the probiotic feed additive Trilactosorb for use in quail Farming] / E. I. Migina, Yu. a. Lysenko, A. G. Koshchaev // Veterinary Medicine Of Kuban. – 2014. – No. 4. – P. 13-16. [in Russian]
4. Kryukov V. S. Chto nado znat' o kislotosvjazyvajushhej sposobnosti kormov [What you need to know about the acid-binding ability of feed] / V. S. Kryukov // Ratsvetinform. – 2012. – №. 1. – P. 32. [in Russian]
5. Kuzibaeva F. K. Opredelenie kislotosvjazyvajushhej sposobnosti ingredientov kombikormov [Determination of the acid-binding capacity of feed Ingredients] /F. K. Kuzibaeva, M. V. Aniskina // V sbornike: Sovremennomu APK - jeffektivnye tehnologii materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, posvjashhennoj 90-letiju doktora sel'skhozajstvennyh nauk, professora, zaslužennogo dejatelja nauki Rossijskoj Federacii, pochetnogo rabotnika vysshego professional'nogo obrazovanija Rossijskoj Federacii Valentiny Mihajlovny Makarovoju [Modern APK - efficient technologies proceedings of the International scientific-practical conference dedicated to the 90th anniversary of doctor of agricultural Sciences, Professor, honored scientist of the Russian Federation, honorary worker of higher professional education of the Russian Federation Valentina Mikhailovna Makarova] – 2019. – P. 155-157. [in Russian]
6. Mjagchilo A. R. Vlijanie organicheskikh kislot na produktivnye kachestva cypljat-brojljerov [Influence of organic acids on productive performance of broiler chickens] / A. R. Mjagchilo, E. A. Vododohova. – 2019. [in Russian]
7. Okolelova T. M. Jeffektivnost' kormovogo antibiotika i organicheskikh kislot pri vyrashhivanii brojlerov [Effectiveness of feed antibiotic and organic acids in broiler farming] / T. M. Okolelova, Yu. A. Kochnev // Poultry farming. – 2011. – №. 11. – p. 37-38. [in Russian]
8. Lysenko Yu. A. Podbor optimal'noj pitatel'noj sredy dlja kul'tivirovanija, koncentrirovaniya i vysushivaniya kletok *Lactobacillus acidophilus* [Selection of optimal nutrient medium for cultivation, concentration and drying of *Lactobacillus acidophilus* cells] / Yu. a. Lysenko, A.V. Luneva, S. A. Volkova, S. N. Nikolaenko, V. V. Petrova // Polythematic network electronic scientific journal of Kuban state agrarian University. – 2014. – No. 102. – P. 689-699. [in Russian]
9. Chebakov V. N. Issledovanie funkcional'nyh svojstv molochnokisloy kormovoj dobavki [Research of functional properties of lactic acid feed additives] / V. N. Chebakov, A. N. Shvydkov, L. A. Kobtseva [et al.] // international journal. scientific-practical Conf. «Food. Ecology. Quality" (Yekaterinburg, may 14-16, 2014) – Yekaterinburg, 2014. – P. 221-224. [in Russian]
10. Faber K. Biotransformation in organic chemistry / K. Faber. – Berlin : Springer, 1997. – 402 p.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ / BIOLOGY

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.101.11.024>

БИОАКТИВНЫЙ КЕРАТИН КАК ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СЕРОСОДЕРЖАЩАЯ КОРМОВАЯ ДОБАВКА

Научная статья

Сапожникова А.И.^{1,*}, Есепенок К.В.²¹ ORCID: 0000-0001-5040-6998;² ORCID: 0000-0002-3085-6577;^{1,2} Московской государственной академии ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К.И. Скрябина, Москва, Россия

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

Аннотация

В статье представлены результаты исследований аминокислотного состава препарата Биоактивный кератин и проведена оценка возможностей его использования как функциональной серосодержащей кормовой добавки, влияющей на состояние волосяного покрова шкурки серебристо-черной лисицы. Показано, что аминокислотный профиль Биоактивного кератина представлен 16 аминокислотами. При этом содержание незаменимых аминокислот составляет 28,4%, соотношение незаменимых аминокислот к заменимым - 1:2,53. Уровень содержания серосодержащих аминокислот близок к референсным значениям. Установлено, что использование функциональной серосодержащей кормовой добавки Биоактивный кератин в концентрации 0,2 % от суточной нормы белка в основном рационе способствует повышению массы убойного молодняка лисиц породы серебристо-черной на 11,0 % по сравнению с контролем. Кормовая добавка Биоактивный кератин (0,2%) оказывает достоверно выраженное влияние на массу и площадь шкурки лисицы серебристо-черной - 7,4% и 6,5%, соответственно, а также способствует увеличению густоты волосяного покрова шкурки лисицы серебристо-черной на 10,5% по сравнению с контролем.

Ключевые слова: кормовая добавка, аминокислотный состав, качество шкурки, серебристо-черная лисица, гидролизат, белок, кормление.

BIOACTIVE KERATIN AS A FUNCTIONAL SULFUR-CONTAINING FEED ADDITIVE

Research article

Sapozhnikova A.I.^{1,*}, Esenenok K.V.²¹ ORCID: 0000-0001-5040-6998;² ORCID: 0000-0002-3085-6577;^{1,2} Skryabin Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology, Moscow, Russia

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

Abstract

The paper describes the results of studies of the amino acid composition of bioactive keratin and assesses the possibilities of its use as a functional sulfur-containing feed additive that affects the condition of the pelage of a silver fox. The research demonstrates that the amino acid profile of bioactive keratin is represented by 16 amino acids. The content of essential amino acids is 28.4%, the ratio of essential amino acids to non-essential ones is 1:2.53. The level of sulfur-containing amino acids is close to the reference values. It was concluded that the use of the functional sulfur-containing bioactive keratin feed additive at a concentration of 0.2 % of the daily value of protein in the diet mainly contributes to the increase in the weight of young silver foxes for slaughter by 11.0% compared to control measurements. The bioactive keratin feed additive (0.2%) has a significantly pronounced effect on the weight and area of silver fox skins - 7.4% and 6.5%, respectively, and also contributes to an increase in the hair density of silver fox skins by 10.5% compared to the control measurements.

Keywords: feed additive, amino acid composition, skin quality, silver fox, hydrolysate, protein, feeding.

Введение

При переработке сырья животного происхождения на шерстеперерабатывающих, кожевенных и меховых предприятиях в процессе получения основной товарной продукции на отдельных этапах технологических процессов образуется достаточно большое количество отходов и побочных продуктов в виде шерстяного и мехового очеса, скотоволося, щетины. Подобная ситуация чревата возникновением серьезных экологических проблем, решением которых может стать только практика их эффективной утилизации в виде вторичной переработки с максимальным извлечением наиболее ценных компонентов и их дальнейшим использованием по целевому назначению [4].

Основным структурным компонентом перечисленных выше отходов является фибриллярный белок кератин. Как известно, природный биополимер кератин, точнее сказать, кератины, являются основой производных эпидермиса кожи, состоят из параллельных полипептидных цепей, имеющих конформацию α -спирали или β -структур (структур складчатого листа). Альфа -кератины относятся к большому классу механически прочных гомологичных белковых веществ, они формируют наружные защитные покровы позвоночных. Кератинсодержащие ткани представляют собой сложные многокомпонентные биологические образования, состоящие из отдельных клеток, формирующих их различные гистоструктурные элементы [5]. Кератин обладает уникальным комплексом свойств благодаря высокому содержанию в первичной структуре молекулы серосодержащих аминокислот и множества дисульфидных связей [6], [14]. Для первичной структуры альфа-кератинов характерно большое содержание цистеина, который образуется из незаменимой аминокислоты метионин. Кератин примерно на четверть состоит из цистеина. Цистеин насыщает органической серой клетки волос, что улучшает их структуру и прочность [19]. При объединении двух молекул

цистеина образуется аминокислота цистин, представляющая собой продукт окислительной димеризации цистеина, в ходе которой две тиольные группы цистеина образуют дисульфидную связь цистина. Цистин играет важную роль в синтезе белка. Именно он определяет тип свертывания спиральных структур кератина и, соответственно, форму белка [15].

В свете имеющихся научных данных считается, что аминокислотный состав кератиновых белков позволяет положительно оценить перспективы использования этих малоценных вторичных продуктов в звероводстве [3], [9]. У растущих зверей наиболее высока потребность в аминокислотах, содержащих серу. Эти аминокислоты необходимы для роста волоса, протеины которого содержат около 15% цистина [8]. Посредством повышения доступности ключевых аминокислот, содержащихся в кератине, можно стимулировать рост новых волос [7], [11].

Что касается способов получения гидролизатов из кератинсодержащего сырья, то вследствие его высокой механической прочности, обусловленной наличием дисульфидных, ионных, солевых и водородных связей, и устойчивости к действию физических, химических и биологических агентов, ни щелочной, ни кислотный, ни ферментный гидролиз с использованием классических протеаз не могут сохранить максимально полный, в качественном и количественном отношении, набор аминокислот, и особенно серосодержащих [18]. Для восполнения дефицита незаменимых аминокислот в кормах отечественного производства на практике приходится использовать синтетические формы лизина и метионина, что существенно увеличивает стоимость продукции [9].

В связи с вышеизложенным, добавление к типовым рационам пушных зверей кормовой добавки в виде дополнительного источника серосодержащих аминокислот может оказать определенное положительное влияние на качество шкурковой продукции.

Для того, чтобы не нарушать баланс рациона кормления, мы сочли целесообразным включить добавку в корм поэтапно, используя Биоактивный кератин с концентрацией 0,2% шестикратно, пятидневными курсами с 10-ти дневными перерывами.

Альтернативой техническим решениям получения продуктов полного гидролиза кератинсодержащих отходов, на наш взгляд, может стать неполное, ступенчатое гидролитическое расщепление фибриллярного кератина, не затрагивающее третичную структуру белка, позволяющее получить биологически активную субстанцию молекулярно-диспергированного кератина с полностью сохраненным набором аминокислот, включая и серосодержащие [17].

Для того, чтобы кератин, как, впрочем, и другие белковые компоненты основного рациона, в такой форме при попадании в организм усвоился, необходимо, чтобы вначале произошло разрушение всех различных видов химических связей, формирующих полипептидные цепочки в макромолекулах кератина, и только потом после высвобождения аминокислот начался процесс их усвоения. Такой алгоритм активизируется работой ферментных систем желудочно-кишечного тракта и будет способствовать интенсификации обменных процессов в организме молодняка, причем более длительное усвоение позволит насытить мышцы зверей большим количеством аминокислот и будет положительно влиять на массу тела и другие показатели, характеризующие физиологический статус, в частности, повысит энергетические затраты на динамическую активность и функционирование сердечно-сосудистой системы [12].

Цель данного исследования – изучение аминокислотного состава препарата Биоактивный кератин и оценка возможностей его использования как специфической серосодержащей кормовой добавки, влияющей на состояние волосяного покрова шкурки серебристо-черной лисицы.

Объект и методы исследования

Объектом исследования служил Биоактивный кератин, полученный из шерстяного очеса овец по запатентованной нами методике [2].

Исследование аминокислотного состава Биоактивного кератина было проведено в лаборатории физико-химических исследований ВНИИПП на ВЭЖХ-анализаторе аминокислот с пост-колоночной дератизацией нингидрином (AAA-Hydr, KNAUER, Германия). Массовую долю аминокислот определяли методом распределительной хроматографии после гидролиза белков.

Проверка влияния Биоактивного кератина на рост и развитие молодняка лисиц породы серебристо-черной выполнена на базе АО «Племенной зверосовхоз «Салтыковский» на 20 самцах в возрасте 2-х месяцев, которым кератин добавляли к основному рациону в количестве 0,2% от массы белковой составляющей корма. Контролем служили интактные звери. Звери были разделены на две группы (по 10 зверей в каждой) методом сбалансированных групп-аналогов.

В качестве тестовых показателей, указывающих на целесообразность применения Биоактивного кератина, использовали данные, характеризующие живую массу зверей, в ходе опыта взвешивали индивидуально с точностью до 0,01 кг [21], площадь полученных шкурок [1], густоту волосяного покрова методом прямого подсчета и подсчетом количества волосяных фолликулов в поле зрения микроскопа на горизонтальных срезах [22].

Обработку полученных данных проводили, используя пакет программ MS Office 2010.

Результаты и их обсуждение

Итоговые результаты экспериментов по определению аминокислотного состава Биоактивного кератина представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Аминокислотный состав Биоактивного кератина

№ п/п	Название аминокислоты	Содержание аминокислот, % (в пересчете на сухое вещество)	Референсные значения **
1	Аспарагиновая кислота / Asp	7,04	6,4-7,3
2	Треонин / Thr*	5,41	6,6-6,7
3	Серин / Ser	6,70	7,2-9,5
4	Глутаминовая кислота / Gln	12,90	13,1-16,0
5	Пролин / Pro	4,92	5,3-8,1
6	Цистин / Cys	10,67	11,0-13,7
7	Цистеин / Cys	-	-
8	Глицин / Gly	4,65	5,2-6,5
9	Аланин / Ala	2,91	3,4-4,4
10	Валин / Val*	4,94	5,0-5,9
11	Метионин / Met*	0,39	0,5-0,7
12	Изолейцин / Ile*	2,83	3,1-4,5
13	Лейцин / Leu*	6,85	7,6-8,1
14	Тирозин / Tyr	-	4,0-6,4
15	Фенилаланин / Phe*	2,74	3,4-4,0
16	Гистидин / His*	0,64	0,7-1,1
17	Лизин / Lys	2,39	2,8-3,3
18	Аргинин / Arg	8,03	9,2-10,6
19	Оксипролин / Hyp	-	-
20	Оксилизин / Oxylis	-	-
Итого		84,01	85,3-106,2

Примечание: * - незаменимые аминокислоты; ** - референсные значения по данным Павлов С.А. и др., 1965 г

Согласно нашим данным, аминокислотный профиль Биоактивного кератина представлен 16 аминокислотами из 20. Из них к незаменимым относятся гистидин, изолейцин, лейцин, лизин, метионин, фенилаланин, треонин и валин, к заменимым - аланин, аргинин, аспарагиновая кислота, цистин, глутаминовая кислота, глицин, пролин, серин [10]. Отсутствуют оксипролин и оксилизин, которые являются основными аминокислотами в коллагене, не обнаружены тирозин и цистеин.

Важным фактором является наличие серосодержащих аминокислот, необходимых для синтеза кератина: незаменимой – метионина и заменимой аминокислоты - цистина, образующейся путем окисления цистеина. Отсутствие цистеина в Биоактивном кератине свидетельствует о том, что кератин находится в солюбилизованный форме, а также о наличии сохраненных дисульфидных связей, образуемых остатками цистина, входящими своими двумя половинками в две различные полипептидные цепочки. Дисульфидная связь, образуемая остатками цистина (диамино-дикарбоновой кислоты), считается основным типом ковалентной связи между полипептидными цепочками в макромолекуле кератинов [13], [16], [20]. Установленный факт также подтверждает наличие органической серы в солюбилизованном кератине.

Анализ полученных результатов свидетельствует о высоком содержании в молекулярно-диспергированном кератине таких аминокислот, как глутаминовая кислота (12,90%) и цистин (10,67%), среднем количественном уровне содержания аргинина (8,03%), серина (6,70%), лейцина (6,85%), треонина (5,41%), валина (4,94%), пролина (4,92%), глицина (4,65%) и низком – аланина (2,91%), изолейцина (2,83 %), фенилаланина (2,74%), метионина (0,39%), и гистидина (0,64%). Содержание незаменимых аминокислот в Биоактивном кератине составляет 28,4% Соотношение незаменимых аминокислот к заменимым - 1:2,53.

Наличие в составе Биоактивного кератина значительного количества остатков дикарбоновых аминокислот (аспарагиновой и глутаминовой), а также аминокислот основного характера (лизина, аргинина и гистидина) указывает на возможность ионного взаимодействия между отдельными фрагментами структуры белка как на внутримолекулярном, так и межмолекулярном уровнях, а также на вероятность химических реакций с реагентами основного и кислотного характера, что весьма важно для последующего расщепления этого белка в желудочно-кишечном тракте.

Как следует из данных таблицы, в Биоактивном кератине присутствуют глицин, аланин и серин - аминокислоты, имеющие небольшую молекулярную массу. Наличие в Биоактивном кератине таких гидроксилсодержащих аминокислот как серин и треонин говорит о его способности взаимодействовать с веществами, вступающими в реакцию по месту расположения гидроксильных групп, а также о наличии интенсивно развитой системы водородных связей, что в свою очередь, подтверждает биологическую активность данного продукта.

Анализ аминокислотного состава Биоактивного кератина позволил получить информацию об основных компонентах, из которых построены полипептидные цепи солюбилизованного до состояния макромолекул кератина, об активных группах, участвующих в образовании межмолекулярных связей и в значительной степени определяющих свойства этого уникального белка, а также спрогнозировать возможные изменения под влиянием различных реагентов основного и кислотного характера. Вышеизложенное дало основание для апробации Биоактивного кератина в качестве функциональной серосодержащей кормовой добавки и оценить его влияние на качество волосяного покрова шкур, полученных от молодняка лисицы породы серебристо-черной.

Для подтверждения целесообразности применения функциональной серосодержащей кормовой добавки Биоактивный кератин в концентрации 0,2% от суточной нормы белка была проведена апробация на базе АО «Племенной зверосовхоз «Салтыковский».

В течение апробации за зверями вели наблюдение и проводили взвешивание в начале (июнь) и в конце (ноябрь) опыта. Данные измерения живой массы лисиц породы серебристо-черной представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Динамика массы тела молодняк лисиц породы серебристо-черной (*Vulpes vulpes* L.)

№ п/п	Рацион	Кол-во зверей	Период взвешивания, кг	
			июнь	ноябрь
I	Основной рацион (ОР)	10	2,74 ± 0,10	5,26 ± 0,07
II	Основной рацион + Биоактивный кератин (0,2% от суточной нормы белка) (ОР+БК)	10	2,78 ± 0,04	6,12 ± 0,09

К концу исследований (ноябрь) масса убойного молодняк лисиц породы серебристо-черной (группа II), получавших функциональную серосодержащую кормовую добавку Биоактивный кератин в концентрации 0,2% от суточной нормы белка стала больше на 16,3%, чем в контрольной группе.

Данные, характеризующие площадь и массу шкурок лисицы серебристо-черной, полученных по окончании производственной апробации функциональной серосодержащей кормовой добавки Биоактивный кератин на базе АО «Племенной зверосовхоз «Салтыковский», обобщены в таблице 3.

Таблица 3 – Площадь и масса шкурок лисицы серебристо-черной (*Vulpes vulpes* L.)

Группа	Кол-во шкурок	Площадь, см ²	Масса, г
I (ОР * - контроль)	10	1972,0 ± 6,3	384,2 ± 3,5
II (ОР + БК ** (0,2% - опыт))	10	2217,4 ± 3,6	421,6 ± 1,9

Примечание: * - основной рацион; ** - Биоактивный кератин

Как следует из представленных в данной таблице данных, площадь и масса шкурок лисицы серебристо-черной, получавших функциональную серосодержащую кормовую добавку Биоактивный кератин в концентрации 0,2% от суточной нормы белка, увеличились по сравнению с аналогичными показателями для контрольной группы на 12,4% и 9,7%, соответственно.

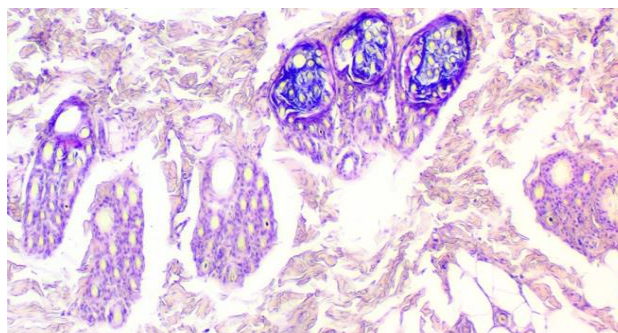
Данные, характеризующие густоту волосяного покрова шкурок, представлены в таблице 4 и на рисунке 1.

Таблица 4 – Густота волосяного покрова шкурок лисицы серебристо-черной (*Vulpes vulpes* L.)

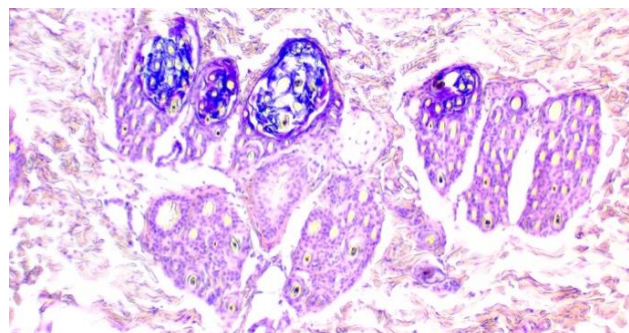
Наименование группы	Кол-во шкурок	Густота волосяного покрова, см ² , сред. знач.	Количество волосяных фолликулов в поле зрения микроскопа, M±m	
			первичные	вторичные
I (ОР * (контроль))	10	13241,4	6,3 ± 0,4	132,6 ± 8,1
II (ОР + БК ** (0,2%))	10	14625,7	7,2 ± 0,3	172,4 ± 2,1

Примечание: * - основной рацион; ** - Биоактивный кератин

Полученные результаты свидетельствуют о том, что применение функциональной серосодержащей кормовой добавки Биоактивный кератин в концентрации 0,2% от суточной нормы белка обеспечивает ускорение процессов созревания вторичных фолликулов, в результате чего увеличивается количество волос на единицу площади.



А



Б

Рис. 1 – Горизонтальные гистосрезы кожной ткани шкурок лисицы серебристо-черной (*Vulpes vulpes* L.): А – при использовании основного рациона, Б – при использовании основного рациона и функциональной серосодержащей кормовой добавки Биоактивный кератин

Примечание: увеличение 10х / 0.25

Из рисунка 1 видно, что наибольшее количество волосяных фолликулов отмечено на срезе Б, что коррелирует с данными по густоте волос, полученными методом прямого подсчета.

Заключение

Обобщая полученные результаты, следует отметить, что использование функциональной серосодержащей кормовой добавки Биоактивный кератин в концентрации 0,2% от суточной нормы белка к основному рациону увеличивает набор массы зверей 1,2 раза, по сравнению с контрольной группой.

Установлено, что функциональная серосодержащая кормовая добавка Биоактивный кератин (0,2%) оказывает выраженное влияние на массу и площадь шкурок лисицы серебристо-черной из опытной группы по сравнению с контролем – 12,4% и 9,7%, соответственно.

Доказано, что функциональная серосодержащая кормовая добавка Биоактивный кератин в концентрации 0,2% от суточной нормы белка способствует увеличению густоты волосяного покрова шкурок лисицы серебристо-черной на 18,7% по сравнению с контролем.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

- ГОСТ 2790-88. Шкурки лисицы клеточного разведения невыделанные. Технические условия: межгосударственный стандарт: издание официальное: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 28.06.88 №2435: дата введения 1991-10-01. – Москва : Изд-во стандартов. – 1992. – 13 с.
- Патент №2092072 С1 Российская Федерация, МКИ⁶ А23К 1/10 (2006.01). Способ получения кератина: № 95117245-13: заявл. 06.10.95: опубл. 10.10.97 / Сапожникова А.И., Каспарьянц С.А., Месропова Н.В., Гордиенко Н.М. – 7 с.
- Бабич О.О. Переработка вторичного кератинсодержащего сырья и получение белковых гидролизатов на пищевые и кормовые цели / О.О. Бабич, И.С. Разумникова, А.Ю. Полетаев, А.И. Морозова // Техника и технология пищевых производств. – 2011. – № 2 (21). – С. 7-11.
- Барабанщиков, Д.М. Утилизация промышленных отходов / Д.М. Барабанщиков, А.Ф. Сердюкова // Молодой ученый. – 2017. – 25 (159). – С. 101-104.
- Бортников, С.В. Получение растворимой модификации кератина из белоксодержащих отходов животноводства / С.В. Бортников, Г.А. Горенкова // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 4. – С. 17 – 22.
- Гавриляк, В.В. Характеристика структуры кератиновых волокон разных типов / В.В. Гавриляк // Вестник Одесского национального университета. Биология. – 2013. – Т. 18. – № 3 (32). – С. 9-15.
- Гребенева, Ю.С. Влияние кормовых добавок из продуктов рециклинга кератинсодержащих отходов на качество шкурок норки / Ю.С. Гребенева, А.И. Сапожникова // В сборнике: Товароведение, технология и экспертиза: инновационные решения и перспективы развития. Материалы национальной научно-практической конференции. – 2018. – с. 280-290.
- Перельдик, Н.Ш. Кормление пушных зверей / Н.Ш. Перельдик, Л.В. Милованов, А.Т. Ерин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Колос. – 1981.
- Полетаев, А.Ю. Особенности переработки белкового сырья в полноценные корма для сельскохозяйственных животных / А.Ю. Полетаев, М.Г. Курбанова // Техника и технология пищевых производств. – 2010. – № 3 (18). – с. 29-34.
- Руденко А.О. Определение важнейших аминокислот в сложных объектах биологического происхождения методом обращённо-фазовой ВЭЖХ с получением фенилтиогидантоинов аминокислот / А.О. Руденко А.О., Л.А. Карцова, С.И. Снарский // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2010. – Т. 10. – № 2. – с. 223-230.
- Сапожникова, А.И. Физиологический статус и качество шкурок у молодняка серебристо-черной лисицы (*vulpes vulpes* L.) При применении противопаразитарного препарата ниацид-гранулы плюс с биоактивным кератином как кормовой добавкой / А.И. Сапожникова, К.В. Есепенок, Г.Ю. Косовский, Е.А. Тинаева, М.Н. Мирзаев, Е.Г. Квартникова, Б.В. Новиков, Т.М. Чекалова // Сельскохозяйственная биология. – 2019. – Т. 54. – № 6. – с. 1154-1166.
- Слесаренко, Н.А. Биологическая оценка влияния белкового гидролизата на организм норок / Н.А. Слесаренко, П.Н. Абрамов // Российская сельскохозяйственная наука. – 2019. – № 1. – с. 52-54.
- Chen V. M. Allosteric disulfide bonds in thrombosis and thrombolysis / V.M. Chen, P.J. Hogg // J. Thromb. and Haemost. – 2006. – V. 4. – P. 2533-2541.
- Gillespie, J.M. The structural Proteins of Hair: Isolation, characterization, and regulation of biosynthesis / J.M. Gillespie // In Physiology, biochemistry and molecular biology of skin: Oxford, 1991. – P. 625-658.
- Hesse, H. Molecular analysis and control of cysteine biosynthesis: integration of nitrogen and sulphur metabolism / H. Hesse, V. Nikiforova, B. Gakiere, R. Hoefgen // Journal of Experimental Botany. – 2004. – Vol. 55. – № 401. – P. 1283.
- Hogg P.J. Allosteric disulfide bonds / P.J. Hogg, J.W.H. Wong // Protein Reviews. – 2011. – Vol. 14. – P. 151-182.
- Nikolaev I.V. Enzymatic hydrolysis of keratin-containing stock for obtaining protein hydrolysates / I.V. Nikolaev, I.D. Keruchenko, E.V. Stepanova, A.D. Satrutdinov, V.P. Khotchenkov, V.G. Volik, O.V. Koroleva, N.L. Ereemeev, A.P. Sinitsyn, S.V. Zinovev, D.Y. Ismailova, N.V. Tsurikova // Applied Biochemistry and Microbiology. – 2009. – Vol. 45. – № 6. – P. 648-655 (DOI: 10.1134/S0003683809060131)
- Prosekov, A. Drying parameters of hydrolysates of keratin-containing raw materials / A. Prosekov, A. Petrov, E. Ulrich, L. Dyshlyuk, V. Dolganuk // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2016. – Vol. 7. – № 4. – PP. 1589-1593.
- Ramms, L. Keratins as the main component for the mechanical integrity of keratinocytes / L. Ramms, G. Fabris, R. Windoffer, N. Schwarz [et al.] // PNAS USA. – 2013. – 110 (46). – PP. 18513-18518 (doi: 10.1073/pnas.1313491110).
- Woycechowsky K. J. Native disulfide bond formation in proteins / K. J. Woycechowsky, R.T. Raines // Curr. Opin. Chem. Biol. – 2000. – V.4. – P. 533-539.
- Помытко В. Н. Пушное звероводство и кролиководство / В. Н. Помытко и др. – Москва: Колос, 1982. – 123 с.
- Беседин А.Н. Товароведение пушно-меховых товаров / А.Н. Беседин, Ш.К. Ганцов. – Москва: Экономика, 1985. – 126 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. GOST 2790-88. Shkurki lisicy kletochного razvedeniya nevy`delanny`e. Texnicheskie usloviya [Undressed skins of fox of cage breeding. Specifications : interstate standard]: mezhgosudarstvenny`j standart: official edition: utverzhden i vveden v dejstvie Postanovleniem Gosudarstvennogo komiteta SSSR po standartam ot 28.06.88 №2435: data vvedeniya 1991-10-01. – Moskva : Publ. house standartov. - 1992. – 13 p. [in Russian]
2. Pat. 2092072 Russian Federation, MKI6 A23K 1/10 (2006.01). Sposob polucheniya keratina [Method of keratin preparing]: No. 95117245-13: Appl. 06.10.95: publ. 10.10.97 / Sapozhnikova A.I., Kasparyancz S.A., Mesropova N.V., Gordienko N.M. – 7 p. [in Russian]
3. Babich O.O. Pererabotka vtorichного keratinsoderzhashhego sy`r`ya i poluchenie belkovy`x gidrolizatorov na pishhevye i kormovy`e celi [Keratin containing waste processing and manufacture of albuminous hydrolysates for food and fodder purposes] / O.O. Babich, I.S. Razumnikova, A.Yu. Poletaev, A.I. Morozova // Tekhnika i tekhnologiya pishhev`x proizvodstv [Food processing: techniques and technology]. - 2011. - № 2 (21). - P. 7-11. [in Russian]
4. Barabashnikov D.M. Utilizatsiya promy`shlenny`x otxodov [Utilization of industrial waste] / D.M. Barabashnikov, A.F. Serdyukova // Molodoj ucheny`j [Young Scientist]. - 2017. – 25 (159). - P. 101-104. [in Russian]
5. Bortnikov S.V. Poluchenie rastvorimoy modifikatsii keratina iz beloksoderzhashhix otxodov zhivotnovodstva [Production of soluble modification of keratin from protein-containing animal wastes] / S.V. Bortnikov, G.A. Gorenkova // Uspexi sovremennogo estestvoznaniya [Success of modern natural science]. – 2018. – № 4. – P. 17 – 22. [in Russian]
6. Gavriljak V.V. Xarakteristika struktury` keratinovy`x volokon razny`x tipov [Structural characteristics of different types of keratin fibres] / V.V. Gavriljak // Vestnik Odesskogo nacional`nogo universiteta. Biologiya [Bulletin of the Odessa National University. Biology]. - 2013. – Vol. 18. - № 3 (32). - P. 9-15. [in Russian]
7. Grebeneva, Yu.S. Vliyaniye kormovy`x dobavok iz produktov reciklinga keratinsoderzhashhix otxodov na kachestvo shkurok norki [Effect of feed additives from keratin-containing waste recycling products on the quality of mink skins] / Yu.S. Grebeneva, A.I. Sapozhnikova // V sbornike: Tovarovedeniye, tekhnologiya i e`kspertiza: innovatsionny`e resheniya i perspektivy` razvitiya. Materialy` nacional`noj nauchno-prakticheskoy konferentsii [In the collection: Commodity research, technology and expertise: innovative solutions and development prospects. Materials of the national scientific and practical conference], Moscow - 2018. - P. 280-290. [in Russian]
8. Perel`dik, N.Sh. Kormleniye pushny`x zverez [Feeding fur animals] / N.Sh. Perel`dik, L.V. Milovanov, A.T. Erin. - 2nd ed., Rev. and add. – Moscow: Kolos. - 1981. [in Russian]
9. Poletaev, A.Yu. Osobennosti pererabotki belkovogo sy`r`ya v polnocenny`e korma dlya sel`skoxozyajstvenny`x zhivotny`x [Peculiarities of keratin-containing raw material processing and complete farm animal feed production on its basis] / A.Yu. Poletaev, M.G. Kurbanova // Tekhnika i tekhnologiya pishhev`x proizvodstv [Food processing: techniques and technology]. – 2010. - № 3 (18). - P. 29-34. [in Russian]
10. Rudenko A.O. Opredeleniye vazhnejshix aminokislot v slozhny`x ob`ektax biologicheskogo proisxozhdeniya metodom obrashhyonno-fazovoy VE`ZhX s polucheniem feniltiogidantoinov aminokislot [Validation of assay method for certain amino acids in dosage forms by hplc method] / A.O. Rudenko A.O., L.A. Karczova, S.I. Snarskiy // Sorbtsionny`e i xromatograficheskie processy` [Sorption and chromatography processes]. - 2010. - Vol. 10. - № 2. - P. 223-230. [in Russian]
11. Sapozhnikova, A.I. Fiziologicheskij status i kachestvo shkurok u molodnyaka serebristo-chnoj lisicy (vulpes vulpes l.) Pri primenenii protivoparazitarnogo preparata niacid-granuly` plyus s bioaktivny`m keratinom kak kormovoy dobavkoj [Physiological status and fur quality of young silver foxes (Vulpes Vulpes L.) under use of antiparasitic drug Niacid-granules plus and Bioactive keratin as a feed additive] / A.I. Sapozhnikova, K.V. Eseprenok, G.Yu. Kosovskiy, E.A. Tinaeva, M.N. Mirzaev, E.G. Kvartnikova, B.V. Novikov, T.M. Chekalova // Sel`skoxozyajstvennaya biologiya [Agricultural biology]. - 2019. - Vol. 54. - № 6. - P. 1154-1166. [in Russian]
12. Slesarenko, N.A. Biologicheskaya ocenka vliyaniya belkovogo gidrolizata na organizm norok [Biological evaluation of the influence of protein hydrolysate on the organism of the monks] / N.A. Slesarenko, P.N. Abramov // Rossijskaya sel`skoxozyajstvennaya nauka [Russian agricultural science]. - 2019. - № 1. - P. 52-54. [in Russian]
13. Chen V. M. Allosteric disulfide bonds in thrombosis and thrombolysis / V.M. Chen, P.J. Hogg // J. Thromb. and Haemost. - 2006. - V. 4. - P. 2533-2541.
14. Gillespie, J.M. The structural Proteins of Hair: Isolation, characterization, and regulation of biosynthesis / J.M. Gillespie // In Physiology, biochemistry and molecular biology of skin: Oxford, 1991. - P. 625-658.
15. Hesse, H. Molecular analysis and control of cysteine biosynthesis: integration of nitrogen and sulphur metabolism / H. Hesse, V. Nikiforova, B. Gakiere, R. Hoefgen // Journal of Experimental Botany. - 2004. - Vol. 55. - № 401. - P. 1283.
16. Hogg P.J. Allosteric disulfide bonds / P.J. Hogg, J.W.H. Wong // Protein Reviews. - 2011. - Vol. 14. - P. 151-182.
17. Nikolaev I.V. Enzymatic hydrolysis of keratin-containing stock for obtaining protein hydrolysates / I.V. Nikolaev, I.D. Keruchenko, E.V. Stepanova, A.D. Satrutdinov, V.P. Khotchenkov, V.G. Volik, O.V. Koroleva, N.L. Ereemeev, A.P. Sinitsyn, S.V. Zinovev, D.Y. Ismailova, N.V. Tsurikova // Applied Biochemistry and Microbiology. - 2009. - Vol. 45. - № 6. - P. 648-655 (DOI: 10.1134/S0003683809060131)
18. Prosekov, A. Drying parameters of hydrolysates of keratin-containing raw materials / A. Prosekov, A. Petrov, E. Ulrich, L. Dyshlyuk, V. Dolganuk // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. - 2016. - Vol. 7. - № 4. - PP. 1589-1593.
19. Ramms, L. Keratins as the main component for the mechanical integrity of keratinocytes / L. Ramms, G. Fabris, R. Windoffer, N. Schwarz [et al.] // PNAS USA. - 2013. – 110 (46). - PP. 18513-18518 (doi: 10.1073/pnas.1313491110).
20. Woycechowsky K. J. Native disulfide bond formation in proteins / K. J. Woycechowsky, R.T. Raines // Curr. Opin. Chem. Biol. - 2000. - V.4. - P. 533-539.
21. Pomytko V. N. Pushnoe zverovodstvo i krolikovodstvo [Fur farming and rabbit breeding] / V. N. Politco and others – Moscow: Kolos, 1982. - 123 p. [in Russian]
22. Besedin A. N. Tovarovedeniye pushno-mehovyh tovarov [Commodity Science fur-fur goods] / A. N. Besedin, Sh. K. Gantsov. - Moscow: Ekonomika, 1983. - 126 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.101.11.025>ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МНОГОНОЖЕК (*MYRIAPODA*) ОМСКА И ОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Научная статья

Колпакова Т.Ю.^{1,*}, Дерисева О.П.²^{1,2} Омский государственный педагогический университет, Омск, Россия

* Корреспондирующий автор (kolpakova[at]omgpu.ru)

Аннотация

Фауна многоножек Омска и Омской области насчитывает 8 видов, относящихся к 2 надотрядам, 3 отрядам, 4 подотрядам. Наиболее типичными представителями *Myriapoda* Омска и Омской области являются *Lithobius curtipes* и *Geophilus proximus*. Это обычные широко распространенные виды, обитающие в почве и подстилке. Описаны экологические особенности данных видов. В работе представлен анализ биотопического распределения найденных видов в растительных сообществах Омской области. Показано, что большое влияние на состав и численность мезофауны оказывают особенности растительного покрова и гидротермический режим почвы. Так же большую роль играют экологические и биологические факторы жизнедеятельности многоножек: пищевая избирательность, массовые вспышки численности и приуроченность к местообитаниям.

Ключевые слова: многоножки, губоногие, двупароногие, фауна, Омская область.

ECOLOGICAL FEATURES OF MILLIPEDES (*MYRIAPODA*) IN OMSK AND OMSK OBLAST

Research article

Kolpakova T.Yu.^{1,*}, Derisheva O.P.²^{1,2} Omsk State Pedagogical University, Omsk, Russia

* Corresponding author (kolpakova[at]omgpu.ru)

Abstract

The centipede fauna of Omsk and Omsk Oblast includes 8 species belonging to 2 superorders, 3 orders, and 4 suborders. The most typical representatives of myriapoda in Omsk and Omsk Oblast are *Lithobius curtipes* and *Geophilus proximus*. These are common widespread species that live in the soil and litter. The article describes the ecological features of these species and presents an analysis of the biotopical distribution of the found species in the phytocenosis of Omsk Oblast. The research demonstrates that the composition and abundance of mesofauna are strongly influenced by features of vegetation cover and the hydrothermal regime of the soil. Environmental and biological factors of millipedes' vital activity also play an important role: food selectivity, mass population outbreaks, and locality.

Keywords: millipedes, chilopods, diplopods, fauna, Omsk Oblast.

Введение

Многоножки (*Myriapoda*) – класс подтипа трахейнодышащих типа членистоногих (*Arthropoda*). Их тело разделяется на голову и вытянутое туловище из многочисленных члеников. Несмотря на внешние признаки сходства, отдельные их группы по деталям своего строения отличаются друг от друга [9], [10, С. 79]. Большинство видов ведет скрытый образ жизни в почве, в разрушающейся древесине, избегая сухости и дневного света. Губоногие многоножки типичные хищники-полифаги, они важны как регуляторы численности почвенных беспозвоночных [5]. Их пространственное распределение и видовое разнообразие зависят, прежде всего, от гидротермического режима почв. *Chilopoda* менее зависимые от географического ландшафта, чем *Diplopoda*. К влаге они довольно требовательны, но еще более – к теплу, и осенью заползают в зимние убежища раньше, чем *Diplopoda*. Яйца многоножек, в отличие от насекомых, чувствительны к высыханию. В то же время на распределение некоторых видов многоножек влияет не только влажность, но и температура почвы [1, С. 211-219], [2], [8, С. 1802-1810].

Актуальность выбранной мной темы заключается в том, что фауна многоножек на территории Омской области изучена мало. Многоножки играют большую роль в разрушении растительных остатков. Они являются обычным компонентом животного населения большинства наземных сообществ и играют важную роль в регуляции плотности популяций почвенных беспозвоночных. Сами многоножки представляют объект питания для более крупных животных: их поедают хищные жуки, рептилии, птицы, насекомоядные млекопитающие.

Целью работы является изучение экологических особенностей многоножек (*Myriapoda*) Омска и Омской области. В соответствии с целью были поставлены следующие задачи:

1. Изучить видовой состав многоножек Омска и Омской области.
2. Изучить распределение видов по биотомам на исследуемой территории
3. Изучить плотность и глубину обитания губоногих многоножек на исследуемых биотопах.
4. Изучить изменения структуры сообществ многоножек под влиянием антропогенного воздействия на примере агроценоза района «старой» Московки города Омска.

Основные результаты

Сбор материала произведен в течение 3 сезонов, с 2018 по 2020 год. На территории Парка Победы, Азовского района, агроценоза «старая» Московка. Экземпляры собирались методами ручного сбора и почвенных раскопок [4], [6]. Обработка материала проводилась по стандартным методикам [7]. Всего проанализировано 170 проб. Также были собраны единичные экземпляры на территории Порт Артура, п. Чернолучье, ул. Набережная Тухачевского, ул. Куломзинская. За весь период исследования было собрано и обработано 145 экземпляра многоножек, относящиеся к 8 видам, 4 родам, 4 семействам, 4 подотрядам (*Lithobiomorpha*, *Geophilomorpha*, *Scutigera*, *Julida*) и 2 надотрядам (*Chilopoda*, *Diplopoda*). Из 8 найденных видов, 1 вид относится к надотряду *Diplopoda* и 7 видов к надотряду *Chilopoda*.

Надотряд *Chilopoda* представлен видами *Lithobius curtipes*, *Lithobius proximus*, *Lithobius ruderalis*, *Lithobius insolens*, *Lithobius forficatus*, *Geophilus proximus*, *Scutigera coleoptrata*. Из надотряда *Diplopoda* на территории Омской области найден один вид - *Brachyiulus jawlowskii*. Самым многочисленным является вид *Lithobius curtipes* и составляет почти половину (49%) от всех найденных особей.

На территории Азовского Немецкого национального района выявлено 4 вида, относящиеся к 3 родам и 2 семействам. Из 4 представленных видов, наиболее многочисленным является *Lithobius curtipes*, на его долю приходится 65%, от всех обнаруженных особей. На долю *Lithobius proximus* – 19%, *Geophilus proximus* – 12%, *Lithobius insolens* – 4%.

На территории Омского парка имени 30-летия Победы выявлено 3 вида, относящиеся к 1 роду и 1 семейству. Из трех представленных видов, наиболее многочисленным является *Lithobius curtipes*, на его долю приходится 67% от всех обнаруженных особей. На долю *Lithobius proximus* – 20%, *Geophilus proximus* – 13%.

В агроценозе «старая» Московка города Омска выявлено 4 вида, относящихся к 4 родам и 4 семействам. Из четырех представленных видов, наиболее многочисленным является *Geophilus proximus*, на его долю приходится 67% от всех обнаруженных особей. На долю *Lithobius ruderalis* – 27%, *Brachyiulus jawlowskii* и *Scutigera coleoptrata* – 3%. Единственный экземпляр надотряда *Diplopoda* был обнаружен на агроценозе «старая» Московка. Также, впервые на территории Омской области, был обнаружен вид *Lithobius ruderalis*, характерный только для агроценоза.

Биотопическое распределение *Chilopoda* Омской области

Исследования проводились в трех биотопах. Для изучения биотопического распределения губоногих многоножек учитывались только те особи, которые были собраны методом разборки почвенно-зоологических проб. На диаграмме представлено процентное соотношение встреченных видов на исследуемых биотопах (см. рисунок 1). Половина (51%) найденных нами особей, были найдены в березово-осиновом лесу.

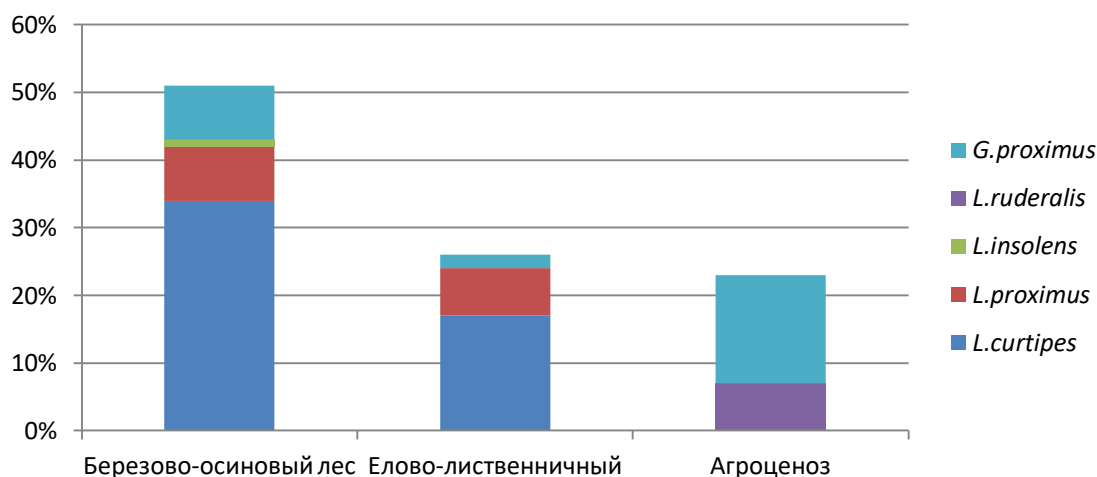


Рис. 1 – Процентное соотношение собранных экземпляров на исследуемых биотопах

Биотопы березово-осиновый лес и елово-лиственничный лес схожи по видовому составу губоногих многоножек, но различаются по плотности. Так же в березово-осиновом лесу была обнаружена одна особь вида *L. insolens*. Это может быть связано с тем, что почвы елово-лиственничного леса меньше содержат гумуса, они более плотные, что затрудняет ход многоножек. Почва на агроценозе представляет собой типичный чернозем обыкновенный, который богат гумусом и имеет рыхлую структуру. Это благоприятный фактор для жизни многоножки вида *G. proximus*, которые предпочитают уходить на глубину до 50 см. Об этом свидетельствует их высокая плотность на данном биотопе, по сравнению с низкой плотностью в елово-лиственничном лесу. Также на агроценозе обнаружен вид *L. ruderalis*, который не встречался ни в одном другом месте. Это может говорить о его потребности к высокой влажности местообитания, а также потребности в органических веществах, получаемых при разложении растительных остатков и гниении овощей. С мая по октябрь 2019 года, на территории Парка Победы было исследовано 150 проб. Каждый день по 10 проб с двух участков. В день на одном биотопе исследовалось по 5 проб. Показатели встречаемости и плотности *Chilopoda* на территории Парка Победы рассчитывались средние для всего периода исследования (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Средние показатели встречаемости и плотности *Chilopoda* на территории Парка Победы

Показатели	Распределение по видам		
	<i>Lithobius curtipes</i>	<i>Lithobius proximus</i>	<i>Geophilus proximus</i>
Березово-осиновый лес			
Встречаемость, %	67	17	15
Плотность, экз/м ²	1,9	0,5	0,4
Общая плотность, экз/м ²	2,8		
Елово-лиственничный лес			
Встречаемость, %	65	27	11
Плотность, экз/м ²	0,9	0,4	0,1
Общая плотность, экз/м ²	1,4		

Из таблицы видно, что показатель общей плотности в березово-осиновом лесу выше в 2 раза, чем в елово-лиственничном лесу. Однако, плотность *Lithobius proximus* одинаковая в обоих биотопах, что свидетельствует об их лояльности к почвам.

Показатель встречаемости вида *Lithobius curtipes* примерно одинаковый в двух биотопах, а плотность в елово-лиственничном лесу почти в 2 раза ниже. Для вида *Geophilus proximus* наличие листового опада является благоприятным условием, поэтому плотность в березово-осиновом лесу в 4 раза выше, чем в елово-лиственничном лесу.

Для расчета показателей встречаемости и плотности на территории Азовского Немецкого национального района брались результаты за весь период исследования (см. таблицу 2). За два дня было исследовано 20 проб, по 10 проб в каждом биотопе.

Таблица 2 – Средние показатели встречаемости и плотности *Chilopoda* на территории Азовского Немецкого национального района

Показатели	Распределение по видам			
	<i>Lithobius curtipes</i>	<i>Lithobius proximus</i>	<i>Lithobius insolens</i>	<i>Geophilus proximus</i>
Березово-осиновый лес				
Встречаемость, %	65	12	6	17
Плотность, экз/м ²	4,4	0,8	0,4	1,2
Общая плотность, экз/м ²	6,8			
Елово-лиственничный лес				
Встречаемость, %	67	33	-	-
Плотность, экз/м ²	2,4	1,2	-	-
Общая плотность, экз/м ²	3,6			

Из таблицы видно, что показатель общей плотности в березово-осиновом лесу почти в 2 раза выше, чем в елово-лиственничном. Показатель встречаемости вида *Lithobius curtipes* одинаковый в обоих биотопах, однако плотность в елово-лиственничном лесу в два раза меньше, чем в березово-осиновом лесу. *Lithobius insolens* и *Geophilus proximus* в период исследования встречены только в березово-осиновом лесу.

Показатели встречаемости и плотности *Chilopoda* на агроценозе «старая» Московка рассчитывались средние для всего периода исследования. Было взято 10 проб в конце лета 2019 г. и 10 проб весной 2020 г. (см. таблицу 3). Из таблицы видно, что показатели встречаемости и плотности для *Geophilus proximus* в 2,5 раза выше, чем для вида *Lithobius ruderalis*. Агроценоз обладает самой высокой общей плотностью многоножек, по сравнению с другими биотопами. Также для него характерна высокая встречаемость вида *Geophilus proximus* – 71%.

Таблица 3 – Средние показатели встречаемости и плотности *Chilopoda* на агроценозе «старая» Московка

Показатели	Распределение по видам	
	<i>Lithobius ruderalis</i>	<i>Geophilus proximus</i>
Встречаемость, %	29	71
Плотность, экз/м ²	3,6	8,8
Общая плотность, экз/м ²	12,4	

Заключение

На территории Омской области распространен надотряд *Chilopoda* и включает в себя 7 видов, всего обнаружено 8 видов *Meriropoda*. Основу видового разнообразия губоногих многоножек на изученной территории составляют представители семейств *Lithobidae*, в сумме составляющие на их долю приходится 72 % от общего количества встреченных экземпляров.

Губоногие многоножки Омска и Омской области предпочитают смешанные леса, где отмечается наибольшее видовое богатство и наибольшая численность. Хвойные леса характеризуются меньшим видовым богатством и численностью. Также отмечен вид *Lithobius proximus*, для которого растительный покров практически не играет роли, и он в равной степени отмечен для двух биотопов. Вид *Geophilus proximus* характерен как для естественных, так и для антропогенных биогеоценозов. В то время, как вид *Lithobius ruderalis* отмечен только для агроценоза.

Большинство найденных видов обитали на глубине 0-10 см. Глубже чем 30 см был найден только вид *Geophilus proximus*. Общая плотность губоногих на различных участках варьируется от 1,4 до 12,4 экз/м². Наибольшая общая плотность *Chilopoda* отмечена на агроценозе «старая» Московка и составляет 12,4 экз/м². *Scutigera coleoptrata* – обитатель жилых помещений, предпочитает темные места в квартире.

Агроценоз характеризуется повышенной плотностью губоногих многоножек. Это может быть связано с обильным увлажнением почв. Имеющий широкое распространение в естественных биотопах вид *Lithobius curtipes* не был обнаружен на антропогенном участке. Все найденные экземпляры были обнаружены на глубине свыше 30 см. Также при почвенных раскопах была обнаружена одна особь из надотряда *Diplopoda* – вид *Brachyulus jawlowskii*.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Гиляров М. Губоногие многоножки (Chilopoda) степной зоны юго-востока европейской территории СССР как показатели почвенных условий в лесонасаждениях / М. Гиляров, Б. Фолкманова // Известия Академии наук СССР. Серия биологическая. №2. М.: АН СССР. С. 211–219.
2. Гиляров М.С. Учет крупных беспозвоночных (мезофауны) / М.С. Гиляров // Методы почвенно-зоологических исследований. — М.: Наука, 1975. — С. 12 — 29.
3. Гиляров М.С. Роль почвенных беспозвоночных в разложении растительных остатков и круговороте веществ / М.С. Гиляров, Б.Р. Стриганова.// Б кн.: Итоги науки (зоология беспозвоночных), т.5 (почвенная зоология), М., 1978, с. 8-69.
4. Жунусов Н.С. Изменение почвенного покрова под влиянием антропогенных нагрузок / Н.С. Жунусов, Ф.Г. Аюпов, А.А. Авазов // Лесной вестник. — 2008, с. 146-147.
5. Залеская Н.Т. Определитель многоножек-костянок СССР / Н.Т. Залеская. М.: «Наука», 1978, 212 с.
6. Карпачевский Л. О. Лес и лесные почвы / Л. О. Карпачевский. М.: Лесная промышленность, 1981. 264 с.
7. Палий В.Ф. 1961. О количественных показателях при обработке фаунистических материалов // Зоол. ж. Т.40, №1. С. 3–6.
8. Россолимо Т.Е. Термо- и гигропреферендумы некоторых почвенных беспозвоночных в связи с их биотопическим распределением / Т.Е. Россолимо, Л.Б. Рыбалов // Зоологический журнал. Т.58. №.8. С.1802–1810.
9. Фасулати К.К. Полевое изучение наземных беспозвоночных / К.К. Фасулати. Изд.2. Учебн.пособие для университетов. М., "Высшая школа", 1971. 424 с.
10. Энциклопедия Омской области: в 2 т./ Под общ. ред. В. Н. Русакова. - Омск: Ом. кн. изд-во, 2010. 79 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Gilyarov M. Gubonogie mnogonozhki (Chilopoda) stepnoj zony jugo-vostoka evropejskoj territorii SSSR kak pokazateli pochvennyh uslovij v lesonasazhdenijah [Lip-legged millipedes (Chilopoda) of the steppe zone of the South-East of the European territory of the USSR as indicators of soil conditions in forest plantations] / M. Gilyarov, B. Folkmanova // Izvestiya Akademii nauk SSSR. Seriya biologicheskaya. №2 [USSR Academy of Sciences Report. Biology series. №2.] М.: АН СССР, 1957. pp. 211-219 [in Russian]
2. Gilyarov M. S. Uchet krupnyh bespozvonochnyh (mezofauny) [Records on Large Invertebrates (mesofauna) / M. S. Gilyarov // Methods of Soil and Zoological Research. - Moscow: Nauka, 1975. - pp. 12-29 [in Russian]
3. Gilyarov M. S. Rol' pochvennyh bespozvonochnyh v razlozhenii rastitel'nyh ostatkov i krugovorote veshhestv. [The Role of Soil Invertebrates in the Decomposition of Plant Residues and the Circulation of Substances] / M. S. Gilyarov, B. R. Striganova // Itogi nauki (zoologija bespozvonochnyh), t.5 (pochvennaja zoologija) [Results of Science and Engineering (Invertebrate Zoology), vol.5 (Soil Zoology)], М., 1978, pp. 8-69 [in Russian]
4. Zhunusov N. S. Izmenenie pochvennogo pokrova pod vlijaniem antropogennyh nagruzok [Changes in Soil Cover Under the Influence of Anthropogenic Loads] / N. S. Zhunusov, F. G. Ayupov, A. A. Avazov // Lestnoy Vestnik [Forest Bulletin] -2008, pp. 146-147 [in Russian]
5. Zaleska N. T. Opredelitel' mnogonozhek-kostjanok SSSR [Determinant of Centipedes-Bones of the USSR] / N. T. Zaleska // М.: Nauka, 1978, 212 p. [in Russian]
6. Karpachevsky L. A. Les i lesnye pochvy [Forest and Forest Soils] / L. Karpachevsky // М.: Lesnaya promyshlennost' [Forest Industry], 1981. 264 p. [in Russian]
7. Paliy V. F. O kolichestvennyh pokazatel'jah pri obrabotke faunisticheskikh materialov [On Quantitative Indicators in the Processing of Faunal Materials] / V. F. Paliy // Zool. Zh. [Journal of Zoology] Vol. 40, no. 1. 1961, pp. 3-6 [in Russian]
8. Rossolimo T. E. Termo- i gigropreferendумы nekotoryh pochvennyh bespozvonochnyh v svyazi s ih biotopicheskim raspredeleniem [Thermo - and Hygropreferendums of Some Soil Invertebrates in Connection with Their Biotopical Distribution] / T. E. Rossolimo, L. B. Rybalov // Zoologicheskij Zhurnal [Journal of Zoology] Vol. 58. no. 8, pp. 1802-1810 [in Russian]
9. Fasulati K. K. Polevoe izuchenie nazemnyh bespozvonochnyh. [Field Study of Terrestrial Invertebrates] / K. K. Fasulati, 2nd Edition, Training Handbook for Universities, М., "Vysshaya Shkola", 1971. 424 p. [in Russian]
10. Jenciklopedija Omskoj oblasti [Encyclopedia of the Omsk Oblast: in 2 Volumes] / Edited by V. N. Rusakova. - Омск: Ом. Publ. house, 2010. 79 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.101.11.026>**ХАРАКТЕРИСТИКА РАЗВИТИЯ ПОПУЛЯЦИИ ДОЖДЕВЫХ КОМПОСТНЫХ ЧЕРВЕЙ
В СУБСТРАТЕ ИЗ ГОРОДСКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ОСТАТКОВ**

Научная статья

Ляшев А.А.^{1,*}, Прок И.А.²¹ ORCID: 0000-0002-3761-7587;^{1,2} Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия

* Корреспондирующий автор (laa_2003[at]rambler.ru)

Аннотация

Показаны результаты исследования динамики численности популяции дождевых компостных червей в субстрате из измельченной газонной травы и остатков разнотравья. Данная проблема представляет научный интерес и имеет важное практическое значение в связи с утилизацией городских органических отходов в условиях Тюменского региона. Одной из задач является переработка городских органических отходов, которая имеет несколько важных аспектов. Городская органика содержит минеральные элементы в труднодоступной форме. Вермикомпостирование ускоряет процессы извлечения этих веществ и поглощения их растениями. Цель работы - изучить характерные черты развития популяции компостных червей в субстрате из остатков разнотравья при вермикомпостировании в условиях Тюменской области. Полученные данные исследований по изучению характерных черт развития популяции дождевых компостных червей в субстрате из остатков газонной травы и разнотравья свидетельствуют, что пик репродуктивной активности червей начинается после двух недель адаптации к новому субстрату, второй подъем численности коконов происходит после 15-й недели развития, вылупление ювенильных стадий начинается после 4-й недели развития, а резкий подъем численности - после 17-й недели. Подъем численности взрослых червей отмечается после 11 недель развития коконов и ювенильных стадий. После 5 недель развития взрослые особи начали откладывать коконы. Это видно по резкому подъему численности коконов, а затем и ювенильных стадий.

Ключевые слова: вермикюльтура, вермитехнологии, дождевые компостные черви, ювенильные стадии, коконы, динамика численности, структура популяций.

**CHARACTERISTICS OF DEVELOPMENT OF POPULATION OF RAIN COMPOST WAXES
IN SUBSTRATE FROM URBAN ORGANIC RESIDUES**

Research article

Lyashchev A.A.^{1,*}, Prok I.A.²¹ ORCID: 0000-0002-3761-7587;^{1,2} Tyumen State Agricultural Academy
, Tyumen, Russia

* Corresponding author (laa_2003[at]rambler.ru)

Abstract

The results of studies on the development of a population of rain compost worms in a substrate of crushed lawn grass and remnants of herbs are presented. This problem is of scientific interest and is of great practical importance in connection with the disposal of urban organic waste in the conditions of the region. One of the objectives is the recycling of urban organic waste, which have several important aspects. Urban organic contains some mineral elements in hard-to-reach (low soluble) form. Vermicomposting greatly facilitates the process of extracting these substances and their absorption by plants. The aim of the work is to study the characteristic features of the development of the compost worms population in the substrate of the remains of herbs when vermicomposting under the conditions of the Tyumen region. The findings of studies studying the characteristic features of the development of a population of earthworm compost worms in a substrate of lawn grass and grasses remind that the peak of worms' reproductive activity begins after two weeks of adaptation to a new substrate and the second cocoon number increases after the fifteenth week of development, and the juvenile stages hatch begins after the fourth week of development and a sharp rise in numbers after the seventeenth week. The rise in the number of adults begins after eleven weeks of cocoon development and juvenile stages. After five weeks of development, adults began to lay cocoons. This is marked by a sharp increase in the number of cocoons, and then the juvenile stages.

Keywords: vermiculture, vermitechnologies, rain compost worms, cocoons, juvenile developmental stages, population dynamics, population structure.

Введение

К наиболее серьезным агроэкологическим проблемам современности относятся падение плодородия почвы в сельхозугодьях и деградация почвенного покрова. В связи со спадом плодородия почвы и повышением резистентности вредителей и болезней резко снижается урожайность сельскохозяйственных культур. Это порождает необходимость внесения в почву средств химической защиты растений, что негативно повлияет на качество сельхозпродукции и состояние почвы. Одним из путей решения данной проблемы является производство экологичных органических удобрений, которые способствуют росту растений, а также могут повышать устойчивость их к вредителям, болезням и стрессам. К данным удобрениям можно отнести биогумус - продукт переработки органических субстратов дождевыми червями [1].

Применение дождевых червей для производства органических удобрений и стимуляторов роста из органических отходов приобретает глобальный характер [2]. К настоящему времени проведена большая работа по отбору видов и гибридов дождевых червей, которые прекрасно используются в технологии вермикомпостирования. Применение диких видов дождевых червей приводит к возникновению некоторых проблем, таких как достаточно длинные репродуктивные

циклы, высокая требовательность к стабильным и постоянным условиям среды. Применять их в технологии переработки отходов бывает очень сложно [3].

Наиболее продуктивным и подходящим для технологий переработки органических остатков является дождевой компостный червь *Eisenia andrei*. *Eisenia andrei* является хорошей лабораторной культурой с целым рядом достоинств: высокая плодовитость, активность, которая существенно выше, чем у других видов дождевых червей, и легкость выращивания в искусственных условиях [4].

Во многих литературных источниках рассматривается применение компостных червей только на богатой азотом органике однородных субстратов. Подготовка этих сред для культивирования требует дополнительных трудозатрат [5]. Ведение вермикультуры заключается в переработке компостными червями навоза крупного рогатого скота, лошадей, кроликов, птицы. До настоящего времени как в технологических процессах, так и в научных исследованиях относительно слабо разработано направление вермикомпостирования, где ведётся переработка небогатых азотом субстратов с большим содержанием целлюлозы.

Проблема переработки городских органических отходов имеет несколько аспектов. Во-первых, сжигание опавших листьев и травы запрещено. Во-вторых, процесс разложения листового опада является компонентом биогеохимических циклов и трофических цепей. В-третьих, городские органические остатки содержат труднодоступные формы минеральных элементов. Процессы вермикомпостирования значительно облегчают извлечение этих веществ и их поглощение растениями. Переработка листового опада и газонной травы дает возможность превращать их в органические удобрения.

При минеральном питании самым проблемным элементом очень часто является кальций, который в естественных условиях извлекается из опада и возвращается в корнеобитаемые горизонты [6], [7], [9]. В решении этого вопроса могут помочь дождевые черви, которые имеют возможность извлекать из субстрата данный элемент. Роль кальция в повышении неспецифической устойчивости растений хорошо известна [10], [11], [12].

Подготовка субстратов для компостных червей является одним из важнейших звеньев в технологическом процессе вермикультивирования. Известно, что от характера субстрата, от сочетания составляющих его компонентов и других факторов зависит общее состояние популяций червей, интенсивность размножения и накопления биомассы, свойства, характер и количество копролита.

Подготовленный субстрат имеет для червей большое значение: во-первых, это среда, в которой они обитают и выполняют свои жизненные функции, и во-вторых, это пища, которая обеспечивает всю их жизнедеятельность.

Эффективность вермитехнологии на некоторых субстратах в условиях Тюменской области изучена достаточно хорошо. В нашем регионе есть ряд попыток наладить размножение дождевых компостных червей, производство их биомассы и копролитов [14], однако с каждым годом все острее назревает необходимость в разработке научно обоснованных рекомендаций по утилизации городских органических остатков через использование вермитехнологии [14].

Цель работы - исследовать характерные черты популяции дождевых компостных червей в субстрате из городских органических остатков при вермикомпостировании в условиях Тюменской области.

Материалы и методики исследования

В экспериментах для переработки субстрата использовали газонную траву (размельченную), разнотравье (размельченное), дождевого компостного червя *Eisenia andrei* (Bouche) (*Lumbricidae*). Для вермикультивирования использовали пластиковые ящики объемом 0,25 м², которые постепенно наполняли субстратом.

Адаптивные способности дождевых червей оценивали по следующим показателям: поведение червей в субстратах и их окраска (визуально), численность особей, находящихся на различных стадиях развития. Плотность особей, находящихся на различных стадиях развития, в опытах определяли через 2, 4, 9, 15 и 21 неделю. Для этого в шахматном порядке в ящиках в трёх местах брали пробы, накладывая рамку размером 10 x 10 см. Субстрат вынимали на всю глубину и учитывали численность взрослых, молодых червей и количество коконов. Структуру популяции изучали по их соотношению.

Вермитехнология эффективна только в том случае, если выдерживаются все технологические условия. Это способствует интенсивной переработке субстрата, высоким количественным и качественным показателям копролита, значительной плодовитости червей и пр. [15].

Главными экологическими факторами в вермитехнологии являются оптимальные величины влажности, температуры и газообмена [14]. В процессе технологического цикла постоянно осуществлялся контроль за состоянием экологических факторов, которые своевременно корректировались. Влажность субстрата постоянно поддерживалась на уровне 80 - 85%. Черви усваивают кислород из воздуха, находящегося в субстрате [8].

Яйца в коконах очень чувствительны к температуре, поэтому необходимо, чтобы она была стабильной в пределах оптимальных величин 18-23°C. Повышенная температура приводит к гибели зародышей, а пониженная замедляет процессы развития яиц и может вызвать их гибель. Для контроля температуры были установлены термометры [14].

Подготовка субстрата для дождевых компостных червей является одним из ключевых звеньев в вермитехнологии. В условиях доступа воды и кислорода, а также под воздействием обитающих в траве микроорганизмов и грибов (актиномицетов) происходит минерализация и гумификация органического вещества. Основой любого субстрата должна быть органика как биологически активное вещество, к которому в различных пропорциях добавляют другие органические компоненты [13].

Перед закладкой опытов была проведена подготовка субстрата. Газонную траву и разнотравье закладывали на ферментацию в измельченном и неизмельченном виде. Для ускорения ферментации использовали экстракт биогумуса. Измельченная газонная трава приходила в состояние готового субстрата через 9-12, неизмельченная газонная трава – через 15-18 дней. Измельченное разнотравье превращалось в готовый субстрат через 3 недели, а неизмельченное разнотравье – через 30-36 дней. В результате закладывали два опыта с измельченной газонной травой и разнотравьем на вермикомпостирование в 4-х повторностях длительностью более 5 месяцев.

Математическую обработку данных производили с использованием пакета ПО MS Office 2010.

Результаты исследований и их обсуждение

В каждый ящик после подготовки субстрата в начале опыта запускали по 5000 взрослых червей из расчета на 1 м². После двухнедельной адаптации червей были проведены первые обследования субстратов. В результате была отмечена откладка коконов, как в газонной траве (2883,6 шт/м²), так и в субстрате из измельченного разнотравья (2015,3 шт/м²) (табл.).

Через четыре недели вновь были проведены учеты численности коконов, а также ювенильных стадий развития. В результате обследования был отмечен значительный рост численности коконов (11978,7 шт/м²) и ювенильных стадий (3934,5 шт/м²) в первом опыте субстрата (измельченная газонная трава). Во втором опыте (измельченное разнотравье) численность коконов меньше почти на 25%, чем в первом варианте, а ювенильных стадий – на 22% (таблица).

Таблица 1 – Численность коконов, молодых и взрослых особей компостных червей в разные сроки опыта, шт/м²

Субстрат (измельченный)	Коконы, шт/м ²	Молодые черви, шт/м ²	Взрослые черви, шт/м ²
через две недели			
Газонная трава	2883,6±95,9	-	4983,4±160,4
Разнотравье	2015,3±65,5	-	4967,8±185,6
через четыре недели			
Газонная трава	11978,7±395,1	3934,5±132,6	4979,7±162,1
Разнотравье	9063,5±300,7	3067,1±95,3	4949,1±172,0
через девять недель			
Газонная трава	14574,5±536,2	87547,3±3173,6	4951,3±166,4
Разнотравье	11914,1±430,3	69895,7±2290,9	4918,9±171,1
через пятнадцать недель			
Газонная трава	18627,9±735,5	133635,3±4661,5	67351,5±2533,9
Разнотравье	15965,2±611,8	112306,2±4518,1	56134,8±2239,2
через двадцать одну неделю			
Газонная трава	124842,7±4142,1	547172,9±20842,8	208721,8±7684,8
Разнотравье	103981,8±4245,9	471587,4±20046,3	187132,5±6971,9

К середине опыта в варианте с газонной травой численность коконов возросла на 21,7% по сравнению с предыдущим учетом, а в субстрате из разнотравья количество коконов возросло более существенно (на 31,5%). За пять недель, как начали вылупляться ювенильные формы, произошло резкое увеличение численности молоди (в 22 раза), причём скорость вылупления ювенильных форм на субстрате из газонной травы и разнотравья была одинаковой. Рост численности взрослых червей в данное время не отмечен.

Рассматривая динамику численности компостных червей через 15 недель на субстрате из газонной травы, заметили, что численность коконов через 6 недель увеличилась на 27,8%, ювенильных форм – на 52,6%, а взрослых – в 13,5 раз, а в субстрате из измельченного разнотравья интенсивность увеличения численности коконов по сравнению с предыдущим учетом возросла на 34%, а молоди – на 60,7%, в то же время численность взрослых червей увеличилась только в 11 раз.

В конце опыта на субстрате из газонной травы после предыдущего учета, т.е. на 21-й неделе, численность коконов резко возросла до 124842,7 шт/м², ювенильных стадий – в 4 раза, а взрослых червей – в 3 раза. Сравнивая численности коконов в субстратах из газонной травы и разнотравья, отметили, что в субстрате из разнотравья их меньше на 16,7%, чем в субстрате из газонной травы, ювенильных стадий – на 14%, а взрослых – на 10,4%.

Таким образом, полученные данные исследований по изучению характерных черт развития популяции дождевых компостных червей в субстрате из измельченной газонной травы и измельченных остатков разнотравья свидетельствуют, что первый подъем репродуктивной активности червей начинается после двух недель адаптации к новому субстрату, затем идет процесс стабилизации и после 15-й недели наступает второй подъем численности коконов, в том и в другом субстрате (рисунок).

Вылупление ювенильных стадий начинается после 4-й недели развития и стабилизируется к 10-й неделе. Этот процесс продолжается более 7 недель и, вероятно, связан с периодом перехода ювенильных стадий во взрослое состояние. После 17-й недели вновь начинается подъем численности ювенильных стадий.

Рассматривая динамику развития взрослых особей, установлено, что подъем численности взрослых начинается после 11 недель развития коконов и ювенильных стадий. После 5 недель развития взрослые особи начали откладывать коконы. Это было отмечено по резкому подъему численности коконов, а затем и ювенильных стадий.

В процессе развития популяции дождевых компостных червей соотношение между численностью отдельных стадий меняется. Так, к середине опыта было отмечено следующее соотношение коконов, ювенильных стадий и взрослых особей: 1,6 : 10,4 : 1. К концу опыта, т.е. на 21-й неделе, соотношение поменялось следующим образом: 1 : 4,5 : 1,8. Это свидетельствует о том, что с постепенным развитием популяции соотношение стадий развития принимает естественные значения.

Выводы

1. Первый подъем репродуктивной активности дождевых компостных червей в субстрате из измельченной газонной травы и измельченных остатков разнотравья начинается после двух недель адаптации к новому субстрату, подъем идет 2-3 недели, а затем наблюдается стабильный процесс с небольшим подъемом численности, а после 15-й недели наступает второй подъем численности коконов, как в одном, так и в другом субстрате.

2. Вылупление ювенильных стадий начинается после 4-й недели развития и продолжается до 10-й недели, а затем рост численности немного понижается и стабильно идет до 17-й недели. Этот процесс продолжается более 7 недель и, вероятно, связан с периодом перехода ювенильных стадий во взрослые. После 17-й недели вновь начинается подъем численности ювенильных стадий.

3. Подъем численности взрослых особей начинается после 11 недель развития коконов и ювенильных стадий. После 5 недель развития взрослые особи начали откладывать коконы. Это было замечено по резкому подъему численности коконов, а затем и ювенильных стадий.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Терещенко Н. Н. Микробиологические механизмы формирования фунгистатических свойств вермикомпоста и грунтов на его основе / Н. Н. Терещенко, А. Б. Бубина // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2007. – № 11. – С. 1–7.
2. Tripathi G. Comparative studies on biomass production, life cycles and composting efficiency of *Eisenia fetida* (Savigny) and *Lampito mauritii* (Kinberg) / G. Tripathi, P. Bhardwaj. // Bioresource Technology. – 2004. – Vol. 92. – Issue. 3. – P. 275–283.
3. Stewart A. The Earth Moved: On the Remarkable Achievements of Earthworms / A. Stewart // Algonquin Books. – 2004. – 240 p.
4. Петрова Г. В. Оценка характера развития смешанной популяции калифорнийского гибрида и местных червей *Eisenia foetida* / Г. В. Петрова, В. А. Симоненкова, А. В. Долбня // Дождевые черви и плодородие почв: материалы II международной научно-практической конференции. Владимир, 17–19 марта 2004 г. – Владимир, 2004. – С. 59–60.
5. Кошаев А.Г. Биотехнология вермикюльтивирования органических отходов / А.Г. Кошаев, О.В. Кошаева, М.А. Елисеев // Научный журнал КубГАУ. – 2014. – №95(01). – С. 1-28.
6. Ponge J. F. Interactions between earthworms, litter and trees in an oldgrowth beech forest / J. F. Ponge [et al.] // Biol. Fertil. Soils. – 1999. – Vol. 29. – P. 360–370.
7. Reich P. B. Linking litter calcium, earthworms and soil properties: a common garden test with 14 tree species / P. B. Reich [et. al.] // Ecology Letters. – 2005. – Vol. 8. – Issue. 8. – P. 811–818.
8. Петроченко К.А. Вермикомпост на основе листового опада - перспективное кальциевое удобрение / К.А. Петроченко, А.В. Куровский, А.С. Бабенко, Ю.Е. Якимов // Вестник Томского государственного университета. Биология. - 2015. - № 2 (30). - С. 20 - 34.
9. Kurovsky A. V. The Peculiar Physicochemical and Agrochemical Properties of Vermiculture-processed Poplar Leaf Litter / Kurovsky A. V., Petrochenko K. A., Babenko A. S. and Yakimov Y. E. // Key Engineering Materials. – 2016. - Vol. 683, P. 519-524
10. Bressan R. A. Plants use calcium to resolve salt stress / R. A. Bressan, P. M. Hasegawa, J. M. Pardo // Trends in Plant Science. – 1998. – Vol. 3. – P. 411–412.
11. Poovaiah B. W. Calcium and signal transduction in plants / B. W. Poovaiah, A. S. Reddy // Crit. Rev. Plant Sci. – 1993. – Vol. 12. – Is. 3. – P. 185–211.
12. Petrochenko K. A case study of woody leaf litter vermicompost as a promising calcium fertilizer / K. Petrochenko, A. Kurovsky, A. Godymchuk, A. Babenko, Y. Yakimov, A. Gusev // Bulgarian Journal of Agricultural Science. – 2019. – Vol. 25(4). - P. 646–653
13. Игонин А.М. Дождевые черви и плодородие почвы / А.М. Игонин – Владимир: Редакционно-издательский отдел, 1992. – 56 с.
14. Лящев А.А. Эффективность использования различных субстратов при вермикюльтивировании / А.А. Лящев // Агропродовольственная политика России. - 2013. - № 3. - С. 48-50.
15. Прок И.А. Подготовка субстрата из газонной травы для вермикюльтивирования / И.А. Прок, А.А. Лящев // Коняевские чтения: сборник научных трудов VI Международной научно-практической конференции (13–15 декабря 2017 г.) – Екатеринбург: Уральский ГАУ, 2018 С. 20-23.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Tereshchenko N. N. Mikrobiologicheskiye mekhanizmy formirovaniya fungistaticheskikh svoystv vermikomposta i gruntov na ego osnove [Microbiological mechanisms of formation of fungistatic properties of vermicompost and soils based on it] / N. N. Tereshchenko. A. B. Bubina // Sibirskiy vestnik selskokhozyaystvennoy nauki [Siberian Bulletin of agricultural science]. – 2007. – № 11. – P. 1–7. [in Russian]
2. Tripathi G. Comparative studies on biomass production, life cycles and composting efficiency of *Eisenia fetida* (Savigny) and *Lampito mauritii* (Kinberg) / G. Tripathi, P. Bhardwaj. // Bioresource Technology. – 2004. – Vol. 92. – Is. 3. – P. 275–283.
3. Stewart A. The Earth Moved: On the Remarkable Achievements of Earthworms / A. Stewart // Algonquin Books. – 2004. – 240 P. [in Russian]
4. Petrova G. V. Ocenka haraktera razvitiya smeshannoy populyacii kalifornijskogo gibrida i mestnykh chervej *Eisenia foetida* [Assessment of the development pattern of a mixed population of the California hybrid and native worms *Eisenia foetida*] / G.

- V. Petrova, V. A. Simonenkova, A. V. Dolbnya // *Dozhdevye chervi i plodorodie pochv: materialy II mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii* [Earthworms and soil fertility: proceedings of the II international scientific and practical conference. Vladimir, March 17-19, 2004] Vladimir, 17–19 march 2004. – P. 59–60. [in Russian]
5. Koshchaev A.G. Biotekhnologiya vermikul'tivirovaniya organicheskikh othodov [Biotechnology of organic waste vermiculture] / A.G. Koshchaev, O.V. Koshchaeva, M.A. Eliseev // *Nauchnyj zhurnal KubGAU* [The scientific journal of the Kuban state agrarian University]. – 2014. – №95(01). – P. 1-28. [in Russian]
6. Ponge J. F. Interactions between earthworms, litter and trees in an oldgrowth beech forest / J. F. Ponge [et al.] // *Biol. Fertil. Soils*. – 1999. – Vol. 29. – P. 360–370.
7. Reich P. B. Linking litter calcium, earthworms and soil properties: a common garden test with 14 tree species / P. B. Reich [et. al.] // *Ecology Letters*. – 2005. – Vol. 8. – Issue. 8. – P. 811–818.
8. Petrochenko K.A. Vermikompost na osnove listovogo opada - perspektivnoe kal'cievoe udobrenie [Vermicompost on the basis of leaf litter is a promising calcium fertilizer] / K.A. Petrochenko, A.V. Kurovskij, A.S. Babenko, YU.E. YAKimov // *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya* [Bulletin of Tomsk state University. Biology]. - 2015. - № 2 (30). - P. 20 - 34. [in Russian]
9. Kurovsky A. V. The Peculiar Physicochemical and Agrochemical Properties of Vermiculture-processed Poplar Leaf Litter / Kurovsky A. V., Petrochenko K. A., Babenko A. S. and Yakimov Y. E. // *Key Engineering Materials*. – 2016. - Vol. 683, P. 519-524
10. Bressan R. A. Plants use calcium to resolve salt stress / R. A. Bressan, P. M. Hasegawa, J. M. Pardo // *Trends in Plant Science*. – 1998. – Vol. 3. – P. 411–412.
11. Poovaiah B. W. Calcium and signal transduction in plants / B. W. Poovaiah, A. S. Reddy // *Crit. Rev. Plant Sci*. – 1993. – Vol. 12. – Is. 3. – P. 185–211.
12. Petrochenko K. A case study of woody leaf litter vermicompost as a promising calcium fertilizer / K. Petrochenko, A. Kurovsky, A. Godymchuk, A. Babenko, Y. Yakimov, A. Gusev // *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. – 2019. – Vol. 25(4), - P. 646–653
13. Igonin A.M. *Dozhdevye chervi i plodorodie pochvy* [Earthworms and soil fertility] / A.M. Igonin – Vladimir: Publ. branch [Vladimir: Editorial and publishing Department], 1992. – 56 p. [in Russian]
14. Lyashchev A.A. Effektivnost' ispol'zovaniya razlichnyh substratov pri vermikul'tivirovanii [Efficiency of using various substrates in vermiculture] / A.A. Lyashchev // *Agroprodovol'stvennaya politika Rossii* [Agri-food policy of Russia]. - 2013. - № 3. - P. 48-50. [in Russian]
15. Prok I.A. Podgotovka substrata iz gazonnoj travy dlya vermikul'tivirovaniya [Preparation of a lawn grass substrate for vermiculture] / I.A. Prok, A.A. Lyashchev // *Konyaevskie chteniya: sbornik nauchnyh trudov VI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (13–15 dekabrya 2017 g.)* – Ekaterinburg: Ural'skij GAU [Konyaev readings: collection of scientific papers of the VI International scientific and practical conference (December 13-15, 2017 – - Yekaterinburg: Ural state UNIVERSITY], 2018 P. 20-23. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.101.11.027>**ВЛИЯНИЯ СЕЗОННОГО ФАКТОРА НА ПРИЖИВАЕМОСТЬ ЭКСПЛАНТОВ ВИШНИ ОБЫКНОВЕННОЙ В КУЛЬТУРЕ *IN VITRO***

Научная статья

Шахов В.В.^{1,*}, Федотова И.Э.², Ташматова Л.В.³, Мацнева О.В.⁴, Хромова Т.М.⁵^{1, 3, 4, 5} Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, Орел, Россия;² Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, Орел, Россия

* Корреспондирующий автор (mentosvad[at]vniispk.ru)

Аннотация

При применении технологии микроклонального размножения на каждом этапе сталкиваются с целым рядом проблем и трудностей, которые в конечном итоге влияют на ее эффективность. Среди таких проблем – выбор наиболее подходящего календарного срока введения эксплантов сортов вишни в культуру *in vitro*. В связи с этим целью наших исследований являлось выявление оптимальных сроков введения в культуру *in vitro* эксплантов сортов вишни. Опыт проводился на базе лаборатории биотехнологии ВНИИСПК, г. Орел, в 2019-2020 годах. Объектами исследования являлись перспективные сорта вишни селекции ВНИИСПК: Орлица, Быстринка, Бусинка, Ливенская, Путинка, Мценская, Новелла, Капелька, Ровесница, Подарок учителям, Тургеневка, Превосходная Колесниковой. Исходным материалом служили экспланты, изолированные из верхушечных и боковых почек однолетних побегов в фазу выхода из состояния вынужденного покоя (февраль), фазу начала роста (апрель), фазу активного роста (июнь) и фазу затухания роста (сентябрь). Оптимальными сроками введения в культуру *in vitro* эксплантов сортов вишни, учитывая жизнеспособность и интенсивность их развития, являлись весенний (апрель) и летний периоды (июнь) при использовании эксплантов, изолированных из почек однолетних побегов в фазу начала роста (апрель) и в период активного роста (июнь). Влияние генотипа на жизнеспособность эксплантов вишни проявлялось по всем срокам введения в культуру. Наибольшей жизнеспособностью на начальном этапе микроразмножения среди исследуемых сортов вишни независимо от срока введения характеризовался сорт Мценская (92,5-100,0%).

Ключевые слова: вишня, *in vitro*, жизнеспособность, период введения, генотип.**EFFECTS OF THE SEASONAL FACTOR ON THE SURVIVAL RATE OF CHERRY EXPLANTS IN *IN VITRO* CULTURE**

Research article

Shakhov V.V.^{1,*}, Fedotova I.E.², Tashmatova L.V.³, Matsneva O.V.⁴, Khromova T.M.⁵^{1, 3, 4, 5} Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Oryol, Russia;² I.S. Turgenev Oryol State University, Oryol, Russia

* Corresponding author (mentosvad[at]vniispk.ru)

Abstract

When applying microclonal reproduction technology, a number of problems and difficulties are encountered at each stage, that ultimately affect its effectiveness. Among these problems is the choice of the most appropriate calendar date for introducing explants of cherry varieties into the culture *in vitro*. In this regard, the aim of our research was to identify the optimal timing of introduction of cherry explants into the culture *in vitro*. The experiment was conducted on the basis of the VNIISPК biotechnology laboratory, Orel, in 2019-2020. The objects of research were promising cherry varieties selected by VNIISPК: Orlitsa, Bystrinka, Businka, Livenskaia, Putinka, Mtsenskaia, Novella, Kapelka, Rovesnitsa, Podarok uchiteliam, Turgenevka, Prevoshodnaia Kolesnikovoi. The initial material was explants isolated from the apical and lateral buds of annual shoots in the phase of emerging from the state of forced repose (February), the phase of beginning growth (April), the phase of active growth (June) and the phase of growth decay (September). The optimal dates for introducing cherry explants into the culture *in vitro*, taking into account the viability and intensity of their development, were spring (April) and summer (June) when using explants isolated from the buds of annual shoots in the phase of the beginning of growth (April) and during the period of active growth (June). The effect of the genotype on the viability of cherry explants was shown for all periods of introduction to culture. The highest viability at the initial stage of micropropagation among the studied cherry varieties, regardless of the introduction period, was characterized by the Mtsenskaya variety (92.5-100.0%).

Keywords: cherry, *in vitro*, viability, period of introduction, genotype.**Введение**

В настоящее время актуальной проблемой является производство оздоровленных растений плодовых культур для закладки маточных насаждений. Метод клонального микроразмножения обеспечивает возможность быстрого тиражирования оздоровленных экземпляров. Технологии клонального микроразмножения семячковых и косточковых культур достаточно хорошо отработаны и постоянно совершенствуются [1, С. 29-38], [2, С. 13-16], [3, С. 63-67]. К настоящему времени уже разработан ряд технологий и приёмов, повышающих эффективность клонального микроразмножения генотипов вишни обыкновенной. При этом установлено, что эффективность отдельных технологий и приёмов клонального микроразмножения во многом зависит от генотипических особенностей культивируемого экспланта [5, С. 55-65], [6, С. 137-149], [8, С. 185-190]. В то же время при применении этой технологии размножения на каждом этапе сталкиваются с целым рядом проблем, которые в конечном итоге влияют на её эффективность [10, С. 9-14], [11, С. 224-232], [12, С. 15-22]. Среди таких проблем – выбор оптимального срока введения с учетом физиологического состояния экспланта [14, С. 406-408]. Среди учёных, занимающихся клональным микроразмножением вишни, нет однозначного мнения о том, какие сроки введения в культуру *in vitro* наиболее оптимальны, т.е. обеспечивают наиболее высокий процент стерильных жизнеспособных, хорошо развивающихся в

культуре растений. Так, согласно данным И.Ю. Ковальчук, И.А. Волгиной и А.Х. Насибулиной, наилучшей регенерационной способности эксплантов можно добиться при введении их в культуру на стадии наибольшей интенсивности роста (май–июнь) [9, С. 6-14]. По мнению, Л.В. Фроловой, наименьшей степени инфицирования эксплантов можно добиться в марте, а получить высокий процент жизнеспособных и активно развивающихся эксплантов и в январе–феврале, и в июне–августе [13, С. 10-20]. Согласно результатам исследований Е.Н. Джигадло и М.И. Джигадло, оптимальным сроком для введения в культуру *in vitro* эксплантов вишни является декабрь–февраль [4, С. 5-10], [14, С.406-410].

От срока изоляции эксплантов с исходных маточных растений в значительной степени зависит проявление регенерационной способности эксплантов. В связи с этим целью наших исследований являлось выявление оптимальных сроков введения в культуру *in vitro* эксплантов сортов вишни.

Методы и принципы исследования

Опыт проводился на базе лаборатории биотехнологии ВНИИСПК г. Орел в 2019-2020 годах.

Объектами исследования являлись перспективные сорта вишни селекции ВНИИСПК: Орлица, Быстринка, Бусинка, Ливенская, Путинка, Мценская, Новелла, Капелька, Ровесница, Подарок учителям, Тургеневка, Превосходная Колесниковой.

Исходным материалом для введения в культуру служили экспланты, изолированные из верхушечных и боковых почек однолетних побегов в фазу выхода из состояния вынужденного покоя (февраль), фазу начала роста (апрель), фазу активного роста (июнь) и фазу затухания роста (сентябрь).

В качестве основного стерилизующего агента применяли 0,1% раствор мертиолата. Стерилизацию проводили с применением магнитной мешалки ИС-6120 для равномерного вращения объектов.

На этапе введения в культуру *in vitro* использовали питательную среду Мурасиге–Скуга (MS) с концентрацией 6-БАП 0,5 мг/л, pH 6-6,5 [15, С. 38-42].

Учитывали жизнеспособность эксплантов через четыре недели субкультивирования. Лабораторные исследования проводили по общепринятым методикам [4, С.28-30], [7, С. 52-56], [12, С. 31-40].

Основные результаты

Проведенные исследования показали различное влияние на жизнеспособность эксплантов сроков введения в культуру *in vitro* и генотипа (сортных особенностей) (Таблица 1).

Таблица 1 – Жизнеспособность эксплантов сортов вишни на этапе введения в культуру *in vitro*, 2019-2020 гг.

Сорта	Жизнеспособность, %			
	Зимнее введение (февраль)	Весеннее введение (апрель)	Летнее введение (июнь)	Осеннее введение (сентябрь)
Орлица	90,3	100,0	95,0	85,7
Быстринка	100,0	92,5	100,0	81,8
Бусинка	89,7	95,0	95,0	85,7
Ливенская	86,2	95,0	92,5	97,0
Путинка	91,4	95,0	95,0	71,4
Мценская	100,0	100,0	92,5	100,0
Новелла	83,9	95,0	97,5	71,4
Капелька	100,0	97,5	92,5	82,9
Ровесница	87,2	100,0	97,5	88,6
Подарок учителям	95,4	97,5	100,0	85,7
Тургеневка	100,0	95,0	92,5	82,9
Превосходная Колесниковой	93,0	97,5	100,0	85,7
Среднее по периоду	93,1	96,7	95,8	84,9
НСР _{0,5} =4,51				

В результате исследований было установлено, что наибольшей жизнеспособностью отличались экспланты сортов вишни при их введении в весенний и летний периоды (96,7% и 95,8% соответственно). Высокую жизнеспособность культивируемых эксплантов отмечали и при введении в зимний период: в среднем она составила 93,1%. Низкая жизнеспособность культивируемых эксплантов была зафиксирована в осенний период, в среднем по сортам она составила 84,9%.

Влияние генотипа на жизнеспособность эксплантов вишни проявлялось по всем срокам введения в культуру. Высокую приживаемость показали сорта Быстринка, Мценская, Капелька, Тургеневка (100%) при выходе из состояния покоя (февраль); наиболее яркую зависимость между жизнеспособностью и генотипическими особенностями сортов наблюдали при введении в апреле (фаза начала роста); Орлица, Мценская, Ровесница (100%), а сорта Бусинка, Ливенская, Путинка, Новелла, Тургеневка по (95%). Быстринка, Подарок учителям (100%) – в фазу активного роста

(июнь); Мценская (100%) – в конце вегетации (сентябрь). Сорта Бусинка, Путинка, Быстринка показывают одинаковый процент жизнеспособности эксплантов.

Наиболее эффективно было проведено введение в культуру сорта вишни Мценская. Жизнеспособность эксплантов по вариантам опыта составила – 100% зимой, 100% весной, 92,5% летом и 100% осенью. Самую низкую приживаемость во все периоды введения показал сорт вишни Новелла – 83,9% зимой, 95% весной, 97,5% летом и 71,4% осенью.

Обсуждения

Замедленные темпы развития введенных эксплантов в данный период могут быть объяснены протеканием в этот период в естественных условиях стадий подготовки растений к глубокому покою. Показатели приживаемости в феврале показывают, что хоть растения и находятся в фазе глубокого покоя, но идет естественная подготовка к выходу из него, что и способствует лучшей приживаемости. В конце марта растения находятся в состоянии выхода из вынужденного покоя и перехода к фазе начала роста, что и позволяет растения в данный период лучше развиваться и приживаться на питательной среде. Летний период является фазой активного роста, так как в данную фазу активного роста клетки меристемы наиболее интенсивно делятся, что и способствует увеличению приживаемости введенных эксплантов на питательной среде.

Таким образом, определили, что жизнеспособность введенных эксплантов сортов вишни может определяться сроком введения в культуру, в то же время она зависит от генотипа данных сортов. В любой из исследуемых сроков введения в культуру *in vitro* сортов вишни можно добиться определенного числа жизнеспособных эксплантов.

Заключение

Эффективность технологии клонального микроразмножения сортов вишни на первом этапе культивирования во многом зависит от сроков введения эксплантов в культуру *in vitro*, что объясняется различным морфофизиологическим состоянием исходного растительного материала.

Оптимальными сроками введения в культуру *in vitro* эксплантов сортов вишни, учитывая жизнеспособность и интенсивность их развития, являлись весенний (апрель) и летний (июнь) периоды при использовании эксплантов, изолированных из почек однолетних побегов в фазу начала роста и в период активного роста.

Влияние генотипа на жизнеспособность эксплантов вишни проявлялось по всем срокам введения в культуру. Наибольшей жизнеспособностью на начальном этапе микроразмножения среди исследуемых сортов вишни независимо от срока введения характеризовался сорт Мценская (92,5-100,0%).

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Бутенко, Р. Г. Клеточные технологии в селекционном процессе / Р. Г. Бутенко // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственной биотехнологии: Мат. Всес. конф., Ленинград, 1986. –С. 29–38.
2. Бутенко Р.Г. Биология клеток высших растений и биотехнология на их основе / Р. Г. Бутенко. Учеб. пособие, –М.: ФБК–Пресс, 1999, –160 с.
3. Волкова Е. А. Теоретические аспекты микроразмножения вишни (*Cerasus* (Mill.)) / Е. А. Волкова // Вопросы науки и образования. 2019. –№4 (49). – С. 63–67.
4. Джигадло Е.Н. Методические рекомендации по использованию биотехнологических методов в работе с плодовыми, ягодными и декоративными культурами / под ред. Е.Н. Джигадло, Орел: ВНИИСПК, 2005. –49 с.
5. Вечернина Н.А. Методы биотехнологии в селекции, размножении и сохранении генофонда растений / Н.А. Вечернина. Барнаул: Изд-во Алт. гос. ун-та, 2004. – 205 с.
6. Катаева Н.В. Клональное размножение растений в культуре тканей / Н.В. Катаева, В.А. Аветисов // Культура клеток растений. М.1981. –С. 137–149.
7. Джигадло Е.Н. Размножении вишни методом верхушечных меристем / Е.Н. Джигадло, М.И. Джигадло // Улучшение сортимента, и прогрессивные приемы возделывания плодовых и ягодных культур. Тула: Приок. кн. изд-во, 1988. –С.52–56.
8. Кухарчик Н. В. Размножение плодовых и ягодных растений в культуре *in vitro* / Н. В. Кухарчик, М. С. Кастрицкая, С. Э Семенов и др / под общ. ред. Н. В. Кухарчик. Минск: Беларуская навука, 2016. – 208 с.
9. Ковальчук И.Ю. Использование клонального микроразмножения в селекции плодовых и ягодных культур. Ускоренное размножение посадочного материала плодово-ягодных культур с использованием биотехнологических методов / И.Ю. Ковальчук, И. А. Волгина, А. Х. Насибулина. Алма-Ата: Изд-во КАСХН. 1991. –С. 6–14.
10. Лутова Л.А. Биотехнология высших растений. / Л.А. Лутова.. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2003. –228 с.
11. Матушкина О.В. Новые технологии *in vitro* плодовых культур / О.В. Матушкина, И.Н. Пронина // Плодоводство и ягодоводство России. – М., 2008. – Т. XVIII. – С. 224-232.
12. Расторгуев, С. Л. Культура изолированных тканей и органов в селекции плодовых растений / С. Л. Расторгуев,– Мичуринск: изд-во МичГАУ, 2009. – 170с.
13. Фролова Л.В. Методические рекомендации по микроразмножению косточковых культур. Орёл: ГОУ ВПО «ОГУ», 2009. – 40с.
14. Хархардина Е.Л. Влияние состава питательной среды на развитие эксплантов отдаленных гибридных форм вишни на этапе введения в культуру *in vitro* / Е.Л. Хархардина, И.Э. Федотова, О.В. Острикова // Актуальные проблемы естественнонаучного образования, защиты окружающей среды и здоровья человека (Настоящее и будущее подготовки учащихся и студентов университетов области естественных наук). – Орел, 2016. – С. 406-410.
15. Шахов В.В. Сравнительный анализ стерилизаторов на основе периодизации их использования / Шахов В.В. и др. // Вестник КрасГАУ. 2019. –№12 (153). – С. 38-42

Список литературы на английском языке / References in English

1. Butenko, R. G. Kletochnye tekhnologii v selekcionnom processe [Cellular technologies in the selection process] / R. G. Butenko // Sostoyanie i perspektivy razvitiya sel'skokhozyajstvennoj biotekhnologii [State and prospects for the development of agricultural biotechnology]: Mat. Vses. konf. Leningrad, 1986. –P. 29–38. [in Russian]
2. Butenko R.G. Biologiya kletok vysshikh rastenij i biotekhnologiya na ikh osnove [Biology of higher plant cells and biotechnology based on them]. / R. G. Butenko Uchebnoe posobie, M.: FBK–Press, 1999, –160 p. [in Russian]
3. Volkova E. A. Teoreticheskie aspekty mikrorazmnozheniya vishni (Cerasus (Mill.)) [Theoretical aspects of cherry microdivision (Cerasus (Mill.))] / E. A. Volkova // Voprosy nauki i obrazovaniia [Issues of science and education]. 2019. –№4 (49). –P. 63–67. [in Russian]
4. Dzhigadlo E.N. Metodicheskie rekomendatsii po ispol'zovaniyu biotekhnologicheskikh metodov v rabote s plodovymi, yagodnymi i dekorativnymi kul'turami [Methodological recommendations on the use of biotechnological methods in working with fruit, berry and ornamental crops] / ed. by E.N. Dzhigadlo, Orel: VNIISPK, 2005. –49 p. [in Russian]
5. Vechernina N.A. Metody biotekhnologii v selekcii, razmnozhenii i sokhranении genofonda rastenij [Methods of biotechnology in the selection, reproduction and preservation of the plant gene pool] / N.A. Vechernina. Barnaul: Publ house Alt. gos. UN–ta, 2004.– 205 p. [in Russian]
6. Kataeva N.V. Klonal'noe razmnozhenie rastenij v kul'ture tkanej [Clonal reproduction of plants in tissue culture] / Kataeva N.V., Avetisov V.A. // Kul'tura kletok rastenij. [Culture of plant cells.] M.1981. –P. 137-149. [in Russian]
7. Dzhigadlo E.N. Razmnozhenii vishni metodom verkhushcheykh meristem [Reproduction of cherries by the method of top meristems] / E.N. Dzhigadlo, M.I. Dzhigadlo // Uluchshenie sortimenta, i progressivnye priemy vozdel'yvaniya plodovykh i yagodnykh kul'tur. [Improvement of sortiment, and progressive techniques for cultivating fruit and berry crops.] Tula: Priok. Kn. Publ house, 1988. –P.52–56. [in Russian]
8. Kukharchik N. V. Razmnozhenie plodovykh i yagodnykh rastenij v kul'ture *in vitro* [Reproduction of fruit and berry plants in culture in vitro] // N. V. Kukharchik, M. S. Kastritskaya, S. E. Semenas et al // ed.by N. V. Kukharchik. Minsk: Belaruskaya navuka, 2016. –208 p.
9. Kovalchuk I.Iu. Ispol'zovanie klonalnogo mikrorazmnozheniya v selekcii plodovykh i yagodnykh kultur. Uskorennoe razmnozhenie posadochnogo materiala plodovo–yagodnykh kultur s ispol'zovaniem biotekhnologicheskikh metodov. [The use of clonal micropropagation in the selection of fruit and berry crops. Accelerated propagation of planting material of fruit and berry crops using biotechnological methods.] / I.Iu. Kovalchuk, I. A. Volgina, A. Kh Nasibulina. Alma–Ata: KASKhN publ house. – P. 6–14. [in Russian]
10. Lutova L.A. Biotekhnologiya vysshikh rastenij. [Biotechnology of higher plants.] / L.A. Lutova uchebnik. SPb.: Publ house of St.-Peterb. UN, 2003. –228 p. [in Russian]
11. Matushkina O.V. Novye tekhnologii *in vitro* plodovykh kul'tur [New technologies in vitro of fruit crops] / O.V. Matushkina, I.N. Pronina // Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii. [Fruit growing and berry growing of Russia] – M., 2008. – Vol. XVIII. – P. 224-232. [in Russian]
12. Rastorguev, S. L. Kul'tura izolirovannykh tkanej i organov v selekcii plodovykh rastenij [Culture of isolated tissues and organs in the selection of fruit plants] / S. L. Rastorguev,– Michurinsk : MichGAU publ house, 2009. – 170 p. [in Russian]
13. Frolova L.V. Metodicheskie rekomendatsii po mikroklonalnomu razmnozheniiu kostochkovykh kultur. [Methodological recommendations for microclonal propagation of stone cultures.] / L.V. Frolova Orel: GOU VPO «OGU», 2009. –40 p. [in Russian]
14. Harhardina E.L. Vliyanie sostava pitatel'noj sredy na razvitie eksplantov ot dalennykh gibridnykh form vishni na etape vvedeniya v kul'turu *in vitro* [The influence of nutrient composition on the development of explants of remote hybrid forms of cherries at the stage of introduction into culture in vitro] / Harhardina E.L., Fedotova I.E., Ostrikova O.V. // Aktual'nye problemy estestvennonauchnogo obrazovaniya, zashchity okruzhayushchej sredy i zdorov'ya cheloveka (Nastoyashchee i budushchee podgotovki uchashchihsya i studentov universitetov oblasti estestvennykh nauk). [Current problems of natural science education, environmental protection and human health (Present and future training of students and students of universities in the field of natural sciences).] – Orel, 2016. – P. 406-410. [in Russian]
15. Shakhov V.V. Sravnitel'nyy analiz sterilizatorov na osnove periodizatsii ih ispol'zovaniya [Comparative analysis of sterilizers based on the periodization of their use] / V.V. Shakhov et al // Vestnik KrasGAU. 2019. –№12 (153). – P. 38-42 [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.101.11.028>

СТРОЕНИЕ ЛИСТА «УСАТЫХ» СОРТОВ ГОРОХА

Научная статья

Бугрей И.В.*

ORCID: 0000-0003-0583-0911,

Донской государственный аграрный университет, Персиановский, Россия

* Корреспондирующий автор (inna-bugrej[at]rambler.ru)

Аннотация

Согласно исследованиям, черешок листа «усатого» гороха по анатомическому строению практически не отличается от черешка листочкового и содержит ткани, присущие стеблю: эпидермис, механическую и проводящую ткани. Усики имеют такие же ткани, как и черешок, хлоропласты, но практически не имеют внутренней полости. Исследованиями установлено, что во все периоды вегетации преимущество в формировании площади прилистников имел горох с усатым типом листа. Площадь листьев одного растения гороха сорта Сармат в фазе 3-4 листьев составила 31,3 см²; 6-8 листьев – 140,3; бутонизации – 304,2; в период цветения-плодообразование – 513,2 см², гороха сорта Аксайский усатый 5 – 28,5; 126,8; 275,2 и 476,1 см² соответственно.

Ключевые слова: прилистники, усы, колленхима, склеренхима, флоэма, ксилема, площадь прилистников и листьев.

THE STRUCTURE OF PEA LEAVES OF THE LEAFLESS VARIETY

Research article

Bugrei I.V.*

ORCID: 0000-0003-0583-0911,

Don State Agrarian University, Persianovsky, Russia

* Corresponding author (inna-bugrej[at]rambler.ru)

Abstract

According to various studies, the leaf petiole of the leafless pea is almost identical to the conventional pea's petiole in anatomical structure and contains tissues inherent in the stem: the epidermis, strengthening and conductive tissues. The antennae have the same tissues as the petiole, chloroplasts, but have virtually no internal cavity. The study demonstrates that in all periods of vegetation, peas of the leafless type have an advantage in forming the area of stipules. The leaf area of one single pea plant of the Sarmat variety in the 3-4 leaf phase is 31.3 cm²; 6-8 leaves – 140.3; budding-304.2; during flowering – fruiting-513.2 cm²; peas of the "Aksaysky usaty 5" variety — 28.5; 126.8; 275.2 and 476.1 cm², respectively.

Keywords: stipules, whiskers, collenchyma, sclerenchyma, phloem, xylem, area of stipules and leaves.

Введение

Начиная с 80-х годов, селекционерами созданы высокоурожайные сорта гороха с «усатой» формой листа (Норд, Спрут, Аксайский усатый 5), урожайность которых в регионах их районирования не уступала листочковым [7, С. 4], заметно увеличилась их фотосинтетическая активность. Но листовая поверхность гороха с «усатым» типом листа по сравнению с листочковым в той или иной мере уменьшена, что сопряжено с изменением нагрузки на ассимиляционный аппарат для обеспечения ростовых процессов и формирования биологической и хозяйственной продуктивности [1, С. 57], [8, С. 11].

В то же время А.В. Амелин [4, С. 54], обобщая результаты собственных исследований и данные зарубежных авторов, отмечал, что усики растений гороха по активности и эффективности первичных реакций фотосинтеза, а также фиксации CO₂ имеют существенные преимущества перед листочковыми.

В частности, видоизмененные листья способствуют лучшему проникновению световых лучей к пониженным частям растений, уменьшая количество пожелтевших и отмерших листьев, что увеличивает продолжительность их фотосинтетической деятельности [2, С. 68]. Меньшая поверхность листьев повышает фотохимическую активность хлоропластов в других органах растений. В фазе образования бобов фотоактивность стебля, черешков и створок бобов гороха с «усатой» формой листа выше на 38-52% активности аналогичных органов обычных генотипов.

Лист растения является совершенной оптической системой, и в результате длительной эволюции его морфофизиологические параметры приспособлены для максимального поглощения солнечной энергии в видимой части спектра. В последние годы получили широкое распространение афилльные геноформы гороха, полученные с помощью мутационной селекции [7, С. 308], [8, С. 15], [13, С. 124]. Лист таких растений представлен прилистниками и сильно развитыми усиками, благодаря чему безлисточковые формы сравнительно устойчивы к полеганию. Этим и определяется интерес к ним ученых и практиков.

«Усатые» формы листа имеют менее совершенную структуру организации усиков как целой фотосинтетической системы растений. В усиках по сравнению с листочками и прилистниками низкое содержание хлорофилла. Кроме того, в них быстро падает фотохимическая активность. Преимущество усиков перед другими органами в фотохимической активности проявляется главным образом в период вегетативного роста и нивелируется при переходе растений к наливу зерна [6, С. 9].

Вместе с тем недостаточно изученной считается анатомия и физиология подобных форм, изменения в анатомическом строении усика: сохраняет ли он анатомическое строение листа или строение стебля?

Методика исследований

Многолетние исследования были проведены на сортах гороха с листочковым – Сармат и видоизмененным «усатым» типом листа - Аксайский усатый 5. Анатомическое строение уса было изучено с помощью микроскопа [5, С. 67]. Площадь прилистников по методике А.А. Ничипоровича [6]. Площади уса промеряли штангенциркулем и определяли диаметр черешка, каждой разветвленной жилки и каждого усика, линейкой измеряли их длину. Площадь отдельной части уса рассчитывали по формуле: $2\pi RL$, где: R – радиус, L – длина.

Основные результаты

По утверждению Р.Х. Макашевой [7, С. 312] безлисточковый или усатый лист гороха состоит из черешка, переходящего в многократно разветвленную главную жилку, и заканчивается усиками. Листочков на нем нет, но сохраняются прилистники (рис. 1).

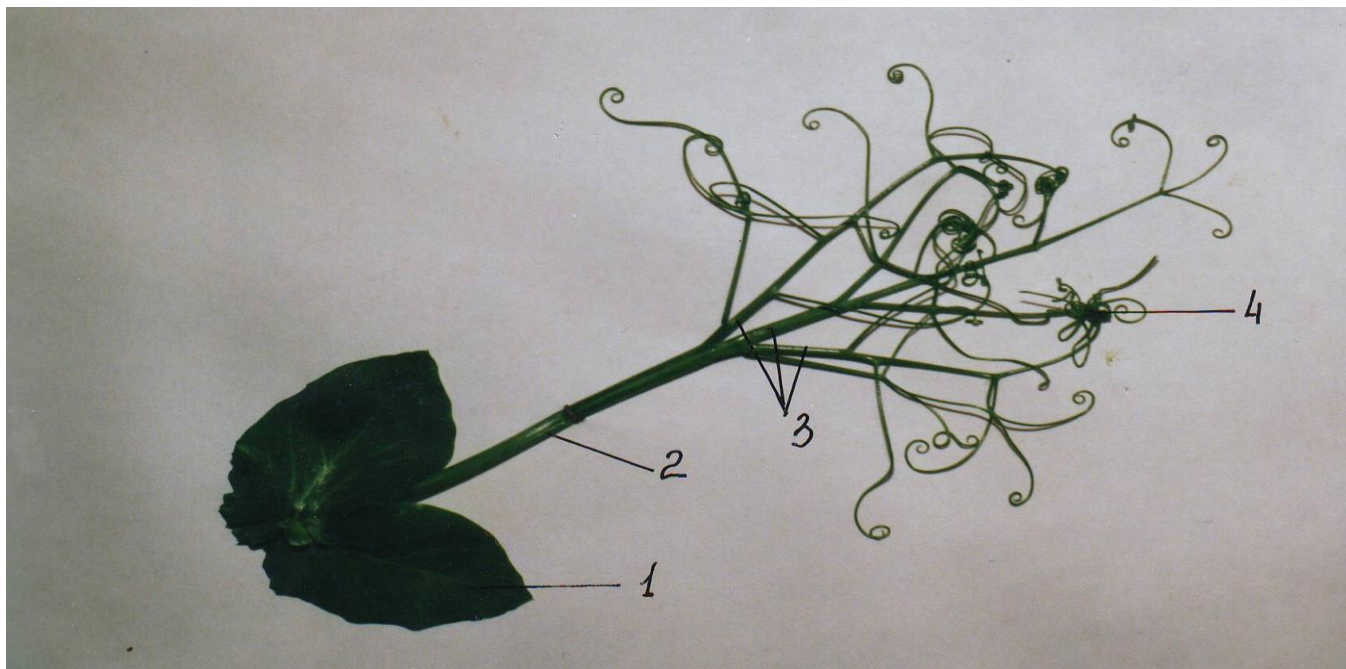


Рис. 1 – Лист усатого типа гороха: 1. прилистники, 2. черешок., 3. разветвленная жилка, 4. усики

Причем прилистники гороха с «усатым» типом листа значительно крупнее, чем листочкового.

Исследованиями установлено, что во все периоды вегетации преимущество в формировании площади прилистников имел горох с усатым типом листа. В среднем за годы исследований в фазе 6-8 листьев площадь прилистников афильного сорта гороха Аксайский усатый 5 составила 87,8 см², в фазу бутонизации – 179,2 см², в период плодообразование – 282,0 см². Площадь прилистников листочкового сорта Сармат в эти же фазы определения составила: 72,6; 161,3 и 270,4 см² соответственно (табл.1).

Наибольшими настическими движениями обладают именно усики. Черешок листа двудольных растений, в т.ч. и гороха с листочковым типом листа, содержит те же ткани, что и стебель, и они расположены так же, как и в стебле. Эндодерма имеет небольшое число устьиц, а основная ткань содержит хлоропласты. В качестве опорной ткани встречаются колленхима или склеренхима.

Согласно нашим исследованиям, черешок листа «усатого» гороха по анатомическому строению практически не отличается от черешка листочкового и содержит ткани, присущие стеблю (рис. 2). Усики имеют такие же ткани, как и черешок, хлоропласты, но практически не имеют внутренней полости.

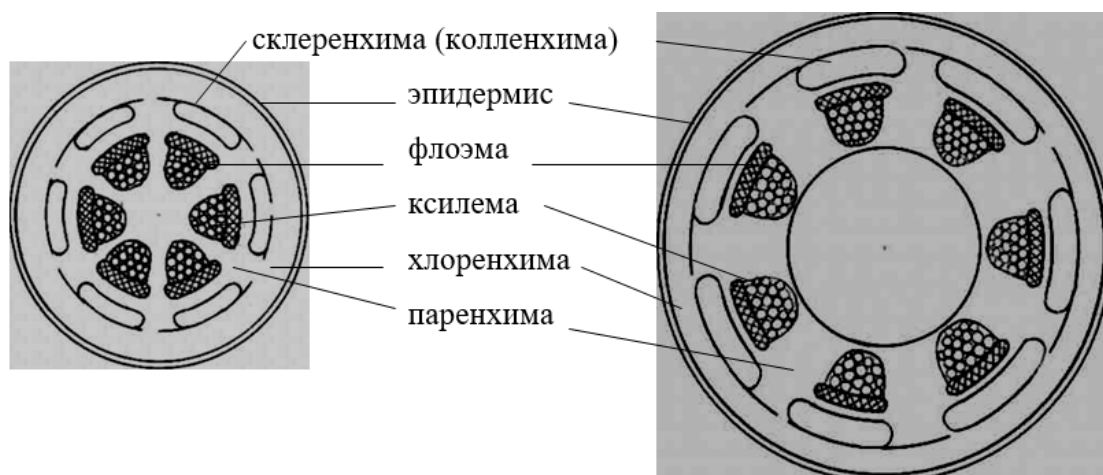


Рис. 2 – Анатомическое строение усика (слева) и черешка (справа) гороха с усатым типом листа

Наличие хлоропластов убеждает, что вся часть листа, представленная усиками, афилльных геноформ гороха принимает непосредственное участие в фотосинтезе, но долевую часть в этом процессе можно определить, только зная ее площадь ассимиляции.

Согласно нашим исследованиям, в формировании ассимиляционной поверхности сортов гороха с видоизмененными листьями большую роль играют и усы (табл. 1).

Таблица 1 – Формирование площади листьев одного растения гороха, см²

Часть листа	Фаза вегетации гороха				Состояние зерна	
	3-4 листа	6-8 листьев	бутонизация	цветение- образование плодов	углеводное	белковое
Сармат						
Облиственная	30,3	131,2	288,0	479,1	482,5	230,3
Усы	1,0	9,1	16,2	34,1	34,3	17,1
Весь лист	31,3	140,3	304,2	513,2	516,8	247,4
Аксацкий усатый 5						
Прилистники	22,5	87,8	179,2	282,0	32,4	188,0
Усы	6,0	39,0	96,0	194,1	251,0	111,2
Лист	28,5	126,8	275,2	476,1	575,4	299,2

Использование площади усов как составной части площади целого листа несколько изменило представление о фотосинтетической поверхности листьев афилльного сорта гороха. В первые периоды развития растений, примерно до фазы плодобразования, некоторое преимущество в формировании площади листовой поверхности растения имел листочковый горох, в период формирования генеративных органов – горох с усатым типом листа.

Площадь листьев одного растения гороха сорта Сармат в фазе 3-4 листьев составила 31,3 см²; 6-8 листьев – 140,3; бутонизации – 304,2; в период цветения-плодобразования – 513,2 см², гороха сорта Аксацкий усатый 5 – 28,5; 126, 8; 275,2 и 476,1 см² соответственно.

В среднем за годы исследований доля усов и облиственной части в общей площади листьев между изучаемыми сортами гороха в течение вегетации существенно изменялась. Усики листочкового гороха сорта Сармат в фазе 3-4 листьев занимали от общей площади листьев 3,2 %, в период цветения-образования бобов – 6,6, белковую спелость зерна – 6,9 %; гороха сорта Аксацкий усатый 5 – 21,1 %; 40,8; 37,2 % соответственно. В период вегетации, когда интенсивно накапливаются органические вещества, усы в общей площади листочковой части афилльных сортов гороха занимали более 40 %, в то время как сорта Сармат – всего 6,6 %. Следовательно, усам сорта гороха с видоизмененными листьями принадлежит значительная роль в формировании ассимиляционной поверхности.

При определении площади усов представляет определенную значимость долевое участие в ней черешка, разветвленной жилки и усиков. Известно, что эти части имеют разную степень движения при соприкосновении с поддерживающими предметами, в т.ч. с растениями гороха, обвивают их. По нашим наблюдениям, закручиваются только усики и изменяют фотосинтетическую поверхность, по крайней мере, на 50%. В то же время они формируют наибольшую площадь (табл. 2).

Таблица 2 – Долевое участие черешка, разветвленной жилки и усиков от общей площади уса растений гороха, %

Часть уса	Доля частей уса от общей площади				Среднее за вегетацию	Отклонение от среднего, %
	3-4 листа	6-8 листьев	цветение- образование бобов	белковая спелость		
Черешок	33,6	29,1	30,3	28,3	30,3	+3,3 -2,0
Разветвленная жилка	8,0	7,4	7,1	7,5	7,5	+0,5 -0,4
Усики	58,4	63,5	62,6	64,2	62,2	+2,0 -3,8

Соотношение частей уса в формировании его площади гороха сорта Аксацкий усатый 5 довольно стабильно. В среднем за период вегетации черешок формирует 30 %, разветвленная жилка – 5-8 %, усики – 62 % площади уса.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Амелин А.В. Листовая поверхность растений и её значение в селекции высокоурожайных сортов гороха. /А.В. Амелин, А.П. Лаханов, А.И. Зеленев. // С.-х. биология.-1994. - № 1. - С. 57.
2. Амелин А.В. Влияние полегания на физиологическое состояние и продуктивность растений гороха. /А.В. Амелин //Научные основы создания моделей агроэкологических сортов и зональных технологий возделывания зернобобовых и крупяных культур для различных регионов России.- Орел: ВНИИЗБК, 1997. – С. 68.

3. Амелин А.В. Фотосинтетические свойства растений в аспекте селекции гороха с усатой формой листа. /А.В. Амелин //Доклады РАСХН.- 1997. - № 5. - С. 9.
4. Амелин А.В. Физиологические аспекты создания высокопродуктивных сортов гороха усатого типа /А.В. Амелин //Вестн. РАСХН. – 1998. - № 1. - С. 54.
5. Бугрей И.В. Физиологическая и хозяйственная оценка зерновых сортов гороха с листочковым и видоизмененным (усатым) типами листа : дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.09 : защищена 19.12.03: утв. 05.03.04/ Бугрей Инна Валерьевна. – ГНУ ДЗНИИСХ., 2003.–184 с.
6. Коф Э.М. Изучение пигментного фонда геноформ гороха, контрастных по морфотипу листа. /Э.М. Коф, И.А. Виноградова. // Тр. III. Международного симп. «Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования». - Т.1. - М: Пушино, 1999. - С. 308.
7. Макашева Р.Х. Горох. / Р.Х. Макашева - Л.: Колос, 1973. - С. 312.
8. Макашева Р.Х. Генетика гороха. /Р.Х. Макашева //Генетика культурных растений. - Л.: Агропромиздат, 1990. - С.15.
9. Ничипорович А.А. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах (методы и задачи учета в связи с формированием урожая) /А.А. Ничипорович. М.: АН СССР, 1961.- 135 с.
10. Новикова Н.Е. Особенности биомассы и семенной продуктивности у сортов гороха с усатым типом листа. /Н.Е. Новикова, А.П. Лаханов. //Докл. РАСХН. - 1997. - №5. - С.11.
11. Новикова Н.Е. О влиянии редуцированных листьев на продуктивность растений у гороха. / Н.Е. Новикова //Селекция и семеноводство. - 2000. - № 2. - С. 4.
12. Сидорова К.К. Генетика мутантов. /К.К. Сидорова Новосибирск: Наука, -1981. – С. 48.
13. Соловьева В.К. Новые сорта гороха. / В.К. Соловьева //Агробиология. - 1958. - № 5. - С. 124.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Amelin A.V. Listovaia poverkhnost' rastenii i ee znachenie v seleksii vysokourozhainykh sortov gorokha [Leaf Surface of Plants and Its Significance in the Selection of High-Yielding Pea Varieties] /A.V. Amelin, A. P. Lahanova, A. I. Zelenov. // S.–kh. biologii [Agricultural Biology]-1994. - no. 1. - p. 57 [in Russian]
2. Amelin A.V. Vliianie poleganiia na fiziologicheskoe sostoianie i produktivnost' rastenii gorokha [Influence of Lodging on the Physiological State and Productivity of Pea Plants] / A. V. Amelin // Nauchnye osnovy sozdaniia modelei agroekotipov sortov i zonal'nykh tekhnologii vozdel'vaniia zernobobovykh i krupianykh kul'tur dlia razlichnykh regionov Rossii [Scientific Bases of Creation of Models of Agroecotype Varieties and Zonal Technologies of Cultivation of Leguminous and Cereal Crops for Different Regions of Russia].- Oryol: VNIIZBK, 1997. - p. 68 [in Russian]
3. Amelin A.V. Fotosinteticheskie svoistva rastenii v aspekte seleksii gorokha s usatoi formoi lista [Photosynthetic Properties of Plants in the Aspect of Selection of Peas With a Mustachioed Leaf Shape] / A.V. Amelin // Doklady RASKhN [Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences]. - 1997. - no. 5. - p. 9 [in Russian]
4. Amelin A.V. Fiziologicheskie aspekty sozdaniia vysokoproduktivnykh sortov gorokha usatogo tipa [Physiological Aspects of Creating Highly Productive Varieties of Mustachioed Peas] /A.V. Amelin // Doklady RASKhN [Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences] [in Russian] - 1998. - No. 1. - p. 54 [in Russian]
5. Bugrei I. V. Fiziologicheskaia i khoziaistvennaia otsenka zernovykh sortov gorokha s listochkovym i vidoizmenennym (usatym) tipami lista [Physiological and Economic Assessment of Grain Varieties of Peas With Leafy and Modified (Leafless) Leaf Types] Candidate's thesis: 06.01.09: defended 19.12.03: approved 05.03.04 / Bugrey Inna Valeryevna. - GNU DZNIISKH., 2003. -184 p. [in Russian]
6. Kof E. M. Izuchenie pigmentnogo fonda genoform gorokha, kontrastnykh po morfotipu lista [Study of the Pigment Fund of Pea Genoforms Contrasting by Leaf Morphotype] /E. M. KOF, I. A. Vinogradov // Tr. III. Mezhdunarodnogo simp. «Novye i netraditsionnye rasteniia i perspektivy ikh ispol'zovaniia». [Proceedings of the Third International Symposium "New and Non-Traditional Plants and Prospects for Their Use". - Vol. 1. - M: Pushchino], 1999. - p. 308 [in Russian]
7. Makasheva R. Kh. Gorokh [Peas] / R. X Makasheva - L.: Kolos, 1973. - p. 312 [in Russian]
8. Makasheva R. Kh. Genetika gorokha [Genetics of Peas] / R. H. Makasheva // Genetika kul'turnykh rastenii [Genetics of Cultivated Plants] - L.: Agropromizdat, 1990. - p. 15 [in Russian]
9. Nichiporovich A. A. Fotosinteticheskaia deiatel'nost' rastenii v posevakh (metody i zadachi ucheta v sviazi s formirovaniem urozhayev) [Photosynthetic Activity of Plants in Crops (Methods and Problems of Record-Keeping in Connection With the Formation of Crops)] /A. A. Nichiporovich. Moscow: AN USSR, 1961. - 135 p. [in Russian]
10. Novikova N. E. Osobennosti biomassy i semennoi produktivnosti u sortov gorokha s usatym tipom lista [Features of Biomass and Seed Productivity in Pea Varieties With a Mustachioed Leaf Type] / Novikova, A. P. Lahanov. // Doklady RASKhN [Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences] - 1997. - No. 5. - p. 11 [in Russian]
11. Novikova N. E. O vliianii redutsirovannykh list'ev na produktivnost' rastenii u gorokha [On the Effect of Reduced Leaves on Plant Productivity in Peas] / N. E. Novikova // Seleksiia i semenovodstvo [Selection and Seed Production] - 2000. - no. 2. - p. 4 [in Russian]
12. Sidorova, K. K. Genetika mutantov [Genetics of Mutants] /K. K. Sidorova, Novosibirsk: Nauka, -1981. - p. 48. [in Russian]
13. Solovyova V. K. Novye sorta gorokha [New Varieties of Peas] / V. K. Solovyova //Agrobiologija [Agricultural biology]. - 1958. - No. 5. - p. 124 [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.101.11.029>

СЕЗОННАЯ И ВОЗРАСТНАЯ ДИНАМИКИ УНЦИНАРИОЗА СОБАК

Научная статья

Нижельская Е.И.*

Донской государственный аграрный университет, Персиановский, Россия

* Корреспондирующий автор (neiv62[at]mail.ru)

Аннотация

Гельминтозы домашних плотоядных животных в настоящее время являются одной из наиболее изучаемых и проблемных задач ветеринарии, да и медицины, так как многие гельминты, паразитирующие у домашних плотоядных, являются возбудителями болезней человека и сельскохозяйственных продуктивных животных. [5], [6], [9]. В России среди гельминтозов собак в различных сельских и городских инфраструктурах доминируют токсокароз, дипилидиоз, токскардиоз и унцинариоз, которые представляют серьезную опасность не только для специфического хозяина, но и для человека [3], [2], [4]. При анализе имеющихся литературных источников выяснилось, что работ по изучению гельминтов и гельминтозов у плотоядных в Ростовской области практически нет. В связи с этим мы решили изучить гельминтофауну, а также возрастную и сезонную динамику унцинариоза у беспризорных собак, поступающих в центр регулирования безнадзорных животных г. Ростова-на-Дону.

Ключевые слова: Гельминтозы, собаки, унцинариоз, фекасы, сезонная динамика, возрастная динамика, гельминтофауна.

SEASONAL AND AGE DYNAMICS OF CANINE UNCINARIASIS

Research article

Nizhelskaya E.I.*

Don State University of Agriculture, Persianovsky, Russia

* Corresponding author (neiv62[at]mail.ru)

Abstract

Helminthiasis of domestic carnivores is currently one of the most studied and problematic issues in both veterinary medicine and medicine at large, as many helminths that parasitize domestic carnivores are pathogens of human diseases and agricultural productive animals. [5], [6], [9]. In Russia, toxocarosis, dipylidiasis, toxascaris, and uncinariasis are dominant among canine helminthiasis in various rural and urban infrastructures. They pose a serious danger not only to a specific host but also to humans [3], [2], [4]. The analyzed literary sources show that there are virtually no studies of helminths and helminthiasis in carnivores in the Rostov region. In this regard, the decision was made to study the helminth fauna as well as the age and seasonal dynamics of uncinariasis in stray dogs entering the animal control facility in Rostov-on-Don.

Keywords: Helminths, dogs, uncinariasis, feces, seasonal dynamics, age dynamics, helminth fauna.

Унцинариоз — это нематодозное заболевание собак и многих других видов плотоядных животных, вызываемое круглыми гельминтами из семейства *Ancylostomatidae*, вида *Uncinaria stenocephala*, локализующихся в тонком отделе кишечника. Этот гельминтоз регистрируется практически повсеместно и относится к одному из наиболее часто встречающихся гельминтозов у плотоядных животных [7], [8], [10].

Известно, что изучение видового состава гельминтов у собак и кошек, распространения гельминтозов, экстенсивности и интенсивности инвазии, а также возрастной и сезонной динамики необходимо в познании эпизоотологии гельминтозов домашних плотоядных животных и эпидемиологии инвазионных болезней в каждой климатогеографической зоне. Это является основой в разработке мер профилактики и терапии опасных зоонозов [1], [2]. Поэтому, изучение санитарно-эпидемиологической и эпизоотологической ситуации по основным гельминтозам домашних плотоядных и, в частности, по унцинариозу собак, является актуальной проблемой для ветеринарии.

Работа выполнялась в течение 2019 года в МКУ «ЦБЖ» (Центр регулирования безнадзорных животных) г. Ростова-на-Дону и на кафедре паразитологии, ветеринарно-санитарной экспертизы и эпизоотологии факультета ветеринарной медицины ФГБОУ ВО Донского ГАУ. Для изучения гельминтофауны собак полному гельминтологическому вскрытию по К.И. Скрябину было подвергнуто 28 погибших собак МКУ ЦБЖ разных пород и возрастов.

Для установления видового состава гельминтов проводили полные паразитологические вскрытия органов и тканей по К.И. Скрябину 28 собак центра. Кроме того, систематическому исследованию подвергли фекасы 966 собак различных пород.

Для обнаружения яиц возбудителей трематодозов, нематодозов, цестодозов фекалии собак исследовали методом последовательных промываний и методами Фюллеборна и Котельникова-Хренова. В качестве флотационной жидкости использовали растворы аммиачной селитры и поваренной соли. Для исследования брали пробы фекалий массой 5 г. Количество обнаруженных яиц пересчитывали на 1 г фекалий.

Видовую принадлежность гельминтов определяли с использованием атласа «Дифференциальная диагностика гельминтозов по морфологической структуре яиц и личинок возбудителей» А.А. Черепанова, 2001.

Изучение сезонной и возрастной динамики унцинариоза проводили путём исследования фекалий методами Фюллеборна, Котельникова-Хренова и культивирования личинок гельминтов. Для чего в различные сезоны года исследовали 2697 проб фекалий собак. Для определения интенсивности инвазии (ИИ) полному гельминтологическому вскрытию подвергли 28 собак различных возрастных групп.

Данные выявленной гельминтофауны свидетельствовали о том, что у исследуемых собак МКУ «ЦБЖ» (Центр регулирования безнадзорных животных) г. Ростова-на-Дону паразитируют 7 видов гельминтов: 5 видов гельминтов класса Nematoda, по 1 виду класса Cestoda и Trematoda. Нами были выявлены: *Alaria alata* (ЭИ=7,14%, ИИ=8 экз.), *Dipylidium caninum* (ЭИ=64,28, ИИ=12-16 экз.), *Toxocara canis* (ЭИ=46,42%, ИИ=6-12 экз.), *Ancylostoma caninum* (ЭИ=60,7%, ИИ=9-19 экз.), *Uncinaria stenocephala* (ЭИ=75%, ИИ=18-21 экз.), *Dirophilaria immitis* (ЭИ= 14,28%, ИИ=1-4 экз.), *Toxascaris leonina* (ЭИ=53,57%, ИИ=14-19 экз.).

Полученные результаты исследований сезонной динамики унцинариоза показали, что зараженность животных половозрелыми особями унцинарий в разные времена года значительно отличается. Сезонная динамика зараженности собак *Uncinaria stenocephala* имеет закономерный характер и представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Сезонная динамика унцинариоза собак в МКУ «ЦБЖ» г. Ростова-на-Дону (по данным исследования фекал)

Месяцы	Исследовано собак	Инвазировано собак	Найдено яиц унцинарий в 1 г фекал	ЭИ, %
Январь	70	14	1,8	20,00
Февраль	82	15	1,8	18,29
Март	84	13	1,4	15,47
Апрель	110	21	1,4	19,09
Май	70	12	1,6	17,14
Июнь	90	19	2,2	21,11
Июль	75	33	6,8	44,00
Август	78	52	6,6	66,66
Сентябрь	100	89	7,0	89,00
Октябрь	70	44	7,0	62,86
Ноябрь	67	33	6,4	49,25
Декабрь	70	24	4,0	34,29
Всего за 2019 год	966	369	2,8	38,20

Из таблицы 2 мы видим, что у исследуемых собак, в 2019 году инвазированность унцинариями составляла в январе - 20%, в феврале - 18,29%, марте - 15,47%, апреле - 19,09%, мае - 17,14%, июне - 21,11%, июле - 44%, августе - 66,66%, сентябре - 89,00%, октябре - 62,86%, ноябре - 49,25, декабре - 34,29%, а в среднем за 2019 год - 38,20%. Пик зараженности унцинариями отмечался в летне-осенний период.

Анализируя результаты гельминтокопрологических исследований плотоядных, нами была отмечена зависимость инвазирования собак унцинариями и от возраста, представленная в таблице 2.

Таблица 2 – Возрастная динамика унцинариоза собак МКУ «ЦБЖ» г. Ростова-на-Дону

Месяцы	Исследовано собак	Инвазировано собак	Найдено яиц унцинарий в 1 г фекал	ЭИ, %
1 месяц	80	-	-	-
2 месяца	100	-	-	-
3 месяца	120	11	1,4	9,16
4 месяца	136	27	1,8	19,85
5 месяцев	120	44	2,6	36,67
6 месяцев	120	54	3,2	45,00
7 месяцев	150	65	3,8	43,33
8 месяцев	160	74	4,8	46,25
9 месяцев	90	69	5,2	76,66
10 месяцев	90	56	5,0	62,22
11 месяцев	107	68	4,6	63,55
12 месяцев	110	67	4,4	60,90
1,5 года	108	57	4,2	52,78
2 года	114	42	2,6	36,84
2,5 года и старше	126	37	1,6	29,37

Полученные данные свидетельствуют, что в желудочно-кишечном тракте собак 2-месячного возраста, паразитируют только неполовозрелые унцинарии (ЭИ=8,6%, средняя ИИ = 5,8 экз.). Начиная с 3-месячного возраста собаки начинают выделение яиц унцинарий с фекалиями. Так, по нашим данным исследования фекал, молодняк 3-месячного возраста инвазирован унцинариями на 9,16%, 4-5-месячного возраста - на 19,85-36,67%, 6-8-месячного

возраста - на 45 - 46,25%, 9- месячного возраста - на 76,66%, 10-12-месячного возраста - на 62,22 - 60,90%, 1,5-годовалого возраста - на 52,78%, 2-летнего - на 36,84%, старше 2-летнего возраста - на 29,37%.

Анализируя полученные данные, мы приходим к заключению, что на территории МКУ «ЦБЖ» г. Ростова-на-Дону в организме находящихся там собак паразитируют практически представители всех классов гельминтов, но нематодозная инвазия является доминирующей. Наибольшая зараженность собак отмечалась унцинариями, анкилостомами и дипилидиями. По интенсивности инвазии на первом месте находились представители класса *Nematoda Uncinaria stenocephala* (18-21 экземпляр на собаку, что в среднем составляет 19,13 экз).

Собственные гельминтологические вскрытия 28 собак и систематические капрологические исследования свидетельствовали о широком распространении унцинариоза среди собак в МКУ «ЦБЖ» г. Ростова-на-Дону. Таким образом, унцинариоз у собак в г. Ростове-на-Дону встречается в течение всего года при пике инвазии в августе- октябре и наиболее интенсивном заражении молодняка с 9-12-месячного возраста.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Горохов В.В. Забытые паразитозы / В.В. Горохов // Медицинская паразитология. - 2003. - №1. - С.33.
2. Есаулова Н.В. Гельминтозы собак и кошек, опасные для человека и их диагностика / Н.В. Есаулова // Ветеринария. - 2000. - №6. - С.22-28.
3. Косяев, Н.И. Эпизоотическая ситуация по гельминтозам собак в Чувашской Республике [Текст] / Н.И. Косяев, А.Ф. Фархутдинова // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. - 2012. - Т. 209. - С. 175-179.
4. Токмалаев А.К. Гельминтозы человека / А.К. Токмалаев // Русский медицинский журнал. - 2001. - Т.9. - №16-17. - С.690-693.
5. Трофимов С.В. Современная государственная политика в области предупреждения распространения паразитарных болезней среди населения России / С.В. Трофимов // Медицинская паразитология. - 2004. - №3. - С.56-61.
6. Хубирьянц В.В. Терапевтические аспекты токсокароза человека и животных / В.В. Хубирьянц, А.А. Сергиенко, О.П. Татарчук // Ветеринарная клиника. - 2003. - №3. - С. 11-12.
7. Шахбиев, Х. Х. Сезонная и возрастная динамика анкилостомоза и унцинариоза собак в Чеченской Республике / Х. Х. Шахбиев // Междунар. научн. конференция ФГОУ ВПО «Ивановская ГСХА имени академика Д.К. Беляева» [Материалы]. - Иваново, 2010. -Т. 2. - С. 81-82.
8. Шинкаренко, А. Н. Гельминтофауна и меры борьбы с основными паразитами собак в г. Волгограде : дис. ... канд. вет. наук / А. Н. Шинкаренко. -Иваново, 1999. - 106 с.
9. Шумакович Е.Е. К изучению гельминтофауны собак и диких плотоядных на Среднем и Нижнем Поволжье / Е.Е. Шумакович, В.Ф. Никитин // Труды ВИГИС, М., 1962, т. 9, с. 127-153.
10. Ястреб В.Б. Гельминты пищеварительного тракта служебных собак / В.Б. Ястреб, А.В. Будовский // Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями: Материалы докл. науч. конф. - Москва, 1999. - С. 333-334.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Gorokhov V. V. Zabytye parazitozy [Forgotten parasitoses] / V.V. Gorokhov // Medicinskaja parazitologija [Medical Parasitology]. - 2003. - Issue. 1. - P. 33. [in Russian]
2. Esaulova N. V. Gel'mintozy sobak i koshek, opasnye dlja cheloveka i ih diagnostika [Helminthiasis of dogs and cats, dangerous for humans and their diagnostics] / N.V. Esaulova // Veterinarija [Veterinary science]. - 2000. - Issue. 6. - P. 22-28. [in Russian]
3. Kosyaev, N. I. Jepizooticheskaja situacija po gel'mintozam sobak v Chuvashskoj Respublike [Epizootic situation on helminthiasis of dogs in the Chuvash Republic] / N. I. Kosyaev, A. F. Farkhutdinova // Uchenye zapiski Kazanskoy gosudarstvennoj akademii veterinarnoj mediciny im. N.Ie. Bauman [Scientific notes of the Kazan state Academy of veterinary medicine named after N. E. Bauman]. - 2012. - Vol. 209. - P. 175-179. [in Russian]
4. Tokmalaev A. K. Gel'mintozy cheloveka [Human Helminthiasis] / A.K. Tokmalaev // Russkij medicinskij zhurnal human [Russian medical journal]. - 2001. - Vol. 9. - Issue. 16-17. - P. 690-693. [in Russian]
5. Trofimov C. B. Sovremennaja gosudarstvennaja politika v oblasti preduprezhdenija rasprostraneniya parazitarnyh boleznej sredi naselenija Rossii [Modern state policy in the field of prevention of the spread of parasitic diseases among the population of Russia] / C.B. Trofimov // Medicinskaja parazitologija [Medical parasitology]. - 2004. - Issue. 3. - P. 56-61. [in Russian]
6. Khubiryants V. V. Terapevticheskie aspekty toksokaroza cheloveka i zhivotnyh [Therapeutic aspects of human and animal toxocarosis] / V.V. Hubir'janc, A.A. Sergienko, O.P. Tatarchuk // Veterinarnaja klinika [Veterinary clinic]. - 2003. - Issue. 3. - p. 1112. [in Russian]
7. Shakhbiev, H. H. Sezonnaja i vozrastnaja dinamika ankilostomoza i uncinarioza sobak v Chechenskoj Respublike [Seasonal and age dynamics of hookworm and uncinariasis of dogs in the Chechen Republic] / H. H. Shakhbiev // Mezhdunar. nauchn. konferencija FGOU VPO «Ivanovskaja GSHA imeni akademika D.K. Beljaeva» [International. scientific conference of the Federal state educational institution of higher education "Ivanovo state agricultural Academy named after academician D. K. Belyaev"] [Materials]. - Ivanovo, 2010. -Vol. 2. - P. 81-82. [in Russian]
8. Shinkarenko, A. N. Gel'mintofauna i mery bor'by s osnovnymi parazitozami sobak v g. Volgograd [Helminthofauna and measures to combat the main parasitoses of dogs in Volgograd] : phd in. veterenary / A. N. Shinkarenko. -Ivanovo, 1999. 106 p. [in Russian]
9. Shumakovich E. E. K izucheniju gel'mitofauny sobak i dikih plotojadnyh na Srednem i Nizhnem Povolzh'e [To study the helminthic fauna of dogs and wild carnivores in the Middle and Lower Volga region] / E.E. Shumakovich, V.F. Nikitin // Trudy VIGIS [Proceedings of VIGIS], M., 1962, vol. 9, pp. 127-153. [in Russian]
10. Yastreba V. B. Gel'minty pishhevaritel'nogo trakta sluzhebnyh sobak [Helminths of the digestive Tract of service dogs] / V.B. Jastreba, A.B. Budovskij // Teorija i praktika bor'by s parazitarnymi boleznyami: Materialy dokl. nauch. konf [Theory and practice of struggle against parasitic diseases: proceedings of the proc. scientific Conf]. - Moscow, 1999. - P. 333-334.[in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.101.11.030>**ПРОГРАММА «БИОЦЕНОЗ» ДЛЯ РАННЕЙ ДИАГНОСТИКИ
ИНФЕКЦИОННЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ РЕПТИЛИЙ**

Научная статья

Тайлаков А.А.¹, Счисленко С.А.^{2,*}, Мороз А.А.³, Строганова И.Я.⁴¹ ORCID: 0000-0003-4593-5443;² ORCID: 0000-0002-0578-1681;³ ORCID: 0000-0002-5962-9925;⁴ ORCID: 0000-0003-4118-3862;^{1, 2, 3, 4} Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

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

Аннотация

Статья содержит в себе исследование микробиоценозов различных биотопов рептилий, принадлежащих к видам майский полоз, дальневосточный полоз, песчаный удавчик. В биотопах у этих видов рептилий были выявлены различные микроорганизмы такие, как кокковые формы бактерий, плесневые грибы, бактерии группы кишечной палочки, синегнойная палочка. Исследование динамики микробиоценозов у рептилий позволяет моделировать изменение микробиоценологических сообществ при различных показателях микроклиматических параметров. Благодаря моделированию изменения микробиоценозов авторы разработали программу по сверхранней диагностике инфекционных заболеваний, состоящей из ряда алгоритмов на основе собранной базы данных.

Для корректной работы программы необходимы исследование микробиоценозов и чувствительности микрофлоры к антибактериальным препаратам. Стоимость исследования одного животного составляет 2 088 руб. Затраты на материалы необходимые для анализа одного животного составляют 793,25 руб. Сумма, необходимая для нормальной работы программы «Биоценоз» для отслеживания изменений микробиоценологических сообществ у животных составляет 14 619. руб. в год. В то время, как общая стоимость лечения рептилии от инфекционного заболевания хронического течения составила 7 170 руб. на одну рептилию в течение 3 месяцев за год сумма составит 28 680 руб. Данная программа помогает предотвратить: заражение хозяина особо опасными формами болезнетворных бактерий; гибель животного и позволяет сэкономить до 14 тыс. руб. в год на лечение одного животного при хронических инфекционных заболеваниях.

Ключевые слова: рептилии, микробиоценозы, экзотические животные, инфекции, террариум, лечение.

THE "BIOCENOSIS" PROGRAM FOR EARLY DIAGNOSIS OF INFECTIOUS DISEASES OF REPTILES

Research article

Tailakov A.A.¹, Schislenco S.A.^{2,*}, Moroz A.A.³, Stroganova I.Ya.⁴¹ ORCID: 0000-0003-4593-5443;² ORCID: 0000-0002-0578-1681;³ ORCID: 0000-0002-5962-9925;⁴ ORCID: 0000-0003-4118-3862;^{1, 2, 3, 4} Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia.

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

Abstract

The article contains a study of the microbiocenoses of various biotopes of reptiles belonging to the following species: corn snake (*Pantherophis guttatus*), Russian rat snake (*Elaphe schrenckii*), desert sand boa (*Eryx miliaris*). In the biotopes of these reptile species, various microorganisms were identified, such as coccoid forms of bacteria, mold fungi, bacteria of the *Escherichia coli* group, *Pseudomonas aeruginosa*. The study of the dynamics of microbiocenoses in reptiles makes it possible to model changes in microbiocenotic communities with various indicators of microclimatic parameters. By modeling changes in microbiocenoses, the authors developed a program for the early diagnosis of infectious diseases consisting of a number of algorithms based on the collected database.

For the program to work correctly, it is necessary to study microbiocenoses and the sensitivity of microflora to antibacterial drugs. The cost of the study of one animal is 2,088 rubles. The cost of materials required for the analysis of one animal is 793.25 rubles. The amount required for the normal operation of the "Biocenosis" program to track changes in microbiocenotic communities in animals is 14,619. rubles annually. While the total cost of treatment of a reptile from a chronic infectious disease amounts to 7,170 rubles per reptile in the course of 3 months, the annual amount will be 28,680 rubles. This program helps prevent the following: infection of the host with particularly dangerous forms of pathogenic bacteria; death of the animal; the ability to save up to 14,000 rubles a year for the treatment of a single animal's chronic infectious diseases.

Keywords: reptiles, microbiocenoses, exotic animals, infections, terrarium, treatment.

Введение

По данным Заволока А. А., если дикие и экзотические животные содержатся в неудовлетворительных условиях, условно-патогенные микроорганизмы, а также микозы и другие паразитирующие организмы, которые обитают на теле рептилий, начинают свою деятельность, вызывая заболевания различной этиологии. Первые клинические признаки у данного вида животного проявляются не сразу, поэтому существует большая опасность заражения людей, которые занимаются разведением данного вида [1].

Люди все чаще стали заводить у себя дома, как домашних питомцев, различно вида рептилий. Как сообщает Р.В. Желанкин, что в Москве у частных заводчиков, в зоомагазинах, на «Птичьих рынках» и других фирмах, занимающихся распространением экзотической фауны, содержится около 300 тыс. черепах, более 50 видов рептилий и других видов экзотических животных [2].

Поскольку большинство видов рептилий, представленных на торговых площадках, является экзотическими, в частности, для российского рынка, следовательно, их микрофлора тоже может оказаться не дружелюбной по отношению к заводчику. Проведенные бактериологические исследования экзотической фауны многими учеными из Украины, Иерусалима, Москвы, Вологда-Молочного, Новосибирска доказали, что среди микроорганизмов по численности абсолютно доминирует *Pseudomonas aeruginosa*. Выделяются также *Proteus vulgaris*, *Providencia rettgeri*, *Escherichia coli* и *Citrobacter freundii* [3], [4], [6]. Данные виды микроорганизмов причастны к таким заболеваниям как: стоматит, абсцессы, которые приводят к пиодермии. Кроме этого, у рептилий встречаются так же микозы *Aspergillus fumigatus* и сальмонеллезы [8], [10], [13].

Ареал использования экзотических животных очень обширен, но инфекционные заболевания рептилий идентичны, это видно в исследованиях, проведенных в Красноярском крае [5], [7], [15].

Основной задачей любого ветеринарного специалиста является недопущение возникновения каких-либо заболеваний.

Целью нашей работы явилось изучение: целесообразности применения программы биоценоз для ранней диагностики инфекционных заболеваний рептилий. Для достижения данной цели поставили следующие задачи:

- установить взаимосвязь между изменениями микробиоценозов рептилий на примере микрофлоры ротовой полости под влиянием ряда физических факторов
- определить экономическую эффективность использования прогнозирующей программы «Биоценоз».

Материалы и методы исследования

Объектом нашего исследования являлись рептилии - маисовый полоз, дальневосточный полоз, песчаный удавчик. Предмет исследования – микробиоценозы поверхности слизистых оболочек ротовой полости.

Пробы биоматериала отбирали с учетом правил асептики и антисептики при помощи тампонов и стерильного физиологического раствора. Пробы биологического материала, полученные от рептилий, подвергались полному бактериологическому анализу. Дифференциальную диагностику микроорганизмов проводили по морфологическим, тинкториальным, культуральным и биохимическим свойствам [19]. Условия содержания определялись три раза в сутки: с 7-8ч, с 12-13ч и с 19-20ч. В ходе работы определены следующие параметры микроклимата: влажность, температура воздуха, уровень освещенности.

Температура и влажность измерялись при помощи прибора - «mastech ms6508». Уровень освещенности замерялся при помощи люксметра PCE MLM-1.

Пробы биоматериала отбирались с учетом правил асептики и антисептики при помощи зонд-тампонов и стерильного физиологического раствора. Пробы биологического материала, полученные от рептилий, подвергались количественным и качественным исследованиям.

Для оценки количественных показателей использовались следующие методики: микрофлору поверхностных покровов исследовали методом бактериальных отпечатков по Н.Н. Клемпарской [16] с использованием стерильных пластиковых микрошашек площадью 10 см² с набором стандартных питательных сред: кровяной, желточно-солевой агары, среды Эндо и Сабуро. С биотопов поверхности тела (ротовая полость 5 см от головы дорсально краниально, 10 см от головы дорсально краниально, 15 см от головы дорсально краниально). Время аппликации составляло 5 минут, 10 минут и 15 минут. Учет колоний осуществлялся спустя 24 часа инкубации при 31°C, 34.5°C, 37°C, для грибов - через 5 суток при комнатной температуре [19].

Оценку качественных показателей проводили следующим образом:

Дифференцировку микроорганизмов выполняли по морфологическим, тинкториальным, культуральным и биохимическим свойствам [17]: определение общей микробной обсемененности поверхностных покровов проводили методом смывов и высевом полученного биоматериала по методу Голду-Родоману [18]. Родовую идентификацию выделенных изолятов проводили с применением диагностических тест систем ММТ-24, ММТ-С.

Первичную идентификацию выделенных определяли с использованием окраски по Граму при помощи светового микроскопа Saike Digital серии SK 2009 и учетом культуральных особенностей, полученных изолятов. В качестве рабочей основы для анализа данных использовали базу данных «Биоценоз» номер свидетельства: RU 2018622017 [21].

Все расчеты выполнялись при помощи программы Microsoft Excel. Для работы данной программы была использована операционная система Microsoft windows версии 8.1. Для расчетов использовались формулы $Ky3 = Zv : 3$, где $Ky3$ – ветеринарные затраты на одного заболевшую особь (руб.); Zv – общие вет. затраты (руб.); 3 – количество заболевших особей (гол.) [20].

Результаты исследования

Исследования проводились у частных лиц, занимающихся разведением рептилий, в ветеринарной клинике «ООО Лимпопо», расположенной по адресу г. Красноярск, Светлогорская, 17д и на базе кафедры ЭМПивСЭ. Исследовали климатические параметры и микробиологический пейзаж животных. Исследования включали в себя отбор проб, их микроскопию, посев на общепотребительные питательные среды, вторичную микроскопию, отбор колоний и пересев их на дифференциально-диагностические среды с последующей микроскопией чистых культур.

После проведения 3 циклов бактериологических исследований с отбором биопроб из 8 биотопов для каждого цикла экспертизы, наиболее различимые данные микробиоценоза были получены из ротовой полости рептилий.

Наиболее преобладающим у дальневосточного полоза являлись бактерии группы кишечной палочки, которые составили 15 КОЕ/см². У майского полоза кокковые формы преобладали лишь на 3 КОЕ/см², в то время как у песчаного удавчика бациллярные формы составляли 7 КОЕ/см². Кроме того, у майского полоза была выделена синегнойная палочка, но отсутствовали плесневые грибы.

Дальневосточный полоз в отличие от майского, имеет широкий диапазон климатических условий, а именно он встречается в степях, высокогорьях и в северных регионах. В образе жизни у майских полозов имеется зимовка. На микрофлору этих видов рептилий существенное влияние оказывает сочетание в совокупности с остальными изученными нами факторами.

После внесения всех параметров становится возможным моделирование эпизоотической ситуации, для наглядности можно построить график, из которого можно заметить колебания микробиоценозов рептилий. Из графика видно, что микроклиматические параметры оказывают существенное влияние на микробиоценозы пойкилотермных животных.

На основании проведенных исследований микробиоценозов рептилий и птиц была разработана программа сверх ранней диагностики инфекционных заболеваний. Данная программа состоит из ряда алгоритмов, которые позволяют отслеживать изменения микрофлоры под влиянием условий окружающей среды.

После проведения микробиологических исследований произвели расчет стоимости ветеринарного обслуживания и затрат на лекарственные средства при лечении хронического стоматита у рептилий. Общая стоимость лечения составила 7 тыс. 170 руб. на одну рептилию в течение 3 месяцев.

Для определения микробиоценологических сообществ и анализ чувствительности групп бактерий к различным антибиотикам на материалы было потрачено 793,25 руб. Стоимость исследования одного животного составила 2 тыс. 88 руб. Затраты, необходимые для заполнения базы данных «Биоценоз» с целью отслеживания изменений микробиоценологических сообществ у животных в течение одного календарного года составляет 14 тыс. 619 руб. на одну рептилию.

Выводы

Проведение бактериологических исследований позволило установить наличие у рептилий разнообразного состава микробиоценологических сообществ. Качественный состав был представлен сапрофитной и условно-патогенной формами микроорганизмов. Наиболее часто выделялись кокки, бациллы, БГКП и микроскопические грибы. Из изучаемых физических факторов для рептилий, оказывающих наибольшее влияние на динамику микробиоценозов, выступали температура и влажность. Отклонения этих параметров от физиологических норм, свойственных исследуемым видам рептилий в естественной среде обитания, провоцируют рост числа условно-патогенной микрофлоры и ее агрессивных характеристик.

Применение программы «Биоценоз» дает возможность предотвратить потери и, как следствие, снизить экономические издержки на лечение рептилий в размере 14 тыс. 61 руб. в год на одну голову. Тогда как лечение, основанное на применении стандартных схем, базирующихся на использовании антибактериальных препаратов составляет 28 тыс. 680 руб. в год на одну рептилию.

Использование программы позволит оперативно получать сведения об незначительных изменениях микрофлоры, при отсутствии видимых клинических признаков. Такой индивидуальный подход поможет выявить пусковой механизм заболевания, отследить эпизоотическую цепочку и, оперируя большим количеством данных, ветеринарный специалист сможет узнать, как избежать развития эпизоотии условно-патогенной микрофлоры в зоопарках, фермах и у животных, содержащихся у частных заводчиков в кратчайшие сроки.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Заволока, А. А. Заболевания диких и экзотических животных и их роль в заболевании людей / А. А. Заволока // Vetpharma №3. – 2013. – С. 21-30
2. Желанкин, Р. В. Рептилии как источник возбудителей зооантропонозных болезней / Р. В. Желанкин // Всероссийская научная конференция «Эколого-географические аспекты инфектологии». – Новосибирск, 2011. – С. 91-95
3. Васильев Д. Б. Ветеринарная герпетология: ящерицы / Д. Б. Васильев. М., Проект-Ф, 2005. с. 284–287
4. Bercovier H. Mycobacterial infections in domestic and wild animals due to *Mycobacterium marinum*, *M. fortuitum*, *M. chelonae*, *M. porcinum*, *M. farcinogenes*, *M. smegmatis*, *M. scrofulaceum*, *M. xenopi*, *M. kansasii*, *M. simiae* and *M. genavense*. / H. Bercovier, V. Vincent // Revue scientifique et technique. V. 20(1). 2001. P. 265–290.
5. Строганова И. Я. Бактериальные ассоциации рептилий / И. Я. Строганова, А. А. Мороз, А. А. Тайлаков // Вестник КрасГАУ Красноярск, – 2015. – №8. – С. 168–172
6. Федорова, Ю. В. Изучение количественного и качественного состава микрофлоры наружных слизистых оболочек длинноногих скунков при различных условиях содержания / Ю. В. Федорова // В сборнике: Молодые исследователи агропромышленного и лесного комплексов – регионам. Вологда-Молочное. - 2019. - С. 134-141
7. Мартышин А. В. Результаты микробиологического мониторинга поверхности кожи клинически здоровых рептилий, находящихся в условиях неволи / А. В. Мартышин, Н. М. Ковальчук // Вестник КрасГАУ. 2012. №5.
8. Дроздова Л. И. Патоморфологические изменения в органах и тканях животных и птиц при микозах, вызываемых плесневыми грибами / Л. И. Дроздова, Н. И. Женихова, О. В. Бадова // Аграрный вестник Урала. 2014. № 12. С 17–20.
9. Имшенецкий А. А. Сальмонеллы / А. А. Имшенецкий // Большая советская энциклопедия : [в 30 т.] / гл. ред. А. М. Прохоров. — 3-е изд. — М. : Советская энциклопедия, 1969—1978.

10. Stringer J.R. A new name (*Pneumocystis jiroveci*) for *Pneumocystis* from humans (англ.) / J.R. Stringer, C.B. Beard, R.F. Miller, A.E. Wakefield // *Emerging Infectious Diseases* (англ.) journal. — Centers for Disease Control and Prevention, 2002. — September (vol. 8, no. 9). — P. 891—896
11. Таточенко В. К. Антибактериальная терапия пневмоний у детей / В. К. Таточенко // *Фарматека*, № 11, 2002
12. Сычева Н.Д. Морфогенез сальмонеллеза у рептилий / Н.Д. Сычева, Н.С. Мельников, Л.Д. Гатина // *Уральский государственный аграрный университет научная статья №3: 2013г.* С. 15
13. Дягилец Е. Ю. Бактериальная флора и ее роль в патогенезе основных симптомокомплексов у рептилий в неволе / Е.Ю. Дягилец, В. И. Карабак, Д. Б. Васильев // *Матер. IX Междунар. вет. Конгресса.* - М. - 2001. - С. 121-123
14. Tailakov A.A., Impaction of physical factors on changes in microbiocenosis in reptiles / Tailakov A.A., Moroz A.A., Stroganova I.Ya., Schislenco S.A., Usova I.A. // *International journal of pharmaceutical research.* Oct – Dec. 2019. – Vol. 11. – pp. 1102-1106
15. Тайлаков А.А. База данных «Биоценоз» как ведущий механизм управления эпизоотическим процессом у рептилий / А.А. Тайлаков // *Международная научно-практическая конференция «Развитие сельского хозяйства на основе современных научных достижений и интеллектуальных цифровых технологий «Сибирь – агробиотехнологии» («Сабит-2019»), посвященная 50-летию со дня создания СО ВАСХНИЛ (СО Россельхозакадемии): Международная научно-практическая конференция / СФНЦА РАН. – Новосибирск: СФНЦА РАН, 2019 г. С. 221-223. УДК 636.9 632.937.15*
16. Насонова Т.А. Современные представления о значении нормальной микрофлоры тела в норме и патологии / Т.А. Насонова, В.Н. Мальцев // *Успехи совр. биол.* 1983. Т. 96, вып.
17. Антонов Б.И. Лабораторные исследования в ветеринарии. Бактериальные инфекции / Б.И.Антонов [и др.] – М.: Агропромиздат, 1986. – 272 с.
18. Прозоркина Н.В. Основы микробиологии, вирусологии и иммунологии / Н.В. Прозоркина Л.А. Рубашкина. — Ростов-на-Дону: "Феникс", 2002. — С. 135.
19. Шабан Ж. Г. Учеб.-метод. пособие. / Ж.Г. Шабан [и др.]. – Минск : БГМУ, 2010. – 124 с. ISBN 978–985–528–216–8
20. Аржаков, В.Н. Экономическая эффективность ветеринарных мероприятий учеб.пособие / В.Н. Аржаков, Н.Н. Николаенко, П.В. Аржаков. - Омск: ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2010. - 84 с.
21. Мороз А.А. База данных «Биоценоз» Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2018622017 Биоценоз / А.А. Мороз, А.А. Тайлаков, заявка № 2018621757, дата поступления: 28.11.2018, дата регистрации: 11.12.2018.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Zavoloka, A. A. Zaboлевaniya dikikh i ekzoticheskikh zhivotnykh i ikh rol' v zabolevanii lyudey [Diseases of wild and exotic animals and their role in human disease]. Zavoloka // *Vetpharma* №3. - 2013. - P. 21-30 [in Russian]
2. Zhelankin, R.V. Reptilii kak istochnik vozbuditeley zooantropoznykh bolezney [Reptiles as a source of pathogens of zoonanthropotic diseases] / R.V. Zhelankin // *All-Russian Scientific Conference "Ecological and Geographical Aspects of Infectology". - Novosibirsk, 2011. -- P. 91-95 [in Russian]*
3. Vasiliev D.B. Veterinarnaya gerpetologiya: yashcheritsy [Veterinary herpetology: lizards.] / D.B. Vasiliev M., Project-F, 2005. pp. 284–287 [in Russian]
4. Bercovier H. Mycobacterial infections in domestic and wild animals due to *Mycobacterium marinum*, *M. fortuitum*, *M. chelonae*, *M. porcinum*, *M. farcinogenes*, *M. smegmatis*, *M. scrofulaceum*, *M. xenopi*, *M.kansasii* *M. simiae* and *M. genavense*. / H. Bercovier, V. Vincent // *Revue scientifique et technique.* V. 20(1). 2001. P. 265–290.
5. Stroganova I.Ya. Bakterial'nyye assotsiatsii reptilii. [Reptile bacterial associations] / I.Ya. Stroganova, A.A. Moroz, A.A. Tailakov // *Bulletin of Krasnoyarsk Krasnoyarsk, - 2015. - №8. - P. 168-172[in Russian]*
6. Fedorova, Yu.V. Izucheniye kolichestvennogo i kachestvennogo sostava mikroflory naruzhnykh slizistyykh obolochek dlinnonogikh stinkov pri razlichnykh usloviyakh soderzhaniya. [Study of the quantitative and qualitative composition of the microflora of the outer mucous membranes of long-legged skinks under different conditions of detention] / Fedorova Yu.V. // *In the collection: Young researchers of the agro-industrial and forestry complexes - to the regions. Vologda-Dairy. - 2019.- P. 134-141 [in Russian]*
7. Martyshin A.V. Rezul'taty mikrobiologicheskogo monitoringa poverkhnosti kozhi klinicheski zdorovykh reptilii, nakhodyashchikhsya v usloviyakh nevoli. [Results of microbiological monitoring of the skin surface of clinically healthy reptiles in captivity] / A.V Martyshin, N.M. Kovalchuk, // *Bulletin of KrasGAU.* 2012. Issue. 5. [in Russian]
8. Drozdova L.I. Patomorfologicheskiye izmeneniya v organakh i tkanyakh zhivotnykh i ptits pri mikozakh vyzyvayemyimi plesnevymi gribami [Pathomorphological changes in organs and tissues of animals and birds with mycoses caused by mold fungi] / L.I. Drozdova, N.I. Zhenikhova, O.V. Badova // *Agrarian Bulletin of the Urals.* 2014. No. 12. P 17–20. [in Russian]
9. Imshenetsky A. A. Salmonella [Sal'monelly] / A. A. Imshenetsky // *Great Soviet Encyclopedia: [in 30 volumes] / Ch. ed. A.M. Prokhorov. - 3rd ed. - M.: Soviet Encyclopedia, 1969-1978. [in Russian]*
10. Stringer J.R. A new name (*Pneumocystis jiroveci*) for *Pneumocystis* from humans (англ.) / J.R. Stringer, C.B. Beard, R.F. Miller, A.E. Wakefield // *Emerging Infectious Diseases* (англ.) journal. — Centers for Disease Control and Prevention, 2002. — September (vol. 8, no. 9). — P. 891—896
11. Tatchenko V.K., Antibakterial'naya terapiya pnevmoniy u detey [Antibacterial therapy of pneumonia in children.] / V.K. Tatchenko // *Pharmateca*, Issue. 11, 2002 [in Russian]
12. Sycheva N.D. Morfogenez sal'monelleza u reptilii. [Morphogenesis of salmonellosis in reptiles] / N.D. Sycheva, N.S. Melnikov, L.D. Gatina // *Ural State Agrarian University scientific article Issue. 3: 2013: P. 15 [in Russian]*
13. Diagilets E. Yu., Bakterial'naya flora i yeye rol' v patogeneze osnovnykh simptomokompleksov u reptilii v nevole [Bacterial flora and its role in the pathogenesis of the main symptom complexes in captive reptiles] / E.Yu. Diaghilets, V.I. Karabak, and D.B. Vasiliev // *Mater. IX Int. vet. Congress. - M. - 2001. - P. 121-123 [in Russian]*

14. Tailakov A.A. Impaction of physical factors on changes in microbiocenosis in reptiles / Tailakov A.A., Moroz A.A., Stroganova I.Ya., Schislenco S.A., Usova I.A. // International journal of pharmaceutical research. Oct - Dec. 2019. - Vol. 11. - pp. 1102-1106
15. Tailakov A.A. Baza dannykh «Biotsenoz» kak vedushchiy mekhanizm upravleniya epizooticheskim protsessom u reptiliy [Database "Biocenosis" as a leading mechanism for managing the epizootic process in reptiles] / A.A. Tailakov // International scientific and practical conference "Development of agriculture based on modern scientific achievements and intelligent digital technologies" Siberia - agrobiotechnology (" Sabit-2019 "), dedicated to the 50th anniversary since the establishment of SB VASKHNIL (SB Rosselkhozakademii) ": International scientific and practical conference / SFNCA RAS. - Novosibirsk: SFNTSA RAS, 2019, pp. 221-223. UDC 636.9 632.937.15 [in Russian]
16. Nasonova T.A. Sovremennyye predstavleniya o znachenii normal'noy mikroflory tela v norme i patologii [Modern concepts of the importance of normal body microflora in health and disease] / T.A. Nasonova, V.N Maltsev // Uspekhi sovr. biol. 1983.Vol. 96 [in Russian]
17. Antonov B.I. Laboratornyye issledovaniya v veterinarii. Bakterial'nyye infektsii [Laboratory research in veterinary medicine. Bacterial infections] / BI Antonov [and others] - M.: Agropromizdat, 1986.-272 p. [in Russian]
18. Prozorkina N.V. Osnovy mikrobiologii, virusologii i immunologii. [Fundamentals of Microbiology, Virology and Immunology.] / N.V. Prozorkina, L.A. Rubashkina - Rostov-on-Don: "Phoenix", 2002. - P. 135. [in Russian]
19. Shaban Zh. G. Teaching method. allowance. / J.G. Shaban [and others]. - Minsk: BSMU, 2010. -- 124 p. ISBN 978-985-528-216-8 [in Russian]
20. Arzhakov, V.N. Ekonomicheskaya effektivnost' veterinarnykh meropriyatiy ucheb.posobiye [Economic efficiency of veterinary measures textbook] / V.N. Arzhakov, N.N. Nikolaenko, P.V. Arzhakov. - Omsk: FGOU VPO OmGAU, 2010. -- 84 p. [in Russian]
21. Moroz A.A. Database "Biocenosis" Certificate of state registration of the database No. 2018622017 Biocenosis [Database "Biocenosis" Certificate of state registration of the database No. 2018622017 Biocenosis] / A.A. Moroz, A.A. Tailakov, application. 2018621757, date of receipt: 28.11.2018, date of registration: 11.12.2018. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.101.11.031>**АНТИОКСИДАНТНЫЙ И АНТИАМИЛОИДНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ПРОИЗВОДНЫХ
ЯНТАРНОЙ КИСЛОТЫ**

Научная статья

Поздняков Д.И.^{1,*}, Мамлеев А.В.², Ладька А.А.³, Рыбалко И.Е.⁴, Ларский М.В.⁵¹ ORCID:0000-0003-0889-7855;^{1, 2, 3, 4, 5} Пятигорский медико-фармацевтический институт, Пятигорск, Россия

* Корреспондирующий автор (pozdniackow.dmitry[at]yandex.ru)

Аннотация

Данное исследование посвящено изучению влияния янтарной, ацетиламиноянтарной кислот и этилметилгидроксипиридина сукцината на процесс генерации супероксид-радикала и образование конгломератов амилоида β в *in vitro* тестах. Влияние изучаемых соединений на образование супероксид-радикала оценивали в реакции фотообращения рибофлавина. Агрегацию амилоидных частиц регистрировали в реакции с конго красным. В результате было установлено, что в ряду изучаемых веществ наиболее высокие супероксид-радикал «скэвенджерные» свойства отмечены у ацетиламиноянтарной кислоты (IC_{50} 109,3 \pm 12,947 мкг/мл), кроме того, данное соединение существенно ингибировало процесс агрегации амилоида β .

Ключевые слова: сукцинаты, болезнь Альцгеймера, окислительный стресс, амилоид β .**ANTIOXIDANT AND ANTIAMYLOID POTENTIAL OF SUCCINIC ACID DERIVATIVES**

Research article

Pozdnyakov D.I.^{1,*}, Mamleev A.V.², Ladyka A.A.³, Rybalko I.E.⁴, Larsky M.V.⁵¹ ORCID ID:0000-0003-0889-7855;^{1, 2, 3, 4, 5} Pyatigorsk Medical and Pharmaceutical Institute, Pyatigorsk, Russia

* Corresponding author (pozdniackow.dmitry[at]yandex.ru)

Abstract

This study aims to examine the effect of succinic acid, acetylaminosuccinic acid, and Ethylmethylhydroxypyridine succinate on the generation of superoxide radicals and the formation of amyloid β conglomerates during *in vitro* tests. The effect of the examined compounds on the formation of a superoxide radical was evaluated in the riboflavin photochemical reaction. Amyloid deposits were detected in the reaction with Congo red. As a result, it was found that among the studied substances, the highest superoxide-radical "scavenger" properties were observed in acetylaminosuccinic acid (IC_{50} 109.3 \pm 12.947 μ g/ml), in addition, this compound significantly inhibited the aggregation process of amyloid β .

Keywords: succinates, Alzheimer's disease, oxidative stress, amyloid β .**Введение**

Среди заболеваний, вызванных техническим прогрессом, одно из первых мест занимает деменция и сопряженные с ней нейродегенеративные заболевания. Особо значимое распространение когнитивных нарушений наблюдается среди населения Азиатско-Тихоокеанского региона. Это объясняется сочетанием ряда социально-экономических причин и высокого профиля сосудистого риска [1]. Симптомокомплекс деменции представляет собой нарушение интеллектуальной деятельности, снижение доступного уровня суждений, нивелирование индивидуальных особенностей личности, изменение поведения вследствие нейродегенеративных нарушений, в частности болезни Альцгеймера [2]. Согласно статистике, количество пациентов с болезнью Альцгеймера за 26-ти летний период (с 1990 по 2016 год) увеличилось с 20,2 млн до 43,8 млн человек. За данный временной промежуток число смертей в результате деменции возросло на 148%. В этой связи деменция считается пятой по распространённости причиной смертности в мире, а среди людей старше 70 лет — второй после ишемической болезни сердца [3].

Последние исследования показывают, что одной из причин развития деменции и болезни Альцгеймера является нарушение функциональной активности митохондрий — митохондриальная дисфункция, сопровождающаяся генерацией активных форм кислорода, представленных, как правило, супероксид-радикалом. В свою очередь супероксид-радикал запускает каскад реакций, приводящий к активации секретазного комплекса с расщеплением белка-предшественника амилоида и образованием фрагментов амилоида β различной длины [4]. В настоящее время было установлено, что амилоид β и связанный с ним гиперфосфорилированный тау-протеин обладают выраженной нейротоксичностью и являются основными компонентами сенильных бляшек. Таким образом, можно предположить, что подавление окислительного стресса и амилоидогенеза являются перспективными направлениями терапии деменции и болезни Альцгеймера [5].

Широко распространенными веществами, оказывающими антиоксидантное действие, являются производные янтарной кислоты. Также для сукцинатов описано «шунтирующее» действие в отношении митохондриального комплекса I — основного источника активных форм кислорода в клетке, что делает данные соединения перспективными объектами для оценки антиамилоидного действия [6].

Методы и принципы исследования

В данном исследовании в качестве изучаемых объектов выступали ацетиламиноянтарная кислота («Когитум», Санофи), этилметилгидроксипиридина сукцинат («Мексидол», Фармасофт) и янтарная кислота («Татхимфармпрепараты»). Работа была выполнена с применением *in vitro* подхода с изучением влияния исследуемых объектов на процесс агрегации частиц бета-амилоида и генерацию супероксид-радикала в модельной смеси.

Влияние ацетиламиноянтарной кислоты, этилметилгидроксипиридина сукцината и янтарной кислоты на процесс агрегации А β оценивали спектрофотометрически в реакции с конго красным. Изучаемые соединения растворяли в диметилсульфоксиде до конечной концентрации 20 мг/мл. 25 мкл полученного раствора смешивали с 225 мкл 20 мМ раствора конго красного. После чего полученную смесь инкубировали в течении девяти дней при комнатной температуре. Оптическую плотность модельной смеси оценивали на третий, шестой и девятый день при 405 нм и 540 нм. Количество образовавшихся агрегатов А β рассчитывали по формуле:

$$\beta = \frac{A540}{4780} - \frac{A405}{6830} - A405CR/8620,$$

где:

ACR405 - оптическая плотность раствора конго красного при длине волны 405 нм;

A540 и A405 оптическая плотность раствора, содержащего исследуемые вещества при длине волны 540 нм и 405 нм, соответственно. Фрагмент А β_{1-40} был получен от Sigma-Aldrich (Германия) [7].

Оценку супероксид-антирадикальной активности проводили по методу Winterbourn. Супероксид-радикал генерировали в реакции фотообращения рибофлавина. Среда инкубации состояла из 0,1 мл раствора изучаемого соединения (в конечной концентрации 1000 мкг/мл; 500 мкг/мл; 250 мкг/мл; 125 мкг/мл и 62,5 мкг/мл) с добавлением 0,1 мл 1,5мМ раствора нитро-синего тетразолия; 0,2 мл 0,1М раствора ЭДТА; 0,05 мл 0,12 мМ раствора рибофлавина и 2,55 мл PBS (рН 7,4). Полученную смесь инкубировали 5 мин при 25°C. Оптическую плотность проб измеряли при 560 нм против воздуха. Положительным контролем выступала среда инкубации без добавления исследуемых веществ. Все тесты выполнялись в триплетном варианте. Процент ингибции рассчитывали по формуле [8]:

$$\% \text{ инг.} = A_x / A_0 * 100,$$

где:

A $_x$ – оптическая плотность пробы образца

A $_0$ - оптическая плотность пробы положительного контроля

Статистическую обработку полученных результатов проводили с применением программного пакет STATISTICA 6.0 (StatSoft, США). Данные выражали в виде М (среднее значение) \pm SEM (стандартная ошибка среднего). Статистические отличия между группами оценивали методом однофакторного дисперсионного анализа с пост тестом Ньюмена-Кейсла при $p < 0,05$. Показатель IC $_{50}$ рассчитывали методом пробит анализа.

Основные результаты

В ходе проведения данного исследования было установлено, что наиболее выраженными супероксид-антирадикальными свойствами обладает ацетиламиноянтарная кислота, которая в концентрации 1000 мкг/мл ингибировала образование супероксид-радикала в модельной смеси на 90,5% при показателе IC $_{50}$ 109,3 \pm 12,947 мкг/мл (см. рисунок 1). Этилметилгидроксипиридина сукцинат также значимо подавлял генерацию супероксида (на 92,4% в максимальной тестируемой концентрации), однако величина IC $_{50}$ этилметилгидроксипиридина сукцината была выше таковой у ацетиламиноянтарной кислоты и составляла 163,0 \pm 19,567 мкг/мл. Внесение в модельную среду янтарной кислоты в концентрации 1000 мкг/мл способствовало снижению степени образования супероксид-радикала на 80,6%, при этом показатель IC $_{50}$ составил 311,3 \pm 20,452 мкг/мл (см. рисунок 1).

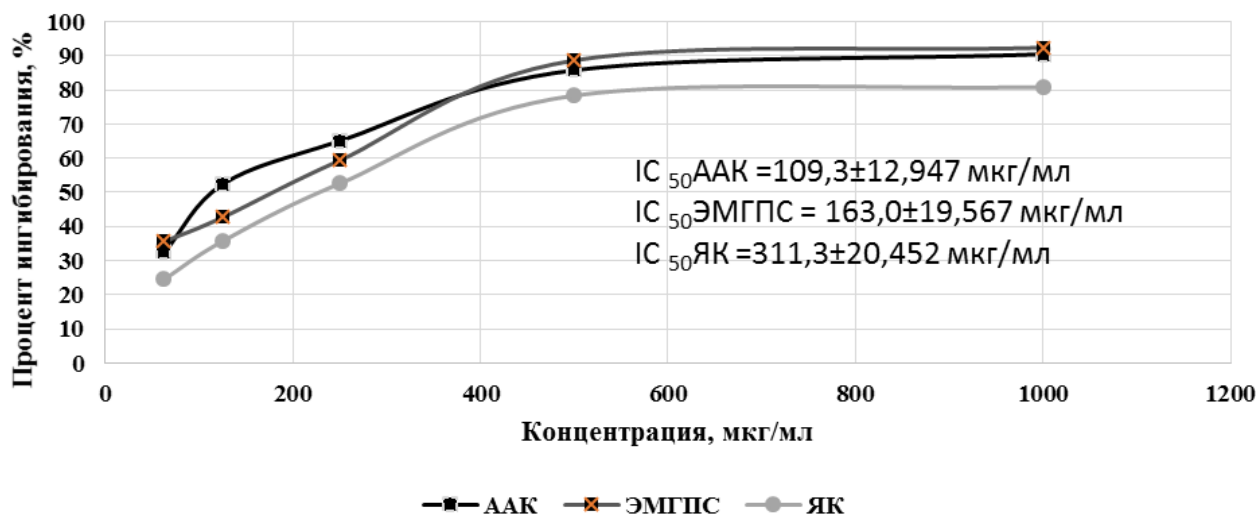


Рис. 1 – Результаты оценки супероксид-антирадикальной активности исследуемых соединений
Примечание: ААК – ацетиламиноянтарная кислота; ЭМГПС – этилметилгидроксипиридина сукцинат;
ЯК – янтарная кислота; IC $_{50}$ – коэффициент полуингибции

В ходе оценки влияния изучаемых веществ на процесс агрегации амилоидных частиц было установлено, что наиболее значимо данный процесс ингибировало добавление в анализируемую среду ацетиламиноянтарной кислоты. При этом процент ингибирования составил на 3-й, 6-й и 9-й день эксперимента 22,4% ($p < 0,05$); 34,8 % ($p < 0,05$) и 58,4% ($p < 0,05$) соответственно. Следует отметить, что этилметилгидроксипиридина сукцинат и янтарная кислота значимого

влияния на агрегацию Аβ через 3 дня инкубации не оказали. На 6-й день исследования добавление в модельную смесь этилметилгидроксипиридина сукцината и янтарной кислоты способствовало уменьшению агрегации амилоидных частиц на 25,4% ($p<0,05$) и 44,4% ($p<0,05$) соответственно, в то время как на 9-й день эксперимента степень ингибирования составила 25,1% ($p<0,05$) и 37,6% ($p<0,05$) соответственно (см. рисунок 2).

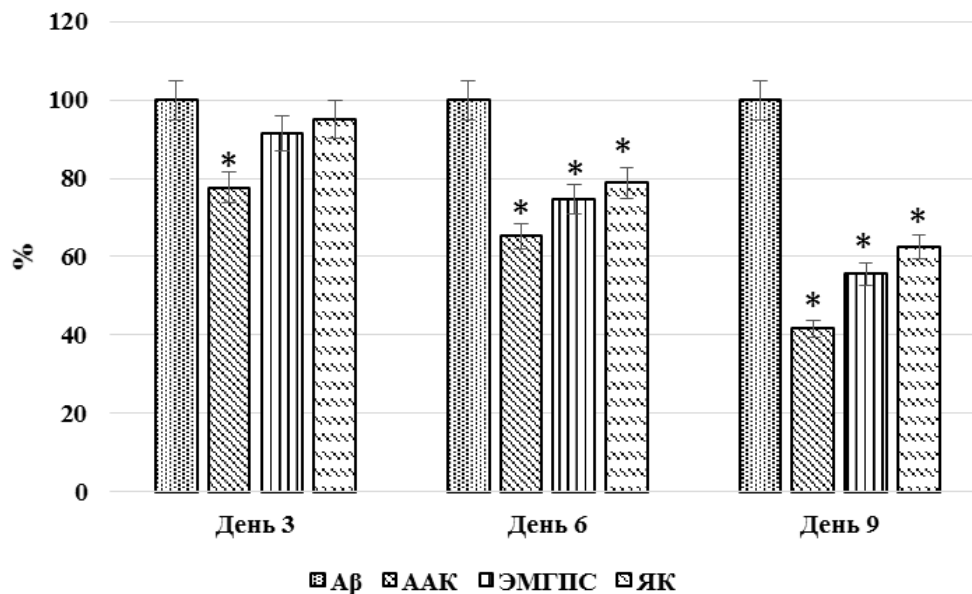


Рис. 2 – Влияние исследуемых соединений на агрегацию амилоидных частиц *in vitro* в реакции с конго красным
 Примечание: Аβ – модельная среда без добавления исследуемых соединений; ААК – ацетиламиноянтарная кислота;
 ЭМГПС – этилметилгидроксипиридина сукцинат; ЯК – янтарная кислота;
 * - статистически значимо относительно Аβ ($p<0,05$, критерий Ньюмена-Кейсла)

Обсуждение

Процесс образование сенильных включений Аβ является одной из значимых составляющих патогенеза нейродегенеративных заболеваний, включая болезнь Альцгеймера. В свою очередь, активация секретаз и последующее расщепление белка предшественника амилоида с образованием патологических форм Аβ непосредственно связано с генерацией активных форм кислорода, в частности, супероксид-радикала [9]. Таким образом, можно предположить, что средства антиоксидантного действия, к которым относятся этилметилгидроксипиридина сукцинат, ацетиламиноянтарная и янтарная кислоты, способны предотвратить агрегацию амилоидных частиц посредством эффективного «скэвенджинга» активных форм кислорода. Данное исследование показало, что ацетиламиноянтарная кислота в большей степени, этилметилгидроксипиридина сукцинат и янтарная кислота в меньшей степени способны подавлять генерацию супероксид-радикала в реакции фотообращения рибофлавина. В то же время ацетиламиноянтарная кислота более значимо (по сравнению с остальными изучаемыми соединениями) ингибировала агрегацию Аβ с развитием эффекта уже на третий день эксперимента и последующим его увеличением к девятому дню исследования. Этилметилгидроксипиридина сукцинат и янтарная кислота также угнетали агрегацию амилоидных частиц, но только начиная с шестого дня инкубации.

Заключение

Проведенное исследование показало, что этилметилгидроксипиридина сукцинат, ацетиламиноянтарная и янтарная кислоты способны *in vitro* подавлять образование амилоидных бляшек и ингибировать образование супероксид-радикала, что делает данные соединения перспективными для дальнейшего изучения на предмет возможности использования в качестве средств патогенетической терапии нейродегенеративных заболеваний.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы/References

1. Alzheimer's Association. Alzheimer's disease facts and figures // *Alzheimers Dement.* 2016. – Vol.12(4). - P. 459-509. 2016 doi: 10.1016/j.jalz.2016.03.001.
2. Lyketsos C.G. Neuropsychiatric symptoms in Alzheimer's disease / C.G. Lyketsos, M.C. Carrillo, J.M.Ryan, A.S. Khachaturian, P. Trzepacz, J. Amatniek, J. Cedarbaum, R. Brashear, D.S. Miller // *Alzheimers Dement.* – 2011.- Vol. - 7(5).- P.532-9. doi: 10.1016/j.jalz.2011.05.2410.
3. Sancesario G. M. Alzheimer's disease in the omics era / G.M. Sancesario, S. Bernardini // *Clin Biochem.* – 2018. – Vol.59.- P.9-16. doi: 10.1016/j.clinbiochem.2018.06.011
4. Cubinkova V. Alternative hypotheses related to Alzheimer's disease / V. Cubinkova, B. Valachova, I. Uhrinova, V. Brezovakova, T. Smolek, S. Jadhav, N. Zilka // *Bratisl Lek Listy.* – 2018.- Vol.119(4).- P.210-216. doi: 10.4149/BLL_2018_039.
5. Polito C. A. Association of Tea Consumption with Risk of Alzheimer's Disease and Anti-Beta-Amyloid Effects of Tea / C.A. Polito, Z.Y. Cai, Y.L. Shi, X.M. Li, R. Yang, M. Shi, Q.S. Li, S.C. Ma, L.P. Xiang, K.R. Wang, J.H. Ye, J.L. Lu, X.Q. Zheng, Y.R. Liang // *Nutrients.* – 2018. –Vol. 10(5).- P.655. doi: 10.3390/nu10050655.
6. Nowak G. Succinate ameliorates energy deficits and prevents dysfunction of complex I in injured renal proximal tubular cells / G. Nowak, G.L. Clifton, D. Bakajsova // *J Pharmacol Exp Ther.* – 2008.- Vol.324(3).- P.1155–1162. doi:10.1124/jpet.107.130872.
7. Wang W. Inhibition of amyloid peptide fibril formation by gold-sulfur complexes / W. Wang, C. Zhao, D. Zhu, G. Gong, W. Du // *J Inorg Biochem.* – 2017.- Vol.171.- P.1-9. doi:10.1016/j.jinorgbio.2017.02.021
8. Winterbourn C. C. The estimation of red cell superoxide dismutase activity / C.C. Winterbourn, R.E. Hawkins, M. Brian, R.W. Carrell // *J Lab Clin Med.* - 1975.- Vol.85.- P.337–41.
9. Han F. Beta-amyloid accumulation in neurovascular units following brain embolism / F. Han, K. Fukunaga // *J Pharmacol Sci.* – 2009.- Vol.111(2).- P.101-9. doi: 10.1254/jphs.09r02cp.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.101.11.032>ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ НЕКОТОРЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ СЕМЕЙСТВ *ASTERACEAE*, *PRIMULACEAE*, *GROSSULARIACEAE* И *ROSACEAE*

Научная статья

Червонная Н.М.^{1,*}, Аджиакметова С.Л.², Поздняков Д.И.³, Папаяни О.И.⁴, Туховская Н.А.⁵, Оганесян С.О.⁶¹ ORCID: 0000-0001-9685-1384;² ORCID: 0000-0001-9685-1384;³ ORCID: 0000-0003-0889-7855;⁴ ORCID: 0000-0001-6645-7263;⁵ ORCID: 0000-0003-4163-2875;¹⁻⁶ Пятигорский медико-фармацевтический институт – филиал Волгоградского государственного медицинского университета Министерства здравоохранения Российской Федерации, Пятигорск, Россия

* Корреспондирующий автор (nadezhda.chervonnaya[at]yandex.ru)

Аннотация

Исследованы сравнительная антиоксидантная и антимикробная активности соцветий бархатцев распростертых, гайлардии красивой и рябинника рябинолистного, листьев смородины черной и ежевики сизой, травы вербейника точечного относящихся к семействам *Asteraceae*, *Primulaceae*, *Grossulariaceae* и *Rosaceae*. Проведен количественный анализ флавоноидов. Выделены полисахариды, где преобладающими являются пектиновые вещества. Наибольший выход пектинов наблюдается в шроте травы вербейника точечного, а наименьший – в шроте соцветий бархатцев распростертых, что составляет 10,7% и 2,2% соответственно. Количественное содержание основных функциональных групп в анализируемых пектиновых веществах установлено титриметрическим методом: все исследуемые пектиновые вещества характеризуются низкой степенью этерификации, вследствие чего обладают высокой комплексообразующей способностью.

Ключевые слова: антиоксидантная и антимикробная активности, флавоноиды, пектиновые вещества, бархатцы распростертые, гайлардия красивая, смородина черная, рябинник рябинолистный, ежевика сизая, вербейник точечный, комплексообразующая активность.

CHEMICAL COMPOSITION AND BIOLOGICAL ACTIVITY OF SOME MEMBERS OF THE *ASTERACEAE*, *PRIMULACEAE*, *GROSSULARIACEAE* AND *ROSACEAE* FAMILIES

Research article

Chervonnaya N.M.^{1,*}, Adjakhmetova S.L.², Pozdnyakov D.I.³, Papayani O.I.⁴, Tukhovskaya N.A.⁵, Oganessian S.O.⁶¹ ORCID: 0000-0001-9685-1384;² ORCID: 0000-0001-9685-1384;³ ORCID: 0000-0003-0889-7855;⁴ ORCID: 0000-0001-6645-7263;⁵ ORCID: 0000-0003-4163-2875;¹⁻⁶ Pyatigorsk Medical and Pharmaceutical Institute, the branch of the Volgograd State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Pyatigorsk, Russia

* Corresponding author (annanagornaya69[at]yandex.ru)

Abstract

The article examines the comparative antioxidant and antimicrobial activity levels of the French marigold (*Tagetes patula* L.), Indian blanket, false spiraea, blackcurrant, European dewberry leaves, and large yellow loosestrife belonging to the families *Asteraceae*, *Primulaceae*, *Grossulariaceae* and *Rosaceae*. The research illustrates a quantitative analysis of flavonoids and highlights Polysaccharides where pectin substances are predominant. The highest yield of pectin is observed in the meal of the large yellow loosestrife, and the lowest is in the grist of marigold inflorescences, which is 10.7% and 2.2%, respectively. The quantitative content of the main functional groups in the analyzed pectin substances was determined via the titration method: all the studied pectin substances are characterized by a low degree of etherification, as a result of which they have a high complexing ability.

Key words: antioxidant and antimicrobial activity, flavonoids, pectin substances, marigold inflorescences, Indian blanket, blackcurrant, false spiraea, European dewberry, large yellow loosestrife, complexing activity.

Нами проанализирован химический состав, антиоксидантная и антимикробная активности ряда растений, которые широко используются в народной медицине, относящихся к семействам *Asteraceae*, *Primulaceae*, *Grossulariaceae* и *Rosaceae* [1, С. 148-150].

Основным источником пищевых пектинов в России являются жом яблочный и свекловичный, однако самым существенным недостатком при производстве пектина из названных источников являются трудоемкость подготовки сырья, заключающаяся в необходимости быстрой и эффективной сушки во избежание процессов брожения и гниения. Экспериментально доказано, что в процессе сушки количественное содержание пектиновых веществ снижается, что, вероятно, связано с ферментативными процессами в сыром сырье. Возрастающая потребность пищевого производства, безусловно, создает необходимость поиска новых источников полисахаридных комплексов [2].

Объектами исследования явились соцветия бархатцев распростертых (*Tagetes patula* L.), гайлардии красивой (*Gaillardia pulchella* Foug.) и рябинника рябинолистного (*Sorbaria sorbifolia* (L.) Mill.); листья смородины черной (*Ribes nigrum* L.) и ежевики сизой (*Rubus caesius* L.); а также трава вербейника точечного (*Lysimachia punctata* L.).

Обоснованием для выбора перечисленных объектов явились данные, свидетельствующие о широком их использовании в народной медицине, а также отсутствию в них ядовитых и сильнодействующих компонентов. Ниже в таблице 1 представлены данные о применении перечисленных объектов в народной медицине.

Таблица 1 – Применение объектов исследования в народной медицине

Растение	Применение
Соцветия гайлардии красивой	противовоспалительное и гепатопротекторное действие [3, С. 244-249]
Соцветия бархатцев распростертых	антимикробное, антисептическое, гипотензивное, мочегонное и противовоспалительное действия [4]
Травы вербейника точечного	используется при желудочно-кишечных нарушениях, воспалениях кожи, заболеваниях легких и мигрени [5, С. 104-107]
Листья смородины черной	дезинфицирующее и противовоспалительное действия [4]
Листья ежевики сизой	противовоспалительное, кровоостанавливающее, ранозаживляющее, отхаркивающее, противоглистное, противокашлевое, бактерицидное действия [6, С. 198-200]
Листья рябинника рябинолистного	используется при суставном ревматизме, желудочно-кишечном расстройстве [7, С. 46-48]

Растения были собраны в период с июня по сентябрь 2017-2019 гг. на территории Кавказских Минеральных Вод (в окрестностях г. Пятигорска и г. Железноводска).

Проведенные ранее исследования их химического состава показали, что основными группами биологически активных веществ являются аминокислоты, фенольные соединения (флавоноиды, дубильные вещества) и полисахариды [5, С. 104-107]; [6, С. 198-200]; [8, С. 277-282].

При переработке растительного сырья с целью получения полисахаридных комплексов используется экстракция водой очищенной, а также водные растворы оксалата аммония, щавелевой кислоты и гидроксида натрия [2]. Как правило, с целью сохранения других важных биологически активных соединений, в частности, полифенолов, сырье предварительно обрабатывают органическими растворителями, а затем из остающегося шрота получают полисахариды.

Ранее, для пектинов из некоторых объектов была установлена комплексообразующая способность по отношению к ионам свинца [7, С. 46-48], однако не установлена взаимосвязь между степенью этерификации пектина и его комплексообразующей активностью.

Учитывая фармакологические свойства различных извлечений из изучаемых объектов, а также высокое содержание в них пектиновых веществ, мы сочли целесообразным выявить основные показатели, характеризующие физико-химические свойства пектинов. В связи с этим одной из задач нашего исследования было изучение комплексообразующей способности в зависимости от степени этерификации пектинов перечисленных растений.

Целью настоящей работы явилось изучение флавоноидного состава, основных характеристик пектиновых веществ, а также определение антиоксидантной и антимикробной активности растительных объектов.

Материалы и принципы исследования

Нами исследована антиоксидантная активность спирто-водных извлечений исследуемых объектов. Измерение проводили на жидкостном хроматографе «Цвет Яуза-01-АА» [9], [10, С. 10-14].

Содержание пектиновых веществ в изучаемых объектах определяли гравиметрически по методу Н.К. Кочеткова и М. Sinner [11]. Остающийся после выделения водорастворимых полисахаридов шрот далее экстрагировали на водяной бане при 100°C и постоянном перемешивании в течение часа смесью 0,5% раствора оксалата аммония и 0,5% раствора щавелевой кислоты (1:1). Полученное извлечение фильтровали и для осаждения пектиновых веществ к нему добавляли равный объем спирта этилового 95%. Выделяется сыпучий порошок, который в зависимости от исходного сырья окрашен от темно-розового до темно-коричневого.

Количественное содержание основных функциональных групп полученных пектиновых веществ определяли алкалометрическим методом (раствор натрия гидроксида (0,1 моль/л)) [12, С. 110-113].

Для выявления комплексообразующей способности к водному раствору пектиновых веществ добавляли стандартный раствор ацетата свинца (0,035Н) и наблюдали выпадение аморфного осадка пектата свинца. Далее колбу с содержимым оставляли на 10 – 60 минут, после чего раствор центрифугировали, фильтровали, а затем проводили титрование надосадочной жидкости [8, С. 277-282], [11].

Количественное содержание флавоноидов проводили спектрофотометрически [13].

Определение антимикробного действия. Экстракцией сырья спиртом этиловым 40%, 70%, 95% концентрации на кипящей водяной бане в колбе с обратным холодильником продолжительностью 1 час 3 раза, получали соответствующие извлечения, которые далее исследовались на 6 штаммах грамположительных и грамотрицательных микроорганизмов методом диффузии в агар. Антимикробную активность исследуемых объектов сравнивали с действием 40%, 70% и 95% спирта этилового [13].

Основные результаты

Суммарное содержание антиоксидантов. Установлено, что максимальное содержание антиоксидантов наблюдается в извлечении, полученном экстракцией соцветий гайлардии красивой спиртом этиловым 70%, а для остальных анализируемых объектов оптимальным экстрагентом явился 40% спирт этиловый.

Содержание антиоксидантов в пересчете на кверцетин и галловую кислоту (мг/г) составляет: в соцветиях бархатцев распростертых $2,77 \pm 0,002$ и $1,89 \pm 0,003$; в соцветиях гайлардии красивой $1,89 \pm 0,015$ и $1,24 \pm 0,009$; в соцветиях

рябинника рябинолистного $1,39 \pm 0,013$ и $0,38 \pm 0,011$; в листьях смородины черной $1,39 \pm 0,007$ и $0,90 \pm 0,005$; в листьях ежевики сизой $0,93 \pm 0,014$ и $0,60 \pm 0,007$; в траве вербейника точечного $4,03 \pm 0,026$ и $2,62 \pm 0,011$.

Выделение и изучение основных характеристик полисахаридного комплекса. Для удаления липофильных веществ сырье предварительно обрабатывали хлороформом, для получения суммы полифенолов использовали экстракцию спиртом этиловым 40%. Из остающегося шрота выделяли пектиновые вещества по методике.

Гравиметрическое определение указывает, что содержание пектиновых веществ составляет: в шроте соцветий бархатцев 2,2%; в шроте соцветий гайлардии красивой 5,1%; в шроте травы вербейника точечного 10,7%; в листьях рябинника рябинолистного 9,0%; в листьях смородины черной 9,9%; в листьях ежевики сизой 5,1%.

Основными показателями, характеризующими физико-химические свойства пектинов, являются свободные карбоксильные (Кс), метоксилированные карбоксильные (Км), метоксильные группы ($-\text{O}-\text{CH}_3$), а также общее число карбоксильных групп (Ко), содержание которых определяли титриметрическим методом [12, С. 110-113].

Таблица 2 – Содержание функциональных групп в пектиновых веществах в анализируемых объектах

Объекты исследования	Кс	Км	Ко	λ , %	$-\text{O}-\text{CH}_3$
Соцветия гайлардии красивой	20,61	1,35	21,96	6,15	0,93
Соцветия бархатцев распростертых	8,20	4,50	12,70	35,40	3,10
Трава вербейника точечного	15,40	3,15	18,59	16,94	2,17
Листья смородины черной	9,14	4,82	13,96	34,50	3,32
Листья ежевики сизой	8,65	5,22	13,87	37,63	3,59
Листья рябинника рябинолистного	7,91	4,58	12,49	36,67	3,16

Из данных таблицы следует, что все исследуемые пектиновые вещества характеризуются невысокой степенью этерификации (λ), что, возможно может свидетельствовать об их высокой комплексообразующей способности [8, С. 277-282]; [12, С. 110-113].

Для подтверждения данного предположения была определена комплексообразующая активность полученных пектиновых веществ по отношению к ионам свинца.

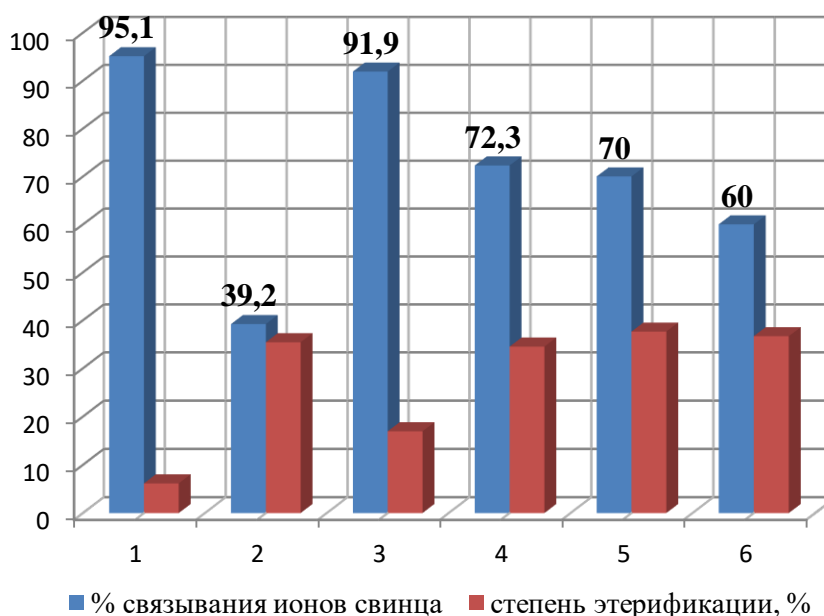


Рис. 1. – Зависимость комплексообразующей способности от степени этерификации: 1 – соцветия гайлардии красивой; 2 – соцветия бархатцев распростертых; 3 – трава вербейника точечного; 4 – листья смородины черной; 5 – листья ежевики сизой; 6 – листья рябинника рябинолистного

Максимальное связывание ионов свинца наблюдается у пектина, выделенного из соцветий гайлардии красивой (95,1%), а минимальное – из соцветий бархатцев распростертых (39,2%).

Суммарное содержание флавоноидов. Результаты количественного определения флавоноидов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты количественного определения флавоноидов

№	Название сырья	Сумма флавоноидов, %
1	Соцветия бархатцев распростертых	2,98±0,06%, в пересчете на патулетиин*
2	Соцветия гайлардии красивой	0,32±0,01%, в пересчете на лютеолин
3	Соцветия рябинника рябинолистного	0,822±0,02%, в пересчете на кверцетин
4	Листья смородины черной	0,68±0,01%, в пересчете на рутин
5	Листья ежевики сизой	0,94±0,02%, в пересчете на рутин
6	Трава вербейника точечного	0,59±0,01%, в пересчете на кверцетин

Примечание: * суммарное содержание флавоноидов определялось в извлечении из соцветий бархатцев распростертых, полученном спиртом этиловым 40%

Антимикробная активность. Результаты определения антимикробной активности исследуемых извлечений представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Диаметры зон подавления роста тест-культур микроорганизмов

Исследуемые объекты	Диаметр зоны задержки роста тест-культур микроорганизмов, мм					
	1*	2*	3*	4*	5*	6*
<i>Экстрагент – спирт этиловый 40%</i>						
соцветия бархатцев распростертых	6	6	6	6	12	6
трава вербейника точечного	12	14	15	6	15	6
соцветия гайлардии красивой	6	12	6	6	12	6
листья ежевики сизой	14	6	6	6	16	12
листья смородины черной	32	6	6	6	20	6
соцветия рябинника рябинолистного	6	6	6	6	11	6
<i>Экстрагент – спирт этиловый 70%</i>						
соцветия бархатцев распростертых	6	6	12	6	10	6
трава вербейника точечного	6	6	6	6	10	6
соцветия гайлардии красивой	12	6	17	6	6	6
листья ежевики сизой	6	6	12	6	6	11
листья смородины черной	6	15	6	13	10	6
соцветия рябинника рябинолистного	6	6	18	6	6	6
<i>Экстрагент – спирт этиловый 95%</i>						
соцветия бархатцев распростертых	6	20	-	6	11	6
трава вербейника точечного	6	13	11	6	13	12
соцветия гайлардии красивой	6	6	-	6	13	6
листья ежевики сизой	6	6	12	13	11	15
листья смородины черной	6	14	8	12	10	6
соцветия рябинника рябинолистного	6	20	6	6	6	6
<i>Препараты сравнения</i>						
спирт этиловый 40%	6	6	8	6	6	6
спирт этиловый 70%	6	8	8	6	8	6
спирт этиловый 95%	6	6	6	6	6	6

Примечание: * 1 – *Staphylococcus aureus* (Type), 2 – *Escherichia coli* 055, 3 – *Escherichia coli* M17, 4 – *Bacillus anthracoides* 96, 5 – *Pseudomonas aeruginosa*, 6 – *Proteus vulgaris*

Антимикробной активностью характеризуются: извлечение, полученное экстракцией 40% спиртом этиловым, из листьев смородины черной по отношению к *Staphylococcus aureus* и *Pseudomonas aeruginosa*; извлечения из соцветий бархатцев распростертых и рябинника рябинолистного, полученные экстракцией 95% спиртом этиловым, и извлечения из соцветий гайлардии красивой и рябинника рябинолистного, полученные экстракцией 70% спиртом этиловым, в отношении к *Escherichia coli* 055 и к *Escherichia coli* M17. Препараты сравнения не показали выраженной активности ни к одному из выбранных микроорганизмов.

Заключение

Исследована антиоксидантная активность отдельных представителей семейств Asteraceae, Primulaceae, Grossulariaceae и Rosaceae. Выделены полисахариды, в которых преобладают пектиновые вещества. Максимальный выход пектиновых веществ из шрота травы вербейника точечного 10,7%, из листьев рябинника рябинолистного 9,0% и из листьев смородины черной 9,9%. Полученные данные свидетельствуют о достаточно высоком содержании пектиновых веществ в соцветиях бархатцев распростертых и гайлардии красивой; листьях смородины черной, рябинника рябинолистного и ежевики сизой, а также траве вербейника точечного.

Наибольшее содержание пектиновых веществ наблюдается в траве вербейника точечного (10,7%), а наименьшее – в соцветиях бархатцев распростертых (2,2%). Пектиновые вещества исследованных растений обладают высокой комплексообразующей способностью, что связано с количественным содержанием свободных карбоксигрупп.

Количественный анализ флавоноидов свидетельствует, что их наибольшее содержание представлено в извлечении из соцветий бархатцев распростертых, полученном спиртом этиловым 40%, $2,98 \pm 0,06\%$, в пересчете на патулетин.

Таким образом, можно сделать вывод, что наибольшим антимикробным действием из исследуемых объектов обладают: извлечение из листьев смородины черной, полученное экстракцией 40% спиртом этиловым; извлечения из соцветий бархатцев распростертых и рябинника рябинолистного, полученные экстракцией 95% спиртом этиловым; извлечения из соцветий гайлардии красивой и рябинника рябинолистного, полученные экстракцией 70% спиртом этиловым.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Попов И.В. Современное состояние проблемы использования лекарственного растительного сырья в Северо-Кавказском Федеральном округе / И.В. Попов, О.И. Попова // Научно-практическая конференция, посвященная 65-летию факультета промышленной технологии лекарств: материалы научно-практической конференции, 2010. – С. 148 – 150.
2. Донченко Л.В. Пектин основные свойства, производство и применение / Л.В. Донченко, Г.Г. Фирсов. – М.: ДеЛи принт, 2007. – 276 с.
3. Moharram Fatma A. New Apigenin Glycoside, Polyphenolic Constituents, Anti-inflammatory and Hepatoprotective Activities of *Gaillardia grandiflora* and *Gaillardia pulchella* Aerial Parts / Moharram Fatma A., Abd El Moneim El Dib R., Marzouk Mohamed S. et al. // Pharmacogn Mag. – 2017. – №13(2). – P. 244–249.
4. Кюсев П.А. Полный справочник лекарственных растений / П.А. Кюсев. – М.: ЭКСМО – Пресс, 2002. – 992 с.
5. Абрамова Е.Р. Изучение полисахаридов некоторых представителей семейств *Primulaceae* и *Asteraceae* / Е.Р. Абрамова, Д.И. Текеева, С.Л. Аджиахметова и др. // Беликовские чтения: тез. докл. Всероссийской науч.-практ. конф. – Пятигорск, 2018. – 104–107.
6. Магометова Э.Ш. Полисахаридный комплекс листьев ежевики сизой / Э.Ш. Магометова, С.Л. Аджиахметова // Беликовские чтения: тез. докл. Всероссийской науч.-практ. конф. – Пятигорск, 2017. – С. 198 – 200.
7. Гущина М.Е. Изучение полисахаридного комплекса листьев рябинника рябинолистного / М.Е. Гущина, С.Л. Аджиахметова, Э.Т. Оганесян // Фармация и фармакология. – 2015. – № 3(10). – С. 46–48.
8. Аджиахметова С.Л. Исследование сорбционной способности пектинов и водорастворимых полисахаридов крыжовника отклоненного (*Grossularia reclinata* (L.) Mill.), листьев шелковицы черной (*Morus nigra* L.) и шелковицы белой (*Morus alba* L.) / С.Л. Аджиахметова, И.И. Селина, Л.В. Лигай, Л.П. Мыкоц, Н.А. Туховская, Э.Т. Оганесян // Науч. ведомости БелГУ. Серия: Медицина. Фармация. – 2013. – № 11. – С. 277–282.
9. Червонная Н.М. Об антиоксидантной активности спирто-водных извлечений из цветков бархатцев распростертых / Н.М. Червонная, О.А. Андреева // Современные проблемы науки и образования. – 2015 – №2 (часть 3). – [Электронный ресурс] URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=23713> (дата обращения: 09.10.2020)
10. Яшин А.Я. Прибор для определения антиоксидантной активности растительных лекарственных экстрактов и напитков / А.Я. Яшин, Я.И. Яшин // Журн. междунар. информационная система по резонансным технологиям. – 2004. – №34. – С. 10–14.
11. Кочетков, Н.К. Химия биологически активных соединений / Н.К. Кочетков. – М., 1970. – 631 с.
12. Позднякова Т.А. Количественное определение функциональных групп пектиновых веществ травы герани сибирской (*Geranium sibiricum* L.) / Т.А. Позднякова, Р.А. Бубенчиков // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11-1. – С. 110-113.
13. Государственная фармакопея Российской Федерации. – 13-е изд. – [Электронный ресурс] : URL: <http://femb.ru/feml>. (дата обращения: 09.10.2020)

Список литературы на английском языке / References in English

1. Popov I. V. Sovremennoe sostoyanie problemy ispol'zovaniya lekarstvennogo rastitel'nogo syr'ya v Severo-Kavkazskom Federal'nom okruge [The Current State of the Problem of Using Medicinal Plant Raw Materials in the North Caucasian Federal District] / I. V. Popov, O. I. Popova // Proceedings of the Scientific and Practical Conference Dedicated to the 65th Anniversary of the Faculty of Industrial Medicine Technology, 2010, pp. 148-150 [in Russian]
2. Donchenko L. V. Pektin osnovnye svoystva, proizvodstvo i primeneniye [Pectin: Main Properties, Production and Application] / L.V. Donchenko, G. G. Firsov, M.: DeLi print, 2007, 276 p. [in Russian]
3. Moharram Fatma A. New Apigenin Glycoside, Polyphenolic Constituents, Anti-inflammatory and Hepatoprotective Activities of *Gaillardia grandiflora* and *Gaillardia pulchella* Aerial Parts / Moharram Fatma A., Abd El Moneim El Dib R., Marzouk Mohamed S. et al. // Pharmacogn Mag. – 2017. – №13(2). – P. 244–249.
4. Kjosev P. A. Polnyj spravochnik lekarstvennykh rastenij [Complete Guide to Medicinal Plants] / P. A. Kjosev, M.: EKSMO-Press, 2002, 992 p. [in Russian]
5. Abramova E. R. Izuchenie polisaxaridov nekotorykh predstavitelej semejstv Primulaceae i Asteraceae [Study of Polysaccharides in Some Members of the *Primulaceae* and *Asteraceae* families] / E. R. Abramova, D. I. Tekeeva, S. L. Adzhiakhmetova et al. // Belikov Readings: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference in Pyatigorsk, 2018 – pp. 104-107 [in Russian]
6. Magometov E. S. Polysaccharide Complex of European Dewberry Leaves with Blue/ E. S. Magometov, S. L. Adzhiakhmetova // Belikov Readings: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference in Pyatigorsk, 2017, pp. 198-200 [in Russian]

7. Gushchin, M. E. Izuchenie polisaxaridnogo kompleksa list'ev ryabinnika ryabinolistnogo [The Study of Polysaccharide Complex of the Leaves of the False Spiraea] / M. E. Gushchin, S. L. Adzhiakhmetova, E. T. Oganessian // Farmaciya i farmakologiya [Pharmacy and Pharmacology. – 2015. – № 3(10), pp. 46-48 [in Russian]
8. Adzhiakhmetova S. L. Issledovanie sorbcionnoj sposobnosti pektinov i vodorastvorimyx polisaxaridov kryzhovnika otklonennogo (*Grossularia reclinata* (L.) Mill.), list'ev shelkovicy chernoj (*Morus nigra* L.) i shelkovicy beloju (*Morus alba* L.) [Research of Sorption Capacity of Pectins and Water-Soluble Polysaccharides of European gooseberry (*Grossularia reclinata* (L.) Mill.), of Black Mulberry (*Morus nigra* L.) and White Mulberry Leaves (*Morus alba* L.)] / S. L. Adzhiakhmetova, I. I. Selina, L. V. Ligay et al. // Nauch. vedomosti BelGU. Seriya: Medicina [Belgorod State University Scientific Journal. Medicine Series] Farmatsiya.- 2013. - No. 11, pp. 277-282 [in Russian]
9. Chervonnaya N. M. Ob antioksidantnoj aktivnosti spirito-vodnyx izvlechenij iz cvetkov barxatcev rasprostertyx [On the Antioxidant Activity of Alcohol-Water Extracts From Marigold Flowers (*Tagetes patula* L.)] / N. M. Chervonnaya, O. A. Andreeva // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya [Modern Problems of Science and Education], - 2015-No. 2 (part 3), [Electronic resource] : URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=23713> (accessed: 09.10.2020) [in Russian]
10. Yashin A. Ya. Pribor dlya opredeleniya antioksidantnoj aktivnosti rastitel'nyx lekarstvennyx e'kstraktov i napitkov [A Device for Determining the Antioxidant Activity of Herbal Medicinal Extracts and Beverages]/ A. Ya. Yashin, I Ya. Yashin // Zhurn. mezhdunar. informacionnaya sistema po rezonansnym texnologiyam [International. Information System for Resonant Technologies Journal], 2004, no. 34, pp. 10-14 [in Russian]
11. Kochetkov N. K. Ximiya biologicheskix aktivnyx soedinenij [Chemistry of Biologically Active Compounds] / N. K. Kochetkov. - M., 1970, 631 p. [in Russian]
12. Pozdnyakova T. A. Kolichestvennoe opredelenie funkcional'nyx grupp pektinovyx veshhestv travy gerani sibirskoj [Quantitative Determination of Functional Groups of Pectin Substances of the Siberian Cranesbill (*Geranium sibiricum* L.)] / T. A. Pozdnyakova, R. A. Bubenichikov // Fundamental'nye issledovaniya [Fundamental Research]. - 2014. - no. 11-1, pp. 110-113 [in Russian]
13. Gosudarstvennaya farmakopeya Rossijskoj Federacii [State Pharmacopoeia of the Russian Federation], 13th Edition, [Electronic resource]: URL: <http://femb.ru/feml> (accessed: 09.10.2020) [in Russian]